



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE CIVIL

**TRABAJO DE DISERTACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN LADRILLO ECOLÓGICO COMO
MATERIAL SOSTENIBLE DE CONSTRUCCIÓN Y COMPARACIÓN DE SUS
PROPIEDADES MECÁNICAS CON UN LADRILLO TRADICIONAL.**

ADRIANA CAMACHO

MARÍA JOSÉ MENA

DIRECTOR: ING. JORGE ALBUJA, M.SC

Quito, 2018

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por su bendición, su guía y por siempre haber estado junto a mí a lo largo de estos cinco años.

A mis padres, Régulo y Doris, quienes siempre han confiado en mí y apoyado todas mis decisiones. Gracias por todas las oportunidades que me han brindado, son mi mejor ejemplo de constancia, trabajo, y amor.

A mis hermanos, Stefy y Martín, por ser fuente de motivación e inspiración en mi vida, su amor incondicional y apoyo han permitido que llegue hasta aquí

A mi compañera, amiga y hermana, Majo, por ser un gran ejemplo de valentía en mi vida. Por estar a mi lado y apoyarme siempre a pesar de las circunstancias, sin ti nada de esto hubiese sido posible.

A ti, Álvaro, por ser un soporte en mi vida, llenar estos meses de felicidad y amor.

A mis amigos por los grandes momentos vividos y brindarme tantas alegrías.

A todos quienes forman parte del Laboratorio de Ingeniería de la PUCE, por toda la ayuda brindada para que esta investigación se realice.

A los Ingenieros, Jorge Albuja, Jorge Bucheli y Mauricio Cely, por todos los conocimientos brindados, además de su tiempo y experiencia.

Adriana

DEDICATORIA

A mi familia en especial a mis padres quienes han sido el pilar fundamental de mi formación.

Adriana

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a la Virgen, por permitirme finalizar esta gran etapa de mi vida.

A mi madre, por su amor, comprensión y ayuda incondicional a lo largo de toda mi carrera.

A mi padre, quien siempre confió en mí y me motivó a ser mejor persona cada día. Y a

Estefy y Frank, por estar pendientes de mí y del avance de este trabajo.

Un agradecimiento especial a mi gran amiga Adri, porque este trabajo fortaleció la amistad que tenemos; por todo su apoyo y motivación para alcanzar esta meta.

A nuestro director, el Ingeniero Albuja y nuestros correctores Ingeniero Cely e Ingeniero Bucheli, por guiarnos, brindarnos su conocimiento y apoyo durante este proyecto. Y a todos los que forman parte del Laboratorio de la PUCE por su ayuda y colaboración en este trabajo.

María José Mena

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres, por todo su amor y apoyo, gracias a ellos es posible este logro.

A mi hermana, por ser mi confidente, mi mejor amiga y siempre motivarme a ser mejor.

A mi hermano, por ser quien me cuida y demuestra su cariño a diario.

A mi compañera de tesis Adri, por permitirme compartir estos meses de aprendizaje, esfuerzo y logros junto a ella. Y a todos mis grandes amigos con los que compartí esta hermosa etapa universitaria.

María José Mena

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo el diseño de un mampuesto ecológico como material sostenible para la construcción, dónde se empleen elementos que no generen daño al medio ambiente, perduren en el tiempo y cuyo costo sea asequible; por lo cual, se ha propuesto el uso de la cáscara de arroz y ceniza de cáscara de arroz como componentes ecológicos; también estará conformado por suelo y cemento. Se prevé que este tipo de material pueda ser empleado para construcción de viviendas en zonas cercanas a la obtención de la materia prima del mampuesto. (Helson, Beaucour, Eslami, Noumowe, & Gotteland, 2017)

Usando la cáscara de arroz como uno de los componentes del mampuesto, se espera generar un avance en el área de la bioconstrucción y además la fabricación de un material que genere un impacto socio-económico en las comunidades donde se cultiva arroz y no se cuente con materiales aptos para la construcción.

Palabras clave: mampuesto ecológico, cáscara de arroz, ceniza de cáscara de arroz.

ABSTRACT

The purpose of this project is to design an ecological material for masonry as a sustainable construction material using elements that don't cause any damage to the environment, which last for long time and whose cost is affordable. To achieve this objective, the proposal is to use rice husk and rice husk ash as ecological components, together with soil and cement. The expectation is that this type of material can be used for the construction of houses in areas close to where the raw material grows.(Helson et al., 2017)

By using the rice husk as one of the components of the ecological material, the goal is to give new ideas to the bioconstruction area and also to improve the social and economic situation of the communities where there are rice crops and not enough materials for construction.

Keywords: ecological construction material, rice husk, rice husk ash.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
ÍNDICE DE GRÁFICAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xvi
CAPÍTULO 1.- GENERALIDADES.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 RESUMEN DEL PROYECTO	2
1.3 OBJETIVO Y ALCANCE.....	3
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	3
1.4 ALCANCE	4
1.5 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.....	5
1.5.1 MARCO TEÓRICO.....	5
1.5.2 ANTECEDENTES.....	7
1.5.2.1 <i>Mejoramiento de arcilla blanda con residuos de bagazos de caña azúcar y cemento.</i>	7
1.5.2.2 <i>Adición de residuos orgánicos en la fabricación de ladrillos</i>	8
1.5.2.3 <i>Comportamiento de arcilla estabilizada y compactada con cemento, ceniza de turba y arena con sílice.</i> 10	
1.5.3 VENTAJAS DEL USO DEL MAMPUESTO ECOLÓGICO	11
CAPÍTULO 2.- MAMPOSTERIA	13
2.1 MAMPOSTERIA CONVENCIONAL	13
2.1.1 LADRILLOS	13
2.1.1.1 <i>Ladrillos cocidos</i>	13
2.1.1.2 <i>Ladrillos sin cocción</i>	17
2.1.2 BLOQUES	19
2.2 MAMPOSTERIA ECOLÓGICA.....	22
2.2.1 DESCRIPCIÓN DE MATERIALES.....	22
2.2.1.1 <i>Suelo</i>	22
a) Contenido de humedad	24
b) Granulometría	24

c)	Granulometría por hidrómetro.....	26
d)	Límites de atterberg	28
e)	Gravedad específica.....	31
f)	Clasificación del suelo.....	32
2.2.1.2	Cemento.....	33
a)	Gravedad específica cemento	34
a)	Granulometría	37
2.2.1.4	Ceniza De Cáscara De Arroz	38
a)	Gravedad específica.....	39
 CAPÍTULO 3.- MEZCLA SUELO-CEMENTO.....		41
3.1	PROCEDIMIENTO	41
3.1.1	PREPARACIÓN DEL MATERIAL.....	41
3.1.2	PROCTOR MODIFICADO.....	42
3.1.3	PROBETAS SUELO- CEMENTO	43
3.1.4	ENSAYOS DE PROBETAS.....	43
3.2	PROCTOR MODIFICADO	44
3.2.1	SUELO NATURAL	44
3.2.2	SUELO NATURAL + 5% DE CEMENTO	44
3.2.3	SUELO NATURAL + 10% DE CEMENTO	45
3.2.4	SUELO NATURAL + 15% DE CEMENTO	45
3.2.5	SUELO NATURAL + 20% DE CEMENTO	46
3.2.6	RESULTADOS	46
3.3	MOLDEO DE PROBETAS.....	47
3.3.1	SUELO NATURAL	48
3.3.2	SUELO NATURAL + 5% DE CEMENTO	48
3.3.3	SUELO NATURAL + 10% DE CEMENTO	48
3.3.4	SUELO NATURAL + 15% DE CEMENTO	48
3.3.5	SUELO NATURAL + 20% DE CEMENTO	48
3.4	ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE.....	49
3.4.1	SUELO NATURAL + 5% DE CEMENTO	49
3.4.2	SUELO NATURAL + 10% DE CEMENTO	49
3.4.3	SUELO NATURAL + 15% DE CEMENTO	50
3.4.4	SUELO NATURAL + 20% DE CEMENTO	50
3.5	TIEMPO DE CURADO vs RESISTENCIA	51
3.6	CARGA ÚLTIMA vs DEFORMACIÓN	52
3.6.1	TIEMPO DE CURADO: 3 DÍAS.....	52
3.6.2	TIEMPO DE CURADO: 7 DÍAS.....	53
 CAPÍTULO 4.- MEZCLA SUELO – CEMENTO – RESIDUOS DE CÁSCARA DE ARROZ.....		54

4.1	MEZCLA: SUELO + CEMENTO + CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ	54
4.1.1	PROCTOR MODIFICADO	55
4.1.1.1	Suelo natural + 14%Cemento + 6%Ceniza de cáscara de arroz	55
4.1.1.2	Suelo natural + 12%Cemento + 8%Ceniza de cáscara de arroz	56
4.1.1.3	Suelo natural + 10%Cemento + 10%Ceniza de cáscara de arroz	56
4.1.1.4	Suelo natural + 8%Cemento + 12%Ceniza de cáscara de arroz	57
4.1.1.5	Resultados	57
4.1.2	MOLDEO DE PROBETAS	58
4.1.3	ENSAYO DE PROBETAS COMPRESIÓN SIMPLE	58
4.1.3.1	Suelo natural + 14%Cemento + 6%Ceniza de cáscara de arroz	58
4.1.3.2	Suelo natural + 12%Cemento + 8%Ceniza de cáscara de arroz	59
4.1.3.3	Suelo natural + 10%Cemento + 10%Ceniza de cáscara de arroz	59
4.1.3.4	Suelo natural + 8%Cemento + 12%Ceniza de cáscara de arroz	59
4.1.4	TIEMPO DE CURADO VS RESISTENCIA	60
4.1.4.1	Comparación con curva de la mezcla suelo natural + 20%de cemento	61
4.1.5	CARGA ÚLTIMA VS DEFORMACIÓN	62
4.1.5.1	Tiempo De Curado: 3 Días	62
4.1.5.2	Tiempo De Curado: 7 Días	63
4.2	MEZCLA: SUELO + CEMENTO + CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ + CÁSCARA DE ARROZ	64
4.2.1	PROCTOR MODIFICADO	65
4.2.1.1	Suelo natural + 14%Cemento + 6%Ceniza de cáscara de arroz + 2%Cáscara de arroz	65
4.2.1.2	Suelo natural + 14%Cemento + 6%Ceniza de cáscara de arroz + 4%Cáscara de arroz	65
4.2.1.3	Resultado	66
4.2.2	MOLDEO DE PROBETAS	67
4.2.2.1	Porcentaje de compactación probetas de Suelo natural + 14%Cemento + 6%Ceniza + 2%Cáscara	67
4.2.2.2	Porcentaje de compactación probetas de Suelo natural + 14%Cemento + 6%Ceniza + 4%Cáscara	67
4.2.3	ENSAYO DE PROBETAS COMPRESIÓN SIMPLE	68
4.2.3.1	Suelo natural + 14%Cemento + 6%Ceniza de cáscara de arroz + 2%Cáscara de arroz	68
4.2.3.2	Suelo natural + 14%Cemento + 6%Ceniza de cáscara de arroz + 4%Cáscara de arroz	68
4.2.4	TIEMPO DE CURADO VS RESISTENCIA	68
4.2.5	CARGA ÚLTIMA VS DEFORMACIÓN	70
4.2.5.1	Tiempo De Curado: 3 Días	70
4.2.5.2	Tiempo De Curado: 7 Días	70
CAPÍTULO 5.-	DISEÑO FINAL DEL MAMPUESTO PROPUESTO	71
5.1	MEZCLA FINAL	72
5.2	MOLDEO DE PROBETAS	73
5.3	ENSAYOS	73
5.3.1	COMPRESIÓN SIMPLE	73
5.3.1.1	Curva de resistencia a la compresión simple	73
5.3.1.2	Comparación con la resistencia de la mezcla suelo + 20%cemento con la mezcla final	74
5.3.2	ABSORCIÓN	75

5.3.2.1	<i>Ensayo</i>	75
5.3.2.2	<i>Resultados</i>	75
5.3.3	FLEXIÓN	76
5.3.3.1	<i>Ensayo</i>	76
5.3.3.2	<i>Resultados</i>	77
5.4	COMPARACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS	77
5.4.1	MAMPUESTO ECOLÓGICO VS LADRILLO	77
5.4.1.1	<i>Resistencia a la Compresión simple</i>	78
5.4.1.2	<i>Porcentaje de Absorción a la humedad</i>	78
5.4.1.3	<i>Resistencia a la Flexión</i>	79
CAPÍTULO 6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		80
6.1	CONCLUSIONES	80
6.2	RECOMENDACIONES	84
7.	BIBLIOGRAFÍA	86

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Curva Granulométrica del Suelo	26
Gráfica 2: Granulometría por hidrómetro del suelo.....	27
Gráfica 3: Límite líquido del suelo.	30
Gráfica 4: Curva Granulométrica de la cáscara de arroz.....	38
Gráfica 5: Curva de compactación Suelo natural.	44
Gráfica 6: Curva de Compactación Suelo + 5% Cemento.	44
Gráfica 7: Curva de Compactación Suelo +10% Cemento.	45
Gráfica 8: Curva de Compactación Suelo + 15% Cemento.	45
Gráfica 9: Curva de Compactación Suelo + 20% Cemento.	46
Gráfica 10: Curvas de Compactación.....	47
Gráfica 11: Resistencia a la Compresión Simple Suelo+5% Cemento.....	49
Gráfica 12: Resistencia a la Compresión Simple Suelo+10% Cemento.....	50
Gráfica 13: Resistencia a la Compresión Simple Suelo+15% Cemento.....	50
Gráfica 14: Resistencia a la Compresión Simple Suelo+20% Cemento.....	51
Gráfica 15: Resistencia a la Compresión Simple.....	51
Gráfica 16: Carga última vs Deformación (3Días).	52
Gráfica 17: Carga última vs Deformación (7Días).	53
Gráfica 18: Curva de compactación Suelo + 14% cemento + 6% ceniza.	55
Gráfica 19: Curva de compactación Suelo + 12% cemento + 8% ceniza.	56
Gráfica 20: Curva de compactación Suelo + 10% cemento + 10% ceniza.	56
Gráfica 21: Curva de compactación Suelo + 8% cemento + 12% ceniza.	57
Gráfica 22: Curvas de compactación.	57
Gráfica 23: Resistencia a la compresión simple suelo + 14% cemento + 6% ceniza.	58
Gráfica 24: Resistencia a la compresión simple suelo + 12% cemento + 8% ceniza.	59
Gráfica 25: Resistencia a la compresión simple suelo + 10% cemento + 10% ceniza.	59
Gráfica 26: Resistencia a la compresión simple suelo + 8% cemento + 12% ceniza.	60
Gráfica 27: Resistencia a la compresión simple.	60
Gráfica 28: Comparación resistencia a la compresión simple de probetas (suelo + 20% cemento) con probetas (suelo + cemento + ceniza).	61
Gráfica 29: Carga última vs deformación (3días de curado).	62
Gráfica 30: Carga última vs deformación (7días de curado).	63
Gráfica 31: Curva de compactación suelo + 14% cemento + 6% ceniza + 2% cáscara.	65
Gráfica 32: Curva de compactación suelo + 14% cemento + 6% ceniza + 4% cáscara.	66
Gráfica 33: Curvas de compactación.	66
Gráfica 34: Resistencia a la compresión simple suelo + 14% cemento + 6% ceniza + 2% cáscara.	68
Gráfica 35: Resistencia a la compresión simple suelo + 14% cemento + 6% ceniza + 4% cáscara.	68
Gráfica 36: Resistencia a la compresión simple.	69

Gráfica 37: Carga última vs deformación (3días de tiempo de curado).....	70
Gráfica 38: Carga última vs deformación (7días de tiempo de curado).....	70
Gráfica 39: Resistencia a la compresión simple de probetas con la mezcla final.....	74
Gráfica 40: Comparación de resistencia a la compresión entre mezcla (suelo + cemento) y mezcla final.	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resistencia a la compresión de ladrillos fabricados con residuos orgánicos con cocción y sin cocción. (Demir, 2008).....	10
Tabla 2: Contenido de humedad del suelo.....	24
Tabla 3: Granulometría del suelo.....	25
Tabla 4: Porcentajes de Arcilla y Limo según granulometría por hidrómetro.....	27
Tabla 5: Límite plástico del suelo.....	30
Tabla 6: Límite líquido del suelo.....	30
Tabla 7: Gravedad específica del suelo.....	32
Tabla 8: Clasificación SUCS del suelo.....	33
Tabla 9: Propiedades físicas y químicas del Cemento Portland Ordinario. (Habeeb & Mahmud, 2010)..	34
Tabla 10: Gravedad específica Cemento Portland Selva Alegre.....	35
Tabla 11: Granulometría de cascarilla de arroz.....	37
Tabla 12: Gravedad específica Ceniza de Cáscara de arroz.....	40
Tabla 13: Resultados de humedades óptimas y densidad seca máxima de mezcla suelo + cemento.....	46
Tabla 14: Porcentaje de compactación probetas suelo natural.....	48
Tabla 15: Porcentaje de compactación probetas suelo+5%cemento.....	48
Tabla 16: Porcentaje de compactación probetas suelo + 10%cemento.....	48
Tabla 17: Porcentaje de compactación probetas suelo + 15%cemento.....	48
Tabla 18: Porcentaje de compactación probetas suelo + 20%cemento.....	48
Tabla 19: Tiempo de curado vs Resistencia.....	51
Tabla 20: Tiempo de curado de las probetas vs resistencia a la compresión simple.....	60
Tabla 21: Comparación de resistencias a la compresión mezcla suelo+cemento+ceniza con mezcla suelo+20%cemento.....	61
Tabla 22: Tiempo de curado vs resistencia a la compresión simple.....	69
Tabla 23: Componentes de la mezcla final para el mampuesto ecológico.....	72
Tabla 24: Porcentaje de contenido de humedad óptima y densidad seca máxima de la mezcla final.....	73
Tabla 25: Porcentaje de compactación de probetas con la mezcla final.....	73
Tabla 26: Valores de resistencia a la compresión de las muestras finales.....	73
Tabla 27: Comparación resistencia a la compresión mezcla final con la mezcla suelo+20%cemento.....	74
Tabla 28: Valores de % absorción de muestras finales.....	75
Tabla 29: Valores del módulo de rotura de las muestras finales ensayadas a flexión.....	77
Tabla 30: Comparación de resistencia a la compresión entre un mampuesto ecológico con un ladrillo tradicional.....	78
Tabla 31: Comparación de % de absorción entre un mampuesto ecológico con un ladrillo tradicional.....	78
Tabla 32: Comparación de resistencia a la flexión entre un mampuesto ecológico con un ladrillo tradicional.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Producción de cultivos transitorios. (INEC, 2014)	6
Figura 2: Participación en la superficie sembrada total 2016. (INEC, 2014).....	6
Figura 4: Proceso de fabricación de ladrillos. (The Brick Industry Association, 2006)	14
Figura 5: Ladrillos sin cocción. (Thomas, Lombardi, Hunt, & Gaterell, 2009)	18
Figura 6: Tipos de bloques.(Mineral Products Association, 2013)	20
Figura 7: Depósito de arcilla ubicado en Calacalí.	23
Figura 8: Límite líquido.....	28
Figura 9: Límite plástico.	29
Figura 10: Matraz para ensayo de Gravedad específica de suelo en baño de agua.	31
Figura 11: Carta de plasticidad SUCS.....	33
Figura 12: Matraces Le Chatelier en baño de agua para ensayo de gravedad específica.....	35
Figura 13: Cáscara de Arroz.	36
Figura 14: Material retenido en tamiz #30, ensayo de Granulometría.....	37
Figura 15: Ceniza de cáscara de arroz para ensayo de gravedad específica.....	39
Figura 16: Componentes de la mezcla suelo + cemento.	41
Figura 17: Suelo pasante del tamiz N°4	42
Figura 18: Muestra de suelo después de realizado el ensayo proctor modificado.....	42
Figura 19: Probeta de suelo-cemento ensayándose a compresión simple.....	43
Figura 20: Probetas de suelo + cemento.....	47
Figura 21: Componentes de la mezcla suelo + cemento + ceniza de cáscara de arroz.....	54
Figura 22: Probetas de suelo + cemento + ceniza.....	58
Figura 23: Materiales para la elaboración de probetas (suelo, cemento, ceniza y cáscara de arroz).....	64
Figura 24: Probetas suelo natural + cemento + ceniza + cáscara.	67
Figura 25: Mampuesto ecológico.....	71
Figura 26: Mampuestos ecológicos.....	73
Figura 27: Mampuesto ecológico ensayado a flexión.....	76

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Ecuación para determinar el suelo seco.	72
Ecuación 2: Ecuación para determinar el porcentaje de absorción de humedad de un ladrillo cerámico (NTE INEN 296, 2015).	75
Ecuación 3: Ecuación para calcular el módulo de rotura a la flexión de un ladrillo cerámico (NTE INEN 295, 2014).....	76

CAPÍTULO 1.- GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, debido a los avances tecnológicos en la industria de la construcción, el ladrillo tradicional está siendo reemplazado por materiales elaborados a base de concreto que cuentan con mejores propiedades, como resistencia y durabilidad. Frente a este problema se han realizado investigaciones de nuevos e innovadores materiales que mejoren sus propiedades mecánicas, protejan al medio ambiente y generen un desarrollo sostenible, de esta manera se obtendrá un material a la altura de otros que se encuentran en el mercado. Uno de estos materiales es el ladrillo ecológico, cuya fabricación fomenta el uso de desechos orgánicos. (Cabo, 2011)

Existe una gran variedad de desechos orgánicos producto de las industrias, como la agrícola; que no están siendo controlados adecuadamente y son fuente de una creciente preocupación ambiental, por lo cual el reciclaje de dichos residuos se ha planteado como una posible solución frente a los problemas de contaminación. Además, el uso de estos desechos podría abaratar el costo de la producción de materiales para la construcción. (Luna-Cañas, Ríos-Reyes, & Quintero-Ortíz, 2014)

Entre los residuos orgánicos que pueden ser empleados para mejorar las propiedades de los materiales se encuentran: cáscara de cacao, aserrín, cáscara de arroz, caña de azúcar, residuos de tabaco, paja de trigo, residuo de cebada, entre otros. (Safiuddin, Jumaat, Salam, Islam, & Hashim, 2010)

Los residuos orgánicos pueden ser usados de varias formas, una de ellas es en su forma natural, ayudando a la formación de poros y manteniendo sus propiedades mecánicas. Al

aumentar la porosidad del ladrillo se produce una mejora en las propiedades físicas del mismo, disminuyendo la densidad del material (menor peso) y modificando las propiedades térmicas del mismo mejorando su aislamiento térmico. Esta mezcla debe contar con una cantidad de agua necesaria que garantice una plasticidad tal que genere las propiedades previstas en el ladrillo. (Bories, Borredon, Vedrenne, & Vilarem, 2014)

De la combustión de los residuos orgánicos se obtiene otro aditivo que puede ser empleado en estos materiales, la ceniza. Estas partículas reducen la densidad del ladrillo, mejoran la durabilidad del mismo, además, aumentan la resistencia a la compresión y al congelamiento. Estas mejoras se producen debido a la reducción del número de microporos presentes en la mezcla tradicional del ladrillo.(Cultrone & Sebastián, 2009)

1.2 RESUMEN DEL PROYECTO

Debido a la escasez de materiales sostenibles en la construcción, lo que ha ocasionado varias consecuencias ambientales, se ha propuesto el diseño de un mampuesto ecológico con el fin de contrarrestar estos efectos y aportar a la sociedad, de esta manera se beneficia la economía de las comunidades y se promueve el cuidado del medio ambiente. Este proyecto busca obtener resultados semejantes al trabajo de investigación realizado previamente por María Cabo Laguna (2008), el mismo que propone la realización de un ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción, usando materiales propios de la zona.

Para la fabricación de estos mampuestos se requiere la adquisición de todos los materiales que lo conformen, los mismos que serán ensayados en laboratorio para determinar sus propiedades mecánicas; una vez caracterizados los materiales se determinará la dosificación adecuada para conseguir una mezcla óptima y elaborar un mampuesto que cumpla con las características requeridas.

Al final de toda la investigación si se obtienen resultados favorables se recomendará como una alternativa de construcción viable y sostenible, principalmente para aquellas zonas donde se cultive arroz.

1.3 OBJETIVO Y ALCANCE

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y fabricar un mampuesto ecológico como material sostenible de construcción y comparar sus propiedades mecánicas con las de otros mampuestos.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Fabricar un mampuesto ecológico como material sostenible de la construcción, mediante el uso de residuos de cáscara de arroz.
- Determinar las características de los materiales (ceniza de cáscara de arroz, cáscaras de arroz) mediante ensayos de granulometría, porcentaje de contenido orgánico, porcentaje de humedad.
- Identificar las propiedades del agregado fino mediante ensayos de granulometría por tamizado, granulometría por hidrómetro, límites de Atterberg, clasificación de suelos y compactación.
- Determinar la mezcla óptima mediante ensayos de relación suelo- cemento.
- Comparar las propiedades mecánicas entre un mampuesto ecológico y un ladrillo tradicional, con ensayos de laboratorio como la resistencia a la compresión, flexión y absorción.

1.4 ALCANCE

En este trabajo se pretende determinar las características y propiedades mecánicas de un mampuesto ecológico, hecho a base de residuo de cáscara de arroz, para lo cual se realizarán ensayos y pruebas en el laboratorio.

Se ensayarán individualmente la ceniza de cáscara de arroz, la cáscara de arroz y el suelo, mediante los siguientes ensayos: granulometría, porcentaje de contenido orgánico, abrasión, porcentaje de humedad y demás ensayos que se consideren necesarios en la fase experimental. Adicionalmente se clasificará al suelo mediante la norma ASTM D2487, - donde se analizarán los límites de Atterberg -, se determinará el porcentaje de arcilla que se tiene a través de la granulometría por hidrómetro, el contenido óptimo de humedad para obtener su densidad máxima mediante el ensayo de compactación, así como el contenido de cemento óptimo para ese tipo de suelo, lo cual nos dará una guía de la cantidad de cemento ideal para la mezcla del ladrillo ecológico.

Una vez que se tenga el diseño tentativo para la mezcla del ladrillo, se ejecutarán probetas con moldes de laboratorio donde se ejecutarán pruebas piloto para ver el diseño óptimo. Una vez fabricado el ladrillo con el diseño óptimo se realizan los siguientes ensayos: Resistencia a la compresión, absorción y flexión.

Una vez obtenidas las propiedades mecánicas de los dos ladrillos se procederá a compararlas, y definir si el ecoladrillo alcanzó las resistencias y características esperadas para ser usados en la construcción.

Además, se identificarán las ventajas que se pueden obtener al emplear este elemento en las construcciones en lugar de usar el ladrillo convencional, enfocándonos en el aspecto económico y ambiental.

1.5 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.5.1 MARCO TEÓRICO

Cada vez son más las iniciativas ecológicas que intentan reinventar o reemplazar los ladrillos tradicionales utilizando materiales sostenibles, uno de ellos es la utilización de las cáscaras y cenizas de arroz.

Actualmente, la cascarilla de arroz está siendo investigada mundialmente con el fin de encontrar, alguna forma de aprovechamiento de ésta. Algunos de los campos en los que está siendo investigada son: producción de electricidad, sustituto de madera, tejas para techo, fabricación de cerámica. (Esteban Molina, 2010)

Un uso importante de los restos de la cosecha del arroz es la generación de energía limpia en forma de biomasa, el problema radica en el proceso de combustión de estos residuos que generan cenizas, produciendo impacto ambiental. A nivel mundial, se producen cada año aproximadamente 480 Mt de grano de arroz, que generan 120 Mt de cáscaras de arroz. Teniendo en cuenta que la relación ceniza/cáscara de arroz es del 18%, la producción mundial de RHA (cenizas de cáscaras de arroz) podría ser de hasta 21 Mt/año. (Cabo, 2011)

En el Ecuador los cultivos transitorios representan el 15,76% de la superficie de labor agropecuaria, siendo el arroz el de mayor producción a nivel nacional según el INEC 2016 (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos).

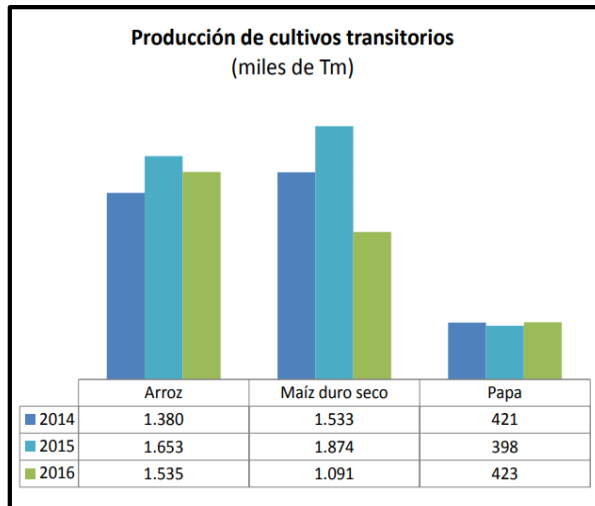


Figura 1: Producción de cultivos transitorios. (INEC, 2014)

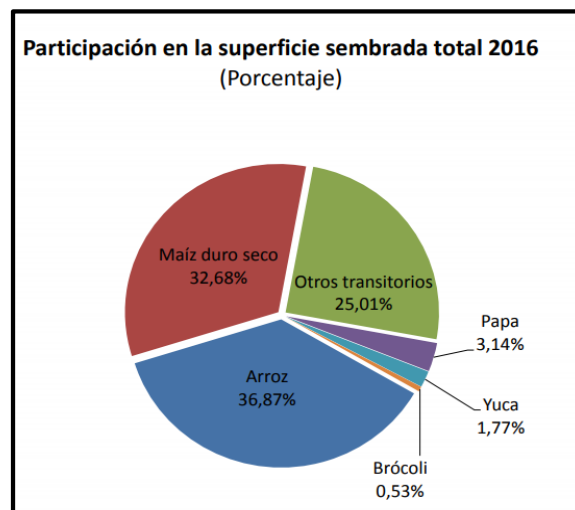


Figura 2: Participación en la superficie sembrada total 2016. (INEC, 2014)

Los aditivos residuales que se van a utilizar en este trabajo (cáscaras como cenizas) proceden del cultivo del arroz lo cual tiene gran relevancia ya que se trata del cultivo transitorio de mayor extensión de superficie en el país.

En el presente trabajo se busca la introducción de residuos de cáscaras de arroz en la elaboración de mampuestos ecológicos, y el uso de materiales provenientes de la zona; ya que brinda una posibilidad de establecer un amplio desarrollo a nivel ambiental y económico.

1.5.2 ANTECEDENTES

1.5.2.1 Mejoramiento de arcilla blanda con residuos de bagazos de caña azúcar y cemento.

Hoy en día son varias las opciones que se pueden emplear para mejorar las propiedades de suelos como arcillas blandas o limos, una de ellas es la estabilización química del suelo mediante el uso de cemento portland (OPC) el mismo que produce un aumento en la resistencia a la compresión y durabilidad del suelo. (Jamsawang, Poorahong, Yoobanpot, Songpiriyakij, & Jongpradist, 2017)

El cemento Portland (OPC) se utiliza comúnmente como cementante para mejorar las propiedades de la arcilla blanda debido a su gran resistencia, alta capacidad de carga y baja compresibilidad, sin embargo; es un material costoso, lo que genera mayor costo en la construcción; por lo cual se ha estudiado la posibilidad de utilizar materiales alternativo-ecológicos cuya composición se asemeje a las del cemento.(Bahar, Benazzoug, & Kenai, 2004)

El cemento es un material puzolánico cuya composición está basada en óxido de silicio (SiO_2) y óxido de aluminio (Al_2O_3), las mismas que después de varios estudios químicos también fueron encontradas en desechos de combustión de varias industrias como la azucarera y arroceras. Debido al alto contenido de sílice hallados en dichos elementos se generan varias investigaciones para determinar si son aptos para el uso, como un material puzolánico, para la construcción de elementos estructurales. (Jamsawang et al., 2017)

El Estudio realizado por Jamsawang, Poorahong, Yoobanpot, Songpiriyakij, y Jongpradist en 2017 demuestra que el uso de materiales de desecho en la composición de elementos estructurales genera mejoras en las propiedades físicas y mecánicas del elemento. La investigación se enfoca en la ceniza de bagazo, producto del residuo de la industria

azucarera, conocida por sus siglas en inglés como BA o BAW (bagasse ash waste). Se evaluó la efectividad de la ceniza como una mezcla para mejorar la resistencia a compresión, composición química y propiedades microestructurales de la arcilla blanda, para lo cual se sustituyó el uso de cemento ordinario tipo I (OPC) por ceniza de bagazo (BA) cuyos resultados fueron favorables debido a que se obtuvo que el uso de este tipo de ceniza cumple con las funciones del cemento e incluso mejora su resistencia en un 10%. (Jamsawang et al., 2017)

1.5.2.2 Adición de residuos orgánicos en la fabricación de ladrillos

La demanda de ladrillos de arcilla con mayor capacidad de aislamiento es creciente, razón por la cual se estudian nuevos mecanismos que nos permitan aumentar la porosidad mediante el uso de materiales de desecho de las industrias. Los aditivos orgánicos formadores de poros son los más frecuentes utilizados para este fin. La conductividad térmica es un factor decisivo en la termo-ingeniería usado para el aislamiento térmico de un material. Una manera de aumentar la capacidad de aislamiento del ladrillo es generar porosidad en el cuerpo de arcilla. (Rimpel y Scmedders, 1996).

La porosidad con el uso de desechos orgánicos en la fabricación de materiales de construcción aumenta, lo cual provoca un aumento en la capacidad absorción y generan mayor aislamiento tanto térmico como acústico (Zhang, 2013). Se han realizado varios estudios con el objeto de investigar el potencial del uso de varios residuos orgánicos en la fabricación de ladrillos de arcilla como aserrín, residuos de tabaco, y la hierba que son subproductos de procesos industriales y agrícolas. Estos materiales residuales tienen fibra celulosa, lo cual ayuda a mejorar la capacidad de aislamiento en el material cuya porosidad aumenta con la adición de dichos desechos. (Demir, 2008)

Las propiedades de composición, plasticidad, densidad y propiedades mecánicas fueron estudiadas después de las adiciones de residuos orgánicos en un 0%, 2.5%, 5% y 10% en peso gradualmente, las mismas que resultaron ser eficaces para la formación de poros en el cuerpo de arcilla, manteniendo las propiedades mecánicas de la arcilla aceptables. Se observó que la naturaleza fibrosa de los residuos no creaba problemas de extrusión. Sin embargo, la mayor adición de residuos requería un mayor contenido de agua para asegurar la plasticidad adecuada. Como resultado, el serrín, los residuos de tabaco y la hierba pueden utilizarse como agentes formadores de poro orgánicos en ladrillos de arcilla. (Demir, 2008)

Los formadores de poros tienen generalmente la tendencia a reducir la resistencia en seco por lo cual la reutilización de los residuos orgánicos en el proceso de producción de ladrillos puede proporcionar una disminución en la resistencia a la compresión. Lo mencionado anteriormente no ocurrió en la investigación realizada por Demir en 2008. Las probetas ensayadas en dicho estudio muestran un aumento en su resistencia a la compresión en seco conforme la adición de los residuos orgánicos e incluso en todos los casos están por encima de lo que requiere la normativa de Turquía que exige una resistencia mínima a la compresión de 8 MPa y una densidad aparente entre 1200-1400 kg / m³ para arcilla quemada en ladrillos sólidos (TS EN 771-1, 2005) y 1 MPa para arcilla no cocida (TS 2514, 1977); lo cual es favorable para su uso ya que mejora las propiedades mecánicas del ladrillo. A continuación, se muestran los resultados donde se evidencia el aumento de resistencia a la compresión con la adición de residuos orgánicos.

Resistencia a la compresión (Mpa)					
Aditivo Residual		Porcentaje Aditivo (%)			
		A (0%)	B (2,5%)	C (5%)	D (10%)
Muestras cocidas	Aserrín	15,50	13,60	11,35	9,85
	Residuo de tabaco		11,55	9,65	8,15
	Césped		12,35	10,25	8,60
Muestras no cocidas	Aserrín	2,60	3,35	4,40	5,10
	Residuo de tabaco		3,10	4,15	4,75
	Césped		3,40	4,25	5,15

Tabla 1: Resistencia a la compresión de ladrillos fabricados con residuos orgánicos con cocción y sin cocción. (Demir, 2008)

1.5.2.3 Comportamiento de arcilla estabilizada y compactada con cemento, ceniza de turba y arena con sílice.

Mousavi y Wong, 2015, ejecutaron una investigación cuyo objetivo general fue la determinación del comportamiento de la arcilla compactada y estabilizada con cemento, ceniza de turba y arena con sílice; se pudo concluir que al emplear estos componentes el suelo presenta un mejoramiento notable en sus propiedades. Una vez que se ensayaron probetas con estos componentes estabilizadores se observó un mejoramiento en la resistencia a la compresión, resistencia al corte y en el ensayo de CBR. Las fallas en las probetas variaron de un espécimen a otro. Las muestras con suelo sin tratar presentaron fallas dúctiles, mientras que el suelo estabilizado presentó un comportamiento frágil. (Mousavi & Wong, 2015)

Una adecuada dosificación de los componentes es muy importante para conseguir resultados esperados, debido a que la cantidad empleada de ceniza de turba tiene gran influencia en las propiedades de compactación de la probeta de suelo. (Mousavi & Wong, 2015)

La turba es un suelo con alto contenido de humedad, que presenta bajas propiedades de resistencia, generalmente posee residuos orgánicos de plantas y animales. En un proyecto de ingeniería civil este tipo de suelo representa problemas debido a sus escasas propiedades

mecánicas. Sin embargo, la ceniza que se obtiene al combustionar la turba puede ser empleada para estabilizar un suelo arcilloso y disminuir en un cierto porcentaje la cantidad de cemento que se debe adicionar. Al usar la ceniza de la turba como alternativa para estabilizar el suelo se disminuye las consecuencias que se producen al fabricar el cemento, que es uno de los materiales más empleados en la industria de la construcción, y que durante su elaboración consume grandes cantidades de energía, emitiendo gases como el CO₂ que afectan al medio ambiente.(Mousavi & Wong, 2015)

El tipo de cemento, los agentes estabilizadores, las propiedades físicas del suelo, y la dosificación de la mezcla afectan directamente a la estabilización del suelo.

1.5.3 VENTAJAS DEL USO DEL MAMPUESTO ECOLÓGICO

- El uso de ceniza de cáscara de arroz permite reducir la cantidad de cemento en la fabricación del mampuesto ecológico debido a sus propiedades puzolánicas ya que contiene gran cantidad de sílice (SiO₂), actuando como el clinker en el cemento.
- Menor contaminación al medio ambiente durante su proceso de fabricación debido a que no requiere de cocción para su elaboración.
- La cáscara de arroz proporciona una mejora en las características estructurales del mampuesto; mientras que la ceniza en las características mecánicas del suelo, aumentando su resistencia.
- El tamaño de la partícula de la ceniza es tan pequeño que permite llenar los espacios vacíos entre las partículas del cemento proporcionando una mayor resistencia a la mezcla.

- El uso de los residuos del cultivo de arroz como componentes esenciales para la elaboración del mampuesto garantiza la sostenibilidad del material, fomentando el reciclaje de desechos orgánicos y promoviendo nuevas técnicas constructivas.
- Los componentes ecológicos del mampuesto son de fácil obtención, sobre todo en zonas destinadas al cultivo de producción de arroz, por lo cual el costo de este material es considerablemente bajo.

CAPÍTULO 2.- MAMPOSTERIA

2.1 MAMPOSTERIA CONVENCIONAL

2.1.1 LADRILLOS

El ladrillo es un mampuesto reconocido a nivel mundial, que por varios años se ha mantenido en el mercado. La mayor parte de los ladrillos son producidos a base de arcilla y en la antigüedad han sido fabricados por negocios pequeños mediante métodos sencillos. Sin embargo, los avances tecnológicos han hecho que las plantas de ladrillo contemporáneo sean mucho más eficientes y hayan mejorado la calidad general de los productos. (The Brick Industry Association, 2006)

La arcilla es uno de los materiales minerales naturales más abundantes en la tierra y el principal componente para la fabricación de los ladrillos. Para su elaboración, la arcilla debe poseer algunas propiedades y características específicas. Una característica importante es tener una plasticidad adecuada, lo que les permite ser moldeadas en su mezcla con agua y, además, deben tener suficiente resistencia para mantener su forma después de su fabricación. (The Brick Industry Association, 2006)

Existen principalmente dos métodos para la fabricación de ladrillos en donde adquieren su forma, tamaño y resistencia. Una de estos métodos es mediante extrusión, que brinda la resistencia del material mediante la cocción a altas temperaturas y el último es a través del moldeado donde el ladrillo adquiere su resistencia en los días de curado (no requiere de cocción). (The Brick Industry Association, 2006)

2.1.1.1 Ladrillos cocidos

El ladrillo cocido está hecho a base de arcilla, el mismo que es moldeado, secado y cocido en un producto cerámico duradero. El proceso de cocción en la fabricación de ladrillos es la

parte esencial en la elaboración de este material ya que modifica sus propiedades físicas y mecánicas. El color, apariencia y resistencia es alterada mediante este proceso. Cuando los ladrillos son sometidos a temperaturas apropiadas, las partículas de arcilla fusionan lo que provoca un aumento considerable a la resistencia. Además, el ladrillo logra su color a través de los minerales en el fuego, esto proporciona un color duradero que no se desvanece o disminuye con el tiempo. (Kadir & Mohajerani, 2013).

El proceso de fabricación de ladrillos cocidos tiene seis fases:

- Extracción, almacenamiento y preparación de materiales,
- Moldeo del ladrillo,
- Secado,
- Cocción y enfriamiento,
- Almacenamiento de productos terminados

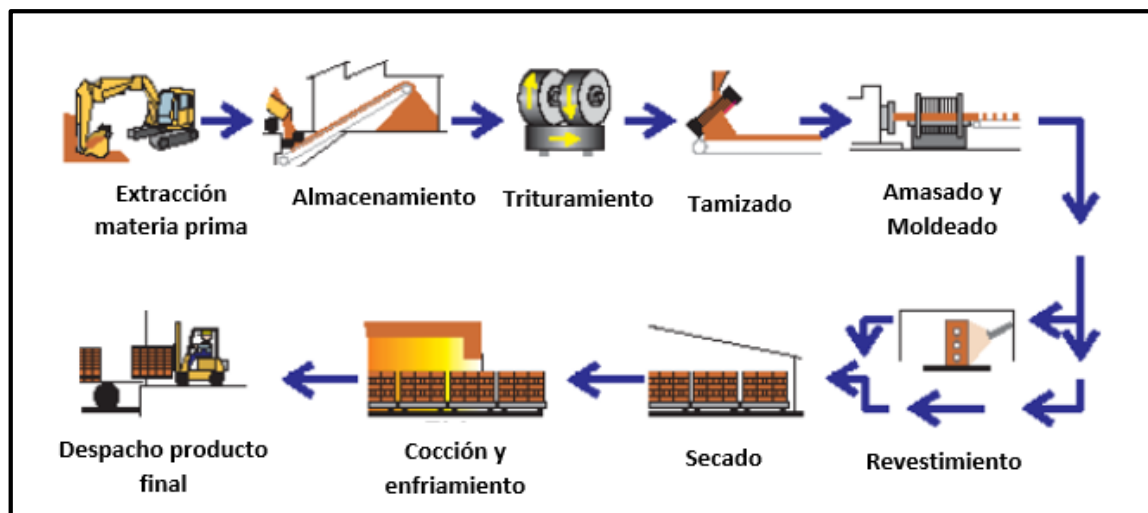


Figura 3: Proceso de fabricación de ladrillos. (The Brick Industry Association, 2006)

Extracción, almacenamiento y preparación de materiales

La mayor parte de las arcillas se extraen de pozos abiertos con maquinaria pesada para lograr la obtención de grandes cantidades del material requeridas para muchos días de operación de la planta de fabricación de ladrillos. Posteriormente, la arcilla es transportada a varias áreas de almacenamiento lo que facilita la mezcla de las arcillas. Previo a la mezcla de la arcilla, se deben romper grandes grumos y piedras presentes en el material mediante máquinas de reducción de tamaño. Por lo general, el material se procesa a través de pantallas vibratorias inclinadas para controlar el tamaño de partícula. Seguidamente, se realiza la mezcla que produce material más uniforme, ayuda a controlar el color y permite el control de la materia prima para la fabricación del ladrillo. (The Brick Industry Association, 2006)

Moldeo del ladrillo

Lo primero que se debe hacer para la formación de un ladrillo es generar una mezcla homogénea plástica mediante la adición de agua en la arcilla. Esta mezcla es realizada en un molino que cuenta con 1 o más ejes giratorios con extensiones de cuchillas.

Después de la mezcla del 15- 20% de agua en la arcilla, se realiza la desaireación, fase en el cual, la arcilla pasa a través de una cámara de reducción de vacíos. Este proceso elimina los agujeros de aire y las burbujas, lo que aumenta la trabajabilidad y la plasticidad de la arcilla, obteniendo como resultado una mayor resistencia. Finalmente, la arcilla pasa por la máquina extrusora que genera columnas de arcilla sólida a las cuales se les aplica la textura y forma del ladrillo. Un cortador automático rebana a través de la columna de arcilla para crear el ladrillo individual. (The Brick Industry Association, 2006)

Secado

Del proceso de extrusión los ladrillos presentan una humedad entre el 7% y 30% razón por la cual necesitan del proceso de secado previa la cocción del mismo. La mayor parte de esta humedad se evapora en cámaras secadoras a temperaturas que varían entre 100 ° F y 400 ° F (38 ° C a 204 ° C). El grado de tiempo de secado, que varía con diferentes arcillas, generalmente es entre 24 a 48 horas. En todos los casos, el calor y la humedad deben regularse cuidadosamente para evitar que se agriete en el ladrillo.(The Brick Industry Association, 2006)

Cocción y enfriamiento

Los ladrillos son sometidos al proceso de cocción entre 10 y 40 horas, dependiendo del tipo de horno y otras variables. Hay varios tipos de hornos usados por los fabricantes. El tipo más común es un horno de túnel, seguido de hornos periódicos. El combustible puede ser gas natural, carbón, gas o una combinación de estos combustibles. En un horno de túnel los ladrillos son cargados en los coches del horno, que pasan a través de varias zonas de temperatura a medida que viajan a través del túnel. Las condiciones de calor en cada zona se controlan cuidadosamente, y el horno se opera continuamente.

Las temperaturas en cada etapa de la cocción son variadas, el secado tiene lugar a temperaturas de hasta 204 ° C, deshidratación de aproximadamente 149 °C a 982 °C, oxidación de 538 °C a 982 °C y vitrificación 871 °C a 1316 °C. La vitrificación es una de las etapas más importantes ya que permite que la arcilla se convierta en una masa dura y sólida con una absorción relativamente baja por lo cual, la clave al proceso de cocción es controlar

la temperatura en el horno para que se produzca una fusión incipiente y una vitrificación parcial, pero se evita la fusión viscosa.(The Brick Industry Association, 2006)

Una vez que la temperatura ha alcanzado su punto máximo y se mantiene durante un tiempo preestablecido, comienza el proceso de enfriamiento. El tiempo de enfriamiento es de máximo 10 horas para hornos de túnel y de 5 a 24 horas en hornos periódicos. El enfriamiento es una etapa importante en la fabricación de ladrillos porque la velocidad de enfriamiento tiene un efecto directo sobre el color.(The Brick Industry Association, 2006)

Almacenamiento de productos terminados

Los ladrillos son clasificados y empaquetados según su tamaño y textura. Luego, se colocan en un patio de almacenamiento o se cargan en camiones para su entrega. La mayoría de los ladrillos de hoy en día están empaquetados en cubos atados que se pueden descomponer en paquetes atados individualmente para facilitar su manejo en el lugar de trabajo.

2.1.1.2 Ladrillos sin cocción

Con el aumento de las emisiones de dióxido de carbono, el calentamiento global y el cambio climático, surge la necesidad de nuevos estudios en relación a mejores prácticas con respecto al desarrollo de nuevos productos de construcción. Existen nuevas investigaciones sobre materiales no cementicios para el desarrollo sostenible de la construcción las mismas que se enfocan en el ahorro de energía, y reducción de emisiones de CO₂.

Uno de estos materiales es el ladrillo de arcilla no cocido, el cual tiene como objetivo reducir el uso de energía mediante una construcción más eficiente. Los ladrillos de arcilla no cocidos son extremadamente bajos en energía incorporada, proporciona masa térmica, un buen aislamiento acústico, se colocan de la misma manera que el ladrillo y requieren menos mano

de obra que los ladrillos de extrusión. Sin embargo, existieron varios problemas en el uso de este tipo de ladrillos, uno de ellos fue la falta de familiaridad de los contratistas con la naturaleza del producto, su consistencia no duradera y la necesidad de protección contra el clima húmedo hacían de este un material a prueba. A pesar de que tomo tiempo aprender estas nuevas prácticas en proyectos, al final se obtuvo buenos resultados, el ladrillo resultó ser fuerte y estable y no únicamente un producto ambientalmente sostenible sino también logró reducir costos en la construcción. Los resultados sugieren que existe la posibilidad de usar este tipo de ladrillos de arcilla no cocidos como materiales de baja y media construcción en paredes de mampostería.(Sutton, Black, & Walker, 2011)

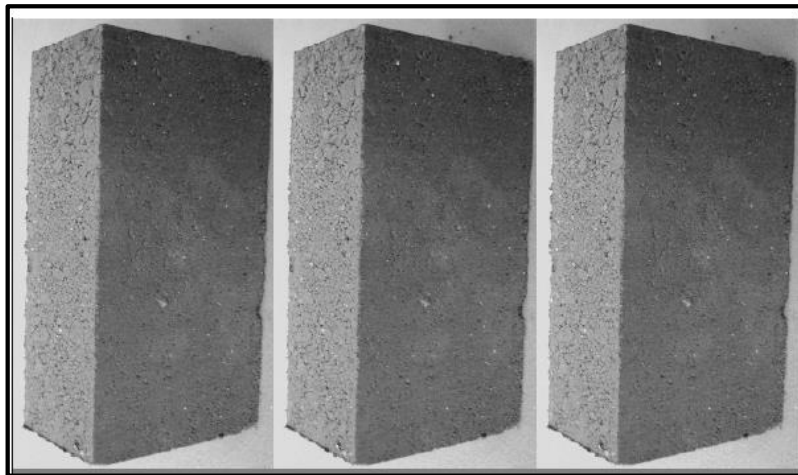


Figura 4: Ladrillos sin cocción. (Thomas, Lombardi, Hunt, & Gaterell, 2009)

Comparado con muchos productos alternativos, la mampostería de arcilla no cocida es un material de construcción de bajo impacto. Sus propiedades básicas lo convierten en un material relativamente robusto y resistente al fuego, con los beneficios de la masa térmica y la capacidad de moderar los niveles de humedad interna. Sin embargo, no es resistente a la exposición prolongada al agua y normalmente debe estar protegida de la lluvia.(Sutton et al., 2011)

El proceso de fabricación de los ladrillos de arcilla no cocida es similar al de los ladrillos cocidos omitiendo el proceso de cocción. Se extrae la materia prima (arcilla), es almacenada en la cantidad que requiera la fábrica para el proceso, se humedece el material generalmente al 10- y 13%, seguidamente se somete al proceso de extrusión o compactación según su tipo de fabricación mediante el cual adquiere la forma y se le da el moldeo del material. Algunos fabricantes de ladrillos tradicionales producen ladrillos de arcilla sin cocer, y su uso de máquinas de extrusión de ladrillos cocidos provoca el sobredimensionamiento típico de los ladrillos de arcilla sin cocer: el proceso de cocción de los ladrillos estándar produce una leve contracción no presente en las versiones sin cocer. (Brick, Borer, & Architects, 2011)

2.1.2 BLOQUES

Los bloques, también conocidos como unidades de mampostería de concreto, se han convertido un material indispensable en la industria de la construcción. El desarrollo tecnológico en la fabricación y utilización de este material ha aumentado su uso en las últimas décadas. Varias investigaciones han demostrado que las paredes de mampostería de bloque, correctamente diseñadas y construidas, satisfacen una variedad de requisitos de construcción que incluyen resistencia al fuego, durabilidad, estética y acústica.(Mineral Products Association, 2013)

Los bloques de concreto se han dividido tradicionalmente en tres tipos:

- Bloques sólidos
- Bloques celulares (con cavidades)
- Bloques huecos



Figura 5:Tipos de bloques.(Mineral Products Association, 2013)

Los materiales que se requieren para la fabricación de bloques son esencialmente: cemento, agregados (fino, grueso) y agua para realizar la dosificación. Puede utilizarse cualquier cemento hidráulico para uso general en la construcción, sin embargo, se debe prestar atención a la resistencia que proporcione este elemento. Los agregados para bloques constituyen un importante componente de los mismos ya que consisten en un 85% a 90% de la unidad. Deben tener la posibilidad de aglutinarse por medio del cemento hidráulico para formar un cuerpo sólido, por lo que es muy importante su limpieza y durabilidad. (Contreras, 2013)

Proceso de fabricación

Existen varias modalidades para la fabricación de bloques, sin embargo, las etapas son las mismas y se describen a continuación:

Selección y almacenamiento de materiales:

La selección y uniformidad de los materiales es esencial en el proceso por lo cual, se debe buscar proveedores que aseguren un suministro constante en volumen y procedencia de los materiales para garantizar la mezcla.

Dosificación de la mezcla:

La dosificación debe ser tal que pueda obtenerse un bloque con las características siguientes:

- Cohesión en estado fresco para ser desmoldados y transportados sin que se deformen o dañen.
- Máxima compactación para que su absorción sea mínima.
- Resistencia esperada según uso y acabado superficial deseado.
- Acabado superficial deseado. (Contreras, 2013)

Elaboración de la mezcla:

Se vierte el agregado grueso junto con las tres cuartas partes de agua en una mezcladora, se lo mezcla por treinta segundos, posteriormente se le añade la totalidad del cemento y finalmente se agrega el resto de agua y arena para que la mezcla se haya completado.

Elaboración de bloques:

Se vierte la mezcla en moldes limpios y buen estado, llenando las tres cuartas partes de su capacidad total. Se aplica la vibración al molde por un promedio de tres segundos para acomodar la mezcla. Se vuelve a llenar el molde hasta el ras y se quitan los excesos. Se voltea el molde de modo que la bandeja quede debajo, y se bajan los martillos compactadores antes de aplicar la vibración para que la mezcla se compacte suficiente.(Contreras, 2013)

Fraguado de los bloques

Los bloques recién fabricados deben permanecer quietos en un lugar que les garantice protección del sol y del viento, con la finalidad de que puedan fraguar sin secarse. Las tablas deben colocarse en el piso y dejarse fraguar hasta que lleguen a una resistencia suficiente para ser manipulados (entre 12 y 24 horas).(Contreras, 2013)

Curado de los bloques:

El curado consiste en mantener los bloques, durante los primeros siete días por lo menos, en condiciones de humedad y temperatura; necesarias para que se desarrolle la resistencia y otras propiedades deseadas. Una manera de curarlos es introducirlos al cuarto de curado que tiene una humedad de 17°C.(Contreras, 2013)

2.2 MAMPOSTERIA ECOLÓGICA

2.2.1 DESCRIPCIÓN DE MATERIALES

Los materiales empleados para la fabricación del mampuesto ecológico fueron obtenidos de lugares ubicados cerca del Distrito Metropolitano de Quito por facilidad de transporte, ahorro económico y mayor accesibilidad al sitio. Cada uno de los componentes del mampuesto se caracterizaron mediante ensayos normados en el laboratorio de suelos de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Previo al diseño del mampuesto ecológico en el cual se busca identificar los contenidos óptimos para la mezcla de suelo, cemento, ceniza de cáscara de arroz y cáscara de arroz, es necesario determinar sus características en estado natural. Por lo tanto, se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio para cada uno de los componentes del nuevo mampuesto.

2.2.1.1 Suelo

El suelo empleado para la preparación del mampuesto ecológico es una arcilla de color amarillo de baja plasticidad. Este tipo de suelo se usa generalmente para la fabricación de ladrillos tradicionales cocidos.



Figura 6: Depósito de arcilla ubicado en Calacalí.

La arcilla se la obtuvo de un depósito de material ubicado en Calacalí cerca de una fabricada de ladrillos. Este material procede de minas ubicadas en Pacto, en la provincia de Pichincha.

Las arcillas generalmente poseen propiedades de ingeniería poco satisfactorias. Es un tipo de suelo que posee baja resistencia al esfuerzo cortante, más aún si adquieren humedad. Pueden ser plásticas y compresibles; al presentar mayor absorción de agua generalmente se expanden y al secarse se contraen. (Brooks, 2009)

Los minerales que poseen las arcillas generalmente son silicatos de tamaño menor a dos micras. Es un suelo de fácil adquisición, se encuentran formando rocas llamadas esquistos y es uno de los componentes principales en la mayoría de rocas sedimentarias. El pequeño tamaño de sus partículas genera en las arcillas unas propiedades especiales, como la plasticidad al estar en estado húmedo, comportamiento de hinchamiento y baja permeabilidad. (Comba, 1995)

Para determinar las diferentes propiedades físicas del suelo se realizaron los siguientes ensayos:

a) Contenido de humedad

Este ensayo está basado en la Norma ASTM D2216-10: test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) content of Soil and Rock.

El contenido de humedad del suelo es un indicador necesario en varios análisis de laboratorio, el cual expresa la cantidad de agua libre, capilar e higroscópica presente en el suelo. Dicho contenido de humedad se obtiene de la relación de la masa de muestra de suelo húmeda respecto a la masa de muestra de suelo después de haber sido secada en un horno a 110°C de temperatura por 24 horas. Es importante la realización de este ensayo debido a que se puede definir el comportamiento de los suelos, en especial de los finos, como por ejemplo cambios en su volumen, cohesión y estabilidad mecánica. (Echeverri, Medina, Restrepo, & Urrego, 2016)

RESULTADOS

N° de Muestra	Peso Cápsula (gr)	Peso Cap. + Suelo Húmedo (gr)	Peso Cap. + Suelo Seco (gr)	% Humedad	% Humedad Promedio
1	18,25	79,70	76,69	5,15	5,21
2	17,90	78,95	75,89	5,28	

Tabla 2: Contenido de humedad del suelo.

b) Granulometría

Este ensayo está basado en la Norma ASTM 6913M Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis.

El propósito de este ensayo es obtener la distribución por tamaño de partículas en la muestra de suelo a ser ensayado. En el método a utilizarse se divide la distribución tanto para finos como para gruesos. Para la distribución de finos, partículas que miden 0,1mm

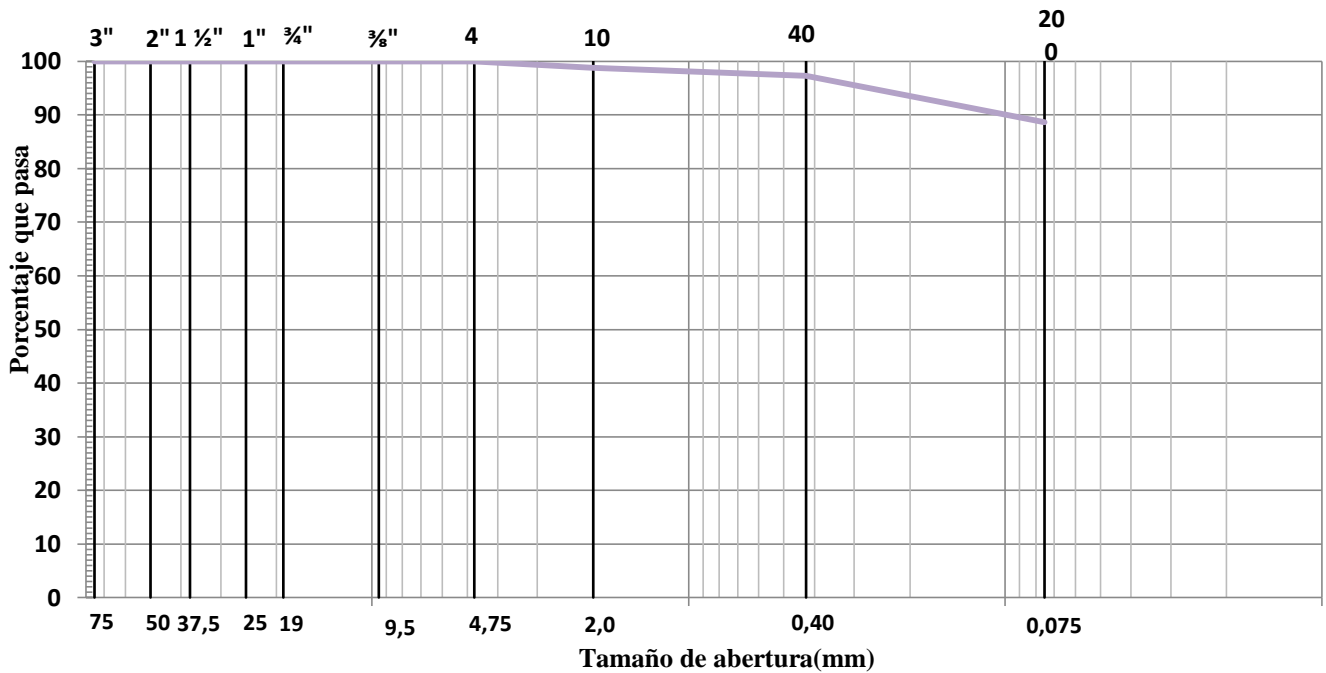
o menores, se realiza mediante lavado, secado y tamizado de la muestra de suelo. Para partículas gruesas, se emplean tamices normalizados y numerados, dispuestos en orden decreciente que van desde 10.16 cm (4") hasta 0.074 mm (Tamiz N° 200). La granulometría es indispensable para obtener la clasificación de suelos mediante sistemas como AASTHO o SUCS. (Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 1976)

RESULTADOS

Tamiz N°	Abertura (mm)	Porcentaje Retenido	% que pasa
3"	75,00	0,00	100,00
2"	50,00	0,00	100,00
1 1/2"	37,50	0,00	100,00
1"	25,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	0,00	100,00
4	4,75	0,00	100,00
10	2,00	1,26	98,74
40	0,43	2,72	97,28
200	0,08	11,34	88,66

Tabla 3: Granulometría del suelo.

CURVA GRANULOMÉTRICA SUELO



Gráfica 1: Curva Granulométrica del Suelo

c) Granulometría por hidrómetro

La norma que rige este ensayo es la ASTM D 422—63 (2007) Test Method for Particle-size Analysis of Soil..

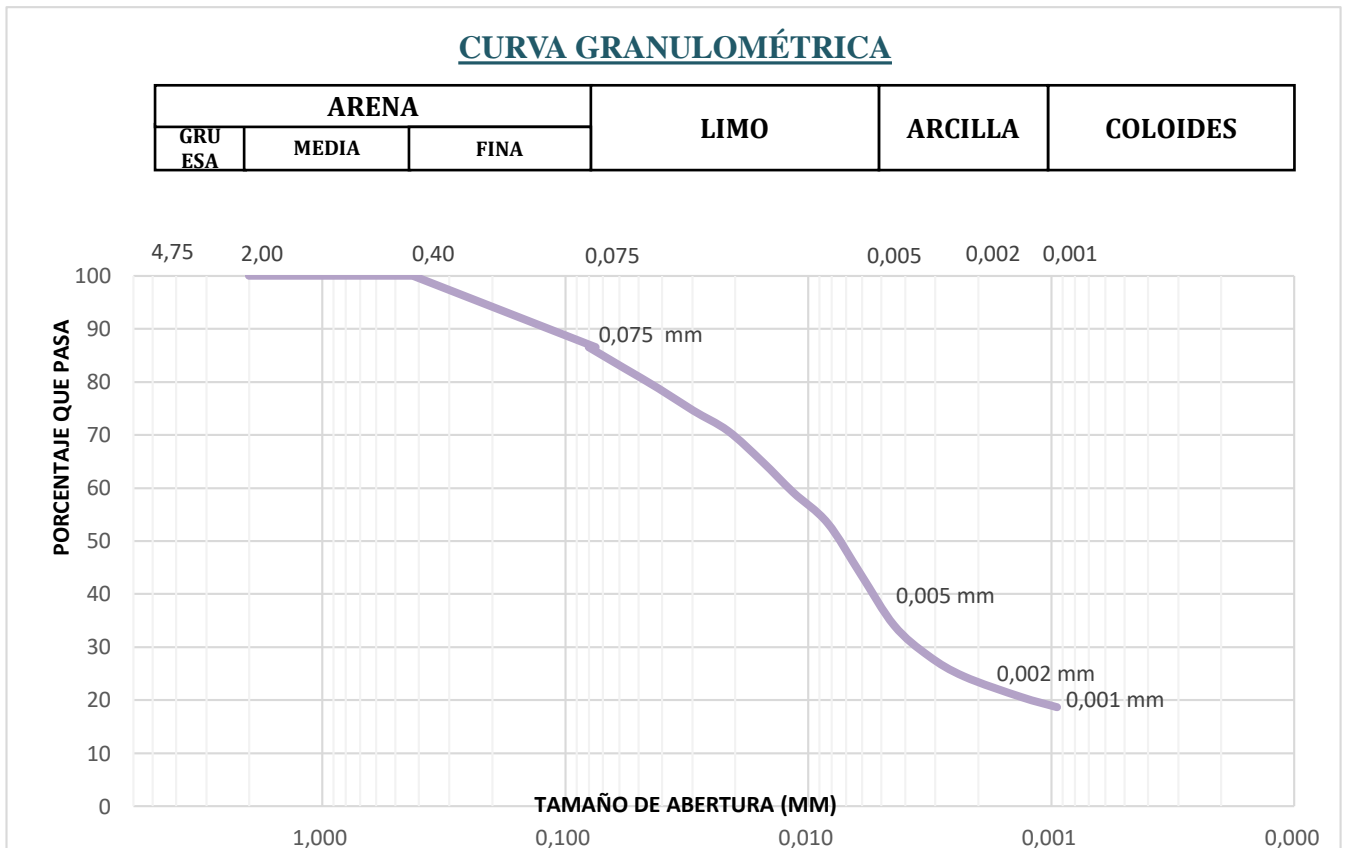
El análisis hidrométrico se basa en la Ley de Stokes, o también conocido como sedimentación, la misma que relaciona la velocidad de una masa en caída libre a través de un fluido. Por tanto, se puede asumir que dicha ley es viable para su uso en suelos dispersos con partículas de varias formas y tamaños. El hidrómetro es el instrumento usado para la ejecución de este ensayo, el mismo que nos ayuda a definir el porcentaje de partículas de suelos dispersos, que permanecen en suspensión en un determinado tiempo. El análisis hidrométrico es de gran utilidad para la clasificación de suelos finos ya que se aplica para

muestras de suelos que posean partículas que pasan el tamiz de 2.00 mm (No.10) y cuando se quiere más precisión, el análisis con hidrómetro se debe realizar a la fracción de suelo que pase el tamiz de 75 µm (No.200).(INV E-124, 2013)

RESULTADOS

Tamaño Partícula	% Partículas Menores	Tipo De Suelo
0,075 Mm	85,8%	Limo
0,005 Mm	37,8%	Limo
0,002 Mm	23,5%	Arcilla
0,001 Mm	19,0%	Arcilla

Tabla 4: Porcentajes de Arcilla y Limo según granulometría por hidrómetro.



Gráfica 2: Granulometría por hidrómetro del suelo.

d) Límites de atterberg

El ensayo esta basado en la Norma ASTM D4318-10: Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of soil.

Este ensayo de límites se los realiza especialmente a suelos cohesivos, es decir, suelos que puedan presentar variaciones de estados como sólido, semi-sólido, plástico o semi-líquido. Existen valores límites de contenido de agua o humedad que es lo que genera el cambio de estados en el suelo, y la metodología para medir dichos límites se los conoce como límites de Atterberg. Este método marca una separación arbitraria entre cada estado mencionado anteriormente la cual nos permite conocer la naturaleza del suelo. (Sánchez, 2014)

Límite Líquido (LL)



Figura 7: Límite líquido.

El límite líquido es el contenido de humedad que define dónde cambia el suelo de un estado plástico a un estado fluido viscoso. La manera de obtener el valor de este límite es realizando el ensayo en la copa de Casagrande. Una vez tamizado el material por el tamiz N°40 se procede a mezclar el material con una determinada cantidad de agua y se lo coloca en la copa de Casagrande, con la ayuda de un acanalador se realiza una abertura de 2mm de ancho, se repite el procedimiento aumentando gradualmente la cantidad de

agua, el ensayo concluye cuando con 25 golpes de la cuchara de Casagrande se logra cerrar la mencionada abertura. (Krishna, 2002)

Límite Plástico LP

El límite de plástico es el contenido de humedad que define dónde cambia el suelo de un estado semisólido a uno plástico (flexible). Para conseguir este valor se debe mezclar al suelo con poca agua, y en la palma de la mano formar rollitos de un diámetro de 3mm y una longitud de 25 a 30 mm, una vez que los mencionados rollitos se empiezan a fisurar se obtiene su humedad y ese el límite plástico de la muestra de suelo. (Krishna, 2002)

Al obtener el límite líquido y el límite plástico con los ensayos mencionados anteriormente se puede definir el Índice de plasticidad IP ($IP=LL-LP$), el cual representa un rango de humedades para pasar del estado semisólido al semilíquido.



Figura 8: Límite plástico.

RESULTADOS

Límite Plástico

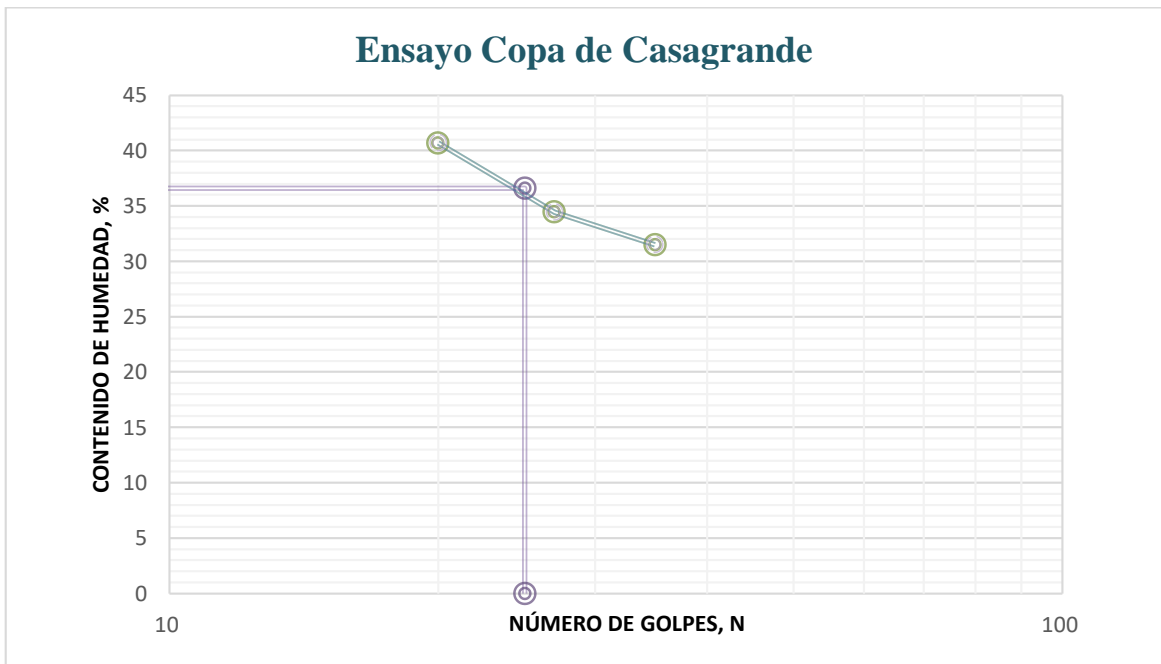
N° Muestra	Peso Cápsula (gr)	Peso Cap. + Suelo Húmedo (gr)	Peso Cap. + Suelo Seco (gr)	% Humedad	Límite Plástico (LP)
1	6,14	11,98	10,84	24,26	24,06
2	9,36	15,07	13,97		

Tabla 5: Límite plástico del suelo.

Límite Líquido

N° Muestra	N° de Golpes	Peso Cápsula (gr)	Peso Cap. + Suelo Húmedo (gr)	Peso Cap. + Suelo Seco (gr)	% Humedad	Límite Líquido
1	35	8,67	24,49	20,70	31,50	37,02
2	27	6,25	23,93	19,40	34,45	
3	20	6,23	24,42	19,16	40,68	

Tabla 6: Límite líquido del suelo.



Gráfica 3: Límite líquido del suelo.

e) Gravedad específica

El ensayo se realizó basado en la Norma ASTM D854-10: Standard Test Method for Specific Gravity of Soil Solid by water Pycnometer.

Para este estudio se realizó el ensayo del picnómetro debido a que nuestro suelo únicamente cuenta con partículas menores al tamiz N° 4 que son válidas para este tipo de ensayo. Cuando el suelo contiene partículas superiores al tamiz N° 4(4,75mm) la norma a emplearse es la C127 que se utilizará para los sólidos del suelo retenidos en el tamiz de 4,75 mm. (Bal- & Pycnometer, 2014)

El peso específico o también denominada gravedad específica es el cociente entre el peso al aire de las partículas sólidas y el peso del agua, considerando que se encuentren en las mismas condiciones tanto de temperatura como volumen. Es por esta razón que la muestra de suelo es sumergida en agua destilada a 4°C con respecto a la temperatura ambiente, idealmente a 25 grados, con rangos entre 15 a 30 grados. mientras el picnómetro libera los vacíos o aire dentro de la mezcla.

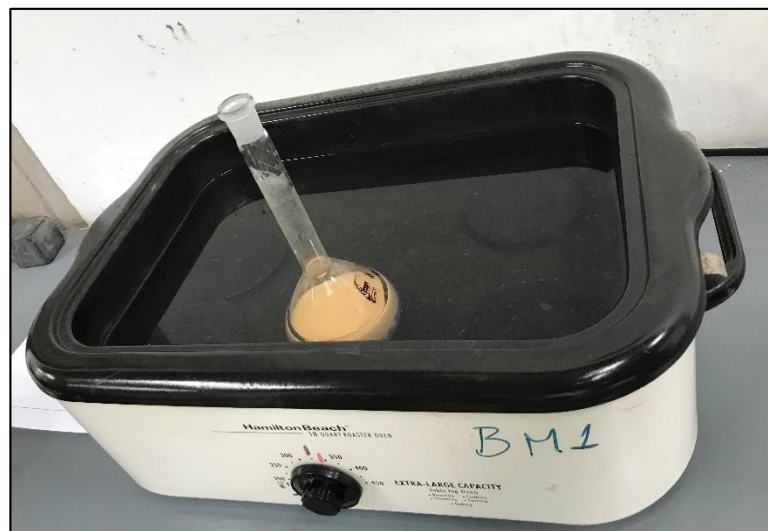


Figura 9: Matraz para ensayo de Gravedad específica de suelo en baño de agua.

RESULTADOS

Matraz N°	E4
Masa matraz + agua + suelo (gr)	688,14
Temperatura (T °C)	25,60
Masa matraz + agua (gr)	647,74
Masa suelo (gr)	62,99
Gs	2,79
Gs (20°C)	2,78

Tabla 7: Gravedad específica del suelo.

f) Clasificación del suelo

En este trabajo se ha clasificado el suelo en base a S.U.C.S. (Sistema unificado de clasificación de suelos regido a la norma Norma ASTM D2487-11).

Suelos de grano grueso, suelos de grano fino y suelos altamente orgánicos o turbas son los tres grandes grupos en los que se basa el S.U.C.S. Son considerados suelos de grano fino todo el pasante del tamiz N° 200 (0.074 mm). Los suelos de grano fino se dividen en tres grupos arcillas(C), limos inorgánicos(M) y el último en limos o arcillas orgánicas(O); estos a su vez dependen en los límites líquidos los mismos que determinan su plasticidad, pueden ser de alta plasticidad (H) o baja plasticidad (L). Los suelos de grano grueso son divididos en gravas (G) y arenas (S) según sea el porcentaje en peso que queda retenido en el tamiz N° 4. (Sánchez, 2014)

Para esta clasificación es necesario haber realizado los ensayos previamente descritos y ensayados en este trabajo como son:

- Contenido de humedad

- Límites de Atterberg
- Granulometría

RESULTADOS

HUMEDAD NATURAL (%)	
Humedad (%) :	5,21
LÍMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido, LL :	36,59
Límite Plástico, LP :	24,06
Índice de Plasticidad, IP :	12,53
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
Grava (%) :	0
Arena (%) :	11,34
Finos (%) :	88,66
S.U.C.S	
Arcilla de baja plasticidad	CL

Tabla 8: Clasificación SUCS del suelo.

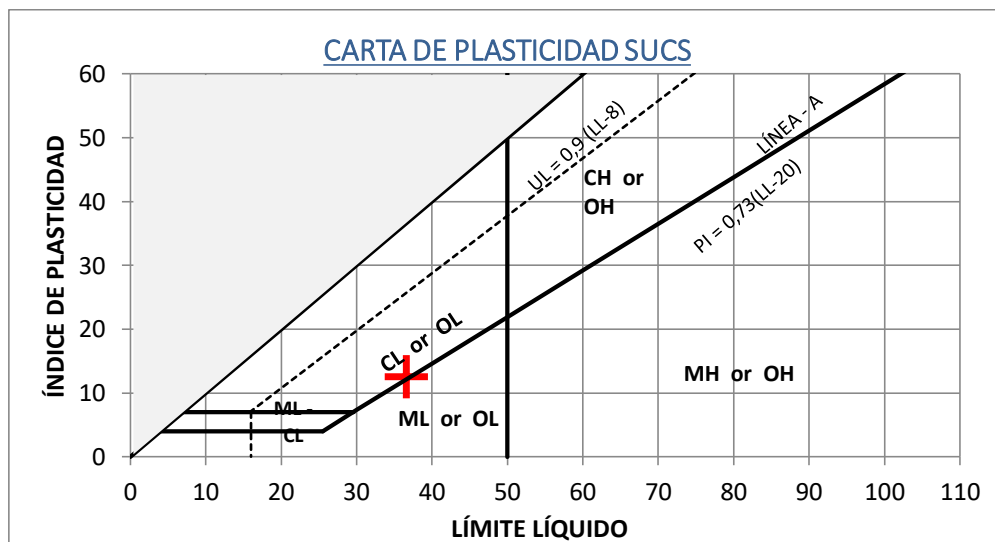


Figura 10: Carta de plasticidad SUCS.

2.2.1.2 Cemento

En la elaboración del mampuesto ecológico se empleó Cemento Portland tipo I Selva Alegre. En el laboratorio se determinó la gravedad específica del mismo mediante el ensayo normado bajo la especificación ASTM188-16.

Oxide composition (% by mass)	OPC
SiO ₂	20.99
Al ₂ O ₃	6.19
Fe ₂ O ₃	3.86
CaO	65.96
MgO	0.22
Na ₂ O ₃	0.17
K ₂ O	0.60
LOI	1.73
Specific gravity	2.94

Tabla 9: Propiedades físicas y químicas del Cemento Portland Ordinario. (Habeeb & Mahmud, 2010)

Se realizaron los siguientes ensayos para determinar las propiedades físicas del cemento portland empleado en la elaboración del mampuesto ecológico:

a) Gravedad específica cemento

El ensayo se realizó basado en la Norma ASTM D188-16: Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement.

Este método permite determinar la densidad del cemento hidráulico, su objetivo principal es el control y óptimo diseño de mezclas de hormigón. Se define a la densidad del cemento como la masa de una unidad de volumen de los sólidos. Para este ensayo se utiliza un matraz llamado Le Chatelier, el mismo que debe llenarse hasta la marca de 0-1 mL con agua y posteriormente se lo coloca en un baño de agua hasta que alcance la temperatura del mismo. Se realiza una primera lectura y se procede a colocar el cemento en el matraz, la cantidad de

cemento que se pesa para el método es de aproximadamente 64 gramos de material. A continuación, se coloca nuevamente el matraz en el baño de agua y se realiza una segunda lectura una vez que éste tenga la misma temperatura del baño.

Para determinar la gravedad específica se divide la masa del cemento para la diferencia de las lecturas del matraz. (Nacional, Calzada, & Azul, 2013)



Figura 11: Matraces Le Chatelier en baño de agua para ensayo de gravedad específica.

Masa Inicial	gr	64,173
Volumen Inicial	cm ³	0,7
Volumen Final	cm ³	22,5
Gravedad Específica		2,94

Tabla 10: Gravedad específica Cemento Portland Selva Alegre.

2.2.1.3 Cáscara De Arroz



Figura 12: Cáscara de Arroz.

La cáscara de arroz es un residuo agrícola que representa aproximadamente el 20% del total de toneladas de arroz producidas anualmente alrededor del mundo. Es un residuo que al combustionarlo para producir energía genera contaminación, por esta razón se busca utilizarlo como un material cementante complementario y brindar una solución al problema medioambiental que produce. La composición química de la cáscara de arroz depende del clima, zona y condiciones geográficas donde fue cultivado el arroz. (Habeeb & Mahmud, 2010)

Es un material que podría adicionar valor al agregarlo a una mezcla, puede ser usado en su forma natural o como ceniza una vez incinerado. Generalmente este residuo es combustionado o almacenado en amplios campos; además, es usado para la generación de energía eléctrica, como combustible para calderas o fertilizantes junto a otros residuos orgánicos.(Muthadhi, 2012)

La cáscara de arroz posee una composición química semejante a otros residuos orgánicos, contiene celulosa (40-50%), lignina (25-30%), ceniza (15-20%) y contenido de humedad (8-

15%). (Hwang and Chandra,1997) El exterior de este residuo está compuesto principalmente por sílice. (Muthadhi, 2012)

Para este proyecto se ha obtenido cáscara de arroz de un vivero ubicado en la parroquia de Pintag, sin embargo, el material proviene de cultivos de arroz localizados en Quevedo.

Con el fin de determinar las propiedades físicas de la cáscara de arroz se realizó los siguientes ensayos:

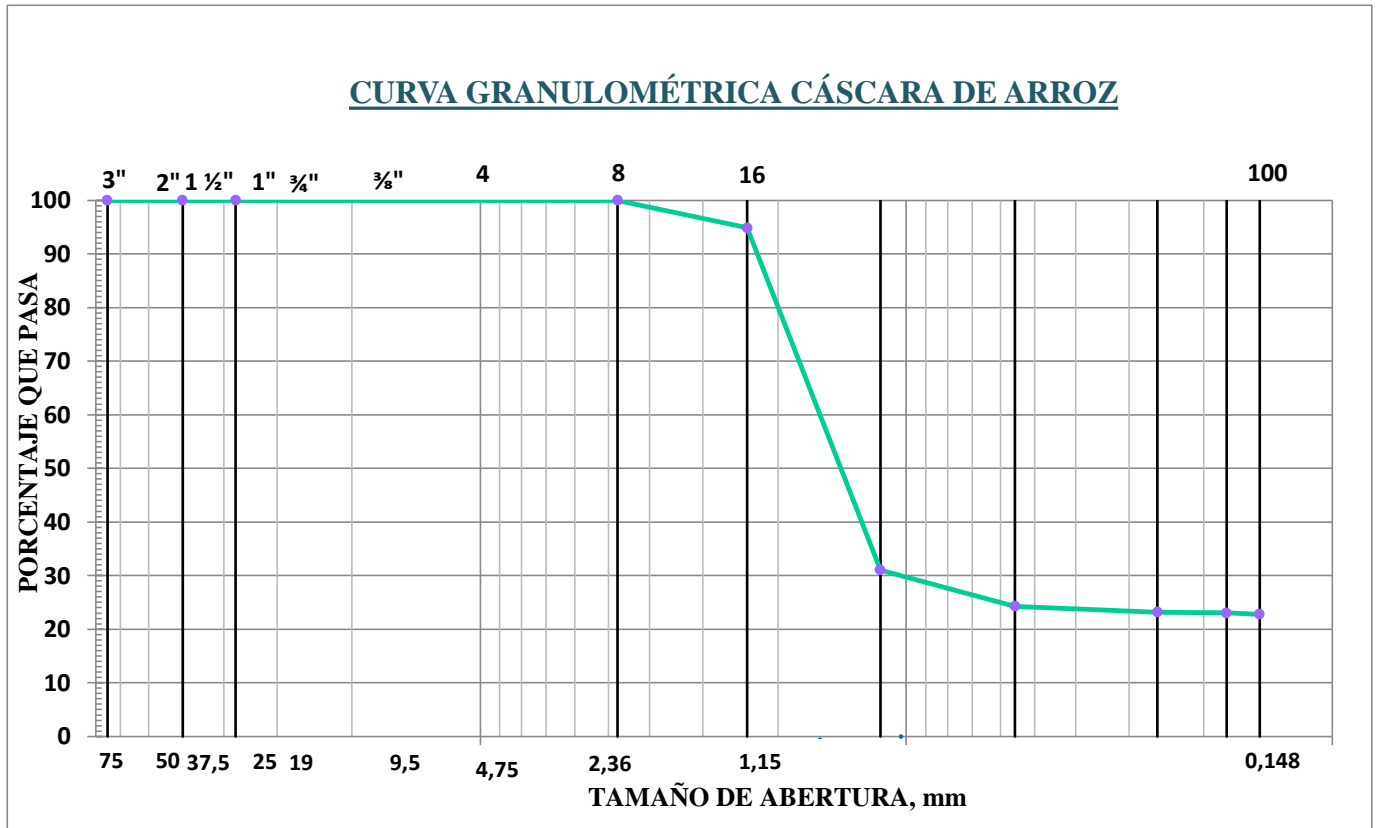
a) Granulometría



Figura 13: Material retenido en tamiz #30, ensayo de Granulometría.

Tamiz N°	Abertura (mm)	Porcentaje Retenido Acumulado	% Que Pasa
3"	75,00	0,00	100,00
2"	50,00	0,00	100,00
1 1/2"	37,50	0,00	100,00
4	4,76	0,00	100,00
8	2,36	5,12	94,88
16	1,15	68,98	31,02
30	0,56	75,71	24,29
50	0,26	76,83	23,17
80	0,18	76,98	23,02
100	0,15	77,21	22,79

Tabla 11: Granulometría de cascarilla de arroz.



Gráfica 4: Curva Granulométrica de la cáscara de arroz.

2.2.1.4 Ceniza De Cáscara De Arroz

La ceniza de la cáscara de arroz contiene el mayor porcentaje de sílice de todos los residuos de plantas. Al quemar la cáscara de arroz se obtiene sílice en un porcentaje de aproximadamente 87-97%. Este componente está presente en la ceniza de dos formas y depende de las condiciones en las que es producida.

Varios estudios han demostrado que la ceniza puede reemplazar parcialmente al cemento portland para la elaboración de concretos. (Muthadhi, 2012)

La ceniza de la cáscara de arroz para la elaboración del mampuesto ecológico se obtuvo de la combustión de la cascarilla de arroz realizada en el mismo vivero donde se adquirió. Sin embargo, es un residuo que se lo puede quemar en hornos a altas temperaturas y también se obtiene buenos resultados.

El proceso de combustión de la cáscara comprende varias horas de trabajo y técnicas especiales para conseguir resultados deseados. Para determinar las propiedades físicas de la ceniza de cáscara de arroz empleada en la fabricación del mampuesto ecológico se realizó el siguiente ensayo:

a) Gravedad específica

Para determinar la gravedad específica de la ceniza de la cáscara de arroz se empleó un procedimiento semejante al que se realiza para obtener la gravedad específica del cemento debido a la falta de normativa para este tipo de material.

En este ensayo se pesó aproximadamente 50 gramos de material (ceniza de cáscara de arroz) y se colocó en el matraz de Le Chatelier una vez que este equipo estuvo en el baño de agua y alcanzó la temperatura deseada. Se realizó una primera lectura sin material dentro del matraz y una segunda lectura después de colocarlo en el mismo.



Figura 14: Ceniza de cáscara de arroz para ensayo de gravedad específica.

Masa Inicial	gr	36,248
Volumen Inicial	cm ³	0,7
Volumen Final	cm ³	23,1
Gravedad Específica		1,62

Tabla 12: Gravedad específica Ceniza de Cáscara de arroz.

CAPÍTULO 3.- MEZCLA SUELO-CEMENTO

3.1 PROCEDIMIENTO

Para realizar la mezcla suelo - cemento y la posterior obtención y ensayos de las probetas se siguen los pasos que se describen a continuación.



Figura 15: Componentes de la mezcla suelo + cemento.

3.1.1 PREPARACIÓN DEL MATERIAL

Una vez obtenido el suelo (arcilla de baja plasticidad) del depósito de material ubicado en Calacalí, cerca de una fabricada de ladrillos, se procede a colocar el material en bandejas para su secado. El proceso de secado dura un tiempo aproximado de 24 a 48 horas, posterior a esta fase se realiza el tamizado de material por los tamices $\frac{3}{4}$ y #4, de este proceso lo que se será empleado para la realización de los siguientes ensayos será todo el material pasante del tamiz #4.



Figura 16: Suelo pasante del tamiz N°4

3.1.2 PROCTOR MODIFICADO

Este ensayo se realiza con el fin de determinar la cantidad de agua requerida para lograr la densidad máxima del material en el ensayo. El método A será usado para esta investigación el cual requiere de un molde de 4 pulgadas (101,6 mm) de diámetro con un martillo de 10 lbf (44,5 N) que cae de una altura de 18 pulgadas (457 mm), produciendo una Energía de Compactación de 56 000 lb-pie/pie³ (2 700 kN-m/m³). La compactación se realiza en 5 capas y 25 golpes con el partillo por cada una de ellas. (Sharifi et al., 2006).



Figura 17: Muestra de suelo después de realizado el ensayo proctor modificado.

3.1.3 PROBETAS SUELO- CEMENTO

Una vez obtenidos los resultados del proctor modificado (humedad óptima- densidad máxima) se realizan las probetas suelo - cemento. Este ensayo se rige a la Norma ASTM D1633 Standard Test Methods for Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders

Para la elaboración de dichas probetas se usará el Método A que muy semejante al ensayo de compactación modificada requiere de un molde de 4plg de diámetro con un martillo de 10 lbf que cae de una altura de 18 pulgadas produciendo una Energía de Compactación de 56 000 lb-pie/pie³. En lo que difiere este ensayo es la extracción de la probeta, que se la realiza mediante el uso de una gata mecánica que cuenta con una base de dimensiones similares al molde usado en el ensayo.

3.1.4 ENSAYOS DE PROBETAS

Previo a realizar el ensayo a compresión de las probetas suelo- cemento estas deben pasar por un proceso de curado, según requiera cada una y sus días de curado. Una vez finalizado este proceso las muestras son pesadas, medidas y ensayadas en la máquina de compresión de cilindros a una velocidad de 4,5 mm/min.

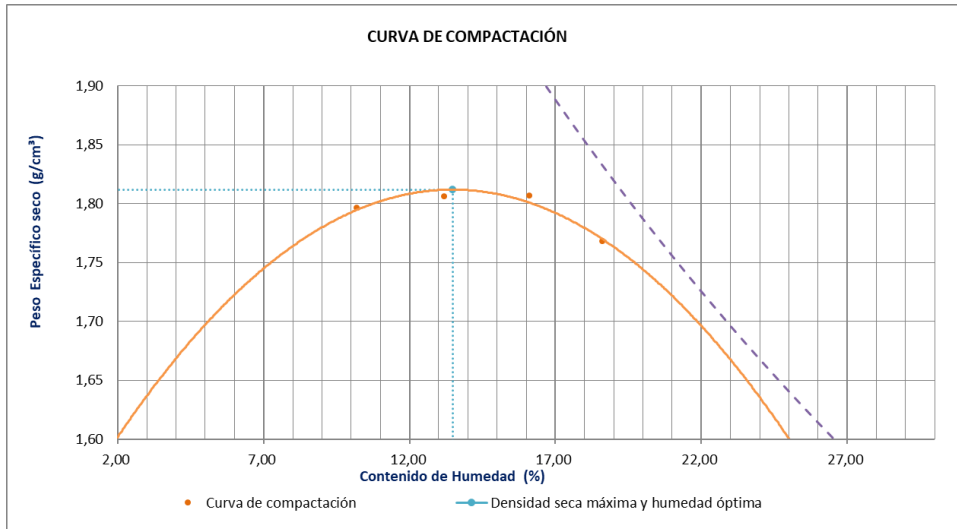


Figura 18: Probeta de suelo-cemento ensayándose a compresión simple.

3.2 PROCTOR MODIFICADO

Humedad Promedio	%	8,26	10,81	14,43	17,46	Humedad Óptima	12,60
Densidad Seca	gr/cm ³	1,806	1,859	1,852	1,792	Densidad Seca Máxima	1,865

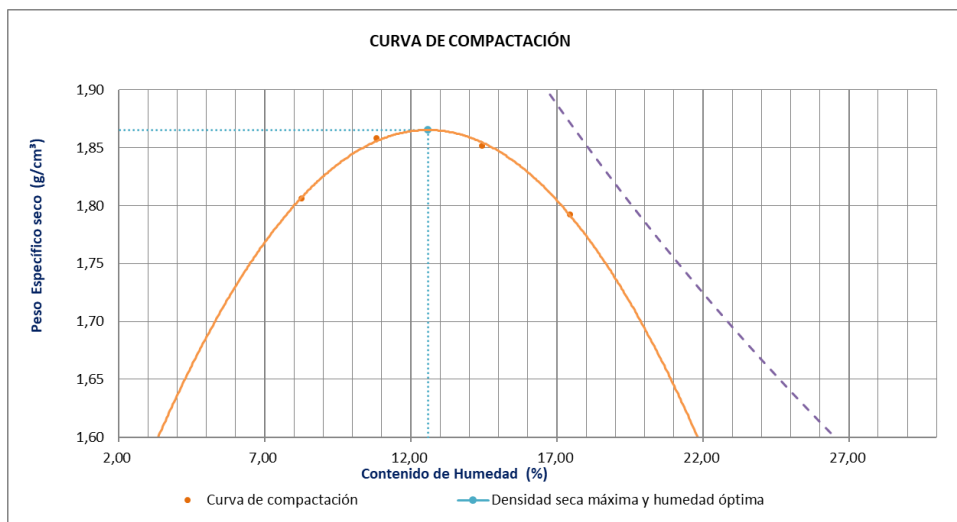
3.2.1 SUELO NATURAL



Gráfica 5: Curva de compactación Suelo natural.

3.2.2 SUELO NATURAL + 5% DE CEMENTO

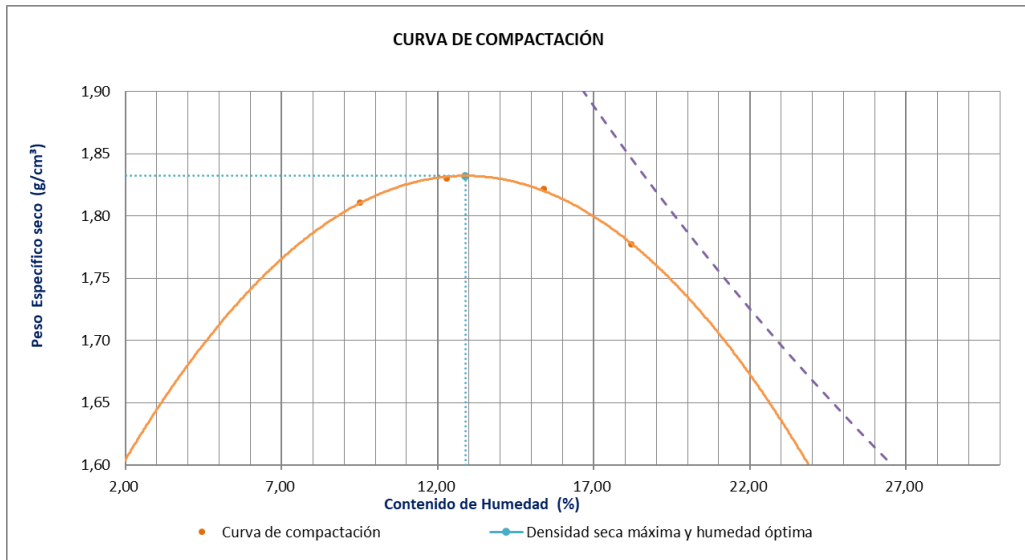
Humedad Promedio	%	9,50	12,30	15,39	18,20	Humedad Óptima	12,89
Densidad Seca	gr/cm ³	1,811	1,830	1,822	1,778	Densidad Seca Máxima	1,832



Gráfica 6: Curva de Compactación Suelo + 5% Cemento.

3.2.3 SUELO NATURAL + 10% DE CEMENTO

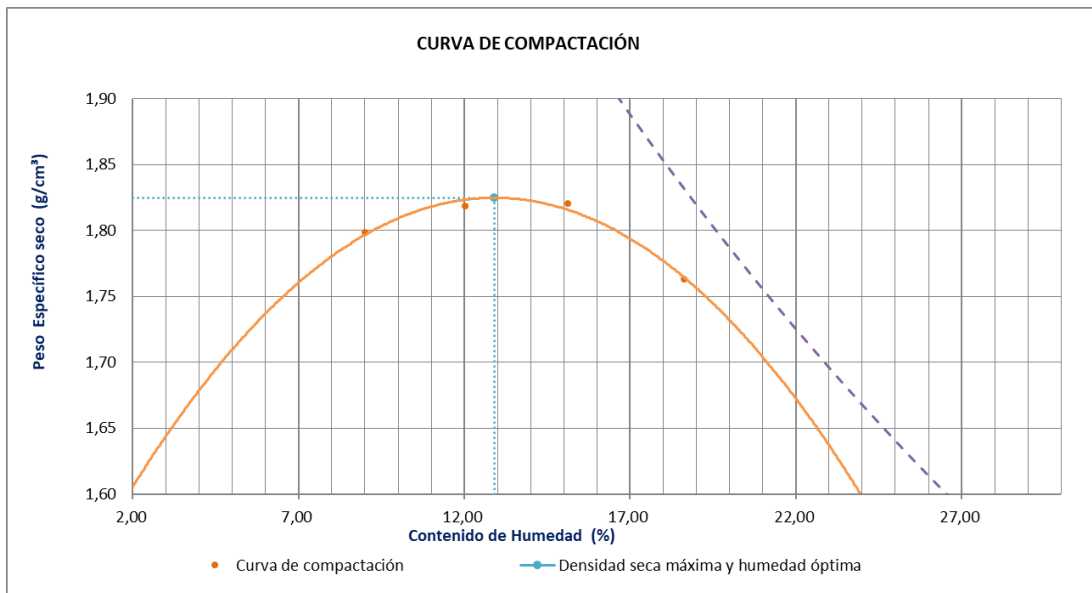
Humedad Promedio	%	9,00	12,03	15,12	18,63	Humedad Óptima	12,90
Densidad Seca	gr/cm ³	1,798	1,818	1,820	1,763	Densidad Seca Máxima	1,825



Gráfica 7: Curva de Compactación Suelo +10% Cemento.

3.2.4 SUELO NATURAL + 15% DE CEMENTO

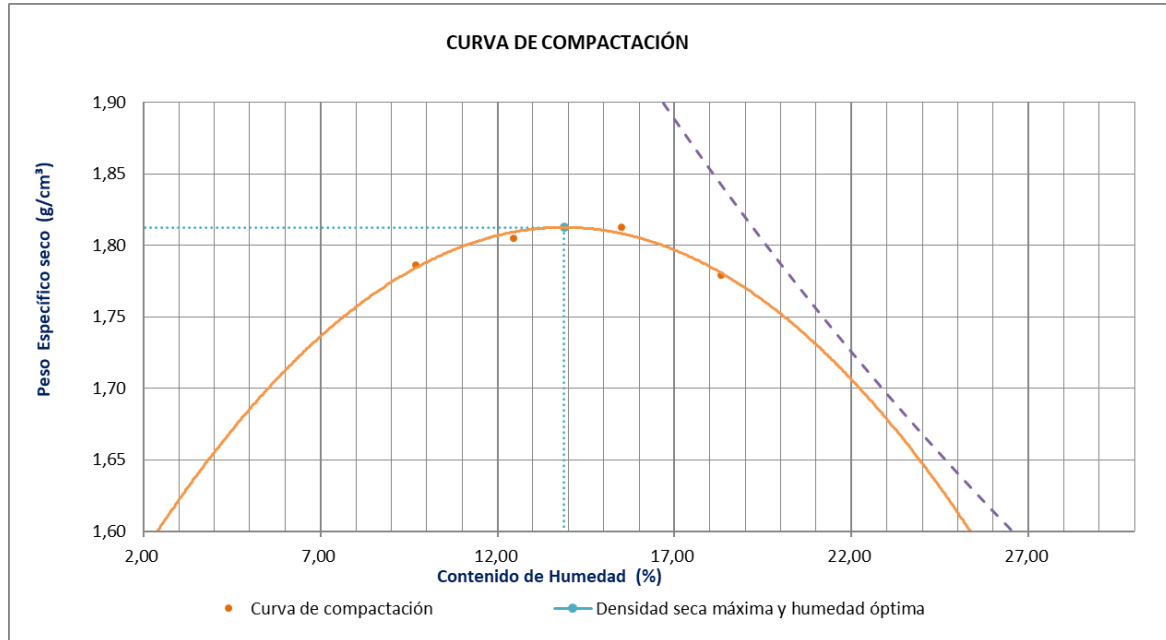
Humedad Promedio	%	10,19	13,19	16,10	18,59	Humedad Óptima	13,50
Densidad Seca	gr/cm ³	1,769	1,806	1,807	1,768	Densidad Seca Máxima	1,812



Gráfica 8: Curva de Compactación Suelo + 15% Cemento.

3.2.5 SUELO NATURAL + 20% DE CEMENTO

Humedad Promedio	%	9,70	12,44	15,50	18,32	Humedad Óptima	13,90
Densidad Seca	gr/cm ³	1,786	1,805	1,812	1,779	Densidad Seca Máxima	1,813

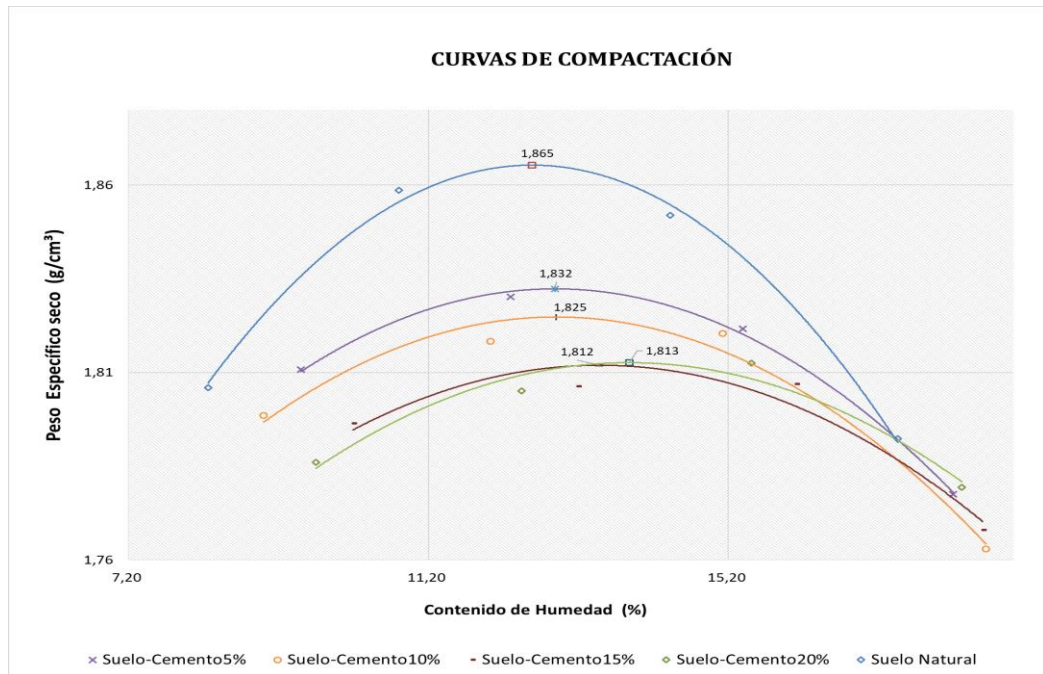


Gráfica 9: Curva de Compactación Suelo + 20% Cemento.

3.2.6 RESULTADOS

		Suelo natural	Suelo + 5% cemento	Suelo + 10% cemento	Suelo + 15% cemento	Suelo + 20% cemento
Humedad Óptima	%	12,60	12,89	12,90	13,50	13,90
Densidad Seca Máxima	gr/cm ³	1,865	1,832	1,825	1,812	1,813

Tabla 13: Resultados de humedades óptimas y densidad seca máxima de mezcla suelo + cemento.



Gráfica 10: Curvas de Compactación.

Es notable que con la adición de un mayor porcentaje de cemento la mezcla suelo- cemento requiere más agua. Además, se produce una reducción de la densidad seca máxima de la mezcla debido a que el cemento absorbe más rápidamente el agua de la mezcla dando lugar a vacíos que generan dicha reducción.

3.3 MOLDEO DE PROBETAS



Figura 19: Probetas de suelo + cemento.

3.3.1 SUELO NATURAL

Peso Probeta	gr	1929	1937	1937	1931
Volumen Molde	cm ³	928	928	928	928
Densidad	gr/cm ³	2,079	2,087	2,087	2,081
Porcentaje Compactación	%	98,98	99,39	99,39	99,09

Tabla 14: Porcentaje de compactación probetas suelo natural.

3.3.2 SUELO NATURAL + 5% DE CEMENTO

Peso Probeta	gr	1897	1917	1919	1914
Volumen Molde	cm ³	928	928	928	928
Densidad	gr/cm ³	2,044	2,066	2,068	2,063
Porcentaje Compactación	%	98,84	99,88	99,99	99,73

Tabla 15: Porcentaje de compactación probetas suelo+5% cemento.

3.3.3 SUELO NATURAL + 10% DE CEMENTO

Peso Probeta	gr	1897	1917	1919	1914
Volumen Molde	cm ³	928	928	928	928
Densidad	gr/cm ³	2,044	2,066	2,068	2,063
Porcentaje Compactación	%	98,84	99,88	99,99	99,73

Tabla 16: Porcentaje de compactación probetas suelo + 10% cemento.

3.3.4 SUELO NATURAL + 15% DE CEMENTO

Peso Probeta	gr	1895	1894	1898	1897
Volumen Molde	cm ³	928	928	928	928
Densidad	gr/cm ³	2,042	2,041	2,045	2,044
Porcentaje Compactación	%	99,29	99,24	99,45	99,40

Tabla 17: Porcentaje de compactación probetas suelo + 15% cemento.

3.3.5 SUELO NATURAL + 20% DE CEMENTO

Peso Probeta	gr	1869	1860	1890	1889
Volumen Molde	cm ³	928	928	928	928
Densidad	gr/cm ³	2,014	2,004	2,037	2,036
Porcentaje Compactación	%	97,53	97,06	98,63	98,57

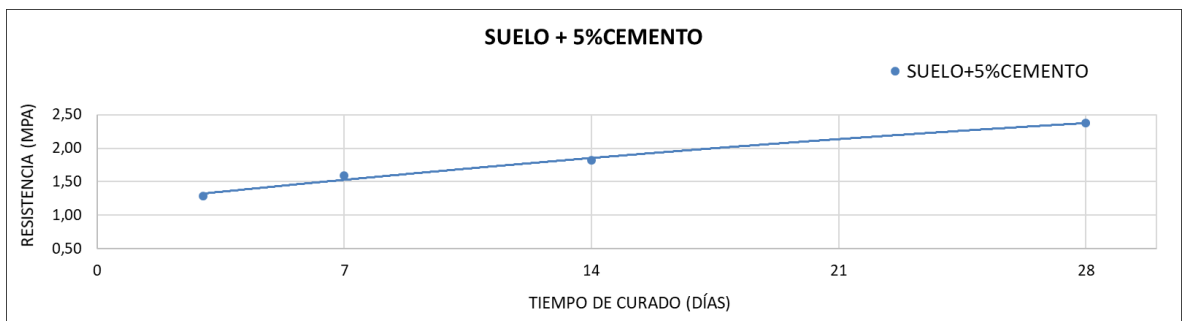
Tabla 18: Porcentaje de compactación probetas suelo + 20% cemento.

En el moldeo de probetas suelo-cemento se logró la compactación requerida para el posterior ensayo de las mismas, es decir se obtuvo probetas con una humedad óptima y densidad máxima. Los rangos en los que se encuentran las probetas compactadas varían entre un 97% y 99% lo cual es aceptable para este tipo de ensayo.

3.4 ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

3.4.1 SUELO NATURAL + 5% DE CEMENTO

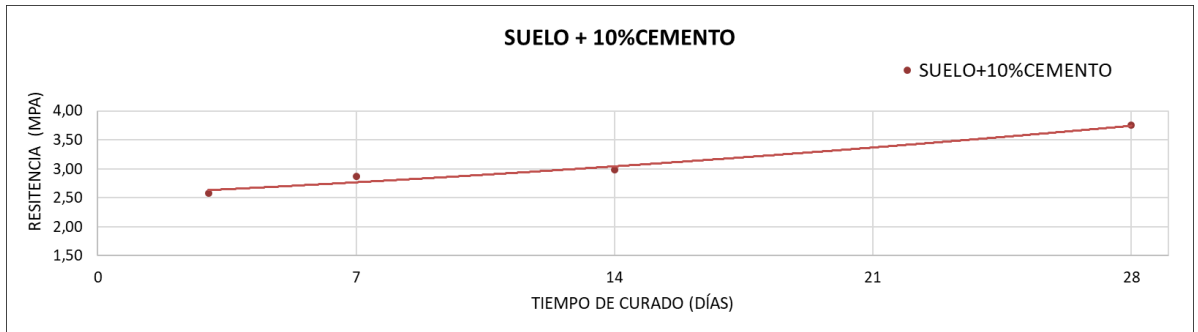
Esfuerzo Último (Mpa)	1,287	1,597	1,817	2,380
Tiempo (Días)	3	7	14	28



Gráfica 11: Resistencia a la Compresión Simple Suelo+5% Cemento.

3.4.2 SUELO NATURAL + 10% DE CEMENTO

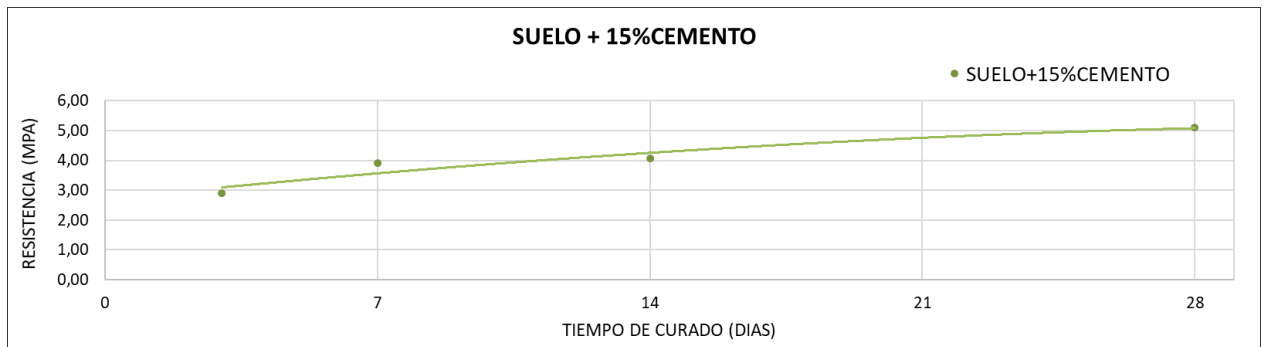
Esfuerzo Último (Mpa)	2,578	2,870	2,987	3,751
Tiempo (Días)	3	7	14	28



Gráfica 12: Resistencia a la Compresión Simple Suelo+10% Cemento.

3.4.3 SUELO NATURAL + 15% DE CEMENTO

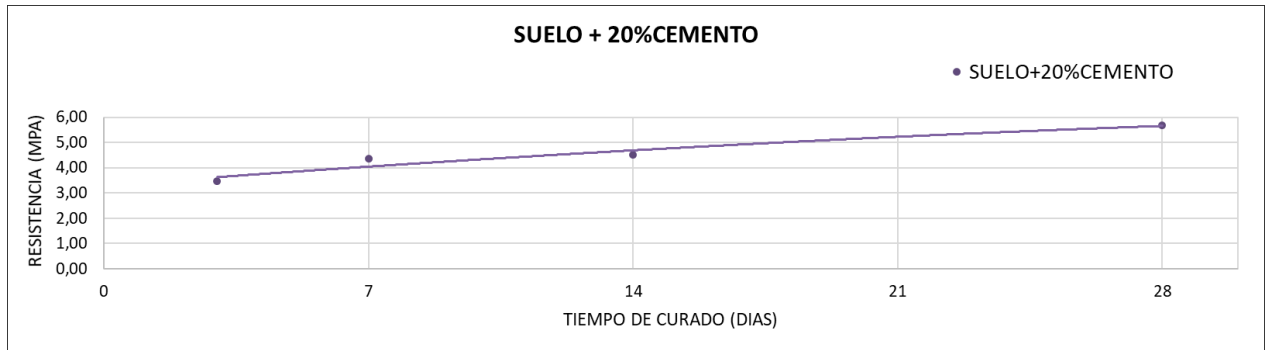
Esfuerzo Último (Mpa)	2,910	3,907	4,067	5,107
Tiempo (Días)	3	7	14	28



Gráfica 13: Resistencia a la Compresión Simple Suelo+15% Cemento.

3.4.4 SUELO NATURAL + 20% DE CEMENTO

Esfuerzo Último (Mpa)	3,463	4,343	4,521	5,677
Tiempo (Días)	3	7	14	28

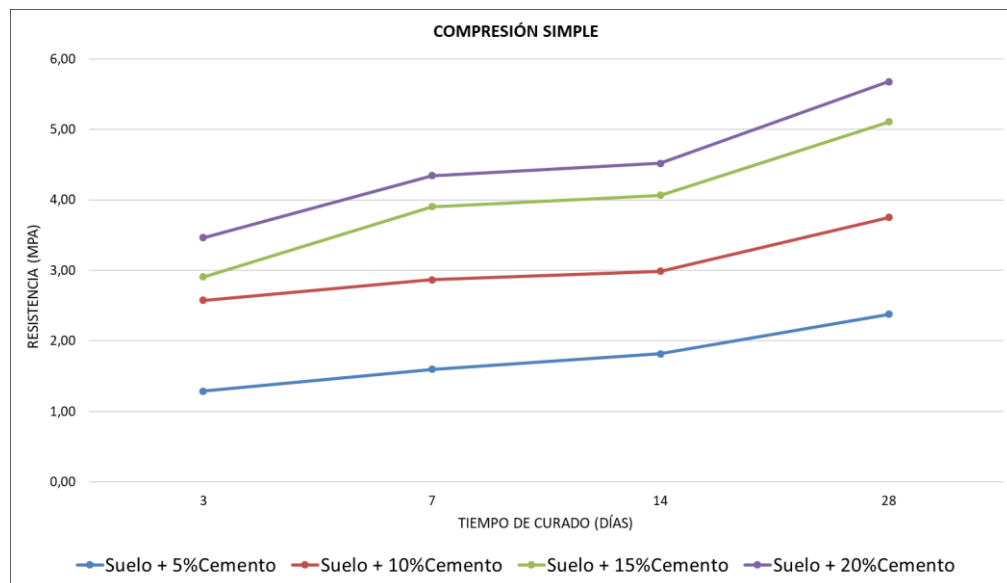


Gráfica 14: Resistencia a la Compresión Simple Suelo+20%Cemento.

3.5 TIEMPO DE CURADO vs RESISTENCIA

Tiempo (Días)	Suelo + 5%Cemento	Suelo + 10%Cemento	Suelo + 15%Cemento	Suelo + 20%Cemento
3	1,287	2,5775	2,910	3,463
7	1,597	2,870	3,907	4,343
14	1,817	2,987	4,067	4,521
28	2,380	3,751	5,107	5,677

Tabla 19: Tiempo de curado vs Resistencia.

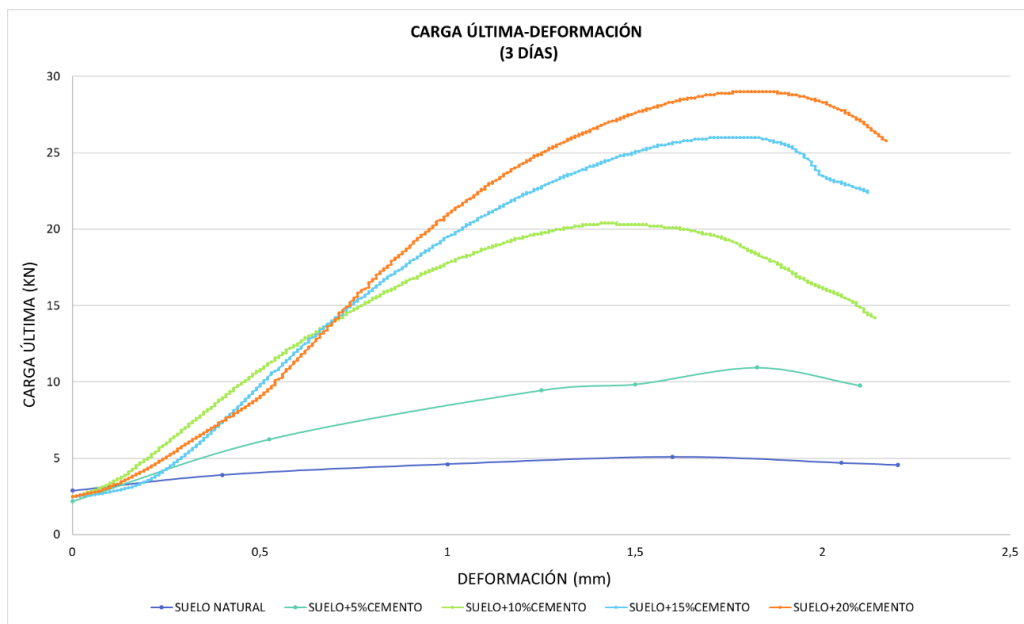


Gráfica 15: Resistencia a la Compresión Simple.

En la gráfica 15 es notable el aumento de resistencia de cada uno de los porcentajes de mezcla suelo-cemento a medida que pasa el tiempo de curado; así como también se evidencia que a mayor porcentaje de cemento aumenta la resistencia a la compresión simple de la mezcla.

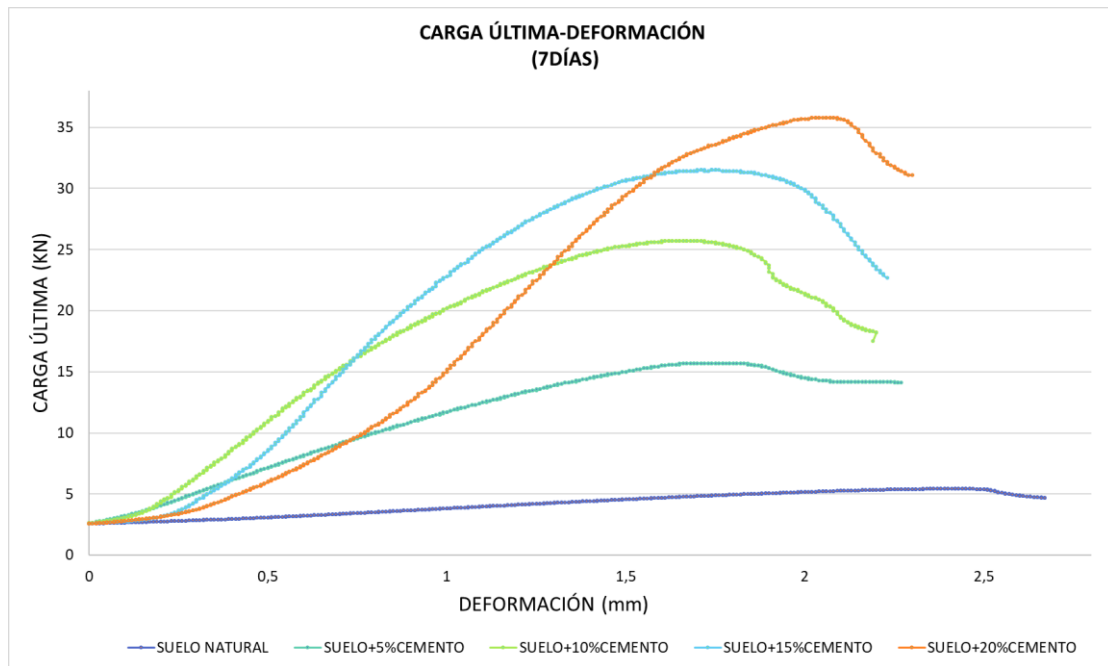
3.6 CARGA ÚLTIMA vs DEFORMACIÓN

3.6.1 TIEMPO DE CURADO: 3 DÍAS



Gráfica 16: Carga última vs Deformación (3Días).

3.6.2 TIEMPO DE CURADO: 7 DÍAS



Gráfica 17: Carga última vs Deformación (7Días).

Las gráficas 16 y 17 muestran el aumento de resistencia a la compresión simple de probetas ensayadas a los tres y siete días respectivamente, en las cuales se evidencia el incremento de resistencia conforme la adición de cemento aumenta en la mezcla dándole propiedades de resistencia y estabilización.

CAPÍTULO 4.- MEZCLA SUELO – CEMENTO – RESIDUOS DE CÁSCARA DE ARROZ

4.1 MEZCLA: SUELO + CEMENTO + CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ



Figura 20: Componentes de la mezcla suelo + cemento + ceniza de cáscara de arroz.

Para realizar la mezcla suelo – cemento – ceniza de cascara de arroz y la posterior obtención y ensayos de las probetas se siguen pasos similares a los de la mezcla suelo-cemento.

Cada uno de los componentes de la mezcla fueron ensayados y tamizados para la posterior mezcla. El suelo a usarse en este ensayo es todo el pasante del tamiz N°4, la ceniza que conformará la mezcla se la obtuvo mediante el tamizado de la misma por el tamiz N°30.

Una vez listos los materiales se procede a realizar el ensayo de compactación para determinar el contenido de humedad óptimo para lograr la densidad máxima, el porcentaje a añadirse de cemento es el que se determinó en el capítulo 3 con el que se logró obtener una mayor resistencia (20%). Sin embargo, este porcentaje será reemplazado en un 6%, 8%, 10% y 12%

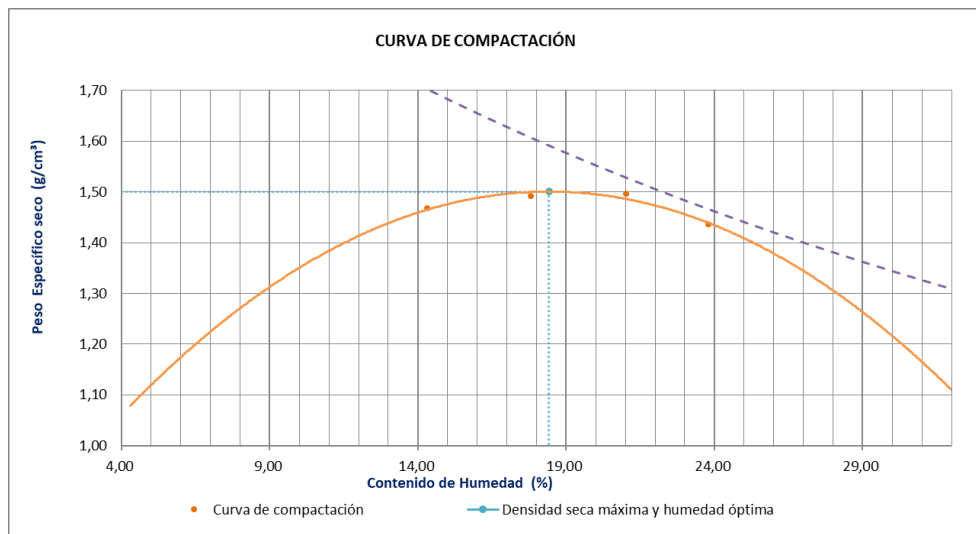
de ceniza de cáscara de arroz con el fin de determinar si es posible obtener una resistencia similar a las obtenidas en la mezcla suelo- cemento al 20% y de esta manera determinar si parte del cemento podría ser reemplazado por un material de origen orgánico. Estos porcentajes de ceniza de cáscara de arroz fueron elegidos de forma aleatoria al tratarse este de un trabajo de tipo experimental, y teniendo como base la tesis de María Cabo Laguna (2011).

Finalmente se realiza el moldeo de las probetas con su humedad óptima y densidad máxima, las mismas que serán ensayadas a compresión a los 3 y 7 días y determinar cuál es la mezcla de mejores características en cuanto a resistencia.

4.1.1 PROCTOR MODIFICADO

4.1.1.1 Suelo natural + 14%Cemento + 6%Ceniza de cáscara de arroz

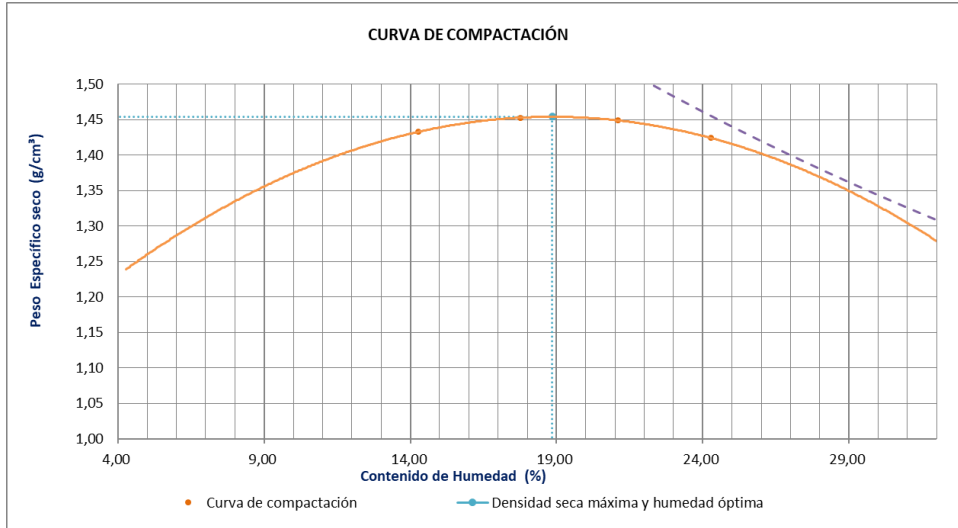
Humedad Promedio	%	14,30	17,82	21,01	23,80	Humedad Óptima	18,417
Densidad Seca	gr/cm3	1,467	1,491	1,496	1,435	Densidad Seca Máxima	1,500



Gráfica 18: Curva de compactación Suelo + 14%cemento + 6% ceniza.

4.1.1.2 Suelo natural + 12%Cemento + 8%Ceniza de cáscara de arroz

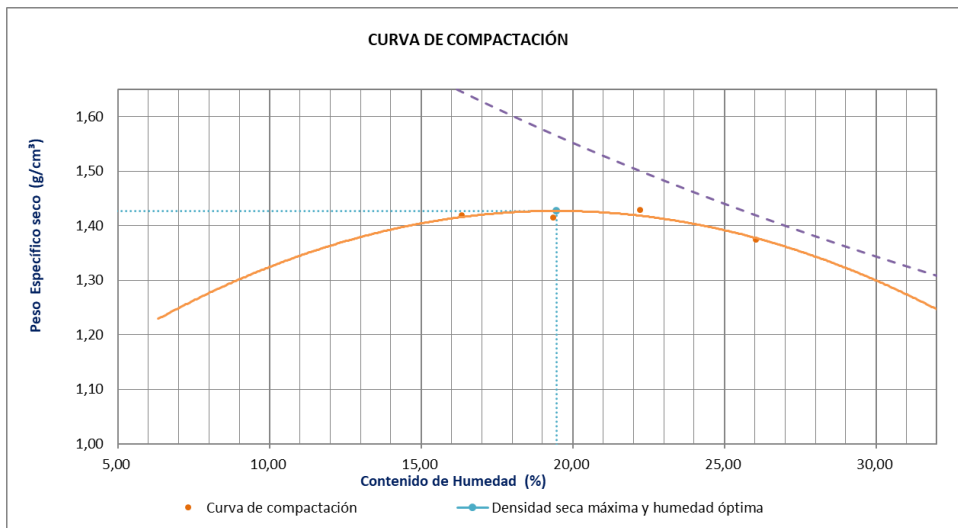
Humedad Promedio	%	14,27	17,76	21,11	24,27	Humedad Óptima	18,847
Densidad Seca	gr/cm ³	1,433	1,452	1,450	1,424	Densidad Seca Máxima	1,454



Gráfica 19: Curva de compactación Suelo + 12%cemento + 8%ceniza.

4.1.1.3 Suelo natural + 10%Cemento + 10%Ceniza de cáscara de arroz

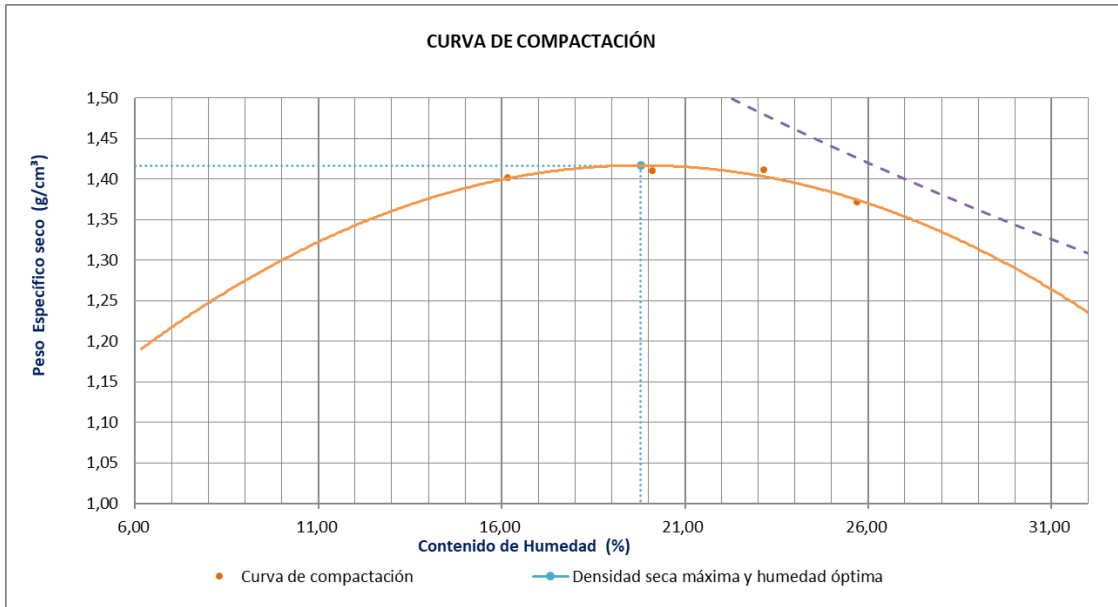
Humedad Promedio	%	16,33	19,35	22,21	26,03	Humedad Óptima	19,460
Densidad Seca	gr/cm ³	1,420	1,415	1,429	1,375	Densidad Seca Máxima	1,427



Gráfica 20: Curva de compactación Suelo + 10%cemento + 10%ceniza.

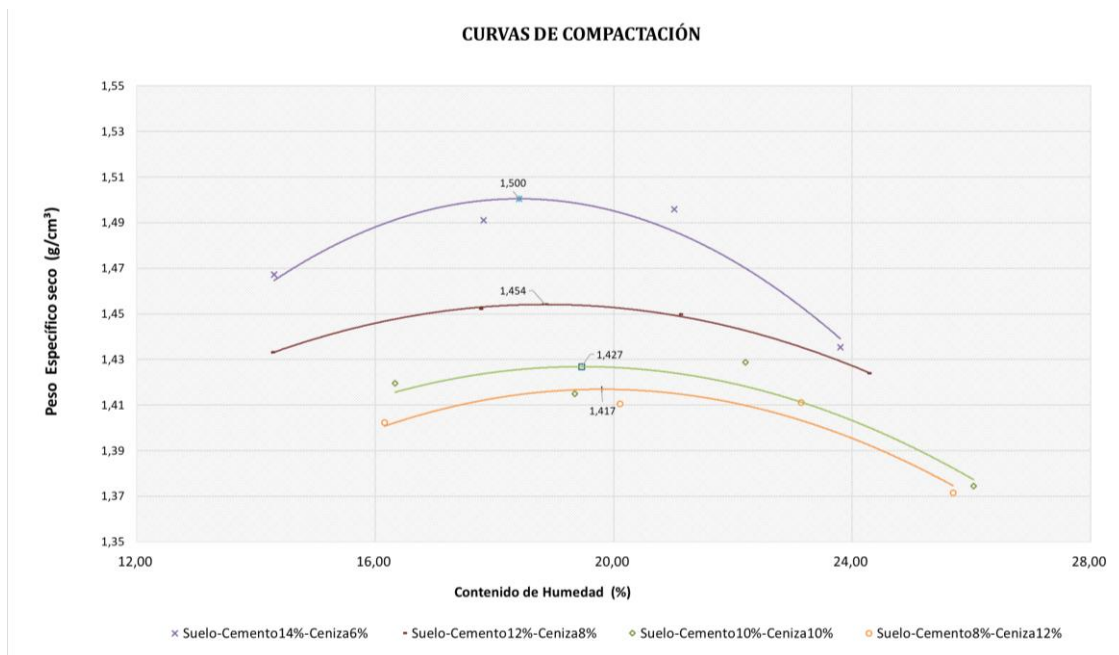
4.1.1.4 Suelo natural + 8%Cemento + 12%Ceniza de cáscara de arroz

Humedad Promedio	%	16,16	20,10	23,14	25,69	Humedad Óptima	19,797
Densidad Seca	gr/cm ³	1,402	1,410	1,411	1,371	Densidad Seca Máxima	1,371



Gráfica 21: Curva de compactación Suelo + 8%cemento + 12%ceniza.

4.1.1.5 Resultados



Gráfica 22: Curvas de compactación.

4.1.2 MOLDEO DE PROBETAS



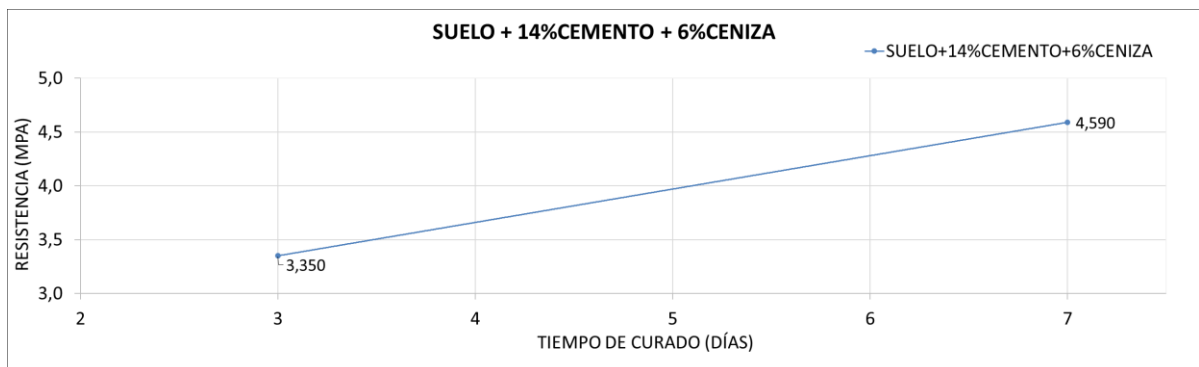
Figura 21: Probetas de suelo + cemento + ceniza.

El moldeo de las probetas suelo-cemento-ceniza de cáscara de arroz se las realizó en base al proctor realizado en el apartado anterior para de esta manera garantizar la densidad máxima y humedad óptima de la probeta lo que asegura lograr una mejor resistencia del elemento.

4.1.3 ENSAYO DE PROBETAS COMPRESIÓN SIMPLE

4.1.3.1 Suelo natural + 14%Cemento + 6%Ceniza de cáscara de arroz

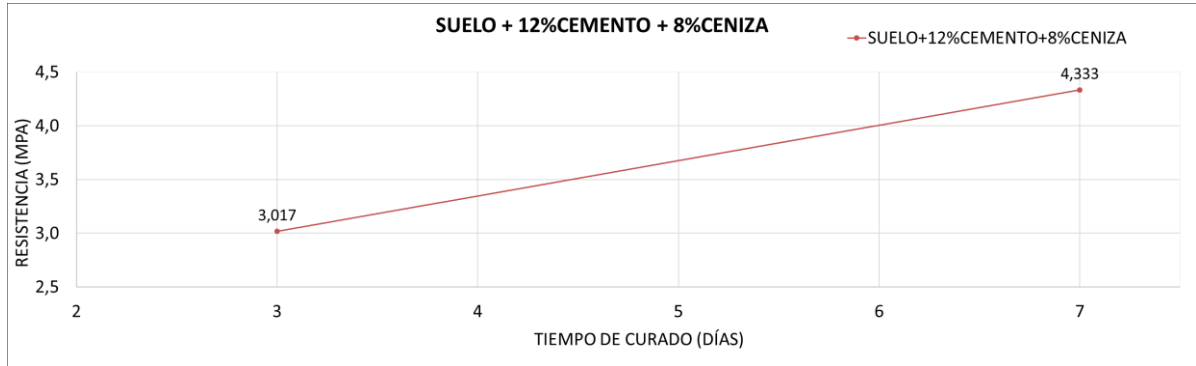
Esfuerzo Último (Mpa)	3,350	4,590
Tiempo (Días)	3	7



Gráfica 23: Resistencia a la compresión simple suelo + 14%cemento + 6%ceniza.

4.1.3.2 Suelo natural + 12%Cemento + 8%Ceniza de cáscara de arroz

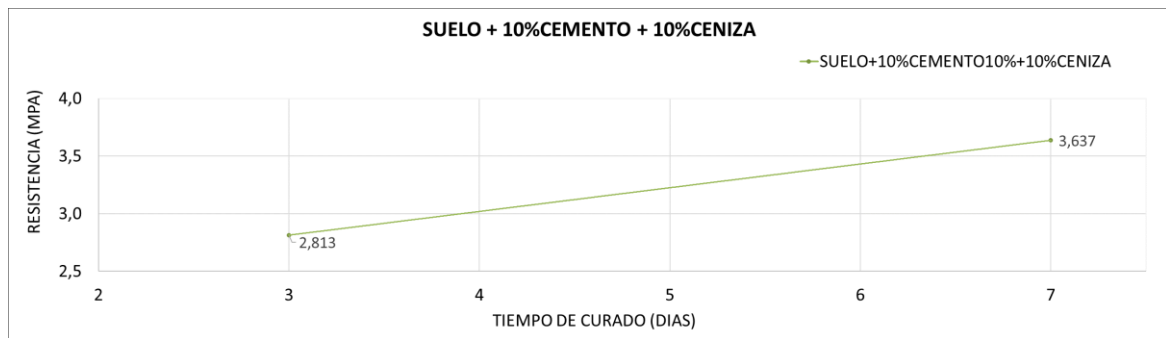
Esfuerzo Último (Mpa)	3,017	4,333
Tiempo (Días)	3	7



Gráfica 24: Resistencia a la compresión simple suelo + 12% cemento + 8% ceniza.

4.1.3.3 Suelo natural + 10%Cemento + 10%Ceniza de cáscara de arroz

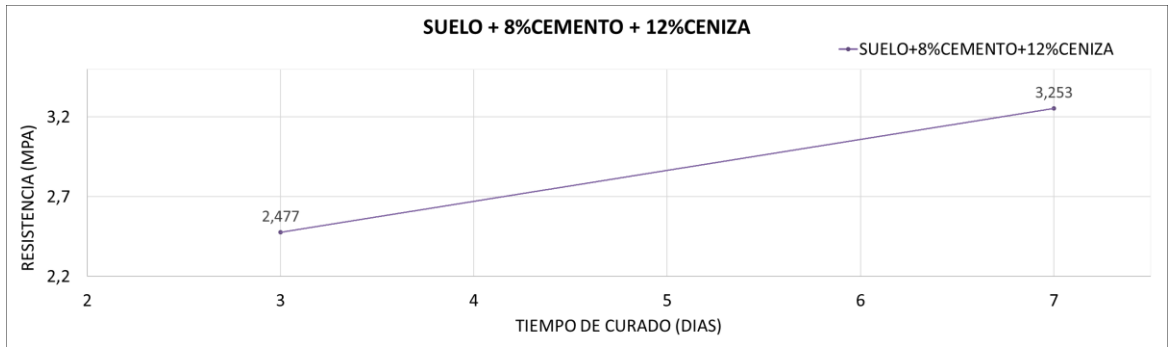
Esfuerzo Último (Mpa)	2,813	3,637
Tiempo (Días)	3	7



Gráfica 25: Resistencia a la compresión simple suelo + 10% cemento + 10% ceniza.

4.1.3.4 Suelo natural + 8%Cemento + 12%Ceniza de cáscara de arroz

Esfuerzo Último (Mpa)	2,477	3,253
Tiempo (Días)	3	7

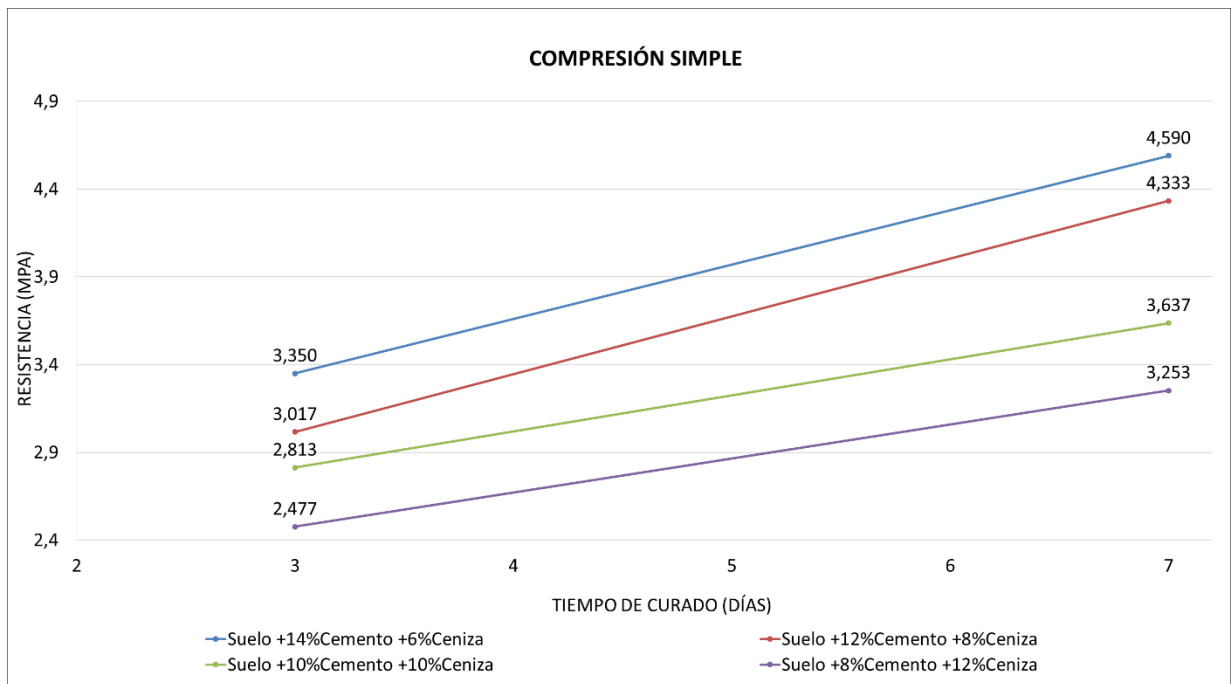


Gráfica 26: Resistencia a la compresión simple suelo + 8% cemento + 12% ceniza.

4.1.4 TIEMPO DE CURADO VS RESISTENCIA

Tiempo (Días)	Suelo + 14% Cemento + 6% Ceniza	Suelo + 12% Cemento + 8% Ceniza	Suelo + 10% Cemento + 10% Ceniza	Suelo + 8% Cemento + 12% Ceniza
3	3,350	3,017	2,813	2,477
7	4,459	4,333	3,637	3,253

Tabla 20: Tiempo de curado de las probetas vs resistencia a la compresión simple.



Gráfica 27: Resistencia a la compresión simple.

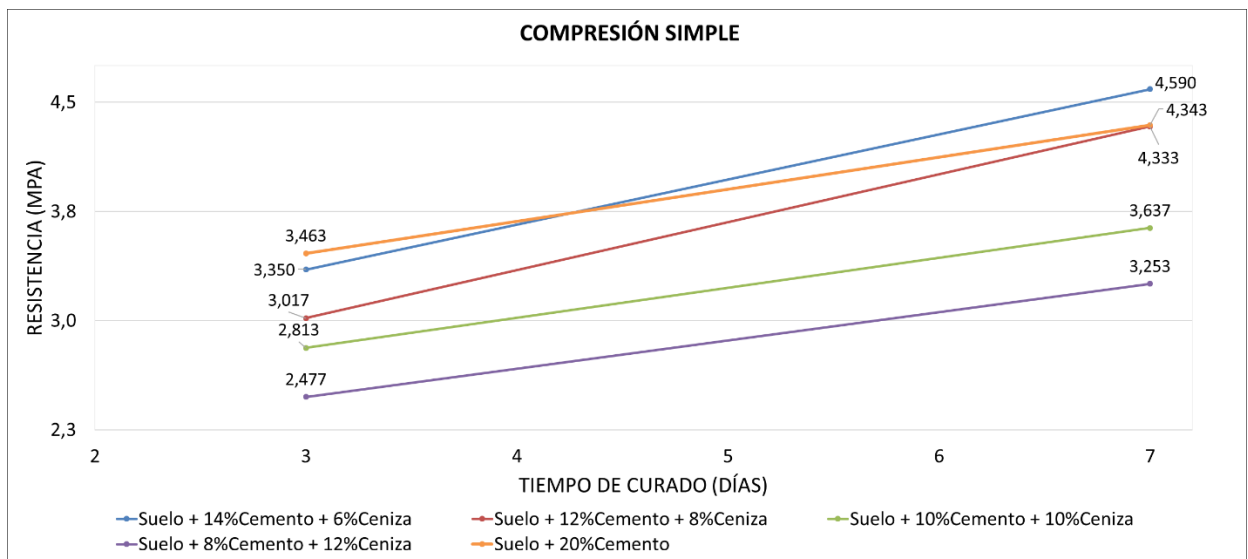
En la gráfica 27 se puede observar que a medida que el cemento es reemplazado por un mayor porcentaje de ceniza de cáscara de arroz la resistencia a la compresión disminuye.

Sin embargo, la mezcla de Suelo + 14% cemento + 6% ceniza de cáscara de arroz logra una resistencia aceptable de 4,459 Mpa a los 7 días de curado, e incluso superior a la mezcla suelo + 20% cemento de la misma edad de curado, la cual fue de 4,343 Mpa; siendo esto favorable para el mampuesto ecológico.

4.1.4.1 Comparación con curva de la mezcla suelo natural + 20%de cemento

Tiempo (Días)	Suelo + 14%Cemento + 6%Ceniza	Suelo + 12%Cemento + 8%Ceniza	Suelo + 10%Cemento + 10%Ceniza	Suelo + 8%Cemento + 12%Ceniza	Suelo + 20%Cemento
3	3,350	3,017	2,813	2,477	3,463
7	4,590	4,333	3,637	3,253	4,343

Tabla 21: Comparación de resistencias a la compresión mezcla suelo+cemento+ceniza con mezcla suelo+20%cemento.

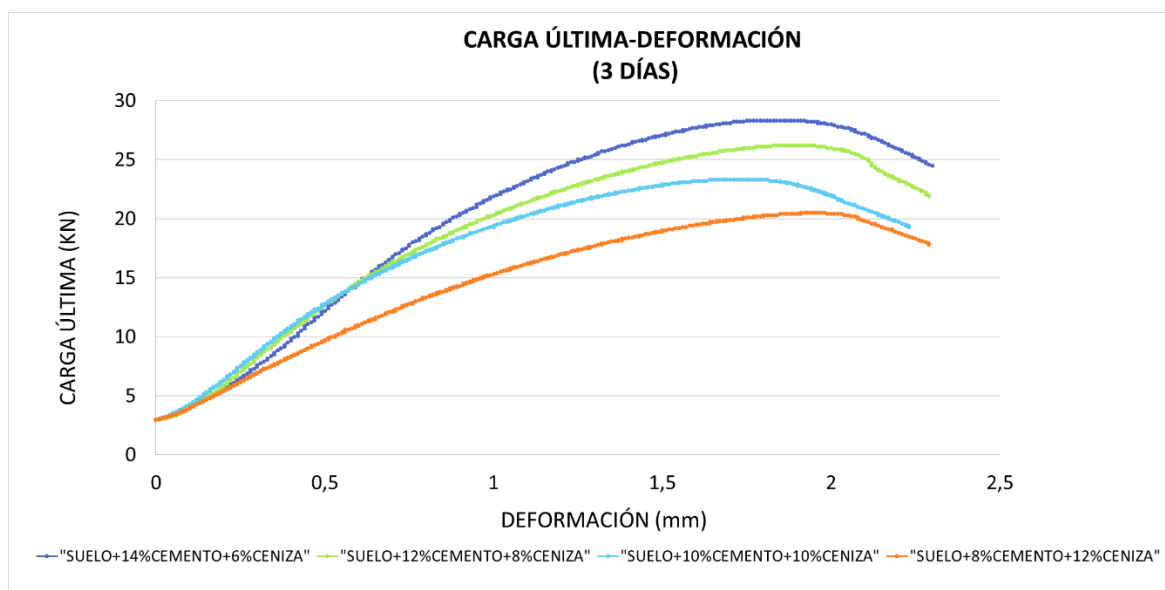


Gráfica 28: Comparación resistencia a la compresión simple de probetas (suelo + 20% cemento) con probetas (suelo + cemento + ceniza).

Al realizar la comparación de la mezcla que incluye material orgánico (suelo + cemento + ceniza de cáscara de arroz) con la mezcla únicamente de suelo+ 20% de cemento se puede comprobar que la cantidad total de cemento empleada en la mezcla puede ser reemplazada hasta en un 40% por ceniza de cáscara de arroz obteniendo los mismos o mejores resultados. Razón por la cual la mezcla a usarse en los siguientes ensayos será la que logró mayor resistencia (Suelo+ 14% cemento+6% ceniza) es decir, el cemento será reemplazo en un 30% por material orgánico (ceniza de cáscara de arroz).

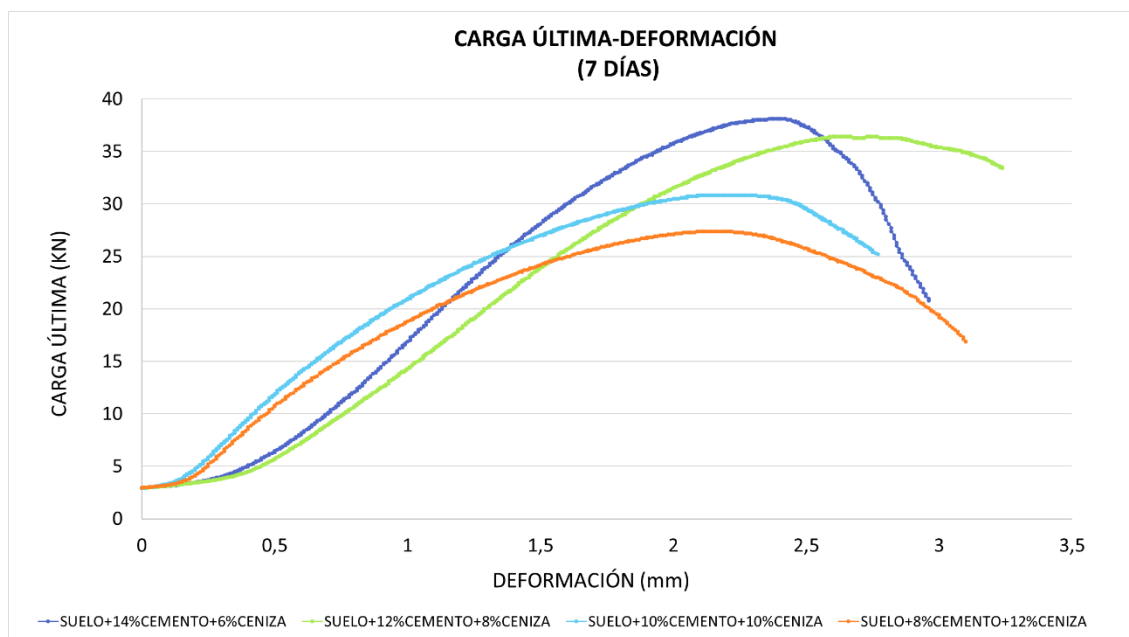
4.1.5 CARGA ÚLTIMA VS DEFORMACIÓN

4.1.5.1 Tiempo De Curado: 3 Días



Gráfica 29: Carga última vs deformación (3días de curado).

4.1.5.2 Tiempo De Curado: 7 Días



Gráfica 30: Carga última vs deformación (7 días de curado).

Las gráficas 29 y 30 muestran una comparación de resistencias de las probetas con distintos porcentajes de suelo- cemento- ceniza de cáscara de arroz a los tres y siete días de curado respectivamente, en las cuales se refleja que la deformación se mantiene constante independientemente del porcentaje de ceniza de cascara de arroz que se emplee.

4.2 MEZCLA: SUELO + CEMENTO + CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ + CÁSCARA DE ARROZ



Figura 22: Materiales para la elaboración de probetas (suelo, cemento, ceniza y cáscara de arroz).

Otro de los materiales orgánicos tentativos a utilizarse en la mezcla del mampuesto ecológico es la cáscara de arroz, la misma que pretende dar al material mejores propiedades de absorción y aislamiento.

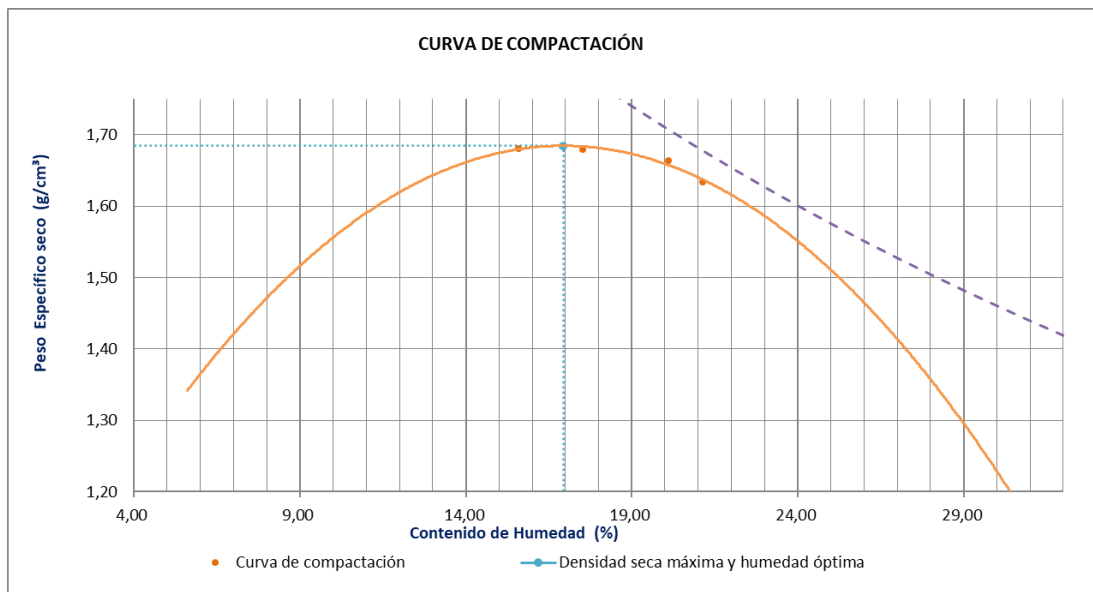
Para poder determinar si este será un componente apto para la mezcla del nuevo mampuesto hay que determinar esencialmente sus características en cuanto a resistencia razón por la cual, a partir de la mezcla anterior (Suelo+ 14% cemento+6% ceniza) se le adicionará varios porcentajes de cáscara de arroz para establecer sus propiedades. Para la determinación de porcentaje óptimo de cáscara de arroz que se le adicionará a la mezcla se realizó de manera experimental dos tipos de probetas al 2% y 4% siendo el ensayo de compresión simple el cual nos indique cual es el porcentaje adecuado. Estos porcentajes se eligieron en base a experimentos anteriores realizados por María Cabo (2011).

El procedimiento a seguir es similar a los mencionados en los apartados anteriores, definir su densidad máxima y humedad óptima para elaborar las probetas con dichas características y finalmente ser ensayadas para determinar su resistencia.

4.2.1 PROCTOR MODIFICADO

4.2.1.1 Suelo natural + 14%Cemento + 6%Ceniza de cáscara de arroz + 2%Cáscara de arroz

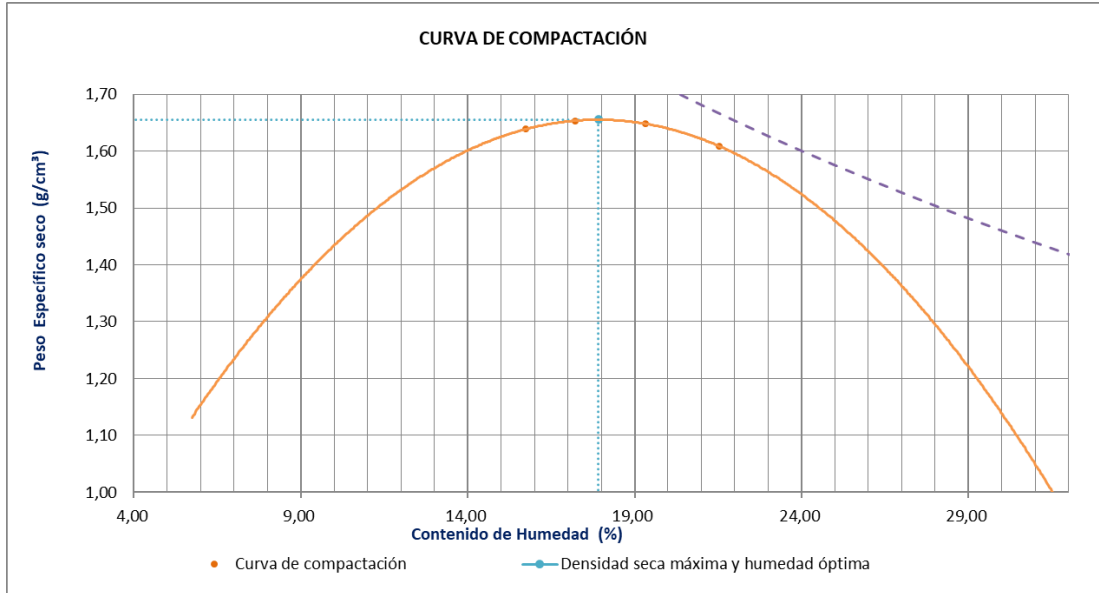
Humedad Promedio	%	15,60	17,52	20,10	21,14	Humedad Óptima	16,935
Densidad Seca	gr/cm ³	1,681	1,680	1,663	1,634	Densidad Seca Máxima	1,685



Gráfica 31: Curva de compactación suelo + 14%cemento + 6%ceniza + 2%cáscara.

4.2.1.2 Suelo natural + 14%Cemento + 6%Ceniza de cáscara de arroz + 4%Cáscara de arroz

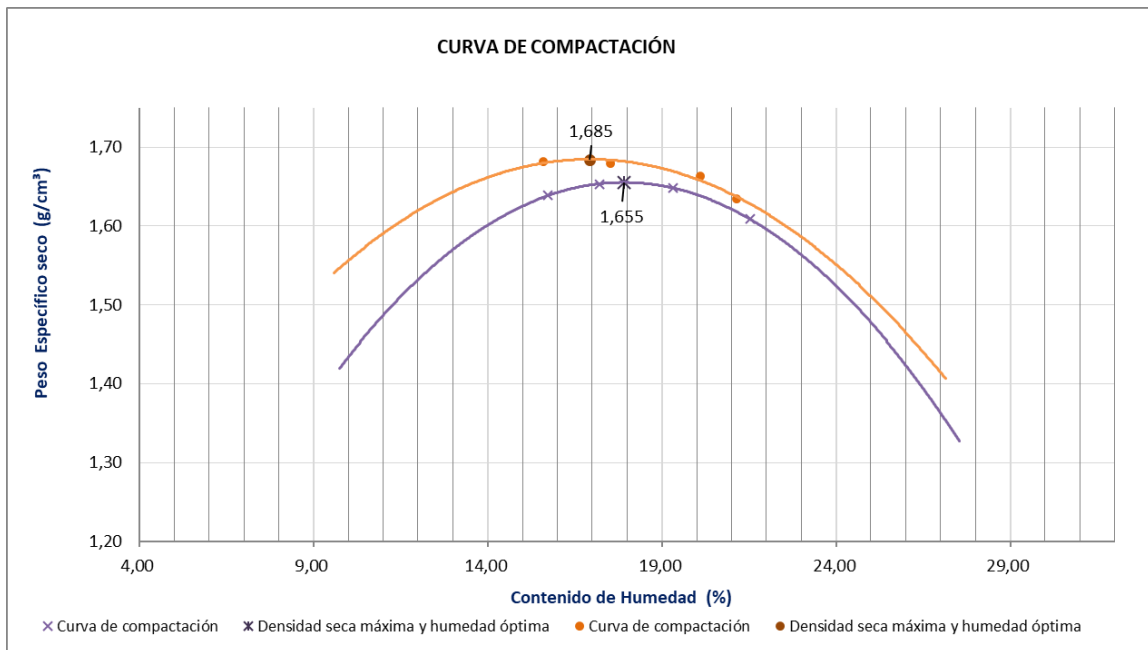
Humedad Promedio	%	15,74	17,21	19,33	21,54	Humedad Óptima	17,909
Densidad Seca	gr/cm ³	1,639	1,653	1,648	1,608	Densidad Seca Máxima	1,655



Gráfica 32: Curva de compactación suelo + 14% cemento + 6% ceniza + 4% cáscara.

4.2.1.3 Resultado

		Mezcla: suelo - 14% cemento - 6% ceniza - 2% cáscara.	Mezcla: suelo - 14% cemento - 6% ceniza - 4% cáscara.
Humedad Óptima	%	16,935	17,909
Densidad Seca Máxima	gr/cm3	1,685	1,655



Gráfica 33: Curvas de compactación.

4.2.2 MOLDEO DE PROBETAS



Figura 23: Probetas suelo natural + cemento + ceniza + cáscara.

4.2.2.1 Porcentaje de compactación probetas de Suelo natural + 14%Cemento + 6%Ceniza + 2%Cáscara

Peso Probeta	gr	1816	1822	1825	1811	1819	1824
Volumen Molde	cm ³	928	928	928	928	928	928
Densidad	gr/cm ³	1,957	1,963	1,967	1,952	1,960	1,966
Porcentaje Compactación	%	99,32	99,65	99,81	99,05	99,49	99,76

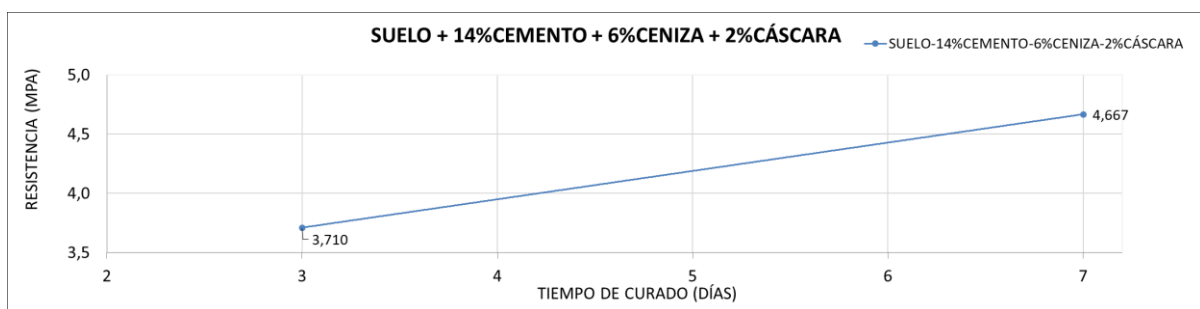
4.2.2.2 Porcentaje de compactación probetas de Suelo natural + 14%Cemento + 6%Ceniza + 4%Cáscara

Peso Probeta	gr	1815	1800	1791	1802	1800	1802
Volumen Molde	cm ³	928	928	928	928	928	928
Densidad	gr/cm ³	1,956	1,940	1,930	1,942	1,940	1,942
Porcentaje Compactación	%	100,23	99,40	98,90	99,51	99,40	99,51

4.2.3 ENSAYO DE PROBETAS COMPRESIÓN SIMPLE

4.2.3.1 Suelo natural + 14%Cemento + 6%Ceniza de cáscara de arroz + 2%Cáscara de arroz

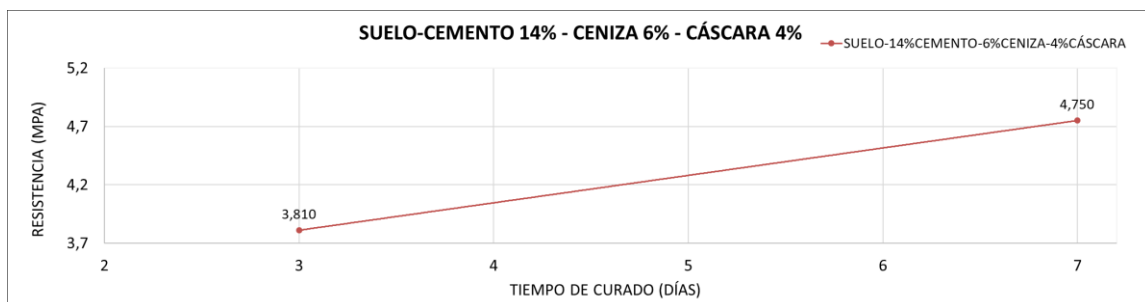
Esfuerzo Último (Mpa)	3,710	4,667
Tiempo (Días)	3	7



Gráfica 34: Resistencia a la compresión simple suelo + 14% cemento + 6% ceniza + 2% cáscara.

4.2.3.2 Suelo natural + 14%Cemento + 6%Ceniza de cáscara de arroz + 4%Cáscara de arroz

Esfuerzo Último (Mpa)	3,810	4,750
Tiempo (Días)	3	7

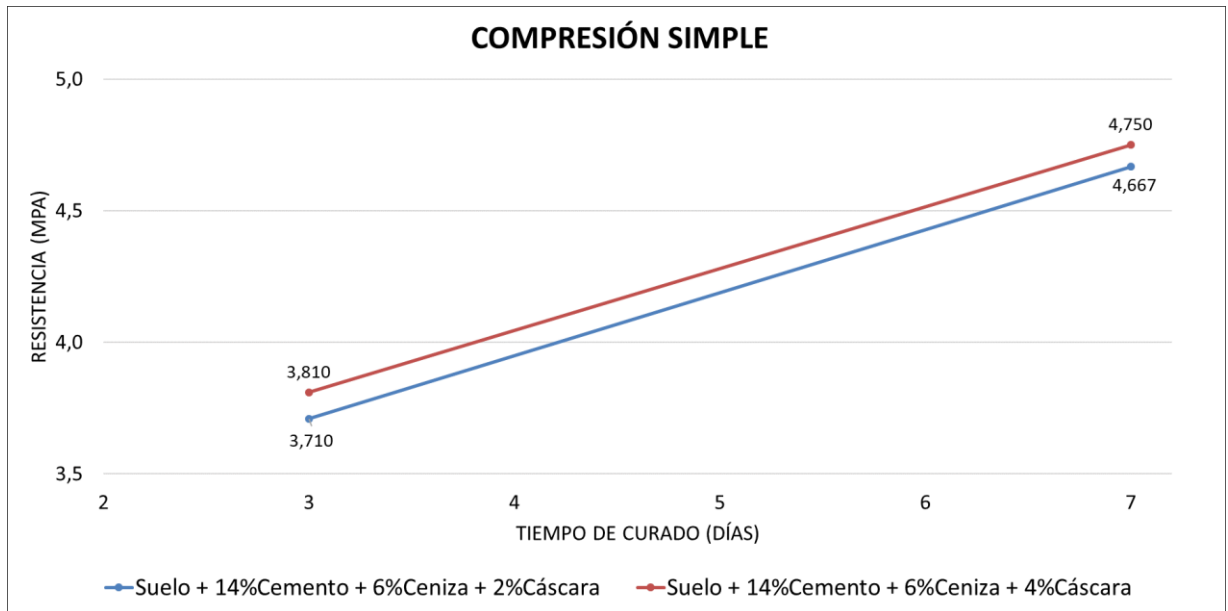


Gráfica 35: Resistencia a la compresión simple suelo + 14% cemento + 6% ceniza + 4% cáscara.

4.2.4 TIEMPO DE CURADO VS RESISTENCIA

Tiempo (Días)	Suelo + 14%Cemento + 6%Ceniza + 2%Cáscara	Suelo + 14%Cemento + 6%Ceniza + 4%Cáscara
3	3,710	3,810
7	4,667	4,750

Tabla 22: Tiempo de curado vs resistencia a la compresión simple.

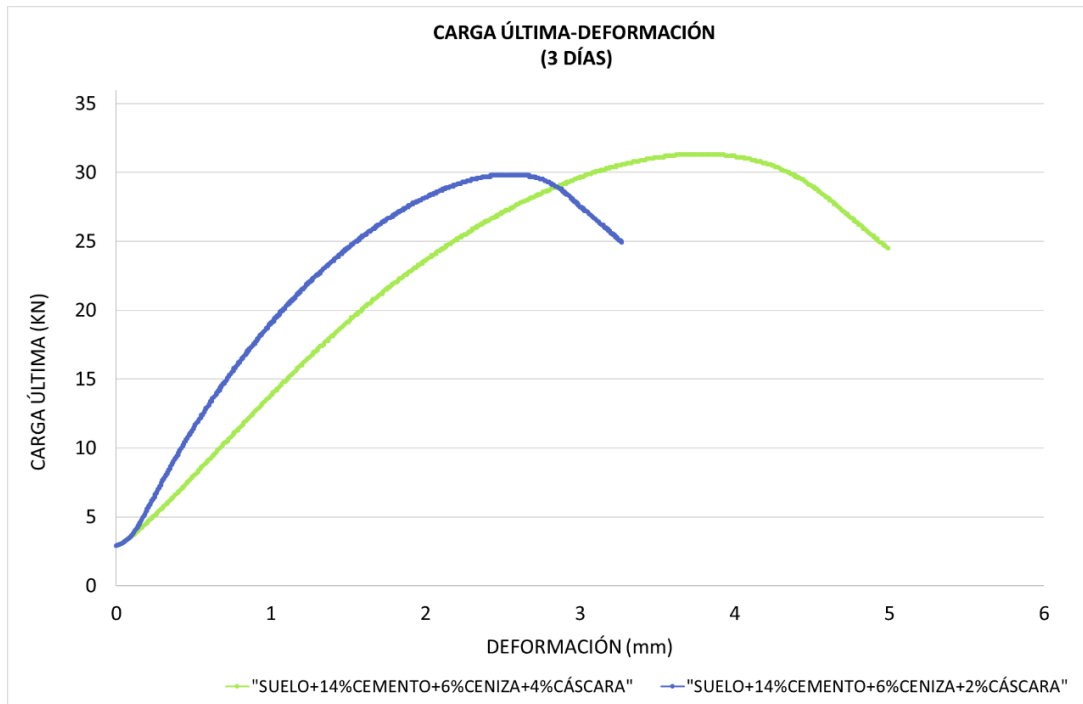


Gráfica 36: Resistencia a la compresión simple.

Al realizar la curva de tiempo de curado vs resistencia se puede evidenciar en la gráfica 36 que mejores resultados se obtiene con un mayor porcentaje de cáscara de arroz, razón por la cual, la mezcla final se la realizará con el 4% de cáscara de arroz. Sin embargo, dicha mezcla será sometida a más pruebas que corroboren que dicha combinación es apta para el uso en la fabricación de un mampuesto.

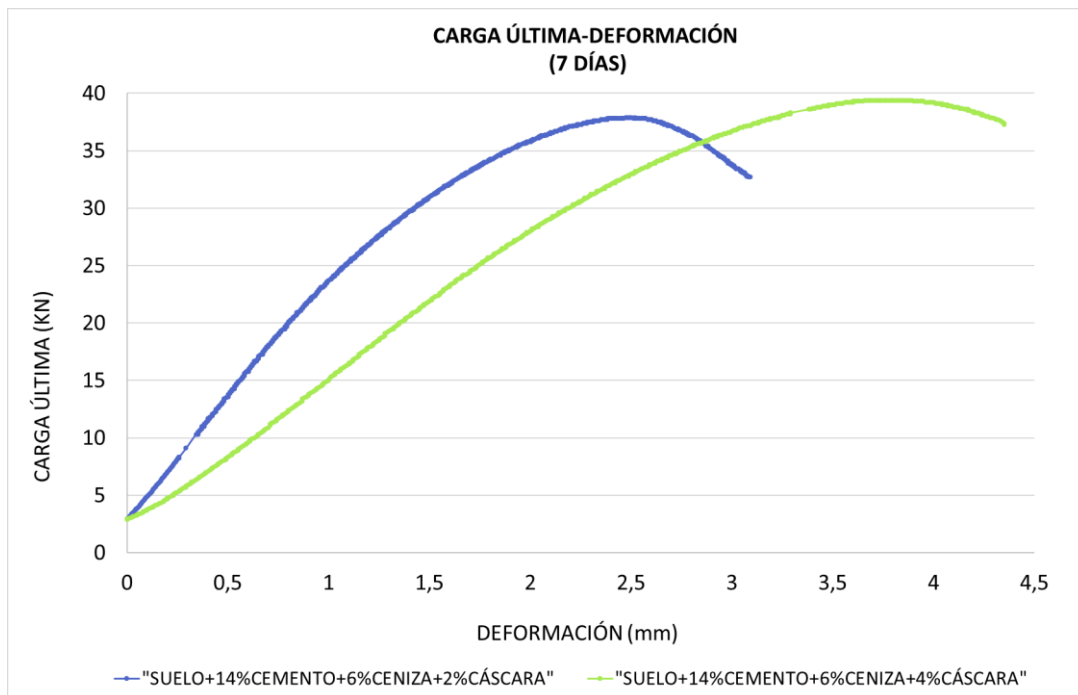
4.2.5 CARGA ÚLTIMA VS DEFORMACIÓN

4.2.5.1 Tiempo De Curado: 3 Días



Gráfica 37: Carga última vs deformación (3 días de tiempo de curado).

4.2.5.2 Tiempo De Curado: 7 Días



Gráfica 38: Carga última vs deformación (7 días de tiempo de curado).

CAPÍTULO 5.- DISEÑO FINAL DEL MAMPUESTO PROPUESTO

El diseño final del mampuesto ecológico estará conformado por 14% de cemento portland, 6% de ceniza de cáscara de arroz y un 4% de cáscara de arroz, valores que han sido tomados de los capítulos anteriores con los cuales se obtuvo los resultados más aceptables a la resistencia en compresión.

Para la fabricación de estas probetas se usará el molde metálico, cilíndrico de diámetro interior de 152,4 mm y una altura de 177,8 mm con una compactación de 53 golpes en 8 capas, el motivo por el cual es necesario usar un tipo de molde diferente a los capítulos anteriores, es la necesidad de obtener de estas probetas otras de dimensiones rectangulares que simulen las características de un ladrillo. Se fabricarán 9 probetas las mismas que serán usados para los ensayos de resistencia a flexión, absorción y compresión. Las dimensiones del ladrillo son de largo 16 cm, 8 cm de ancho y 4 cm de alto; estas medidas se escogieron basadas en la norma técnica ecuatoriana INEN 317 en la cual se especifica que un ladrillo puede tener una relación 4:2:1 de largo, ancho y profundidad respectivamente.



Figura 24: Mampuesto ecológico.

5.1 MEZCLA FINAL

COMPONENTE	CANTIDAD
Suelo (Arcilla)	2500 gramos
Cemento Portland	14% del Suelo Seco
Ceniza de cáscara de arroz	6% del Suelo Seco
Cáscara de arroz	4% del Suelo Seco

Tabla 23: Componentes de la mezcla final para el mampuesto ecológico.

Para la elaboración de un ladrillo ecológico se requiere todos los componentes numerados en la tabla n°20. El suelo se encontrará en estado natural por lo que tendrá un contenido de humedad, el mismo que es necesario conocer para calcular la cantidad exacta (en gramos) del resto de materiales, tomando en cuenta la humedad óptima que debe alcanzar la mezcla. Para el cálculo de los materiales restantes primero se determina el valor del suelo en estado seco, para lo cual se emplea la siguiente fórmula:

$$Suelo\ Seco = \frac{Suelo\ en\ estado\ natural}{\left(1 + \frac{\%Contenido\ de\ Humedad}{100}\right)}$$

Ecuación 1: Ecuación para determinar el suelo seco.

Una vez conocido el valor del suelo seco se calcula la cantidad de cemento, ceniza y cáscara de arroz tomando en cuenta los porcentajes definidos.

Para determinar la cantidad de agua que se debe agregar, se resta de la humedad óptima, el % de contenido de humedad que posee el suelo al momento de realizar la mezcla.

Humedad Óptima (%)	17,909
Densidad Seca Máxima (gr/cm³)	1,655

Tabla 24: Porcentaje de contenido de humedad óptima y densidad seca máxima de la mezcla final.

5.2 MOLDEO DE PROBETAS



Figura 25: Mampuestos ecológicos.

Peso Probeta	gr	1802	1797	1806	1796	1807	1812	1812	1797	1801
Volumen Molde	cm ³	928	928	928	928	928	928	928	928	928
Densidad	gr/cm ³	1,942	1,936	1,946	1,935	1,947	1,953	1,953	1,936	1,941
Porcentaje Compactación	%	99,51	99,23	99,73	99,18	99,78	100,06	100,06	99,23	99,45

Tabla 25: Porcentaje de compactación de probetas con la mezcla final.

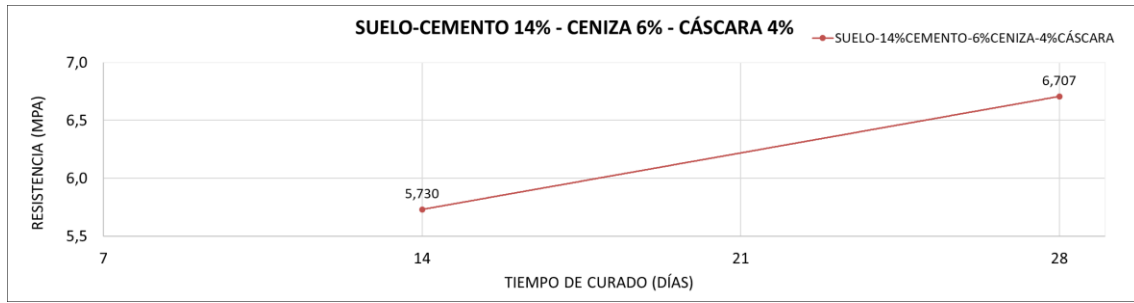
5.3 ENSAYOS

5.3.1 COMPRESIÓN SIMPLE

5.3.1.1 Curva de resistencia a la compresión simple

	5,6	5,65	5,94	6,31	6,33	7,48
Esfuerzo Último (Mpa)	5,730			6,707		
Tiempo (Días)	14			28		

Tabla 26: Valores de resistencia a la compresión de las muestras finales.

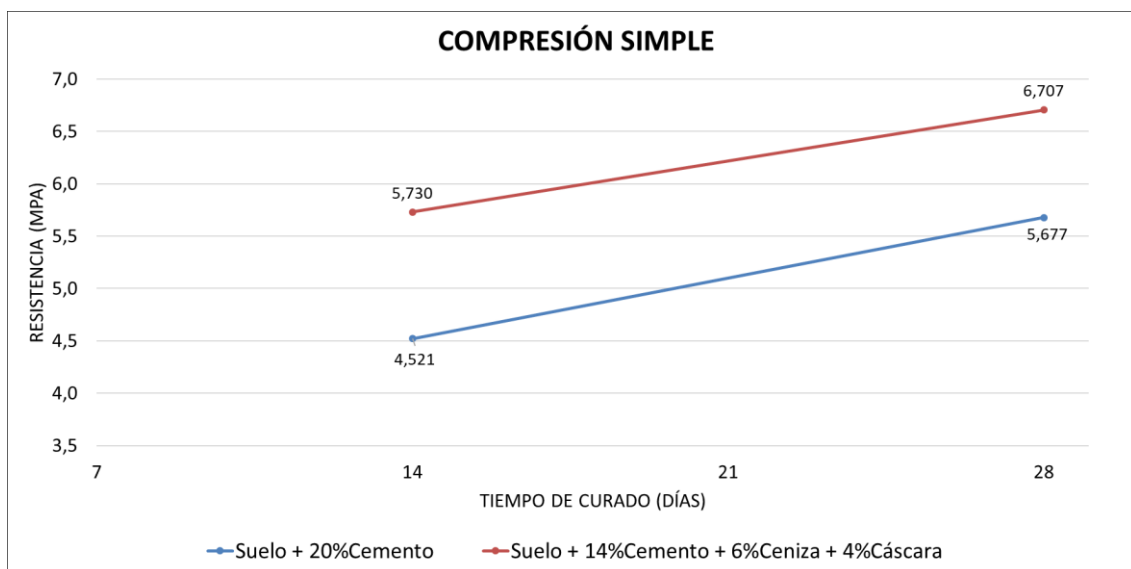


Gráfica 39: Resistencia a la compresión simple de probetas con la mezcla final.

5.3.1.2 Comparación con la resistencia de la mezcla suelo + 20% cemento con la mezcla final

Tiempo (Días)	Suelo + 20%Cemento	Suelo + 14%Cemento + 6%Ceniza + 4%Cáscara
14	4,521	5,730
28	5,677	6,707

Tabla 27: Comparación resistencia a la compresión mezcla final con la mezcla suelo+20%cemento.



Gráfica 40: Comparación de resistencia a la compresión entre mezcla (suelo + cemento) y mezcla final.

5.3.2 ABSORCIÓN

5.3.2.1 Ensayo

El ensayo de absorción se realizó en base a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 296: 2014, el cual sirve para determinar el porcentaje de absorción de humedad de un ladrillo cerámico. Se empleó esta norma debido a que no existen normas que rijan este tipo de ensayo para ladrillos no cocidos.

Para determinar el porcentaje de absorción de humedad del espécimen se realiza la diferencia de masas antes y después de sumergirlo en agua, para lo cual primero se seca la muestra en el horno a una temperatura de 110 °C hasta conseguir una masa constante (Masa1); posteriormente se sumerge el ladrillo en agua por un periodo de 24 horas, una vez transcurrido este tiempo se saca la muestra del agua, se la seca con una toalla húmeda y se la pesa (Masa2). Una vez obtenidas las dos masas se aplica la siguiente fórmula para determinar el porcentaje de absorción del espécimen. (NTE INEN 296, 2015)

$$\% \text{ Absorción} = \frac{\text{Masa2} - \text{Masa1}}{\text{Masa1}} * 100$$

Ecuación 2: Ecuación para determinar el porcentaje de absorción de humedad de un ladrillo cerámico (NTE INEN 296, 2015).

5.3.2.2 Resultados

Probeta N°	Masa 1	Masa 2	% Absorción
1	1,58	1,90	16,84
2	1,57	1,90	17,37
3	1,58	1,91	17,28
			17,16

Tabla 28: Valores de %absorción de muestras finales.

5.3.3 FLEXIÓN

5.3.3.1 Ensayo

La flexión de ladrillos se realizó en base a la norma técnica ecuatoriana INEN 295:2014, la misma que rige el procedimiento para ensayar ladrillos cerámicos. Se emplea esta norma debido a la inexistencia de normas para ladrillos no cocidos.

Este ensayo se lo realiza en la máquina usada para compresión simple, con un apoyo que de longitud al menos igual al ancho de la muestra para asegurar que ésta se encuentre en total contacto. El espécimen estará en contacto con tres líneas, las mismas que deben permanecer paralelas entre ellas. Se aplica carga a una velocidad de 1.5mm/min hasta la rotura del espécimen. (NTE INEN 295, 2014)



Figura 26: Mampuesto ecológico ensayado a flexión.

Para determinar el módulo de rotura de la muestra se emplea la siguiente fórmula:

$$R = \frac{3 * G * I}{2 * b * d^2}$$

Ecuación 3: Ecuación para calcular el módulo de rotura a la flexión de un ladrillo cerámico (NTE INEN 295, 2014)

Siendo:

- R = módulo de rotura (Megapascuales).
- G = carga de rotura (Newtones).
- I = distancia entre apoyos (mm).
- b = ancho de cara a cara de la muestra (mm).
- d = promedio del espesor de cara a cara de la muestra (mm).

5.3.3.2 Resultados

Probeta N°	Carga Rotura (N)	Módulo de Rotura (Mpa)
1	1860	2,39
2	1975	2,55
3	1887	2,43
		2,46

Tabla 29: Valores del módulo de rotura de las muestras finales ensayadas a flexión.

5.4 COMPARACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS

5.4.1 MAMPUESTO ECOLÓGICO VS LADRILLO

Se realizó la comparación de propiedades mecánicas entre el mampuesto ecológico y el ladrillo tradicional según la norma técnica ecuatoriana NTE 297:2014, la misma que especifica los valores máximos permisibles de absorción que puede tener un ladrillo y los valores mínimos de resistencia que debe alcanzar un ladrillo para que sea considerado un material estructural.

Se toma como referencia las especificaciones para un ladrillo tipo C, el cual es un ladrillo fabricado a mano, de color rojizo, con ángulos rectos y aristas rectas, que puede tener

imperfecciones en sus caras exteriores, así como variaciones de rectitud en sus aristas hasta de 8 mm (NTE INEN 297, 1978)

5.4.1.1 Resistencia a la Compresión simple

Probeta N°	Mampuesto Ecológico	Ladrillo Tradicional
	Resistencia a la compresión (Mpa)	Resistencia a la compresión (valores mínimos) (Mpa)
1	6,31	6
2	6,33	6
3	7,48	6

Tabla 30: Comparación de resistencia a la compresión entre un mampuesto ecológico con un ladrillo tradicional.

Una vez realizado el ensayo de compresión se obtuvieron resultados favorables que se observan en la tabla N°23, en la cual se evidencia que las resistencias a la compresión de los especímenes ensayados cumplen con el valor mínimo que se especifica en la norma NTE INEN 297. También se observa que el valor de mayor resistencia a la compresión que alcanzó una de las probetas es de 7,48 Mpa.

5.4.1.2 Porcentaje de Absorción a la humedad

Probeta N°	Mampuesto Ecológico	Ladrillo Tradicional
	%Absorción a la humedad	%Absorción a la humedad (valores máximos)
1	16,84	25
2	17,37	25
3	17,28	25

Tabla 31: Comparación de % de absorción entre un mampuesto ecológico con un ladrillo tradicional.

En la tabla N°24 se observa que los porcentajes de absorción de humedad obtenidos una vez ensayados los mampuestos ecológicos se encuentran dentro de los límites permisibles especificados en la norma técnica ecuatoriana de requisitos para ladrillos cerámicos, en la cual el máximo valor de absorción que puede tener un ladrillo es del 25% y en el caso del mampuesto ecológico el mayor valor es de 17,37 encontrándose dentro de los límites.

5.4.1.3 Resistencia a la Flexión

Probeta N°	Mampuesto Ecológico	Ladrillo Tradicional
	Resistencia a la flexión (Mpa)	Resistencia a la flexión (valores mínimos) (Mpa)
1	2,39	2
2	2,55	2
3	2,43	2

Tabla 32: Comparación de resistencia a la flexión entre un mampuesto ecológico con un ladrillo tradicional.

Los resultados obtenidos en el ensayo de flexión demuestran que el ecoladrillo posee un módulo de rotura de 2.46 Mpa, el mismo que está dentro de los límites permitidos para ladrillos tradicionales según la norma técnica ecuatoriana INEN 297-2014

CAPÍTULO 6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Al haber finalizado la investigación con resultados satisfactorios este capítulo, conclusiones y recomendaciones, se enfocará en realizar un análisis sobre los beneficios obtenidos del ladrillo-ecológico y consejos para su posterior fabricación.

6.1 CONCLUSIONES

El resultado de esta investigación cumple satisfactoriamente con los objetivos iniciales planteados. Las propiedades del producto final “ladrillo ecológico” obedece a estándares normativos lo cual evidencia que este tipo de mampuesto puede ser usado como material sostenible y formar parte de la bio-construcción. El ecoladrillo demuestra ser respetuoso con el medio ambiente al no ser sometido a procesos de cocción los cuales requieren alta demanda energética, además, sus componentes son de origen orgánico evitando que los mismos sean materia de desecho para el medio ambiente. (Cabo, 2011)

El nuevo mampuesto está conformado por suelo arcilloso de baja plasticidad (CL), 14% de cemento portland, 6% de ceniza de cáscara de arroz y 4 % de cáscara de arroz que es subproducto de la cosecha de mismo. El ladrillo ecológico cuenta con óptimas características mecánicas ya que mediante varios ensayos se logró determinar resultados aceptables a la resistencia de compresión y flexión, así como también a la absorción.

- Uno de los ensayos más importantes para realizar el diseño del nuevo mampuesto es el ensayo de compactación, en el cual, se obtiene la humedad óptima para alcanzar una densidad máxima. De esta forma se puede determinar para cada mezcla, que cuenta con un porcentaje de aditivo diferente, la cantidad de agua necesaria para lograr una mayor resistencia.

- En la primera mezcla realizada suelo-cemento se determinó mediante las curvas de compactación que a mayor porcentaje de cemento que se le adicione a la mezcla mayor cantidad de agua requiere la misma, esto se da debido a que el cemento es un conglomerante que requiere de cierta cantidad de agua para que reaccione y ejerza su función. Los resultados fueron: para la mezcla de 5% de cemento 12,89% de contenido de humedad óptimo y para la de 20% de cemento 13,90%, los mismos que se pueden evidenciar en la [Tabla 13](#). Además, dichos cambios en los porcentajes de cemento ocasionan que la densidad seca máxima disminuya debido a que el cemento absorbe rápidamente el agua dando lugar a espacios vacíos que provocan dicha reducción.
- En el proceso de la mezcla suelo-cemento se determinó que a mayor porcentaje de cemento la mezcla obtiene mejores propiedades de resistencia a la compresión; razón por la cual, para seguir con el diseño del ladrillo se optó por un 20% de cemento con el cual se obtuvo una resistencia de 5,67Mpa a los 28 días de curado ([Gráfica 14](#)).
- En contraste con la investigación de suelo- cemento de Toirac se puede destacar que la mezcla obtenida en este estudio cumple con los requisitos de resistencia para mezclas suelo- cemento, es así que para una mezcla suelo cemento (10%) en el estudio en análisis se obtuvo una resistencia de 3,75 Mpa mientras que en la investigación de referencia 3,7 Mpa. (Toirac, 2008)
- En la segunda etapa del diseño del mampuesto en el cual se incluye a la mezcla ceniza de cáscara de arroz se evidenció, que a mayor porcentaje de dicho material orgánico que se le adicione a la mezcla, la resistencia disminuye; obteniendo los siguientes resultados a los 7 días de curado: con 6% de ceniza 4,59 Mpa, con 8%

una resistencia de 4,33 Mpa, con 10% se obtuvo 3,64 y con 12% se alcanzaron los 3,25 Mpa. Estos resultados se pueden observar en la [Tabla 20](#).

- La mezcla de la segunda etapa logró estabilizarse con un 14% de cemento y 6 % de ceniza de cáscara de arroz, en la cual se obtuvo una resistencia a la compresión de 4,59 Mpa siendo mayor a 4,34 Mpa resultado de la mezcla suelo- cemento 20%, (ver [Tabla 21](#)). Por lo mencionado anteriormente se infiere que el cemento puede ser reemplazado hasta en un 40% de ceniza de cáscara de arroz sin afectar la resistencia e incluso mejorando las propiedades de la mezcla, lo cual es favorable para el nuevo mampuesto ya que abarata costos, recicla dicho material de desecho orgánico y evita el consumo excesivo de cemento portland.
- El último elemento que conforma la mezcla para la elaboración del ecoladrillo es la cáscara de arroz de la cual mediante los ensayos de laboratorio se obtuvo una mejor resistencia a mayor porcentaje de este material se le adicione a la mezcla, ya que adicionando el 4% de este aditivo se alcanzó la resistencia de 4,75 Mpa a los 7 días de curado (ver [Tabla 22](#)). Sin embargo, al ser la cáscara de arroz un material que permite la conformación de poros en la mezcla, se deben realizar otros ensayos que corroboren que esta sea la mezcla óptima para el mampuesto.
- Por lo expuesto, la mezcla final utilizada para la fabricación de ladrillos ecológicos es 14% de cemento 6% de ceniza de cáscara de arroz y un 4% de cáscara de arroz. A la misma que se le realizaron los ensayos de absorción, flexión y resistencia a la compresión dando resultados favorables.
- La ceniza de cáscara de arroz, componente de la mezcla, le dio a la composición mayor resistencia, ya que por su tamaño llenó los microporos existentes en el mismo. Mientras que la cáscara de arroz aumentó la porosidad del mampuesto

haciéndolo más ligero y liviano. Además, este componente también mejoró sus propiedades de resistencia.

- Según la norma INEN 297 en el ensayo de compresión realizado al nuevo mampuesto se obtuvo resultados aceptables. La norma tiene como mínimo una resistencia de 6 Mpa, y en el estudio realizado se alcanzó hasta una resistencia de 7.48 Mpa (ver [Tabla 30](#)).
- Una vez realizado el ensayo de absorción no se observaron imperfecciones o fisuras en las muestras a causa del agua, por lo cual, se demuestra que estos elementos son resistentes a la misma. Además, cumplen con la normativa de absorción siendo el máximo permitido para ladrillos artesanales de 25% y en el estudio en análisis se obtuvo un 17.16%, estos resultados se evidencian en la [Tabla 31](#).
- En la [Tabla 32](#) se muestra los resultados obtenidos una vez ensayado el mampuesto ecológico a flexión, y se observa que todos los valores del módulo de rotura son mayores al mínimo valor que se especifica en la norma técnica ecuatoriana INEN 297, por lo cual las probetas cumplen con las especificaciones de flexión para ladrillos cerámicos tipo C.
- El ecoladrillo al ser comparado con bloques también resulta resistente, pero únicamente con aquellos de tipo no estructural, puesto que según la norma INEN 3066-2016 la resistencia mínima de bloques no estructurales es de 4 Mpa y en esta investigación se alcanzó en una resistencia de hasta 7.48 Mpa.
- Al hacer un análisis con la investigación de Demir 2008 en el cual se exponen resistencias a la compresión (ver [Tabla 1](#)) para ladrillos fabricados con varios materiales orgánicos como aserrín y residuos de tabaco se verifica que nuestra mezcla compuesta por ceniza de cáscara de arroz y cáscara de arroz cumple

resistencias adecuadas para este tipo de mampostería. Es así que para la mezcla sin cocción que contiene un 10% de aserrín alcanza una resistencia de 5.10 Mpa, para la mezcla que contiene un 10% de residuos de tabaco una resistencia de 4.75Mpa y finalmente la nuestra que alcanzó una resistencia a la compresión de 6,75 Mpa.

- El ecoladrillo obtenido en este estudio tiene una densidad de 1655 kg/m^3 (ver [Tabla 24](#)) siendo más liviano, debido a sus componentes orgánicos (ceniza y cáscara de arroz), que un ladrillo convencional ya que este último tiene una densidad que oscila entre los 1900 y 2100 kg/m^3 . Por lo tanto, este mampuesto no aporta un peso excesivo a la estructura; además, hace que este material sea buen aislante térmico y acústico.

6.2 RECOMENDACIONES

Una vez finalizada la investigación a continuación se sugerirán varios aspectos importantes para la elaboración de este mampuesto, así como también se propondrán nuevas líneas de estudio a partir de este tema.

- La fabricación del ecoladrillo en esta investigación fue realizada mediante compactación manual la cual demora el proyecto. Por lo tanto, se sugiere para la elaboración de dicho mampuesto el uso de una prensa que agilite el trabajo y mejore los resultados.
- Realizar este nuevo mampuesto con otro tipo de suelo como lo es la arena, para definir y comparar sus propiedades con las del ecoladrillo de este

estudio. Además, verificar si podría alcanzar incluso la resistencia de un bloque estructural.

- Fabricar moldes estandarizados para la elaboración de mampuestos con dimensiones normadas, de esta manera se evita desperdicio de material en el proceso de cortado.
- Al ser esta una investigación a nivel de laboratorio no se realizó una fabricación a gran escala; por lo cual se recomienda realizar un estudio de viabilidad y costos de este proyecto.
- Es recomendable realizar el estudio de ciertas propiedades físicas faltantes en esta investigación. Dichas propiedades no pudieron ser realizadas debido a que el laboratorio no cuenta con el equipamiento necesario para los ensayos térmicos y acústicos. Se espera, debido a las características del componente, cascara de arroz, que el ecoladrillo tenga grandes propiedades aislantes dando de esta manera realce a esta completa caracterización
- Es notable que los componentes de origen orgánico (ceniza y cascara de arroz) de la mezcla actúan en forma de estabilizante en el suelo. Por consiguiente, se sugiere realizar un estudio a profundidad sobre estabilización de suelo con ceniza y cascara de arroz.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Bahar, R., Benazzoug, M., & Kenai, S. (2004). Performance of compacted cement-stabilised soil. *Cement and Concrete Composites*, 26(7), 811–820.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.01.003>
- Bal, S., & Pycnometer, G. (2014). Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer 1. *ASTM Standard Guide*, 4(May), 1–8.
<https://doi.org/10.1520/D0854-10>.
- Bories, C., Borredon, M. E., Vedrenne, E., & Vilarem, G. (2014). Development of eco-friendly porous fired clay bricks using pore-forming agents: A review. *Journal of Environmental Management*, 143, 186–196.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.05.006>
- Brick, U. C., Borer, P., & Architects, D. L. (2011). Unfired clay brick.
- Brooks, R. M. (2009). Soil Stabilization With Flyash and Rice Husk Ash. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, 1(3), 2076–734.
- Cabo, M. (2011). Ladrillo Ecológico Como Material Sostenible Para LA CONSTRUCCIÓN. *Universidad Publica De Navarra*, 121.
- Comba, P. (1995). Structural Aspects, 60–66. <https://doi.org/10.1002/9783527615292.ch6>
- Cultrone, G., & Sebastián, E. (2009). Fly ash addition in clayey materials to improve the quality of solid bricks. *Construction and Building Materials*, 23(2), 1178–1184.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.07.001>
- Demir, I. (2008). Effect of organic residues addition on the technological properties of clay bricks. *Waste Management*, 28(3), 622–627.

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.03.019>

Echeverri, R., Medina, G. B., Restrepo, J. D., & Urrego, J. F. (2016). Determinación Del Contenido De Humedad. *Manual De Prácticas De Laboratorio De Análisis Fisicoquímico De Alimentos*, 25–35.

Esteban Molina. (2010). Evaluación del uso de la cascarilla de arroz en la fabricación de bloques de concreto Abstract Resumen. *Icotec*.

Habeeb, G. A., & Mahmud, H. Bin. (2010). Study on properties of rice husk ash and its use as cement replacement material. *Materials Research*, 13(2), 185–190.

<https://doi.org/10.1590/S1516-14392010000200011>

Helson, O., Beaucour, A. L., Eslami, J., Noumowe, A., & Gotteland, P. (2017). Physical and mechanical properties of soilcrete mixtures: Soil clay content and formulation parameters. *Construction and Building Materials*, 131, 775–783.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.021>

INEC. (2014). Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua. *Instituto Nacional de Estadísticas Y Censos*, 23. <https://doi.org/10.4206/agrosur.1974.v2n2-09>

INV E–124. (2013). Analisis Granulometrico por medio de Hidrometro, (10), 1–20.

Jamsawang, P., Poorahong, H., Yoobanpot, N., Songpiriyakij, S., & Jongpradist, P. (2017). Improvement of soft clay with cement and bagasse ash waste. *Construction and Building Materials*, 154, 61–71. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.188>

Luna-Cañas, L. M., Ríos-Reyes, C. A., & Quintero-Ortíz, L. A. (2014). Recycling of agroindustrial solid wastes as additives in brick manufacturing for development of sustainable construction materials. *Dyna*, 81(188), 34–41.

<https://doi.org/10.15446/dyna.v81n188.39717>

Mineral Products Association. (2013). Brick and block production. *Mortar Industry Association Learning Texts*, 5(20).

Mousavi, S., & Wong, L. S. (2015). Performance of compacted and stabilized clay with cement, peat ash and silica sand. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 9(1), 20–32.
<https://doi.org/10.7508/cej.2016.01.011>

Muthadhi, A. (2012). Studies on production of reactive rice husk ash and performance of RHA concrete. *Indian ETD Repository @ INFLIBNET*, 5196.

Nacional, E. C., Calzada, R., & Azul, A. (2013). Norma técnica guatemalteca, (502).

NTE INEN 295. (2014). Ladrillos cerámicos. Determinación de la resistencia a la flexión., 6.

NTE INEN 296. (2015). Ladrillos cerámicos. Determinación de absorción de humedad., 3.

NTE INEN 297. (1978). Ladrillos cerámicos. Requisitos. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 297, 7.

Otto Adolfo contreras alvares. (2013). Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Química.

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. (1976). Análisis Granulométrico. *Acta Salmanticensia: Ciencias*, 9.

Safiuddin, M., Jumaat, M. Z., Salam, M. A., Islam, M. S., & Hashim, R. (2010).

Utilization of solid wastes in construction materials. *International Journal of Physical Sciences*, 5(13), 1952–1963. <https://doi.org/10.3844/ajessp.2013.14.24>

- Sharifi, S., Hosseini, S. M., Rom, S., Bolívar, U. T. D. E., Duraci, I., Taller, P., ... Una, E. N. (2006). Primer taller de mecanica de suelos – marzo 2006. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 137(254 mm), 1–2.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000373](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000373)
- Sutton, A., Black, D., & Walker, P. (2011). Unfired clay masonry: An introduction to low-impact building materials, 1–6. [https://doi.org/ISBN 978-1-84806-227-6](https://doi.org/ISBN%20978-1-84806-227-6)
- The Brick Industry Association. (2006). Technical Notes 9 - Manufacturing of Brick. *Technical Notes on Brick Construction*, (December), 1–7.
- Thomas, A., Lombardi, D. R., Hunt, D., & Gaterell, M. (2009). Estimating carbon dioxide emissions for aggregate use. *Engineering Sustainability*, 162(ES3), 135–144.
<https://doi.org/10.1680/ensu.2009.162>
- Toirac, J. (2008). El Suelo Cemento como material de construcción (Ground-Cement as a construction material). *Ciencia Y Sociedad*, XXXIII, 53.