



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ  
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

**CARRERA DE MEDIO AMBIENTE**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIA LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MEDIO AMBIENTE**

**MODALIDAD:  
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**TEMA:  
EVALUACIÓN DEL USO DE LOS RESIDUOS DE CASCARILLA  
DE ARROZ (*Oryza sativa L.*) COMO AGREGADO EN BLOQUES  
PARA LA CONSTRUCCIÓN**

**AUTORES:  
DEMERA CENTENO SANTIAGO DAVID  
ROMERO RODRÍGUEZ BOGAR JOHEL**

**TUTOR:  
ING. CARLOS RICARDO DELGADO VILLAFUERTE, M.Sc.**

**CALCETA, JUNIO 2018**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

SANTIAGO DAVID DEMERA CENTENO y BOGAR JOHEL ROMERO RODRIGUEZ, declaran bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado por ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido por la ley de propiedad Intelectual y reglamento.

---

**SANTIAGO D. DEMERA CENTENO**

---

**BOGAR J. ROMERO RODRÍGUEZ**

## **CERTIFICACIÓN DE TUTOR**

**ING. CARLOS RICARDO DELGADO VILLAFUERTE, M. Sc,** certifico haber tutelado el proyecto **EVALUACIÓN DEL USO DE LOS RESIDUOS DE CASCARILLA DE ARROZ (*Oryza sativa L.*) COMO AGREGADO EN BLOQUES PARA LA CONSTRUCCIÓN**, que ha sido desarrollado por **SANTIAGO DAVID DEMERA CENTENO Y BOGAR JOHEL ROMERO RODRIGUEZ**, previo la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN ESPECIAL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

---

**ING. CARLOS RICARDO DELGADO VILLAFUERTE, M.Sc.**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL**

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el trabajo de titulación **EVALUACIÓN DEL USO DE LOS RESIDUOS DE CASCARILLA DE ARROZ (*Oryza sativa* L.) COMO AGREGADO EN BLOQUES PARA LA CONSTRUCCIÓN**, que ha sido propuesto, desarrollado y sustentado por **SANTIAGO DAVID DEMERA CENTENO Y BOGAR JOHEL ROMERO RODRIGUEZ**, previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López

---

ING. SERGIO ALCÍVAR PINARGOTE, M.Sc

**MIEMBRO**

---

ING. JUAN CARLOS LUQUE VERA, M.Sc.

**MIEMBRO**

---

ING. AGUSTÍN LEIVA PÉREZ, M.Sc.

**PRESIDENTE**

## **AGRADECIMIENTO**

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Feliz López” por ofrecernos una educación de calidad, a la carrera de Ingeniería Ambiental, a sus docentes por guiarnos en este camino compartiendo día a día sus conocimientos y experiencias.

Al laboratorio LUP Construc S.A por permitirnos utilizar sus instalaciones para el presente trabajo de titulación, así como a su personal por la ayuda brindada.

A todas las personas que de diferente forma han colabora en la realización de este trabajo.

**Los Autores**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación se la dedico:

A mi madre por ser ejemplo de lucha constante, por su dedicación y sacrificio, por apoyarme cuando lo necesite, te amo mamá.

A mis hermanas Maguita y Johelita por su amor y compañía.

A cada una de las personas y amigos que de alguna manera me apoyaron e influyeron en este camino de esfuerzo dedicado a este trabajo de titulación.

---

**BOGAR JOHEL ROMERO RODRÍGUEZ**

## DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se la dedico:

A mis padres Belén y Jorge quienes con un inmenso trabajo y sacrificio han logrado que obtenga ésta meta, por ser siempre quienes me guían por el camino del bien ya que me han brindado un apoyo incondicional en todos los objetivos propuestos.

A mis hermanos; Jorge, Juan, Viviana y Silvia por ser los amigos incondicionales que siempre están prestos para apoyarme en lo que sea.

A cada uno de mis familiares y amigos que de alguna manera me apoyaron e influyeron en este nuevo logro.

---

**SANTIAGO DAVID DEMERA CENTENO**

## CONTENIDO GENERAL

Derechos de autoría.....	ii
Certificación de tutor .....	iii
Aprobación del tribunal .....	iv
Agradecimiento .....	v
Dedicatoria.....	vi
Dedicatoria.....	vii
Contenido general.....	vii
Contenido de cuadros, gráficos y figuras .....	xi
Resumen .....	xiii
Palabras clave .....	xiii
Abstract.....	xiv
Keywords .....	xiv
Capítulo I. antecedentes .....	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	1
1.2. Justificación .....	3
1.3. Objetivos .....	5
1.3.1. Objetivo general .....	5
1.3.2. Objetivos específicos .....	5
1.4. Hipótesis .....	5
2. Capítulo II. Marco teórico .....	6
2.1. Bloque de hormigón .....	6



2.1.1. Composición del bloque .....	6
2.1.2. Clasificación .....	7
2.1.3. Materiales .....	8
2.1.4. Dimensiones .....	8
2.1.5. Requisitos físicos .....	9
2.1.6. Resistencia a la compresión.....	9
2.1.7. Absorción de agua .....	10
2.1.8. Dosificación del hormigón .....	10
2.1.9. Fabricación del bloque de hormigón.....	11
2.2. Cemento .....	11
2.3. La biomasa como alternativa de reducción de emisiones.....	12
2.4. Cascarilla de arroz .....	13
2.4.1. Características físicas .....	14
2.4.2. Composición orgánica.....	16
2.4.3. Composición inorgánica .....	16
2.4.4. Origen del arroz .....	18
2.4.5. Producción mundial.....	19
2.4.6. Producción nacional .....	19
2.4.7. Aplicaciones de la cascarilla de arroz.....	20
2.5. Arquitectura sustentable.....	21
2.5.1. Ecobloques .....	22
2.5.2. Materiales para la elaboración de ecobloques .....	22

2.5.3. Fabricación de bloques con la cascarilla de arroz .....	23
2.5.4. Beneficios de un bloque ecológico .....	23
2.5.5. Ventajas y desventajas del uso de cascarilla de arroz en la fabricación de bloques .....	24
2.5.6. Eliminación de materia orgánica .....	26
3. Capítulo III. Desarrollo metodológico.....	27
3.1. Ubicación .....	27
3.2. Duración.....	27
3.3. Factor en estudio .....	28
3.4. Diseño experimental .....	28
3.5. Unidad experimental .....	28
3.6. Variables a medir .....	29
3.6.1. Variable independiente.....	29
3.6.2. Variable dependiente .....	29
3.7. Análisis estadístico.....	29
3.8. Método y técnicas .....	30
3.8.1. Método .....	30
3.8.2. Técnicas.....	30
3.9. Procedimiento .....	30
3.9.1. Fase I. Estimar la cantidad de residuos de cascarilla de arroz que se generan en los centros de acopio del cantón rocafuerte .....	31
3.9.2. Fase II. Obtención de un bloque utilizando como agregado los residuos de arroz provenientes del área de estudio .....	31

3.9.3. Fase III. Realización de los ensayos de resistencia mecánica en los bloques que contiene agregados de cascarilla de arroz.....	33
4. Capítulo IV. Resultados y discusión .....	34
4.1. Encuesta aplicada los centros de acopio .....	34
4.2. Obtención de un bloque utilizado como agregado los residuos de arroz....	38
4.3. Ensayos de resistencia mecánica en los bloques con agregado de cascarilla de arroz.....	39
4.4. Verificación de la hipótesis.....	46
5. Capítulo v. Conclusiones y recomendaciones .....	47
5.1. Conclusiones .....	47
5.2. Recomendaciones .....	47

## **CONTENIDO DE CUADROS**

2.1 Clasificación de acuerdo a su uso .....	8
2.2 Clasificación según su densidad .....	8
2.3 Dimensiones de los bloques .....	9
2.4 Compresión bloques no soportantes .....	9
2.5 Compresión bloques soportantes .....	10
2.6 Absorción de agua de acuerdo a la densidad de los bloques .....	10
2.7 Composición de cáscara de arroz a nivel mundial.....	17
3.1 Tratamientos .....	28
3.2 Delineamiento experimental .....	28

3.3 Descripción de las unidades experimentales.....	29
4.1 ¿Cuál es el género del administrador o dueño del centro de acopio? .....	34
4.2 ¿Qué hacen con el residuo de cascarilla de arroz? .....	34
4.3 ¿Cuál es el uso comúnmente que se le da a la cascarilla de arroz? .....	35
4.4 ¿Cuál es el precio del saco de la cascarilla de arroz? .....	36
4.5 ¿Cuánto generan a la semana de cascarilla de arroz? y ¿Qué hacen con los otros residuos provenientes del arroz?.....	37
4.6 Carga de rotura de los bloques a los 7,14, 21 y a los 28 días. ....	40

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el uso de los residuos de cascarilla de arroz como agregado para la elaboración de bloques en la construcción. Inicialmente se aplicó una encuesta a siete piladoras del cantón Rocafuerte para conocer la cantidad de cascarilla de arroz generada en una semana. Para la obtención de los bloques se establecieron tres tratamientos y un testigo en función de la dosificación de la cascarilla de arroz T<sub>1</sub> (25% - 0,31 kg); T<sub>2</sub> (50% - 0,61 kg); T<sub>3</sub> (75% - 0,91 kg) y testigo (100% - 0 kg). Los bloques fueron sometidos a ensayos de resistencia y esos resultados analizados a través del software InfosTat. Según la encuesta realizada los centros de acopio que generan mayor cantidad de cascarilla de arroz son San Vicente y Santa Mónica con 200 quintales/semana cada uno, Las Jaguas con una producción de 175 quintales/semana, mientras que la piladora que genera menor cantidad de cascarilla de arroz es San Juan con 100 quintales por semana. Se elaboraron un total de 48 bloques incluidos los ecológicos y los tradicionales o testigos. De acuerdo con los ensayos de compresión el bloque a los 28 días con una dosificación de cascarilla de arroz al 25% presentó la mayor resistencia (36 kg/cm<sup>2</sup>), valor que se acerca al bloque tradicional, lo que permitió concluir que el ecobloque cumple con los parámetros de resistencia mecánica vigentes en la norma INEN 3066 (2016), conforme al análisis estadístico existe diferencias significativas entre cada uno de los tratamientos.

## PALABRAS CLAVE

Ecobloque, arroz, piladora, cascarilla de arroz.

## **ABSTRACT**

The objective of the present investigation was to evaluate the use of rice husk waste as an aggregate for the construction of blocks in the construction. Initially, a survey was applied to seven mills in Rocafuerte canton to know the amount of rice husk generated in a week. To obtain the blocks, three treatments were established and a control based on the dosage of rice husk T1 (25% - 0.31 kg); T2 (50% - 0.61 kg); T3 (75% - 0.91 kg) and control (100% - 0 kg). The blocks were subjected to resistance tests and those results analyzed through the InfosTat software. According to the survey carried out, the collection centers that generate the largest amount of rice husks are San Vicente and Santa Mónica with 200 quintals / week each, Las Jaguas with a production of 175 quintals / week, while the pellet mill generates less rice husk is San Juan with 100 quintals per week. A total of 48 blocks were included, including ecological and traditional or witnesses. According to the compression tests, the block at 28 days with a 25% rice husk dosage showed the highest resistance (36 kg / cm<sup>2</sup>), a value that approaches the traditional block, which allowed concluding that the ecobloc meets with the parameters of mechanical strength in force in the INEN 3066 (2016), according to the statistical analysis there are significant differences between each of the treatments.

## **KEYWORDS**

Ecoblock, rice, piler, rice husk.

# CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

## 1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Fuentes *et al.* (2015) establecen que en los actuales momentos se ha tomado de mucha importancia la conservación del medio ambiente, hay una gran cantidad de materiales que pueden ser reutilizados por distintos métodos de reciclaje, uno de ellos es utilizando los subproductos como sustitutos para la construcción. La introducción de residuos agropecuarios como sustitutos del cemento en bloques ecológicos de construcción, brindan la posibilidad de establecer un amplio desarrollo a nivel ambiental, social y económico.

La obtención de cemento para fabricar concreto implica un alto consumo energético y grandes emisiones de gases como el CO<sub>2</sub>, lo cual lo convierte en un material costoso y contaminante, pero brinda un amplio desarrollo a nivel ambiental, social y económico en algunos casos se podría sustituir el cemento con adiciones de residuos agroindustriales (Vásquez y Bach, 2000). La industria del cemento, a escala mundial, tiene el 2 % del consumo global de energía y el 5 % del consumo global de energía industrial (Hendriks, 1998), lo que genera aproximadamente una tonelada de CO<sub>2</sub> por cada tonelada de clinker dependiendo de la eficiencia de la planta (Vanderley, 2002).

En algunos casos se podría sustituir el cemento por adiciones de residuos agropecuarios, con muy buenos resultados (Méndez, 2010; Paya, 2003). El empleo de estas adiciones como sustituto de cierto porcentaje de cemento disminuye forma significativa el costo medioambiental de la construcción, al reducir parte de la generación de CO<sub>2</sub> y explotación minera necesarias para la producción de cemento, además de mejorar la gestión de los residuos reutilizados y evitar su disposición en botaderos (Martirena, 2004).

Tal es el caso de la cascarilla de arroz, la cual muchas veces solo se acumula y no se emplea, se ignora por completo las propiedades y el útil reaprovechamiento que se le puede dar, este desecho agroindustrial se puede

utilizar como fuente de silicio para obtener silicato de calcio (Rodríguez, 2006). En el Ecuador se produce gran cantidad de residuos agropecuarios se genera alrededor de 2'106.695,86 toneladas de residuos de arroz por año, en la provincia de Manabí la producción de residuos agropecuarios del arroz es de aproximadamente 64.497,63 toneladas por año.

Ante lo expuesto esta investigación pretende evaluar el uso de los residuos de cascarilla de arroz (*Oryza sativa L.*) como agregado en bloques para la construcción, representando un gran beneficio para el medio ambiente, al evitar la quema de la cascarilla de arroz disminuyendo la emisión de contaminantes. Con base en lo anterior se plantea la siguiente pregunta:

¿Cómo se aprovecha el uso de los residuos de cascarilla de arroz como agregado en la elaboración de bloques para la construcción?



## 1.2. JUSTIFICACIÓN

El cemento es una de las materias primas en la construcción de las obras civiles en todo el mundo pero su producción es considerada uno de los procesos más contaminantes que existen en nuestro planeta (Rendón *et al.*, 2009), de allí nace la idea de encontrar nuevos materiales que puedan reemplazar las propiedades mecánicas que este aporta particularmente al concreto hidráulico en los pavimentos rígidos (Chao-Lung *et al.*, 2011; Ferraro y Nanni, 2012; Jamil *et al.*, 2013).

En la actualidad la investigación, la transferencia de tecnologías, los nuevos materiales de ingeniería y la utilización de los residuos agroindustriales generados tienen un papel importante para el desarrollo, al generar innovación y mejora que fortalecen la producción de productos y la prestación de servicios amigables con el medio ambiente (Fuentes *et al.*, 2015).

Se han realizado investigaciones en diferentes países con residuos agroindustriales como sustituto parcial del cemento para la fabricación de mampuestos no estructurales (Fuentes *et al.*, 2015) morteros (Águila y Sosa, 2008; Serrano *et al.*, 2012) y bloques con resultados prometedores para la ingeniería de materiales.

La cascarilla de arroz es un desecho agroindustrial que se produce en altos volúmenes donde se siembra y se procesa la planta de arroz, por lo tanto, este subproducto se lo puede utilizar como fuente de silicio ya que es imprescindible en el ámbito de construcción (Vásquez y Bach, 2000). El alto consumo de recursos naturales y energéticos entre otros contaminantes están dejando evidenciado que los materiales de construcción comprometan las futuras posibilidades de utilizar éstos recursos por lo tanto se trabaja en disminuir su impacto ambiental y por ende económico (Arcos *et al.*, 2007; Martínez *et al.*, 2010).

Conforme a lo expuesto en el objetivo número tres del Plan del Buen Vivir 2017 – 2021, el cual menciona que el estado debe garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones, esta investigación propone su cumplimiento a través de la elaboración de bloques con agregados de residuos de arroz, ya que su baja degradación natural genera grandes acumulaciones en el medio ambiente, aprovechar la cascarilla de arroz como agregado es el objetivo de la investigación ya que se considera una propuesta valiosa para la construcción, en el ámbito social y ambiental.

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el uso de los residuos de cascarilla de arroz como agregado para la elaboración de bloques en la construcción.

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estimar la cantidad de residuos de cascarilla de arroz que se generan en los centros de acopio del cantón Rocafuerte.
- Obtener un bloque utilizando como agregado los residuos de arroz provenientes del área de estudio.
- Realizar ensayos de resistencia mecánica en los bloques que contiene agregados de cascarilla de arroz.

## **1.4. HIPÓTESIS**

El uso de los residuos de cascarilla de arroz como agregado en los bloques, cumple los parámetros de resistencia mecánica de acuerdo a la Normativa de calidad INEN 3066 (2016).

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. BLOQUE DE HORMIGÓN**

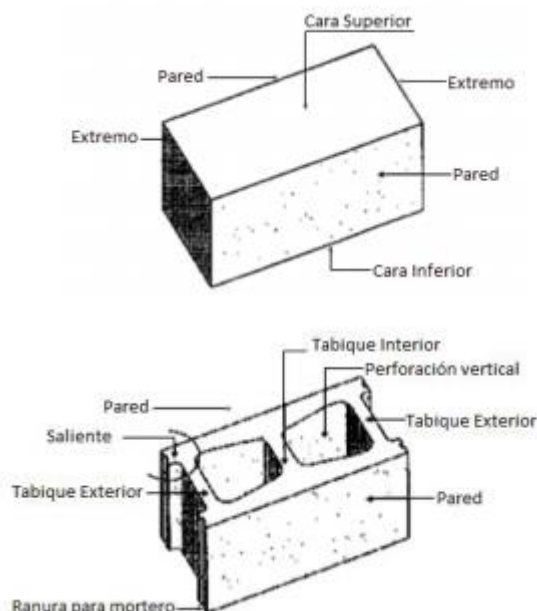
Elemento fabricado de concreto, cuya área neta de la sección transversal, en cualquier plano paralelo a la superficie que contenga núcleos, celdas o muescas (hendiduras), es menor que el 75% del área bruta de su sección transversal medida en el mismo plano”.

De acuerdo a lo expresado por Simbaña (2014) un bloque, es un paralelepípedo rectangular prefabricado, el cual puede ser elaborado por hormigones finos o morteros de cemento, para la obtención final del bien se debe de efectuar una secuencia de pasos que aseguren una adecuada compactación de los materiales primos a utilizar, donde la finalidad de éstos es ser utilizados para construcciones de muros y paredes. Según Quilumba (2013) los bloques deben de ser curados al tercer día luego de su fabricación, para de esta manera lograr identificar la reacción química de los materiales primos y así identificar el grado de compresión y la calidad requerida, no obstante se enfatiza que estos deben de ser colocados en un espacio amplio donde se efectúe un adecuado secado.

#### **2.1.1. COMPOSICIÓN DEL BLOQUE**

La estructura del bloque a utilizar puede variar según su objetivo de uso. Actualmente, existen diversos tipos de bloque según los objetivos constructivos y los fines estéticos. Los más comunes son el de piedra, el de arcilla cocida y el de hormigón. El de piedra es el más antiguo de todos, es también el más resistente. El de arcilla cocida, más resistente que el adobe, se compone de varios minerales y es altamente cotizado. Finalmente, el de hormigón, regularmente usado para muros y paredes, está compuesto de agregados finos, gruesos, cemento y agua. Para este estudio específico, se analizará la composición de un bloque para mampostería reforzada. Los nombres otorgados a cada parte del bloque, obedecen a un orden de carácter teórico, para su

estudio y aprendizaje, así como para un entendimiento común en la industria (Echeverría y López, 2010).



**Figura 2.1** Partes de un bloque de concreto.

La constitución observada del bloque es de vital importancia para la mampostería estructural, debido a que permite un refuerzo bilateral y en ambas direcciones del plano, es decir, que es posible ubicar barras horizontales y asentar refuerzos verticales que simulan vigas y columnas; e incluso, con la ventaja de trabajar como una sola unidad con la construcción general de la obra.

En cuanto al proceso de elaboración, lo primero que debe considerarse es el equipo para la producción, curado y almacenamiento. Estos equipos y medios deben ajustarse a las necesidades, costos y requerimiento de estándares tecnológicos y legales para la consecución de un proyecto determinado (Echeverría y López, 2010).

### **2.1.2. CLASIFICACIÓN**

De acuerdo a la tabla 1 de la Normativa INEN 638 los bloques de hormigón se clasifican de acuerdo a los usos para los cuales están fabricados (Cuadro 2.1).

**Cuadro 2.1** Clasificación de acuerdo a su uso.

CLASE	USO
A	Paredes exteriores de carga, sin revestimiento
B	Paredes exteriores de carga, con revestimiento Paredes interiores de carga, con o sin revestimiento
C	Paredes divisorias exteriores, sin revestimiento
D	Paredes divisorias exteriores, con revestimiento Paredes divisorias interiores, con o sin revestimiento
E	Losas alivianadas de hormigón armado

De acuerdo a la tabla 2 de la Normativa INEN 638 los bloques de hormigón se clasifican de acuerdo a su densidad (Cuadro 2.2).

**Cuadro 2.2** Clasificación según su densidad.

Tipo	Densidad del hormigón (kg/m <sup>3</sup> )
Liviano	< 1680
Mediano	1680 a 2000
Normal	> 2000

### 2.1.3. MATERIALES

Los bloques se deben elaborar con cemento Portland, áridos finos y gruesos, tales como: arena, grava, piedra partida, granulados volcánicos, piedra pómez, escorias y otros materiales inorgánicos inertes adecuados (INEN, 2014). El bloque, como ya se ha visto, entre sus componentes contiene hormigón que es de manera general una mezcla de agregados finos, agregados gruesos, cemento y agua. Sin embargo, el bloque ecológico usa una mezcla de cemento, arena y cascarilla de arroz, también conocida como hormigón liviano la cual puede ser compuesta de otro tipo de agregados (Echeverría y López, 2010).

### 2.1.4. DIMENSIONES

El espesor de las paredes de los bloques no debe ser menor de 25 mm, en los bloques clase A y B; y de 20 mm en los bloques tipo C, D y E. La dimensión real

de un bloque debe ser tal que, sumada al espesor de la junta, dé una medida modular. Los bloques deben tener las dimensiones indicadas en el Cuadro 2.3.

**Cuadro 2.3** Dimensiones de los bloques.

TIPO	DIMENSIONES NOMINALES (cm)			DIMENSIONES EFECTIVAS (cm)		
	Largo	Ancho	Alto	Largo	Ancho	Alto
A, B	40	20, 15, 10	20	39	19, 14, 09	19
C, D	40	10, 15, 20	20	39	09, 14, 19	19
E	40	10, 15, 20, 25	20	39	09, 14, 19, 24	20

### 2.1.5. REQUISITOS FÍSICOS

De acuerdo a INEN 143 los bloques deben estar enteros y libres de fisuras u otros defectos que puedan interferir con la correcta colocación, o perjudicar significativamente la resistencia. No obstante, no serán motivo de rechazo las fisuras pequeñas resultado del proceso de fabricación, o de la manipulación propia de la distribución y entrega. Solo el 5% de los bloques de un lote despachado a obra pueden presentar pequeñas fisuras, no mayores que 25 mm, en cualquier sentido. Los bloques no soportantes deben estar correctamente identificados como tales, de manera que no puedan ser utilizados como bloques soportantes (INEN, 2014).

### 2.1.6. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Al momento de su entrega en obra, los bloques no soportantes deben cumplir con los requisitos físicos establecidos en el Cuadro 2.4 determinados según el ensayo establecido en la norma INEN 639 (INEN, 2014).

**Cuadro 2.4** Compresión bloques no soportantes.

Descripción	Resistencia a la Compresión (MPa)*
Promedio de 3 bloques	4,00
Bloque individual	3,50

\* 1 Mpa = 10,2 Kg/cm<sup>2</sup>

Los bloques no soportantes deben cumplir con los requisitos físicos establecidos en el Cuadro 2.5 de acuerdo al ensayo establecido en la norma INEN 639.

**Cuadro 2.5** Compresión bloques soportantes.

Descripción	Resistencia a la Compresión (MPa)*
Promedio de 3 bloques	6,00
Bloque individual	5,00

\* 1 Mpa = 10,2 Kg/cm<sup>2</sup>

### 2.1.7. ABSORCIÓN DE AGUA

La absorción de agua determinada según el ensayo establecido en la norma NTE INEN 639, promedio de 3 unidades secadas en horno para cada tipo especificado, son las que se indican a continuación:

**Cuadro 2.6** Absorción de agua de acuerdo a la densidad de los bloques.

Tipo	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Absorción de agua (Kg/m <sup>3</sup> )
Liviano	< 1680	290
Medio	1680 a 2000	240
Normal	> 2000	210

### 2.1.8. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

El proceso de calcular las cantidades de los materiales o componentes que constituyen el hormigón se le denomina dosificación. El proceso de curado y mezclado son etapas decisivas al momento de definir la calidad y propiedades del hormigón. Internamente los agregados finos se intercalan con los agregados gruesos con la finalidad de disminuir los espacios vacíos o huecos, lo mismos que hacer que la resistencia final del hormigón disminuya (Rodas y Ordoñez, 2016).

Pese a esto los agregados no llenan todos los espacios vacíos, para esto es necesario que la mezcla de agua y cemento llene estas cavidades. Durante el



proceso de fraguado la pasta de cemento produce cristales que hacen unir químicamente a los agregados.

La relación agua/cemento (a/c) en el hormigón, es la cantidad de agua presente por cada unidad de cemento, una relación a/c de 0,25 permite que todo el cemento de la mezcla reaccione con el agua formando los puentes cristalizados en las superficies de los áridos; sin embargo, por fines prácticos lo recomendable es una relación a/c de 0,60 debido a que una relación menor dificulta la mezcla uniforme y el tratado adecuado del hormigón según lo expuesto por Rodas y Ordoñez (2016).

### **2.1.9. FABRICACIÓN DEL BLOQUE DE HORMIGÓN**

La fabricación de un bloque de hormigón es muy simple, se lo puede realizar de forma artesanal o automatizada; el proceso consiste en dos fases: en la primera se realiza el mezclado del cemento, agua, arena, y agregados pétreos, ya sea manual o mecánica; luego de esto se coloca la mezcla en los moldes de la maquina productora de bloques, la misma que mediante vibrado y prensado le da la forma habitual a los bloques; la segunda fase es llevar los bloques a los lugares de almacenaje para que den inicio al respectivo proceso de fraguado.

## **2.2. CEMENTO**

El cemento es un aglomerante inorgánico que se obtiene por calcinación de una mezcla de caliza y arcilla a 1.350 – 1.450 °C, el resultado es una mezcla de óxidos de calcio, silicio, aluminio, hierro y manganeso conocido como Clinker. El Clinker debidamente molido es el cemento en su forma habitual. El hormigón es una mezcla de cemento y áridos que al añadirle agua proporcionan un material de elevada cohesión y dureza y se emplea ampliamente en construcción (Prada, 2010).

El hormigón sirve como base a muros, suelos industriales, así como en muchos casos en el revoque de paredes exteriores de edificios. Tanto el cemento como el hormigón precisan después de su aplicación un tiempo de fraguado,

cristalización con agua, no inferior a los 28 días, durante el cual es aconsejable su mojado periódico. Durante el periodo de fraguado se produce en la superficie del mismo la exudación de sales cálcicas que se conocen con el nombre de “lechada de cal”. La superficie del hormigón mantiene pH básico que puede saponificar determinados tipos de ligantes. En este caso se utilizará la cascarilla de arroz molida.

Para Salamanca (2001) el cemento es un producto intermedio utilizado para fabricar materiales de construcción: morteros y concretos. La trabajabilidad de estos materiales en estado fresco, sus propiedades una vez endurecidos y los costos, son decisivos para su aplicación como materiales de construcción.

El concreto es una mezcla de pasta de cemento (cemento + agua + vacíos), agregados y eventualmente otros productos (aditivos). La pasta de cemento es el componente activo, envuelve a los agregados y llena los espacios entre ellos. Los agregados de uso más común son la arena, grava o rocas trituradas.

- El concreto fresco es plástico y moldeable. Él puede, por lo tanto ser colocado en moldes de varias formas, creando efectos arquitectónicos especiales.
- El concreto endurecido es una roca artificial, durable, fuerte y su aplicación es económica, al compararse con otros materiales de construcción como el acero, la madera, etc.

### **2.3. LA BIOMASA COMO ALTERNATIVA DE REDUCCIÓN DE EMISIONES**

La biomasa es considerada como una fuente de energía renovable que puede ser usada en sustitución de los combustibles fósiles. La obtención de energía a partir de biomasa es un proceso considerado carbono neutro pues las emisiones del proceso son equilibradas con el CO<sub>2</sub> absorbido previamente por las plantas. Siempre y cuando se vuelva a restituir a la especie que fue utilizada. Es importante resaltar que el aprovechamiento energético supone “convertir un

residuo en un recurso”, de esta forma se consigue gestionar residuos procedentes de podas y limpieza de bosques, rastrojos y podas agrícolas, disminuyendo el riesgo de incendios, enfermedades y plagas, y su propagación, y a su vez dando un valor a los residuos para que sean aprovechados y reutilizados (Carrera, 2015).

## **2.4. CASCARILLA DE ARROZ**

El arroz es sin duda el principal producto alimenticio del mundo para más de 1000 millones de personas, éste se cultiva en terrenos pantanosos, montañas y tierras bajas. En las regiones tropicales el arroz se planta y cosecha prácticamente todo el año (período de crecimiento entre 100-180 días), es por esta razón que Chur (2010) agrega que la producción mundial ha alcanzado en el año 2007 el nivel record de 657,3 millones de toneladas dentro de la zona mencionada, es decir, unas 438,1 millones de arroz molido.

La cascarilla de arroz es un subproducto generado del proceso de molienda del grano de arroz proveniente de los campos de cultivo. Esta se encuentra en la parte exterior del grano de arroz maduro compuesta por dos glumas denominadas palea y lemma. Por ejemplo, la semolina y la puntilla de arroz, cada una de estas también representa un determinado porcentaje en la composición de la granza de arroz y deben ser consideradas, pues también son desechos agroindustriales (Vargas *et al.*, 2013). La semolina está formado principalmente por las capas aleurónicas del grano, es decir, por la película externa o pericarpio, localizada entre la cáscara y el endosperma, y representa todos los pulimentos que se desprenden del grano después de eliminar la cascara externa (Vargas, 2015).

La cascarilla de arroz es un deshecho agroindustrial que se produce en altos volúmenes en los lugares donde se siembra, este desecho se lo puede utilizar para la obtención del dióxido de silicio, en lo cual han notado un gran potencial de este material como fuente alternativa en el campo de la construcción, esto permite establecer que se considere como un material de gran potencial que

ofrece una alternativa de alta viabilidad en las construcciones de bajo costo (Mafla, 2009).

El silicio es benéfico para el crecimiento normal del arroz. El contenido de sílice presente en diferentes partes de la planta (raíz, tallo, hojas, cáscara o vaina) varía entre 2,63 y 13,3%, presentándose en mayor cantidad con respecto a la parte orgánica en la cáscara del grano de arroz. La cascarilla de arroz al ser sometida a altas temperaturas, va a variar entre 13 y 29% del peso inicial, la cual está compuesta principalmente por sílice, 87-97%, y pequeñas cantidades de sales inorgánicas (Mafla, 2009)

El dióxido de silicio,  $\text{SiO}_2$ , obtenido de la cascarilla de arroz se debe considerar como buen candidato a utilizar para la elaboración del material de construcción ya que la alta reactividad del dióxido de silicio, va a favorecer su reacción con el calcio libre o  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , existente en el cemento a temperatura ambiente y en presencia de agua, ocasionando un incremento de la densificación del concreto en esta zona y por lo tanto un aumento de la resistencia y compresión del mismo (Méndez, 2009).

La composición orgánica de la cáscara de arroz es similar a la de la mayoría de las fibras orgánicas, conteniendo celulosa, hemicelulosa, lignina, compuestos nitrogenados, lípidos y ácidos orgánicos. La celulosa y la hemicelulosa constituyen la mayor parte de los hidratos de carbono presentes en la cáscara de arroz. La proporción de celulosa en la cáscara de arroz varía entre el 28% y el 49%, y la de hemicelulosa entre el 16% y el 22%. Además de celulosa, podemos encontrar más polisacáridos en la cáscara de arroz: xilosa, arabinosa y galactosa. La lignina da rigidez a la estructura de la cáscara y se concentra en sus paredes celulares. Su proporción varía entre el 19% y el 25% (García, 2014).

#### **2.4.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS**

Sus características físicas más significativas son las siguientes: peso específico 0,78 g/cm<sup>3</sup>; densidad aparente sin compactar 0,108 g/cm<sup>3</sup>; densidad aparente compactado 0,143 g/cm<sup>3</sup> (Gonzales, 1982).

Según Plaza y Posligua (2013) la cascarilla de arroz representa un desecho ya que no presenta propiedades nutritivas. Este contiene un alto contenido de Dióxido de Silicio ( $\text{SiO}_2$ ), lo cual lo hace imposible de ingerir como alimento, además de contener un bajo contenido de celulosa (40% aproximadamente), presenta un valor nulo por ser desecho y no se le ha dado un uso adecuado para conferirle un valor agregado. El peso y volumen de la cáscara de arroz como lo refiere Chur (2010) ocasionan elevados costos de almacenamiento y transporte para la industria, además por ser poco digestible su uso en la elaboración de alimentos concentrados para animales es restringido. Donde este a su vez agrega que el contenido de humedad de la cáscara de arroz cuando sale del descascarado tiende a variar entre el 5% al 40% después de haber estado a la intemperie (en época no lluviosa por sus características químicas presenta un 10% de humedad).

Según Prada (2010) el poder calorífico de la cascarilla es de 3.281,6 Kcal/kg debido a la estructura cerrada y a su alto contenido de sílice (el 20 %), siendo este de muy baja biodegradabilidad en condiciones del ambiente natural. La temperatura máxima que se obtiene al ser quemada varía de acuerdo con su condición: 970°C (seca), 650°C (con algún grado de humedad) y hasta los 1000°C (mezclada con combustible), por tal razón se ha estimado que es un material que presenta una elevada resistencia al fuego. La cascarilla de arrozal quemarse, genera 17.8 % de ceniza rica en Sílice(94.5 %), (Varón 2005, Valverde, 2007).

La cascarilla de arroz es de consistencia quebradiza, abrasiva y su color varía del pardo rojizo al púrpura oscuro. Su densidad es baja, por lo cual al apilarse ocupa grandes espacios. El peso específico es de 125 kg/m<sup>3</sup>, es decir, 1 tonelada ocupa un espacio de 8 m<sup>3</sup> a granel (Varón 2005).

La principal característica de la cascarilla de arroz es que esta toma la forma del grano cariósido, es decir, que posee una sola semilla y que al madurar no se libera de ella, en este grupo se puede incluir los granos de maíz, trigo, cebada, sorgo, centeno, avena, entre otros.

Existen numerosas variedades de cascarilla de arroz por lo que su dimensión oscila en longitud de 4 a 14 mm, en ancho de 1,5 a 5 mm y en su espesor existe un promedio de 50 $\mu$ m. La apariencia de la cascarilla de arroz según Chang (1990): A simple vista, es uniforme en la superficie exterior, pero al observarse al microscopio se aprecia una superficie rugosa con crestas a diferencia de la interior que es lisa. Esto influye para que el aire quede atrapado en los intersticios exteriores e influya en la humedad de la cáscara. Para lograr una completa descripción de la cascarilla de arroz, es necesario determinar su peso. La medición del peso de las muestras se realiza con la cascarilla, unida por su extremo, en una balanza analítica.

El rango de peso de una muestra fue de 2.944 - 3.564 mg, en base seca (Echeverría y López, 2010). Una de las dificultades para la medición de su peso es la cantidad de pequeñas porosidades que posee lo que influye en el contenido de humedad. La medición en una balanza electrónica extractora de humedad es necesaria.

#### **2.4.2. COMPOSICIÓN ORGÁNICA**

La composición orgánica de la cáscara de arroz es similar a la de la mayoría de las fibras orgánicas, conteniendo hemicelulosa, lignina, compuestos nitrogenados, celulosa, ácidos orgánicos y lípidos (Ordoñez, 2007). La celulosa y la hemicelulosa constituyen la mayor parte de los carbohidratos presentes en la cascarilla de arroz. El contenido de celulosa en la cascarilla de arroz oscila entre el 28% y el 49%, y la de hemicelulosa entre el 16% y el 22%. Además de celulosa, se puede encontrar en la cascarilla de arroz más polisacáridos como: galactosa, arabinosa y xilosa. La lignina le da rigidez a la estructura de la cáscara y se concentra en sus paredes celulares. Su proporción varía entre el 19% y el 25%. (Valverde *et al.*, 2007).

#### **2.4.3. COMPOSICIÓN INORGÁNICA**

Los componentes inorgánicos habitualmente son determinados en la ceniza de cascarilla de arroz. La composición inorgánica de la ceniza es diferente de las

cenizas de otras fibras orgánicas, ya que posee un contenido elevado en sílice, pudiéndose encontrar en la ceniza resultante, un porcentaje superior al 90%, lo que la convierte en una fuente potencial de sílice (Treviño y Gomez, 2002). De acuerdo a otros autores, el porcentaje de SiO<sub>2</sub> en la ceniza puede alcanzar hasta principalmente K<sub>2</sub>O (Ospina *et al.*, 2009).

Las principales impurezas que contiene esta sílice son: calcio, potasio, magnesio y manganeso, y como secundarias aluminio, hierro (10-20 ppm), boro y fósforo (1-40 ppm), generalmente en forma de óxidos (Ahumada y Rodríguez, 2006). Este elevado contenido de sílice amorfa que posee la ceniza de cáscara de arroz, hace que resulte interesante su utilización como adición puzolánica en el hormigón basado en cemento Pórtland, permitiendo un reemplazo parcial del cemento (Ospina *et al.*, 2009), y reduciendo la permeabilidad de los hormigones a tiempos medios y largos de curado.

Habitualmente la cascarilla de arroz es un producto agroindustrial que se utiliza como combustible por su valor calorífico (16.720 kJ/kg) (Gómez y Lopera, 2011), y de esta manera puede producir energía eléctrica o simplemente calor. En el proceso de incineración, se generan a su vez humos contaminantes que contienen partículas peligrosas en suspensión para las personas (Ferreira *et al.*, 2010). También es posible reutilizar esta cascarilla como fuente de generación de hidrógeno y metanol por gasificación (Muñoz y Posada, 2011).

En el cuadro se logra estimar que a nivel mundial dentro de los países que mayor nivel de cultivo de arroz, mantienen cierta relación dentro de los parámetros de material volátil, ceniza y carbono, donde es notable un aumento considerable en el material volátil, llegando a deducir que éste tiene esa tendencia por las características propias dentro del proceso de cultivo de la materia prima.

**Cuadro 2.7** Composición de cáscara de arroz a nivel mundial .

Parámetros (%)	COMPOSICIÓN CÁSCARA DE ARROZ			
	Canadá	California, USA	China	Colombia
Material Volátil	66.4	63.5	52.0	16.7
Carbono fijo	13.2	16.2	25.1	17.9
Ceniza	20.0	20.3	16.9	65.5
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

La cascara de arroz como indica Chur (2010) se encuentra compuesta por un tejido vegetal constituido por celulosa ( $\pm$  40%) y sílice; éste presenta un alto contenido de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), al fundirse con otros óxidos metálicos genera diferentes variedades de vidrio y se utiliza en la fabricación de cementos y materiales cerámicos.

Un dato importante que se añade, es que de acuerdo a un estudio efectuado por Acero y Rodríguez (2011) se llegó a estimar que en el Ecuador existe registradas tan solo 1066 piladoras, la cuales se encuentran concentradas en las provincias del Guayas y Los Ríos, no obstante el MAGAP (2014) registro una producción de arroz de 63.655,15 toneladas, de estas se obtuvo 12.731,03 toneladas de cascarilla, agregando que si esta fuera manejable para la creación de subproductos se estaría disminuyendo el impacto de la quema y mal conducción de los residuos.

El total de cascarilla producida en el país, es considerable. Debido a la generación y acumulación, han sido diversos los ensayos para aprovechar la cascarilla de arroz en diferentes campos y por intermedio de diferentes métodos.

#### **2.4.4. ORIGEN DEL ARROZ**

El cultivo del arroz, *Oryza sativa* L., comenzó hace casi 10.000 años, en muchas regiones húmedas de Asia tropical y subtropical. Este cultivo es el alimento básico para más de la mitad de la población mundial. A nivel mundial, ocupa el segundo lugar después del trigo con respecto a superficie cosechada. El arroz proporciona más calorías por hectárea que cualquiera de los otros cereales cultivados (Acevedo *et al.*, 2006).

Oliveira (2004) afirma que el arroz pertenece a la División: Angiosperma, Clase: Monocotiledónea, Orden: Glumiflorae, Tribu: Oryzeae, Familia: Poaceae (gramínea), siendo las especies cultivadas: *Oryza sativa* L. y *Oryza glaberrima* Steud, ambas son especies de reproducción auto gama, diploides con  $2n=24$  cromosomas. El género *Oryza* tiene más de 24 especies silvestres que crecen



en regiones inundadas, semisombreadas y bosques en el sureste Asiático, Austria, África, Sur y Centro América.

#### **2.4.5. PRODUCCIÓN MUNDIAL**

El arroz es el segundo cereal de mayor consumo en el mundo, la producción está geográficamente concentrada y más del 85% proviene de Asia. Tan solo siete países asiáticos (China, India, Indonesia, Bangladesh, Vietnam, Myanmar y Tailandia) producen y consumen el 80% del arroz del mundo. La producción mundial del arroz en cáscara en el 2005 fue de 628 millones de toneladas. China es el mayor productor con 28% del volumen total seguido de la India con 22%, Indonesia con 9%, Bangladesh y Vietnam con 6%, Tailandia con 5%, Myanmar con 4% y otros países representan el 20% (García, 2014)

Las variedades de arroz cultivadas han ido variando en los últimos años, mediante una gradual renovación de las más antiguas, en función de las mejores características; provocando la desaparición de determinadas variedades, pues las nuevas ofrecen mejores rendimientos, una mayor resistencia a enfermedades, altura más baja, mejor calidad de grano o una mayor producción. Los programas de mejora genética se basan en la producción de plantas de arroz di haploides, mediante el cultivo de anteras de plantas obtenidas a partir de cruzamientos previos (Álvarez, 2014).

#### **2.4.6. PRODUCCIÓN NACIONAL**

La producción de arroz cáscara en el 2000 fue de 1'892,102 toneladas, luego en el 2006 llegó a 2'360,570 t, la producción tuvo un incremento de 24.8% con respecto al 2000 (468,468 t). En el 2009 se tuvo un producción de 2'435,134 toneladas, luego en el 2011 llegó a 2'989,592 teniendo la producción un incremento de 22.8 % con respecto al 2009 (554458 t). Los picos en la producción están vinculados a la abundancia del recurso hídrico, las condiciones climáticas y las políticas económicas. En el Ecuador a Costa Sur presenta los mayores rendimientos por el nivel tecnológico del cultivo en estas zonas, le sigue la Costa Norte y los menores rendimientos se obtienen en la Selva. Los bajos

rendimientos se explican por la insuficiente disponibilidad de semilla certificada y la falta de investigación y transferencia de tecnología arroceras (Rojas, 2008). (Rojas, 2008).

#### **2.4.7. APLICACIONES DE LA CASCARILLA DE ARROZ**

El arroz es uno de los alimentos más comunes e importantes en el mundo, éste genera un residuo llamado cascarilla el cual es solamente aprovechado en un 5% dentro de la limpieza de los campos, combustión, disposición general de rellenos, etc. Gran parte de este es quemado, lo cual conduce a un problema de carácter ambiental, debido a que la cascarilla de arroz genera un gran volumen de cenizas, RHA, del inglés Rice Husk Ash, que tiene una elevada proporción de sílice. Se estima que por cada tonelada de arroz se generan 200 kg de cascarilla y de ésta se pueden producir 40 kg de cenizas con un contenido del orden del 90% en sílice (Chur, 2010).

La cascarilla de arroz es un desecho agro-industrial que se produce en altos volúmenes en zonas donde se siembra y se procesa la planta de arroz; este desecho se puede utilizar como fuente de silicio para la obtención de silicatos de calcio (Álvarez, 2014).

Esto se debe a que comúnmente, la cascarilla se incinera para reducir su volumen generando humos contaminantes. Como combustible genera calor, con un poder calorífico de aproximadamente 16720 kJ/kg, y la ceniza resultante contiene un porcentaje de sílice superior al 90%, lo cual la hace una potencial fuente de sílice (Juárez, 2010).

Sin embargo esta sílice contiene numerosas impurezas, siendo las principales: calcio, potasio, magnesio y manganeso y otras como: aluminio, hierro, boro y fósforo, por lo cual es necesario eliminar estos componentes. Esta sílice a su vez puede utilizarse mediante el método de precipitación controlada para sintetizar silicatos de calcio. Los silicatos de calcio, se utilizan en la fabricación de ladrillos de cal y arena, en la industria del cemento, como material de relleno en las industrias de pinturas y plásticos y en la fabricación de porcelanas dieléctricas,

entre otros. Muy recientemente se han comenzado a utilizar en la fabricación de vidrios bio activos (Arcos *et al.*, 2007).

Otra aplicación relevante sería la obtención de concreto de alta resistencia mediante adición del diseño de un súper plastificante y ceniza de cascarilla de arroz. Este concreto surgió de un experimento en el cual se implementaron mejoras a un concreto convencional disminuyendo la relación agua/cemento con la adición de ceniza de cascarilla de arroz, la que trabaja llenando los capilares existentes y fortaleciendo los enlaces químicos de las partículas que participan en el diseño del concreto (Krishnarao *et al.*, 2001).

## **2.5. ARQUITECTURA SUSTENTABLE**

La construcción sostenible es el desarrollo del diseño arquitectónico de tal forma que pueda aprovechar los recursos naturales, reducir el impacto ambiental en las edificaciones y sus habitantes. Implica aspectos tales como diseño y administración de edificaciones, construcción y rendimiento de materiales y uso de recursos. No limitándose a esto, sino con proyección a desarrollar un urbanismo sostenible no solo en cuanto a recursos sino también a su función como un lugar para vivir.

Las edificaciones después de su construcción siguen generando contaminantes, emisiones. Su ciclo de vida implica impactos ambientales en cada una de sus etapas: materiales de construcción de fuentes naturales, grandes cantidades de energía, costes ecológicos, deposición de residuos y vertederos, etc. Nace el término de "edificios enfermos" por los niveles de compuestos orgánicos volátiles (COV) que pueden tener concentraciones elevadas cientos de veces con relación al exterior en semejanza con lo que se considera en niveles de ruido (Carrera, 2015).

La construcción sustentable promueve diversos beneficios que se extienden más allá de su participación en el mejoramiento de las condiciones ambientales y mitigación del impacto ambiental, dado que representan el establecimiento de un

nuevo orden de los principios básicos de diseño en todas y cada una de sus escalas (Astiati, 2017; Ivanova y Ganzha, 2016).

Estos principios se fundamentan en sistemas y ciclos naturales, mayor dependencia en recursos locales, particularmente para la generación, distribución y uso de energía y agua, con dimensión social y proyección a futuro (Evans, 2010). Por esto, surge la arquitectura sustentable (conocida también como eco-arquitectura, arquitectura verde, arquitectura sostenible y arquitectura ambientalmente consciente) como una nueva forma de construcción para evitar que el deterioro del medio ambiente siga avanzando (Niroumand *et al.*, 2013; Reinberg, 2009; Vidal, 2014).

### **2.5.1. ECOBLOQUES**

Los eco bloques son bloques comunes en los cuales se ha reemplazado uno de los componentes por algún material reciclado, por ejemplo, se puede disminuir la cantidad de áridos y reemplazarlo por polietileno de baja densidad o polietileno de alta densidad (Orellana y Serrano, 2005), así como también cascarilla de arroz (Chur, 2010) (Chur, 2010). También se puede hacer ecobloques reemplazando la cantidad de cemento por ceniza de cascarilla de arroz (Zhi *et al.*, 2017; Fapohunda *et al.*, 2017; Huang *et al.*, 2017).

### **2.5.2. MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DE ECOBLOQUES**

Los materiales con los que se puede elaborar bloques ecológicos son los siguientes: polietileno de alta densidad, polietileno de baja densidad (Orellana y Serrano, 2005), polietileno de tereftalato (Caballero *et al.*, 2017), vidrio, cascarilla de arroz (Chur, 2010), ceniza de bagazo de caña (Molina y Hurtado, 2016), ceniza de cascarilla de arroz, ceniza de plantas termoeléctricas (Molina *et al.*, 2015), entre otros.

### **2.5.3. FABRICACIÓN DE BLOQUES CON LA CASCARILLA DE ARROZ**

La fabricación de bloques a base de cascarilla de arroz es conveniente porque están fabricados con un material mucho más liviano, y se ahorra dinero a la hora de construir, la utilización de este subproducto también mejora la calidad del medio ambiente ya que gracias al uso de la cascarilla de arroz se evitara la quema de está mejorando la condición ambiental que se vive.

Los bloques tienen orificios, lo que permite que las edificaciones que son construidas con este material no se llenen de calor, porque los mismos actúan como una barrera aislante. Para obtener, un bloque de concreto fabricado a base de la cascarilla de arroz, primero se incinera este insumo natural y luego es molido. Posteriormente, la ceniza resultante es mezclada en seco con cemento, arena gruesa y confitillo o piedra chancada pequeña. En esta mezcla, no se utilizan aditivos químicos, pero sí agua en proporción a los demás materiales empleados. La húmeda masa obtenida se vierte en moldes para luego al secarse lograr el producto final.

### **2.5.4. BENEFICIOS DE UN BLOQUE ECOLÓGICO**

El bloque tipo lego o bloque ecológico es un “bloque construido con materiales que no degradan el medio ambiente y cuya fabricación también es respetuosa con este, frente a los ladrillos habituales cuya fabricación y materiales no es tan inocua (Peralta, 2016).

Este bloque se usa actualmente en algunos países como México y Venezuela (Acero y Rodríguez, 2011), entre otros en Hispanoamérica. Según emprendedores mexicanos, la ventaja principal es que estos bloques “eliminan el desperdicio de materiales –cemento, arena o cal– y reducen hasta 30% los costos de construcción”. Sin embargo, la falta de conocimiento sobre sus características ha generado barreras en los mercados, impidiendo la libre penetración de los bloques como producto viable. De hecho, se afirma que, por ser productos ecológicos, pasan por más pruebas que los bloques tradicionales

(Echeverría y López, 2010); es por ello que son una opción comprobada de mejoras en estética, seguridad y mejor costo.

Son estéticamente superiores: por la limpieza que se distingue en su fabricación, el acabado propio del bloque y la forma de ubicarlo hace que el levantamiento de muros se vea más ordenado y limpio. Por otro lado, la fácil colocación genera además ahorro en tiempo, que es ahorro en dinero. Esto es sumamente influyente en la gestión de presupuestos, pues ahorra material y mano de obra, así como plazos de entregas. Otro beneficio que presenta el bloque lego ecológico, es que, al combinarse con materiales como cáscaras o residuos naturales, son aislantes de temperatura y acústica, y por consecuencia producen ahorro energético.

## **2.5.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE CASCARILLA DE ARROZ EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES**

### **2.5.5.1. VENTAJAS**

Las principales características de este material es que lo hace interesante desde el punto de vista constructivo debido a su baja densidad, aplicaciones para aislamiento acústico, abundancia y reducido costo (Serrano *et al.*, 2012).

Entre sus ventajas como material de construcción se pueden mencionar:

- Alto contenido de cenizas (materia sólida no combustible por kg del material  $\pm$  20%).
- Elevado contenido de sílice de las cenizas (90%).
- Estructura física de la sílice (estructura alveolar de gran superficie específica).
- Disponibilidad a lo largo del año.
- Retención de humedad.
- Material liviano.

### 2.5.5.2. DESVENTAJAS

Los principales inconvenientes que presenta el utilizar la cáscara de arroz como material de construcción son su porosidad, su higroscopia, y sus componentes orgánicos (Serrano *et al.*, 2012).

Al mezclar la cascara de arroz con el hormigón, modifica de forma negativa las características de fraguado. El fenómeno se incrementa cuando la cáscara no se ha lavado y contiene polvo con materia orgánica (Chur, 2010).

De acuerdo a Gatani *et al.* (2010) el fraguado del cemento en mezclas con compuestos vegetales se retrasa en relación a las mezclas de solo cemento, y esto probablemente sucede por la presencia de algunos azúcares solubles en agua.

Las experiencias realizadas en cada una de estas tendencias han tenido que superar obstáculos importantes, puesto que los productos obtenidos no han logrado un uso proyectado, en razón a que las investigaciones en su gran mayoría, no han llegado a la etapa de implementación a escala, en consecuencia, no se cuenta con información real del total de cascarilla de arroz consumida en cada alternativa, ni se han realizado estudios de viabilidad técnica, económica y ambiental.

Las dificultades encontradas en cada grupo de experiencias, están directamente relacionadas con las características de la cascarilla de arroz, por tanto tienen relación con los siguientes aspectos:

- Los ensayos de desintegrar la cascarilla de arroz, por medios biológicos, se dificultan dado el alto contenido de silicio (cerca del 17 %, Tabla 1), elemento que la convierte en un material de muy baja degradabilidad. En trabajos prácticos se ha demostrado que muy pocos organismos vivos se nutren de ella (Cortes 1999) y por tanto persiste y se acumula en el ambiente natural.

- Algo similar sucede en el caso de utilizar la cascarilla como relleno en camas para la producción porcícola o avícola. Aunque, en el primer caso (la producción porcícola), el uso de la cascarilla, reduce de manera sensible el consumo de agua, puesto que la cama no es exigente en el uso del recurso hídrico en la limpieza, no se conocen datos sobre el uso posterior del residuo, después del contacto físico con los animales, su orina y excretas. Algo similar se presenta con las camas de la producción avícola. Sin duda este podría ser un campo a estudiar con el propósito de encontrar un uso importante para la cascarilla (Prado y Cortés, 2010).

### **2.5.6. ELIMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA**

De acuerdo a Serrano *et al.* (2012) para reducir la materia orgánica en la cascarilla de arroz, se puede hacer un proceso de reflujo que consiste en dejar reposando la cascarilla de arroz en un medio ácido (HCL) o básico (NaOH) por un lapso de 24 horas y posterior a esto un lavado con agua destilada, finalmente secar en estufa. Mafla (2012) menciona que el proceso de reflujo debe hacerse de la siguiente manera: primero lavar la cascarilla de arroz, después ponerla a secar al ambiente. Con la cascarilla seca, se procede al tratamiento químico con ácido clorhídrico HCl por un lapso 5 horas. Por último, la cascarilla de arroz se deja secar de nuevo al ambiente. Arcos *et al.* (2007) usaron el ácido clorhídrico en un tiempo 2, 4, 6 y 12 horas.

A pesar de esto, la cascarilla sigue siendo un producto poco aprovechado en la mayoría de los sectores donde se genera. Existe una crítica mediática sobre el desperdicio de todo este potencial agregado por parte de la industria agrícola. Como se conoce, se usa como combustible en muchas fábricas y se reutiliza para ablandar camillas y otras soluciones cotidianas, pero, aunque se ha investigado mucho sobre sus propiedades y posibles aportes, no se ha hecho mucho para realmente probar su eficacia en un propósito más relevante, al menos en el campo de la arquitectura (Echeverría y López, 2010).



## CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

### 3.1. UBICACIÓN

La investigación se llevo a cabo en la Fábrica de Bloques INZAM, ubicada en el cantón Rocafuerte perteneciente a la provincia de Manabí. Astronómicamente, Rocafuerte se sitúa sobre las coordenadas  $0^{\circ} 55' 6''$  latitud Sur y  $80^{\circ} 29' 10''$  longitud Oeste. Limita al norte con los cantones Sucre y Tosagua, al sur con el cantón Portoviejo, al este con el cantón Junín y al oeste con el cantón Portoviejo. Presenta un clima seco con temperaturas de  $25^{\circ}\text{C}$ , aunque tiene máximos relativos que llegan a  $36^{\circ}\text{C}$ . A continuación la ubicación geográfica del cantón Rocafuerte:

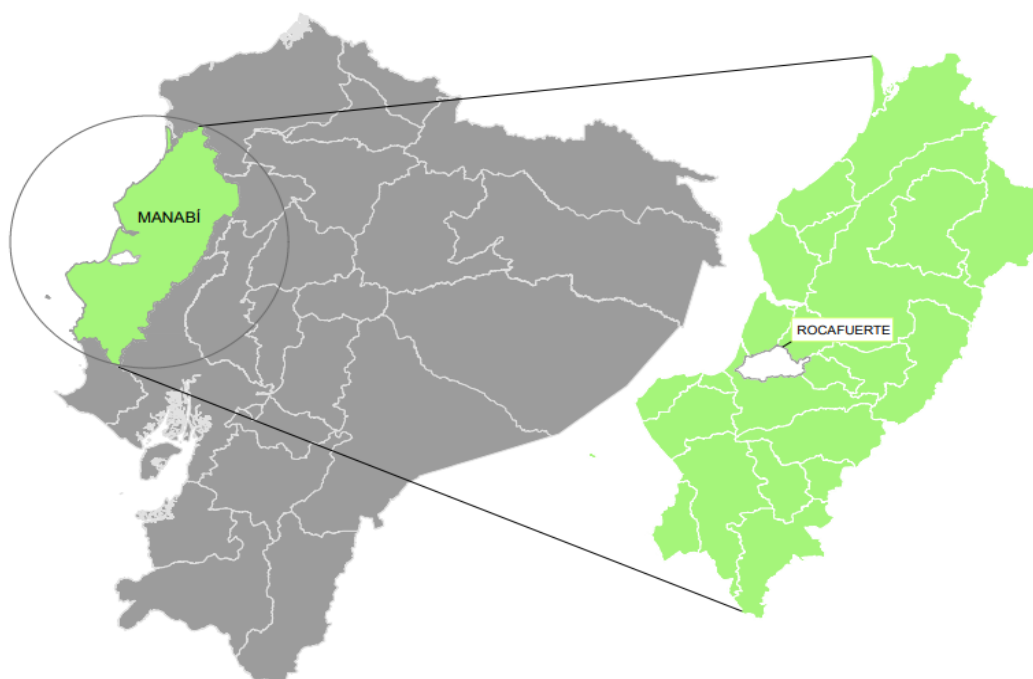


Figura 3.1 Ubicación del área de estudio.

### 3.2. DURACIÓN

La presente investigación se realizó en un tiempo de 9 meses a partir del mes de Julio del 2017 hasta el mes de abril del 2018.

### 3.3. FACTOR EN ESTUDIO

El factor en estudio es la cantidad de cascarilla de arroz que se agregará en la fabricación del eco bloque.

**Cuadro 3.1** Tratamientos.

TRATAMIENTOS	%	CEMENTO (kg)	ARENA (kg)	GRANULADOS VOLCÁNICOS (kg)	AGUA (dm <sup>3</sup> )	CASCARILLA DE ARROZ (kg)
T1	25	0,61	0,91	6,11	0,9	0,31
T2	50	0,61	0,61	6,11	0,9	0,61
T3	75	0,61	0,31	6,11	0,9	0,91
TESTIGO	100	0,61	1,22	6,11	0,9	0,00

### 3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL

**Cuadro 3.2** Delineamiento experimental.

DISEÑO EXPERIMENTAL	DISEÑO COMPLETAMENTE ALEATORIO (DCA)
NÚMERO DE TRATAMIENTOS	4
NÚMERO DE REPETICIONES	3
TRATAMIENTOS	Cantidad en kg de cascarilla de arroz 1. 0,31 kg 2. 0,61 kg 3. 0,91 kg

### 3.5. UNIDAD EXPERIMENTAL

Son los tratamientos a realizar entre los cuales son tres con una combinación de 25, 50 y 75 % de agregado de cascarilla de arroz en la arena.

**Cuadro 3.3** Descripción de las unidades experimentales.

UNIDAD EXPERIMENTAL	NOMENCLATURA	COMBINACIONES	
		Cascarilla de arroz	Arena
X <sub>1</sub> R <sub>1</sub>	T1	0,31	0,91
X <sub>1</sub> R <sub>2</sub>	T2	0,31	0,91
X <sub>1</sub> R <sub>3</sub>	T3	0,31	0,91
X <sub>2</sub> R <sub>1</sub>	T4	0,61	0,61
X <sub>2</sub> R <sub>2</sub>	T5	0,61	0,61
X <sub>2</sub> R <sub>3</sub>	T6	0,61	0,61
X <sub>3</sub> R <sub>1</sub>	T7	0,91	0,31
X <sub>3</sub> R <sub>2</sub>	T8	0,91	0,31
X <sub>3</sub> R <sub>3</sub>	T9	0,91	0,31
TRADICIONAL 1	T10	0	1,22
TRADICIONAL 2	T11	0	1,22
TRADICIONAL 3	T12	0	1,22

### 3.6. VARIABLES A MEDIR

#### 3.6.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Evaluación en el uso de residuos de cascarilla de arroz (*Oriza sativa* L.) como agregado de bloque.

#### 3.6.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Análisis de resistencia mecánica de bloques para la construcción.

### 3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó un análisis estadístico en InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2017):

- Análisis de la varianza de un factor (ANOVA)
- Prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ )

Se realizó un análisis estadístico en Microsoft Excel 2016:

- Gráficos estadísticos

## **3.8. MÉTODO Y TÉCNICAS**

### **3.8.1. MÉTODO**

La metodología que se utilizó en este análisis es el método descriptivo que se utiliza para recoger, organizar, resumir, presentar, analizar, generalizar, los resultados de las observaciones. Este método implica la recopilación y presentación sistemática de datos para dar una idea clara de una determinada situación (Abreu, 2014).

### **3.8.2. TÉCNICAS**

#### **3.8.2.1. OBSERVACIÓN**

La observación como técnica se utilizó para verificar la resistencia de los ecobloques en los análisis realizados en el laboratorio certificado de resistencia mecánica.

#### **3.8.2.2. RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA**

La consulta bibliográfica se utilizará en la búsqueda de datos que permitan referenciar los resultados obtenidos en la ejecución del trabajo de investigación, se la realizará durante cada una de las fases previstas, principalmente en las fases inicial y final pues servirá para conseguir precedentes y causales del trabajo presentado.

## **3.9. PROCEDIMIENTO**

Los procedimientos descritos a continuación fueron desarrollados de acuerdo a los objetivos específicos planteados.

### **3.9.1. FASE I. ESTIMAR LA CANTIDAD DE RESIDUOS DE CASCARILLA DE ARROZ QUE SE GENERAN EN LOS CENTROS DE ACOPIO DEL CANTÓN ROCAFUERTE**

#### **3.9.1.1. Actividad 1. Aplicación de una encuesta a los centros de acopio del cantón**

Inicialmente se realizó una visita a los centros de acopio de la cascarilla de arroz ubicados en el cantón Rocafuerte con el objetivo de conocer la ubicación exacta de los centros y estimar la cantidad de residuos generados a través de una encuesta. (Atencio *et al.*, 2011).

#### **3.9.1.2. Actividad 2. Elaboración de gráficos a partir de los resultados obtenidos en la encuesta**

Se elaboró gráficos por cada pregunta a través de la hoja de cálculo Microsoft Excel para conocer aspectos como; la disposición, uso y precio de la cascarilla de arroz.

### **3.9.2. FASE 2. OBTENCIÓN DE UN BLOQUE UTILIZANDO COMO AGREGADO LOS RESIDUOS DE ARROZ PROVENIENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO**

#### **3.9.2.1. Actividad 3. Recolección de los residuos de arroz**

Para la recolección de la cascarilla de arroz se utilizó sacos. Son los elementos con los cuales se elaboró una mezcla de cemento, agua y agregados que 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 (Gombo, 2005).

#### **3.9.2.2. Actividad 4. Eliminación de impurezas de la cascarilla de arroz**

Se lavó la cascarilla de arroz, después se la puso a secar al ambiente. Con la cascarilla seca, luego se procedió al tratamiento químico con ácido muriático por un lapso de 5 horas. Por último, la cascarilla de arroz se la dejó secar de nuevo al ambiente (Arcos *et al.*, 2007).

#### **3.9.2.3. Actividad 5. Obtención de la mezcla**

Se utilizó una mezcladora especial para concreto, realizando los siguientes pasos: se colocó el agregado grueso y las tres cuartas partes del agua a utilizar en la mezcladora y se mezcló por varios minutos, luego se adicionó el cemento, finalmente se agregó el resto de agua y arena para completar la mezcla (Gomboá, 2005).

#### **3.9.2.4. Actividad 6. Elaboración de los ecobloques**

Primero se revisó que el molde esté en buen estado y limpio. Luego se colocó la tolva alimentadora y se llenó. Se aplicó la vibración al molde por un promedio de treinta segundos para acomodar la mezcla. Se volteó el molde de modo que la tabla o bandeja quedo debajo, y se bajaron los martillos compactadores antes de aplicar la vibración para que la mezcla se compacte lo suficiente (Gomboá, 2005).

#### **3.9.2.5. Actividad 7. Proceso de fraguado y curado de los bloques**

Una vez fabricados los bloques, éstos permanecieron en un lugar que les garantizo protección del sol y de los vientos, con la finalidad de que puedan fraguar sin secarse. El periodo de fraguado fue de 4 a 8 horas, pero es recomendable dejar los bloques de un día para otro. Luego de ese tiempo, los bloques fueron retirados y colocados en rumas para su curado.

Para curar los bloques se regaron periódicamente con agua durante cinco días. Se humedecieron los bloques al menos tres veces al día o lo necesario para que

no se comiencen a secar en los bordes. Se les cubrió con plásticos, para evitar que se evapore fácilmente el agua.

### **3.9.3. FASE III. REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA MECÁNICA EN LOS BLOQUES QUE CONTIENE AGREGADOS DE CASCARILLA DE ARROZ**

#### **3.9.3.1. Actividad 8. Ejecución de los ensayos de resistencia mecánica**

La máquina de ensayos fue una prensa hidráulica, que dispone de varias escalas de manera que se escogió la apropiada la cual se encuentra en las instalaciones del Laboratorio Lupconstruc S.A.

#### **3.9.3.2. Actividad 9. Análisis de los resultados obtenidos**

Un resultado de prueba es el promedio de, por lo menos, dos pruebas de resistencia curadas de manera estándar o convencional elaboradas con la misma muestra de concreto y sometidas a ensayo a la misma edad.

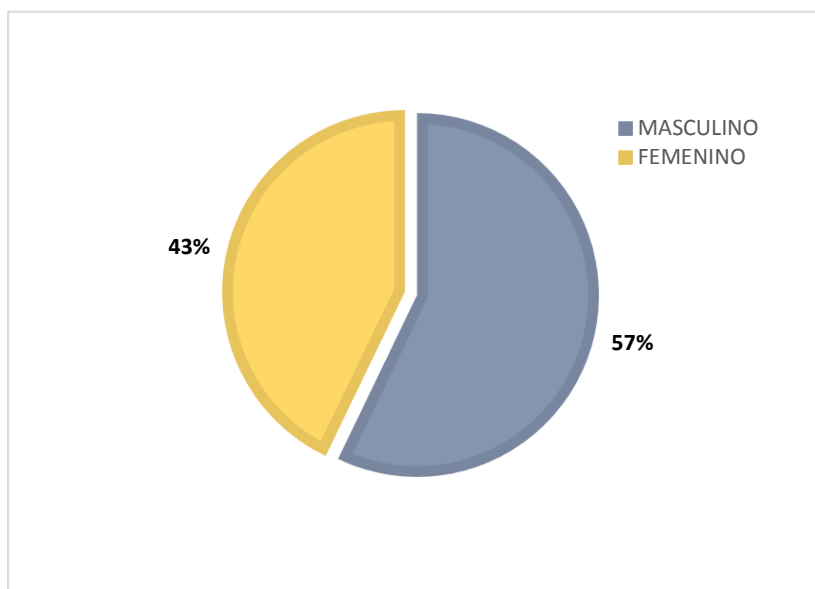
## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. ENCUESTA APLICADA A LOS CENTROS DE ACOPIO

Se visitó distintos centros de acopio de cascarilla de arroz en el cantón Rocafuerte y se encuestó a sus administradores, el propósito de la encuesta es establecer información y estimar la cantidad de residuos.

**Cuadro 4.1** ¿Cuál es el género del administrador o dueño del centro de acopio?

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
Femenino	3	43%
Masculino	4	57%
Total	7	100%



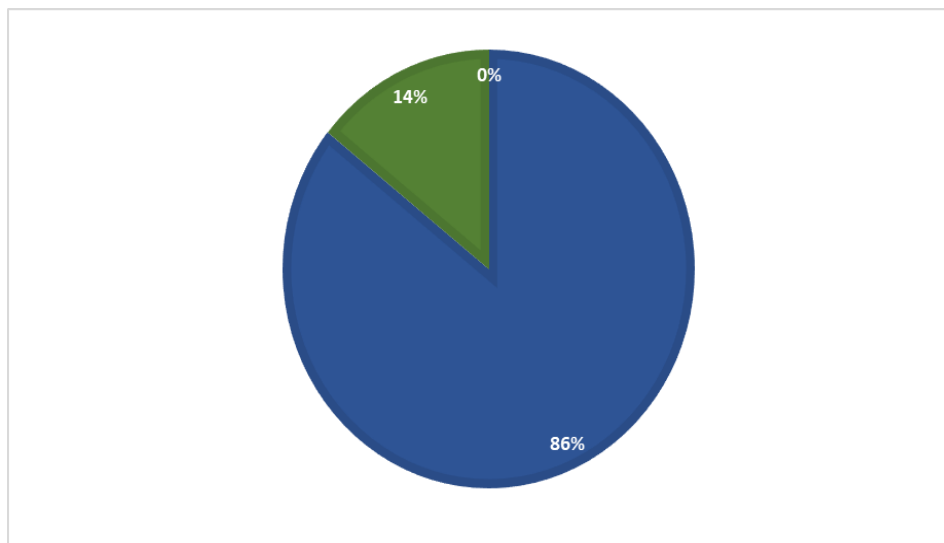
**Gráfico 4.1** ¿Cuál es el género del administrador o dueño del centro de acopio?

De acuerdo al gráfico 4.1 la administración de la mayoría de los centros de acopio evaluados está a cargo de hombres con un 57% y 43% a cargo de mujeres.

**Cuadro 4.2** ¿Qué hacen con el residuo de cascarilla de arroz?

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
Lo venden	6	86%
Lo regalan	1	14%
Otros	0	0%
Total	7	100%



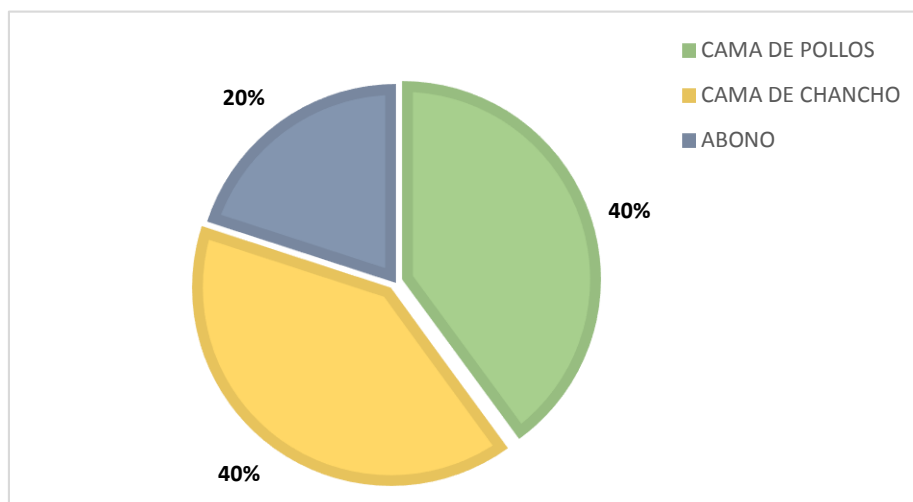


**Gráfico 4.2** ¿Qué hacen con el residuo de cascarilla de arroz?

En los centros de acopio evaluados el 86% indicó que vende la cascarilla de arroz, mientras que el 14% lo regala.

**Cuadro 4.3** ¿Cuál es el uso comúnmente que se le da a la cascarilla de arroz?

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
Cama de pollos	4	40%
Cama de chancha	4	40%
Abono	2	20%
Total	10	100%

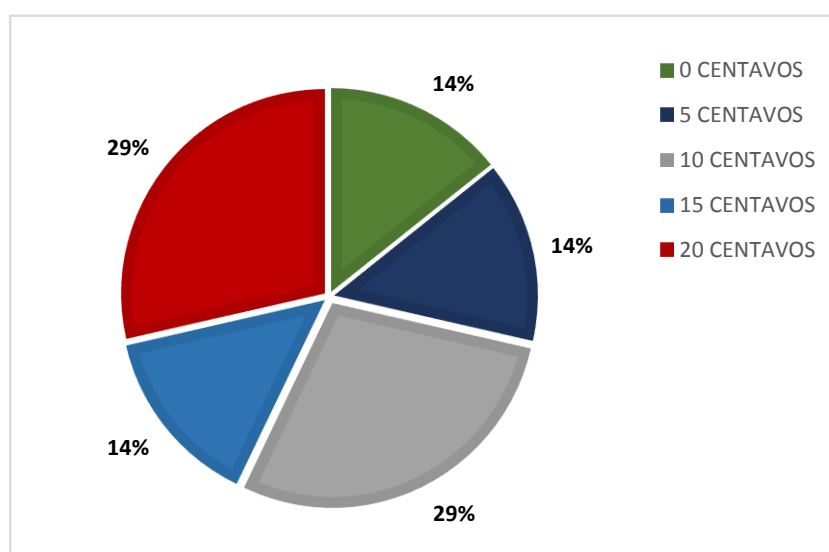


**Gráfico 4.3** ¿Cuál es el uso comúnmente que se le da a la cascarilla de arroz?

Según los resultados obtenidos de la encuesta, el 40% de los centros de acopios evaluados usa la cascarilla de arroz en cama de pollos, el otro 40% la ocupa en cama de cerdos, mientras que el 20% la utiliza para elaborar abonos.

**Cuadro 4.4.** ¿Cuál es el precio del saco de la cascarilla de arroz?

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
0 centavos	1	14%
5 centavos	1	14%
10 centavos	2	29%
15 centavos	1	14%
20 centavos	2	29%
Total	7	100%

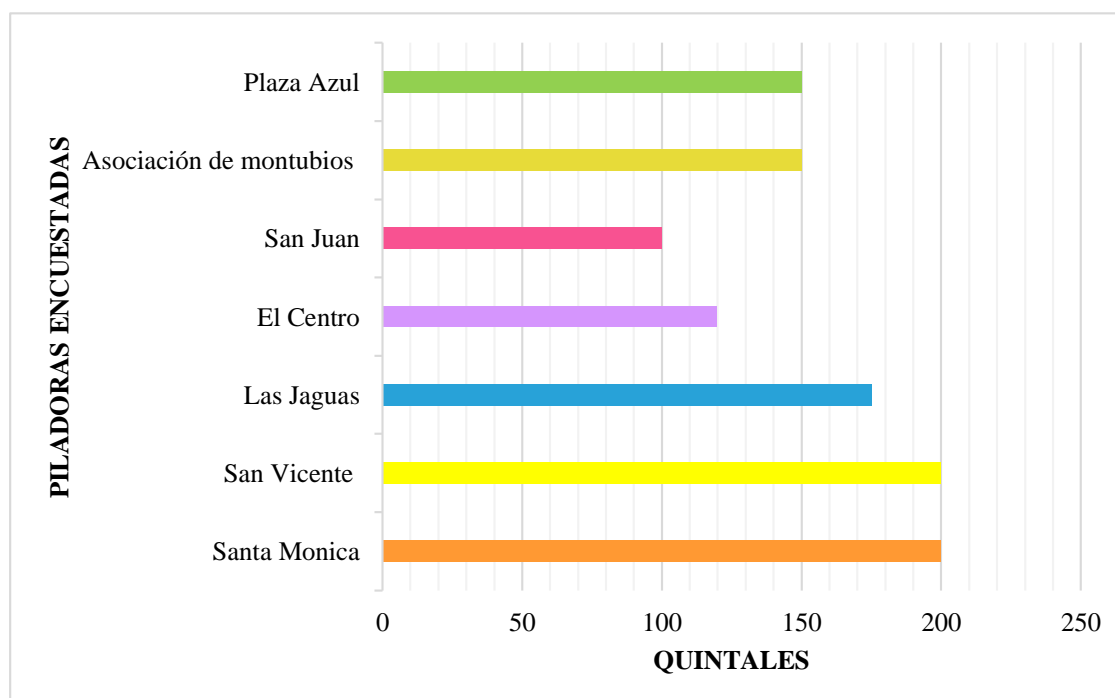


**Gráfico 4.4.** ¿Cuál es el precio del saco de la cascarilla de arroz?

Conforme a los resultados obtenidos de los centros de acopio encuestados, se determinó que el 29% vende a 10 centavos el saco de cascarilla de arros, otro 29% lo vende a 20 centavos, mientras que el 14% lo vende a 0 centavos, otro 14% cobra 5 centavos por el saco, finalmente a 15 centavos lo vende otro centro de acopio (15%).

**Cuadro 4.5.** ¿Cuánto generan a la semana de cascarilla de arroz? y ¿Qué hacen con los otros residuos provinientes del arroz?

Nombre de la piladora	¿Cuánto generan a la semana de cascarilla de arroz?	¿Qué hacen con los otros residuos provinientes del arroz?
Santa Monica	200 Quintales	Para alimentacion de animales
San Vicente	200 Quintales	Para alimentacion de animales
Las Jaguas	175 Quintales	Para alimentacion de animales
El Centro	120 Quintales	Para alimentacion de animales
San Juan	100 Quintales	Para alimentacion de animales
Asociación de montubios	150 Quintales	Para alimentacion de animales
Plaza Azul	150 Quintales	Para alimentacion de animales



**Gráfico 4.5.** ¿Cuánto generan a la semana de cascarilla de arroz? y ¿Qué hacen con los otros residuos provinientes del arroz?

Como podemos observar en el gráfico 4.5 los centros de acopio que generan mayor cantidad de cascarilla de arroz son San Vicente y Santa Mónica con 200 quintales/semana cada uno. Seguido se encuentra Las Jaguas con una producción de 175 quintales/semana, mientras que la piladora que genera menor cantidad de cascarilla de arroz es San Juan con 100 quintales por semana.

La cascarilla de arroz representa, aproximadamente, una quinta parte en peso del fruto recolectado, variando esta cantidad en función de las condiciones de cultivo y la variedad del arroz (Ordoñez, 2017); es, a su vez, un desecho agroindustrial que constituye aproximadamente el 20 % de la producción mundial de arroz, con estimaciones cercanas a los  $7 \times 10^8$  toneladas anuales (Treviño y Gómez, 2002), siendo uno de los mayores residuos resultante de la producción agrícola de los países productores de arroz. Por otra parte, Prada y Cortés (2011) mencionan que en los casos de utilizar la cascarilla como relleno en camas para la producción porcícola o avícola, en los que se logra reducir, de manera sensible, el consumo de agua, puesto que la cama no la exige para la limpieza, no se conocen datos sobre el uso posterior del residuo, después del contacto físico con los animales, su orina y excretas.

Los otros residuos provenientes del arroz lo venden para la alimentación de animales tales como las gallinas, reses, chanchos, etc.

#### **4.2. OBTENCIÓN DE UN BLOQUE UTILIZADO COMO AGREGADO LOS RESIDUOS DE ARROZ**

La materia prima utilizada para la elaboración de los ecobloques fue la cascarilla de arroz, la cual se encuentra en grandes cantidades en los centros de acopio.

Luego de aplicar la metodología para la eliminación de impurezas de cascarilla de arroz se percibió un cambio en la coloración de la cascarilla, de un amarillo oscuro a un amarillo pardo. Definida la cantidad proporcional de la mezcla como se mencionaba en los tratamientos descritos en el Cuadro 3.1, se procedió a

colocar arena y cascarilla de arroz mezclado en seco, encima el agregado grueso, a continuación se agregó cemento empleando una lampa.

A los materiales se les dio cuatro vueltas, después del mezclado se incorporó agua en el centro de la mezcla. Posteriormente se mezcló todo uniformemente y una vez húmeda la mezcla se procedió a dar seis vueltas más.

Obtenida la mezcla se procedió a vaciarla dentro del molde metálico colocado sobre la mesa vibradora ya preparada, se retiró el molde de la mesa y se llevó al área de fraguado, se pudo notar que el color de los ecobloques cambió de color gris a un color café.

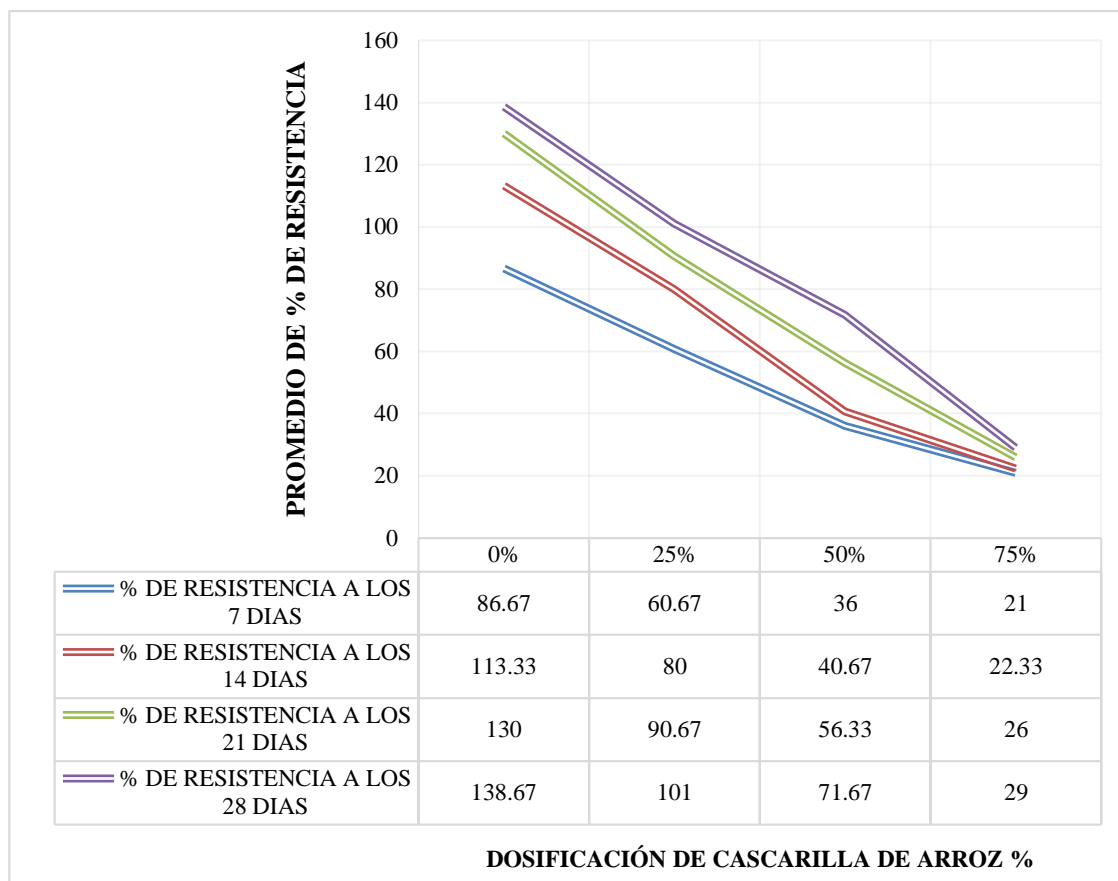
En esta actividad una vez fabricados los ecobloques se dejaron reposar por un tiempo de 24 horas, pasado este tiempo durante cinco días se roció agua, repitiendo dicho proceso dos veces al día ya que esto evitó que se secaran los bordes y que no lleguen a sufrir fisuras.

### **4.3. ENSAYOS DE RESISTENCIA MECÁNICA EN LOS BLOQUES CON AGREGADO DE CASCARILLA DE ARROZ**

Los ensayos de resistencia se realizaron mediante una máquina hidráulica, en esta máquina se alineó el bloque con platinas de acero para que recibiera la carga uniforme, luego se aplicó una fuerza hasta completar la ruptura de los bloques, esta prueba se realizó a los 7 días de edad, posteriormente a los 14 días, a los 21 días y al final a los 28 días después de su elaboración, para este ensayo se usaron a prueba 12 bloques, 3 para cada cantidad de cascarilla de arroz respectivamente (0%,25%,50%,75%).

**Cuadro 4.6.** Carga de rotura de los bloques en función de los días.

Dosificación de cascarilla de arroz	% DE RESISTENCIA A LOS 7 DIAS			PROMEDIO DE RESISTENCIA
	MUESTRAS			
	T1	T2	T3	
0%	89	89	82	86,67
25%	59	62	61	60,67
50%	36	36	36	36
75%	21	21	21	21
Dosificación de cascarilla de arroz	% DE RESISTENCIA A LOS 14 DIAS			PROMEDIO DE % DE RESISTENCIA
	MUESTRAS			
	T1	T2	T3	
0%	115	114	111	113,33
25%	81	79	80	80
50%	41	39	42	40,67
75%	24	20	23	22,33
Dosificación de cascarilla de arroz	% DE RESISTENCIA A LOS 21 DIAS			PROMEDIO DE % DE RESISTENCIA
	MUESTRAS			
	T1	T2	T3	
0%	131	131	128	130
25%	90	92	90	90,67
50%	58	55	56	56,33
75%	27	25	26	26
Dosificación de cascarilla de arroz	% DE RESISTENCIA A LOS 28 DIAS			PROMEDIO DE % DE RESISTENCIA
	MUESTRAS			
	T1	T2	T3	
0%	140	137	139	138,67
25%	100	101	102	101
50%	71	72	72	71,67
75%	30	28	29	29



**Gráfico 4.6.** Curva de porcentaje de resistencia versus dosificación.

En el cuadro y gráfico 4.6 se muestran los resultados de las pruebas de resistencia para las distintas dosificaciones de cascarilla de arroz. Al observar la resistencia a la compresión mecánica de los bloques ecológicos con cascarilla de arroz, se evidencia que la resistencia es inversamente proporcional al porcentaje, teniendo en cuenta que al aumentar la cantidad de adición disminuye la resistencia. La resistencia de los bloques ecológicos con el 75 % de adición es inferior a la presentada por el bloque comercial o tradicional (dosificación del 0%); los del 25% son valores cercanos al bloque tradicional.

La mayor resistencia se registro a los 28 días, con 36 Kg/cm<sup>2</sup> a la dosificación del 25%, valor que se acerca al bloque tradicional, cumpliendo con los parámetros de resistencia mecánica vigentes en la norma INEN 3066 (2016).

Estos resultados son similares a los obtenidos por Fuentes *et al.* (2015), donde los bloques elaborados con cascarilla de arroz, con porcentajes del 15 y del 20 % a los 7, 28 y 45 días, en su mayoría presentan menor resistencia a la

compresión en comparación con el patrón; excepto los bloques con el 10 % de adición a los 7 y 45 días, con 1.084 y 0.573 MPa, que obtuvieron una mayor resistencia, siendo similares al patrón. Quiceno y Mosquera (2010) afirma que esta tendencia puede ser explicada por la baja actividad de la cascarilla de arroz en cuanto a su estructura cristalina y al tamaño de la partícula.

Por otro lado Prada y Cortés (2010) afirma que con el propósito de adicionar la cascarilla a otros materiales para obtener cementos, concreto, puzolanas o aglomerados, se encuentra con una importante dificultad, relacionada con el hecho que la cascarilla de arroz es muy pobre en los elementos requeridos, por ejemplo, en la producción de cemento. Este hecho se evidencia, al comparar, la composición de la cascarilla con la composición química de un cemento común, en especial en el contenido de óxido de calcio. Por tanto los cementos y los materiales que se han obtenido con base en la adición de cascarilla no han recibido amplio uso, a pesar de ser más livianos que los tradicionales (Bizzotto *et al.*, 1998). De otro lado, para el caso de las puzolanas y materiales abrasivos, el contenido de silicio en la cascarilla es insuficiente (Peña 2001). De igual manera, el bajo contenido de carbono, hace que la cascarilla se polimerice con mayor dificultad en comparación con materiales celulósicos como el bagazo. Por tanto, los productos que se han obtenido con base en la adición de cascarilla no han recibido amplio uso, a pesar de ser más livianos que los tradicionales (Labrada *et al.*, 1998).

Para entender los resultados, se debe mencionar que según Villarino (2016) los hormigones estructurales por su densidad se dividen en tres categorías: Ligeros (1200 – 2000 kg/m<sup>3</sup>), Normales (2000 – 2800 kg/m<sup>3</sup>) y Pesados (más de 2800 kg/m<sup>3</sup>). En consecuencia, se puede afirmar que el hormigón orgánico elaborado con cascarilla de arroz triturada se encuentra dentro de la categoría de hormigón estructural ligero.

Conforme se avanzó en las mezclas la cantidad de cascarilla que sustituye el agregado fue aumentando gradualmente, esto con la intención de observar la injerencia que tendría en las características tanto de resistencia como de



absorción en los bloques. Camargo y Higuera (2017) afirman que en estos ensayos se mide de manera cuantitativa la resistencia que presenta una muestra de concreto cilíndrica al ser comprimida por dos fuerzas iguales ejercidas en sus dos caras transversales.

#### 4.3.1.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA RESISTENCIA DE LOS BLOQUES A LOS 7 DÍAS

##### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
% DE RESISTENCIA	12	1,00	0,99	4,23

##### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	7471,58	3	2490,53	533,68	<0,0001
TRATAMIENTO	7471,58	3	2490,53	533,68	<0,0001
Error	37,33	8	4,67		
Total	7508,92	11			

##### Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=5,64842

Error: 4,6667 gl: 8

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
TRADICIONAL	86,67	3	1,25	A
T1	60,67	3	1,25	B
T2	36,00	3	1,25	C
T3	21,00	3	1,25	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

En la salida del análisis de la varianza utilizando el software estadístico InfoStat, se puede observar que la variable dependiente es el porcentaje de resistencia, que hay 12 observaciones en total y que el 100% (R<sup>2</sup>) de la variabilidad total de la variable de respuesta se puede explicar conociendo las condiciones experimentales a las que han sido expuestos los bloques. El error experimental tiene una magnitud equivalente a 4,23% (CV) del valor medio de la variable. El análisis del cuadro ANOVA indica que las diferencias encontradas son estadísticamente significativas ( $p=0,0001$ ) de la dosificación de la cascarilla de arroz sobre el porcentaje de resistencia mecánica de los bloques. De acuerdo a la prueba de Tukey existe una diferencia significativa entre los tratamientos, considerando que la DMS = 5,64842.

### 4.3.1.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA RESISTENCIA DE LOS BLOQUES A LOS 14 DÍAS

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
% DE RESISTENCIA	12	1,00	1,00	2,70

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	14910,92	3	4970,31	1656,77	<0,0001
TRATAMIENTO	14910,92	3	4970,31	1656,77	<0,0001
Error	24,00	8	3,00		
Total	14934,92	11			

#### Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=4,52881

Error: 3,0000 gl: 8

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
TRADICIONAL	113,33	3	1,00	A
T1	80,00	3	1,00	B
T2	40,67	3	1,00	C
T3	22,33	3	1,00	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

La lectura de la salida del análisis de la varianza utilizando el software estadístico InfoStat a los 14 días indica que el error experimental tiene una magnitud equivalente a 2,70% (CV) del valor medio de la variable. El análisis del cuadro ANOVA indica que las diferencias encontradas son estadísticamente significativas ( $p < 0,0001$ ) de la dosificación de la cascarilla de arroz sobre el porcentaje de resistencia mecánica de los bloques. De acuerdo a la prueba de Tukey existe una diferencia experimental entre los tratamientos aplicados para conocer la resistencia de los bloques elaborados con agregado de cascarilla de arroz.

### 4.3.1.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA RESISTENCIA DE LOS BLOQUES A LOS 21 DÍAS

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
% DE RESISTENCIA	12	1,00	1,00	1,83

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	18052,92	3	6017,64	3139,64	<0,0001
TRATAMIENTO	18052,92	3	6017,64	3139,64	<0,0001
Error	15,33	8	1,92		

Total 18068,25 11

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=3,61990**

Error: 1,9167 gl: 8

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
TRADICIONAL	130,00	3	0,80	A
T1	90,67	3	0,80	B
T2	56,33	3	0,80	C
T3	26,00	3	0,80	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Según el análisis estadístico a través del software InfoStat la resistencia de los bloques a los 21 días muestra un error experimental tiene una magnitud equivalente a 1,83% (CV) del valor medio de la variable. El análisis del cuadro ANOVA indica que las diferencias encontradas son estadísticamente significativas ( $p < 0,0001$ ) de la dosificación de la cascarilla de arroz sobre el porcentaje de resistencia mecánica de los bloques. Conforme al test de Tukey, las medias de los tratamientos presentan letras diferentes lo que indica que existe una diferencia significativa entre los tratamientos evaluados.

#### 4.3.1.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA RESISTENCIA DE LOS BLOQUES A LOS 28 DÍAS

##### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
% DE RESISTENCIA	12	1,00	1,00	1,27

##### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	19349,58	3	6449,86	5528,45	<0,0001
TRATAMIENTO	19349,58	3	6449,86	5528,45	<0,0001
Error	9,33	8	1,17		
Total	19358,92	11			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,82421**

Error: 1,1667 gl: 8

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
TRADICIONAL	138,67	3	0,62	A
T1	101,00	3	0,62	B
T2	71,67	3	0,62	C
T3	29,00	3	0,62	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

De acuerdo a los análisis de resistencia mecánica se encontró que a los 28 días los bloques ecológicos elaborados de cáscara de arroz presentaron las mayores resistencias, con valores de 138,67% (49 kg/cm<sup>2</sup>) (testigo), 101% (36 kg/cm<sup>2</sup>),

71,67% (25 kg/cm<sup>2</sup>) y 29% (10 kg/cm<sup>2</sup>) respectivamente, siendo el segundo valor el más alto; lo que implica que los bloques ecológicos con una dosificación del 25% de cascarilla de arroz a los 28 días resultan ser los más resistentes. De igual forma que en los demás análisis experimentales, existe diferencias significativas entre cada tratamiento.

De acuerdo con la investigación realizadas por Serrano (2012) se concluye que las principales propiedades físicas de estos materiales que los hacen interesantes desde el punto de vista constructivo son: baja densidad, aislamiento acústico, abundancia y precio reducido. Por el contrario, los principales inconvenientes que presenta el utilizar la cáscara de arroz como material de construcción son su porosidad, su higroscopía, y sus componentes orgánicos. Según Gatani *et al.* (2010), el fraguado de mezclas de compuestos vegetales y cemento se retrasa con respecto a las mezclas de solo cemento, y esto ocurre probablemente debido a la presencia de algunos azúcares solubles en agua. La presencia de hemicelulosas tiene un efecto de retardo en el inicio de fraguado y pérdida de resistencia, debido a su solubilidad parcial en agua. Además, se reconoce el efecto retardador en el fraguado del cemento portland por la presencia de lignina. Por ese motivo se han de desarrollar métodos para:

- a) reducir el movimiento de agua en sus poros;
- b) resolver cuestiones propias de la dosificación (relación agua/cemento, características del curado y del mezclado);
- c) conseguir la mineralización de la cáscara para asegurar su durabilidad.

#### **4.4. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

Se acepta la hipótesis planteada, la cual menciona que; el uso de los residuos de cascarilla de arroz como agregado en los bloques, cumple los parámetros de resistencia mecánica de acuerdo a la Normativa de calidad INEN 3066 (2016).

# **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **5.1. CONCLUSIONES**

- De acuerdo a los resultados obtenidos de la encuesta aplicada a los centros de acopio del cantón Rocafuerte; los centro de acopio Santa Monica y San Vicente son los que producen mayor cantidad de residuos a la semana (200 quintales) mientras que la menor producción de cascarilla de arroz se da en el centro de acopio San Juan (100 quintales) a la semana. Todos los centros de acopio venden los residuos de arroz a granjeros para crianza de animales.
- Se elaboraron un total de 48 bloques incluidos los ecológicos y los tradicionales o testigos, por lo tanto los ecobloques fueron sometidos a pruebas de resistencia mecánica. Se establecieron 3 tratamientos 4 dosificaciones (0%, 25%, 50% y 75% de cascarilla de arroz) sometidos a la variabilidad temporal de 7 días, 14 días, 21 días y 28 días.
- De acuerdo a los ensayos de resistencia mecánica se encuentran los resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días con una dosificación de cascarilla de arroz al 25%, encontrándose que la mayor resistencia es con 36 kg/cm<sup>2</sup>, valor que se acerca al bloque tradicional, cumpliendo con los parámetros de resistencia mecánica vigentes en la norma INEN 3066 (2016); 35.7 kg/cm<sup>2</sup>. Conforme al análisis estadístico existe diferencias estadística entre cada uno de los tratamientos.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- La investigación realizada da una solución a la problemática de los centros de acopio que no tienen establecida una disposición final de la cascarilla del arroz y generarle un valor agregado a esta, adicionalmente se estaría produciendo un material que sería complemento de la arena y de esta

forma reducir en algún grado el alto impacto ambiental que provoca extraerla.

- Se recomienda el uso de otros residuos agropecuarios como el bagazo de caña, que de acuerdo a diversos autores representa una excelente alternativa para la obtención de materiales de construcción.
- A partir de esta investigación se recomienda continuar indagando en lo que respecta a la durabilidad y costo de producción del ecobloque.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abreu, J. 2014. El Método de la Investigación. *International Journal of Good Conscience*, 9(3), 195-204.
- Acero, H. y Rodríguez, J. 2011. Reemplazar el uso del diesel por cascarilla de arroz empleado para generación de vapor, aspecto técnico y económico. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Acevedo, M., Castrillo, W. y Belmonte, U. 2006. ORIGEN, EVOLUCIÓN Y DIVERSIDAD DEL ARROZ. *Agronomía Tropical*, 56(2), 17-24.
- Águila, I. y Sosa, M. 2008. Evaluación físico químico de cenizas de cascarilla de arroz, bagazo de caña y hoja de maíz y su influencia en mezclas de mortero, como materiales puzolánicos. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 23, 55-66.
- Ahumada, L. y Rodríguez, J. 2006. Uso del SiO<sub>2</sub> obtenido de la cascarilla de arroz en la síntesis de silicato de calcio. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 30(117), 581-594.
- Álvararez, K. 2014. ELABORACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN A BASE DE LA CASCARILLA DE ARROZ Y SU INCIDENCIA EN EL FORTALECIMIENTO DE LA PRESERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE . Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Arcos, C., Macías, D. y Rodríguez, J. 2007. Husk of rice as source of SiO<sub>2</sub>. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*(41), 7-20.
- Arcos, C., Macíaz, D. y Rodríguez, J. 2007. La cascarilla de arroz como fuente de SiO<sub>2</sub>. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*(41), 7-20.
- Astiato, D. 2017. Green areas management and bioengineering techniques for improving urban ecological sustainability. *Sustainable Cities and Society*, 30, 108-117.
- Atencio, M., Gouveia, E. y Lozada, J. 2017. El trabajo de campo estrategia metodológica para estudiar las comunidades. *Omnia*, 30, 108-117.
- Bizzotto, M., Natalini, B. y Gómez, G. 1998. Minihormigones con cascarilla de arroz natural y tratada como agregado granular. Buenos Aires: Congreso Internacional de Tecnología del Hormigón.

- Caballero, B., Florez, O. y Alvarez, J. 2017. Elaboración de bloques en cemento reutilizando el plástico polietileno-Tereftalato (PET) como alternativa sostenible para la construcción . Universidad de Cartagena.
- Camargo, N. y Higuera, C. 2017. CONCRETO HIDRÁULICO MODIFICADO CON SILICE OBTENIDA DE LA CASCARILLA DEL ARROZ. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 27(1), 12-19.
- Carrera, H. 2015. ANÁLISIS Y DESARROLLO PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE HORMIGÓN COMO AISLANTES TÉRMICOS BASADOS EN LA BIOMASA DE LA CASCARILLA DE CACAO APTO PARA CONSTRUCCION EN EDIFICACIONES. Sangolquí: ESPE.
- Chang, X. 1990. Modelo predictivo de combustión de la cascarilla de arroz. Guayaquil: ESPOL.
- Chao-Lung, H., Anh-Tuan, B. y Chun-Tsun, C. 2011. Effect of rice husk ash on the strength and durability characteristics of concrete. Construction and Building Materials(25), 3768-3772.
- Chur, G. 2010. Evaluación del uso de la cascarilla de arroz como agregado orgánico en morteros de mampostería. . Guatemala: Universidad de San Carlos.
- Cortes, K. 1999. Estudio de la descomposición microbiológica de la cascarilla de arroz. Colombia: Escuela de Ingeniería Agronómica. Universidad de los Llanos.
- Echeverría, A. y López, O. 2010. Caracterización energética de la cascarilla de arroz para su aplicación en la generación de energía termoeléctrica. Quito: EPN.
- Evans, J. 2010. Sustentabilidad en arquitectura. Buenos Aires: Consejo Profesional de Arquitectura y Urbanismo.
- Fapohunda, C., Akinbile, B. y Shittu, A. 2017. Structure and Properties of Mortar and Concrete with Rice Husk Ash as Partial Replacement of Ordinary Portland cement—A Review. International Journal of Sustainable Built Environment, 10, 19-29.
- Ferraro, R. y Nanni, A. 2012. Effect of off-white rice husk ash on strength, porosity, conductivity and corrosion resistance of white concrete. Construction and Building Materials(31), 220-225.



- Ferreira, V., Fortes, M., Ferrara, M. y Lima, A. 2010. Biomasa residues in Brazil: availab sility and potencial uses. *Waste and Biomass Valorization*, 1(1), 65-76.
- Fuentes, N., Fragozo, O. y Vizcaino, L. 2015. RESIDUOS AGROINDUSTRIALES COMO ADICIONES EN LA ELABORACIÓN DE BLOQUES DE CONCRETO NO ESTRUCTURAL. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2), 99-116.
- García, V. 2014. "ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD PARA LA INSTALACION DE UNA PLANTA PARA OBTENER BIOETANOL A PARTIR DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS –CÁSCARAS DE ARROZ-(Oriza sativa) EN LA REGIÓN LORETO. Perú: UNAP.
- Gatani, M., Argüello, R. y Sesín, S. 2010. Materiales compuestos de cáscara de maní y cemento. *Materiales de Construcción*, 60(298), 137-147.
- Gatani, M., Argüello, R. y Sesín, S. 2010. Materiales compuestos de cáscara de maní y cemento. Influencia de diferentes tratamientos químicos sobre las propiedades mecánicas,. *Materiales de Construcción.*, 60(298), 137-147.
- Gomboá, O. 2005. Optimización del proceso de fabricación de bloques de concreto del estándar 15x20x40 cm con grado de resistencia 28 kg/cm<sup>2</sup>, caso específico fuerte-block máquinas #1 y #2. Guatemala: Universidad de San Carlos.
- Gómez, C. y Lopera, E. 2011. Evaluación experimental de las velocidades mínimas de fluidización para mezclas de carbón ripio y residuos agrícolas colombiano. *Dyna*, 78(105), 105-112.
- González, M. 1982. Morteros ligeros de cáscara de arroz. Lima, Perú: IV Congreso Nacional de Ingeniería Civil.
- Hendriks, C. 1998. Emission reduction of greenhouse gases from the cement industry. Interlaken: Fourth International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies.
- Huang, H., Gao, X., Wang, H. y Ye, H. 2017. Influence of rice husk ash on strength and permeability of ultra-high performance concrete. *Construction and Building Materials*(149), 621-628.
- INEN. 2014. BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN. REQUISITOS. Quito: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). 2014. BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN. DEFINICIONES, CLASIFICACIÓN Y CONDICIONES GENERALES. Quito: INEN.

- Ivanova, N. y Ganzha, O. 2016. The Architectural and Ecological Features of the Underground Development of the Ravine Network in a Riverside City (on the Example of Volgograd). *Procedia Engineering*(165), 1006-1015.
- Jamil, M., Kaihsentes, A., Raman, S. y Zain, M. 2013. Pozzolanic contribution of rice husk ash in ementitious system. *Construction and Building Materials*, 47, 388-593.
- Juárez, N. 2010. Uso de la cascarilla de arroz. Colombia.
- Krishnarao, R., Subrahmanyam, T. y Jagadish Kumar, T. 2001. Studies on the formation of black particles in rice husk silica ash. *The Journal of the European Ceramic Society*, 21, 99-104.
- Labrada, B., Lago, C., Marzal, N. y Salas, D. 1998. Estudio de la pirólisis discontinua del bagazo de caña. *Tecnología química*, 18(1), 1-2.
- Mafla, A. 2009. Uso de la cascarilla de arroz como material alternativo en la construcción. *Inventum*(6), 1909-2520.
- MAGAP (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca). 2014. Registro de producción de arroz. . Quito.
- Martínez, J., Pineda, T., López, J. y Betancur, M. 2010. Experimentos de combustión con cascarilla de arroz en lecho fluidizado para la producción de ceniza rica en sílice. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*(51), 97-104.
- Martirena, J. 2004. Una alternativa ambientalmente compatible para disminuir el consumo de aglomerantes de clinker de cemento Portland. Villas: Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
- Méndez, R. 2009. DISEÑO DE TEJAS PREFABRICADAS DE BAJO COSTE QUE INCORPORAN RESIDUOS INDUSTRIALES DE CARÁCTER PUZOLÁNICO PARA USO EN PAÍSES EN VIAS DE DESARROLLO. APLICACIÓN AL CASO DE CALI (COLOMBIA). Colombia: ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS CANALES Y PUERTOS.
- Méndez, R. 2010. de mezclas cal-puzolana destinadas a la construcción de materiales prefabricados no convencionales. Valencia.
- Molina, H. y Hurtado, C. 2016. Análisis comparativo de la resistencia a flexión entre el hormigón tradicional y hormigón adicionado cenizas de cascarilla de arroz (cca) y hormigón adicionado con cenizas de bagazo de caña de azúcar (cbc). Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.

- Molina, N., Tarifa, O. y Mendoza, L. 2015. Residuos agroindustriales como adiciones en la elaboración de bloques de concreto no estructural. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2), 99-116.
- Muñoz, J. y Posada, A. 2011. Simulación de la producción de hidrógeno y metanol a partir de la gasificación de cascarilla. *Dyna*, 78(165), 122-131.
- Niroumand, H., Zain, M. y Jamil, M. 2013. A guideline for assessing of critical parameters on Earth architecture and Earth buildings as a sustainable architecture in various countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 130-165.
- Oliveira, G. 2004. Ecología e evolução no gênero *Oryza* (arroz poaceae). *ESALQ/ USP*, 21, 26-32.
- Ordoñez, L. 2017. Reutilización de la ceniza de cáscara de arroz como material de construcción: valoración y optimización de sus propiedades puzolánicas (tesis). Universidad Politécnica de Valencia.
- Orellana, J. y Serrano, M. 2015. Reutilización de polímetros como alternativa socio ambiental y económica en la elaboración de eco bloques . Ecuador: Universidad de Cuenca, Ecuador.
- Ospina, M., De Gutiérrez, R., Delvasto, S., Monzó, J., Borrachero, M. y Payá, J. 2009. Modificación de la morfología de la ceniza de cascarilla de arroz por molienda de altas energías y su efecto en las propiedades reológicas de pastas de cemento portland adicionadas. *Revista Latinoamericana de Metalurgica y Materiales*, 1(2), 577-584.
- Ospina, M., Gutierrez, R., Delvasto, S., Monzó, J. y Payá, J. 2009. Modificación de la morfología de la ceniza de cascarilla de arroz por molienda de altas energías y su efecto en las propiedades reológicas de pastas de cemento portland adicionadas. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 2, 577-584.
- Paya, J. 2003. Evaluation of the pozzolanic activity of fluid catalytic cracking residue (FCC). *Cement Concrete Research*(33), 603-609.
- Peña, S. y Zambrano, G. 2001. Hormigón Celular con la Utilización de Materiales Locales. Ecuador.
- Peralta, M. 2016. El bloque de una nueva arquitectura. Guayaquil: UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPÍRITU SANTO.
- Plaza, E. y Posligua, P. 2013. Propiedades de la cáscara de arroz. Ecuador.

- Prada, A. 2010. La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: una alternativa de aprovechamiento integral. Universidad de los Llanos., 14, 31-37.
- Prada, A. y Cortés, C. 2011. Experiencias en la captura de los gases de combustión de la cascarilla de arroz con soluciones alcalinas. Orinoquia, 15(1), 16-30.
- Prado, A. y Cortés, C. 2010. LA DESCOMPOSICIÓN TÉRMICA DE LACASCARILLA DE ARROZ: UNA ALTERNATIVE APROVECHAMIENTO INTEGRAL. Orinoquia, 14(1), 155-170.
- Quiceno, D. y Mosquera, M. 2010. Alternativas tecnológicas para el uso de la cascarilla de arroz como combustible. Cali: Universidad Autónoma de Occidente.
- Quilumba, M. 2013. Procedimiento de secado de los bloques. Perú.
- Reinberg, G. 2009. Apuntes sobre la arquitectura de la construcción ecológica. Revista de Arquitectura de la Universidad de los Andes, 4, 4-13.
- Rendón, D., Ospina, M. y Mejía, R. 2009. Evaluación de la sílice obtenida de un subproducto industrial en pastas y morteros de cemento portland. Revista informador técnico, 2(1), 20-26.
- Rodas, C. y Ordoñez, J. 2016. Desarrollo tecnológico, investigativo y experimental de ecobloques de hormigón en base a vidrio y polietileno de tereftalato (PET) reciclado, como alternativa sustentable al bloque tradicional. (tesis de pregrado). . Ecuador: Universidad del Azuay.
- Rojas, S. 2008. Producción de arroz. Perú: Universidad de San Martín de Porre.
- Salamanca, R. 2001. Aplicación del cemento portland y los cementos adicionados. Ciencia e Ingeniería Neogranadina(10), 33-38.
- Serrano, T., Borrachero, V., Monzó, J. y Payá, J. 2012. Morteros aligerados con cascarilla de arroz: diseño de mezclas y evaluación de propiedades. Revista DYNA, Facultad de Minas,(175), 128-136.
- Simbaña, M. 2014. Diseño de un manual de procedimiento para las áreas de. Instituto Tecnológico Superior "Policía Nacional".
- Treviño, B. y Gómez, I. 2002. Obtención de fases del cemento utilizando desechos agrícolas e industriales. Ciencia, 5(2), 190-196.

- Valverde, A., Sarria, B. y Monteagudo, J. 2007. Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. *Scientia*, 1(37), 14-19.
- Valverde, A., Sarria, B. y Monteagudo, J. 2007. Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. *Scientia Technica*, 8(37), 255-260.
- Vanderley, M. 2002. On the sustainability of the Concrete. Extended version of the paper commissioned by UNEP. *Journal Industry and Environment*, 2, 15-19.
- Vargas, J. 2015. Semolina de arroz. *Revista CINA*, 2, 1-50.
- Vargas, J., Alvarado, P., Vega, J. y Porras, M. 2013. Caracterización del subproducto cascarillas de arroz en búsqueda de posibles aplicaciones como materia prima en procesos. *Revista Dialnet*, 23(28), 1-16.
- Varon, C. 2005. Diseño, construcción y puesta a punto de un prototipo de quemador para la combustión continua y eficiente de la cascarilla de arroz. *Hombre y la Máquina*, 25, 18-26.
- Vásquez, R. y Bach, P. 2000. Las cenizas de cáscara de arroz; adición puzolánica en cemento y concreto. Perú: Universidad de Piura.
- Vidal, I. 2014. Hacia una arquitectura sostenible: El ejemplo de Suiza y Voralberg. *AusArt*, 2(2), 25-29.
- Villarino, A. 2016. Tecnología de materiales de construcción. Escuela Politécnica Superior de Ávila.
- Zhi, H., Long, L. y Shi, D. 2017. Creep analysis of concrete containing rice husk ash. *Cement and Concrete Composites*(80), 190-199.

....

# **ANEXOS**

# ANEXO 1

Resultados del laboratorio día 7



## LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS

### REGISTRO DE COMPRESIÓN BLOQUES

"EVALUACION EN EL USO DE LOS RESIDUOS DE CASCARILLA DE ARROZ (ORYZA ZATIVA ) COMO AGREGADO EN BLOQUES PARA LA CONSTRUCCION" DE LOS ESTUDIANTES DEMERA CENTENO SANTIAGO DAVID Y ROMERO RODRIGUEZ BOGAR JOHEL

PROYECTO:

SITIO:

CANTON PORTOVIEJO PORTOVIEJO PROVINCIA DE MANABI

CONTRATISTA:

PIEZA: SOILTEST

LUGAR: Portoviejo

LABORATORISTA: TEC. DANIEL URDANIGO INTRIAGO

ROTURA DE BLOQUES

EDAD: 7

DIAS

NÚMERO DE NUCLEO	ESPESOR CENTIMETROS	F <sup>c</sup> Kg./cm <sup>2</sup>	REVENI M. cm	FECHA DE VACIADO	EDAD DIAS	FECHA DE ROTURA	CARGA Kg.	RESIS. PROM Kg./cm <sup>2</sup>	%DE RESISTENCIA	ESPECIFICACIÓN Kg/cm <sup>2</sup>	OBSERVACIONES
1		35		26-ene.-18	7	2-feb.-18	4.155	21	59		BLOQUES CON EL 25% DE CASCARA DE ARROZ
2		35		26-ene.-18	7	2-feb.-18	4.326	22	62		
3		35		26-ene.-18	7	2-feb.-18	4.258	21	61		
1		35		26-ene.-18	7	2-feb.-18	2.549	13	36		BLOQUES CON EL 50% DE CASCARA DE ARROZ
2		35		26-ene.-18	7	2-feb.-18	2.549	13	36		
3		35		26-ene.-18	7	2-feb.-18	2.549	13	36		
1		35		26-ene.-18	7	2-feb.-18	1.479	7	21		BLOQUES CON EL 75% DE CASCARA DE ARROZ
2		35		26-ene.-18	7	2-feb.-18	1.489	7	21		
3		35		26-ene.-18	7	2-feb.-18	1.477	7	21		

TEC. DANIEL URDANIGO INTRIAGO  
LABORATORISTA "LUP"

ING. JARED LOPEZ LOOR  
RESPONSABLE TEC. LUPIZADA  
LABORATORIO

## ANEXO 2

### Resultados del laboratorio dia 14



#### LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS

#### REGISTRO DE COMPRESIÓN BLOQUES

PROYECTO: "EVALUACION EN EL USO DE LOS RESIDUOS DE CASCARILLA DE ARROZ (ORYZA ZATIVA ) COMO AGREGADO EN BLOQUES PARA LA CONSTRUCCION" DE LOS ESTUDIANTES DEMERA CENTENO SANTIAGO DAVID Y ROMERO RODRIGUEZ BOGAR JOHEL

SITIO: CANTON PORTOVIEJO PORTOVIEJO PROVINCIA DE MANABI

CONTRATISTA:

PIEZA: SOILTEST

LUGAR: Portoviejo

LABORATORISTA: TEC. DANIEL URDANIGO INTRIAGO

ROTURA DE BLOQUES

EDAD: 14

DIAS

NÚMERO DE NUCLEO	ESPESOR CENTIMETROS	F'c Kg./cm2	REVENI M. cm	FECHA DE VACIADO	EDAD DIAS	FECHA DE ROTURA	CARGA Kg.	RESIS. PROM Kg./cm2	%DE RESISTENCIA	ESPECIFICO ACIÓN Kg/cm2	OBSERVACIONES
1		35		26-ene.-18	14	9-feb.-18	5.652	28	81		BLOQUES CON EL 25% DE CASCARA DE ARROZ
2		35		26-ene.-18	14	9-feb.-18	5.541	28	79		
3		35		26-ene.-18	14	9-feb.-18	5.623	28	80		
1		35		26-ene.-18	14	9-feb.-18	2.898	14	41		BLOQUES CON EL 50% DE CASCARA DE ARROZ
2		35		26-ene.-18	14	9-feb.-18	2.763	14	39		
3		35		26-ene.-18	14	9-feb.-18	2.957	15	42		
1		35		26-ene.-18	14	9-feb.-18	1.672	8	24		BLOQUES CON EL 75% DE CASCARA DE ARROZ
2		35		26-ene.-18	14	9-feb.-18	1.366	7	20		
3		35		26-ene.-18	14	9-feb.-18	1.600	8	23		

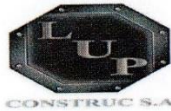
TEC. DANIEL URDANIGO INTRIAGO  
LABORATORISTA "LUP"  
LABORATORIO

ING. JARED LOPEZ LOOR  
RESPONSABLE TEC. "LUP"  
LABORATORIO



## ANEXO 3

### Resultados del laboratorio dia 21



#### LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS

#### REGISTRO DE COMPRESIÓN BLOQUES

PROYECTO: "EVALUACION EN EL USO DE LOS RESIDUOS DE CASCARILLA DE ARROZ (ORYZA ZATIVA ) COMO AGREGADO EN BLOQUES PARA LA CONSTRUCCION" DE LOS ESTUDIANTES DEMERA CENTENO SANTIAGO DAVID Y ROMERO RODRIGUEZ BOGAR JOHEL

SITIO: CANTON PORTOVIEJO PORTOVIEJO PROVINCIA DE MANABI

CONTRATISTA:

PIEZA: SOILTEST

LUGAR: Portoviejo

LABORATORISTA: TEC. DANIEL URDANIGO INTRIAGO

ROTURA DE BLOQUES

EDAD: 21

DIAS

NÚMERO DE NUCLEO	ESPESOR CENTIMETROS	F'c Kg./cm2	REVENI M. cm	FECHA DE VACIADO	EDAD DIAS	FECHA DE ROTURA	CARGA Kg.	RESIS. PROM Kg./cm2	%DE RESISTENCIA	ESPECIFICACIÓN Kg/cm2	OBSERVACIONES
1		35		26-ene.-18	21	16-feb.-18	6.325	32	90		BLOQUES CON EL 25% DE CASCARA DE ARROZ
2		35		26-ene.-18	21	16-feb.-18	6.412	32	92		
3		35		26-ene.-18	21	16-feb.-18	6.328	32	90		
1		35		26-ene.-18	21	16-feb.-18	4.058	20	58		BLOQUES CON EL 50% DE CASCARA DE ARROZ
2		35		26-ene.-18	21	16-feb.-18	3.865	19	55		
3		35		26-ene.-18	21	16-feb.-18	3.946	20	56		
1		35		26-ene.-18	21	16-feb.-18	1.856	9	27		BLOQUES CON EL 75% DE CASCARA DE ARROZ
2		35		26-ene.-18	21	16-feb.-18	1.744	9	25		
3		35		26-ene.-18	21	16-feb.-18	1.836	9	26		

TEC. DANIEL URDANIGO INTRIAGO  
LABORATORISTA "LUP"

ING. JARED LOPEZ LOOR.....  
RESPONSABLE TEC. "LUP"  
LABORATORIO

## ANEXO 4

### Resultados del laboratorio dia 28



#### LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS

#### REGISTRO DE COMPRESIÓN BLOQUES

PROYECTO: "EVALUACION EN EL USO DE LOS RESIDUOS DE CASCARILLA DE ARROZ (ORYZA ZATIVA ) COMO AGREGADO EN BLOQUES PARA LA CONSTRUCCION" DE LOS ESTUDIANTES DEMERA CENTENO SANTIAGO DAVID Y ROMERO RODRIGUEZ BOGAR JOHEL

SITIO: CANTON PORTOVIEJO PORTOVIEJO PROVINCIA DE MANABI

CONTRATISTA:

PIEZA: SOILTEST

LUGAR: Portoviejo

LABORATORISTA: TEC. DANIEL URDANIGO INTRIAGO

ROTURA DE BLOQUES							EDAD:	28	DIAS		
NÚMERO DE NUCLEO	ESPELOR CENTIMETROS	F'c Kg./cm2	REVENI M. cm	FECHA DE VACIADO	EDAD DIAS	FECHA DE ROTURA	CARGA Kg.	RESIS. PROM Kg./cm2	%DE RESISTENCIA	ESPECIFICACIÓN Kg/cm2	OBSERVACIONES
1		35		26-ene.-18	28	23-feb.-18	7.021	35	100		BLOQUES CON EL 25% DE CASCARA DE ARROZ
2		35		26-ene.-18	28	23-feb.-18	7.102	36	101		
3		35		26-ene.-18	28	23-feb.-18	7.165	36	102		
1		35		26-ene.-18	28	23-feb.-18	4.956	25	71		BLOQUES CON EL 50% DE CASCARA DE ARROZ
2		35		26-ene.-18	28	23-feb.-18	5.021	25	72		
3		35		26-ene.-18	28	23-feb.-18	5.032	25	72		
1		35		26-ene.-18	28	23-feb.-18	2.080	10	30		BLOQUES CON EL 75% DE CASCARA DE ARROZ
2		35		26-ene.-18	28	23-feb.-18	1.980	10	28		
3		35		26-ene.-18	28	23-feb.-18	2.050	10	29		

TEC. DANIEL URDANIGO INTRIAGO  
LABORATORISTA "LUP"

ING. JARED LOPEZ LOOR  
RESPONSABLE TEC. "LUP"

## ANEXO 5

### Resultados del laboratorio Testigo



#### LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS

#### REGISTRO DE COMPRESIÓN BLOQUES

PROYECTO: "EVALUACION EN EL USO DE LOS RESIDUOS DE CASCARILLA DE ARROZ (ORYZA ZATIVA ) COMO AGREGADO EN BLOQUES PARA LA CONSTRUCCION" DE LOS ESTUDIANTES DEMERA CENTENO SANTIAGO DAVID Y ROMERO RODRIGUEZ BOGAR JOHEL

SITIO: CANTON PORTOVIEJO PORTOVIEJO PROVINCIA DE MANABI

CONTRATISTA:

PIEZA: SOILTEST

LUGAR: Portoviejo

LABORATORISTA: TEC. DANIEL URDANIGO INTRIAGO

NÚMERO DE NUCLEO	ESPESOR CENTIMETROS	F'c Kg./cm2	REVENI M. cm	ROTURA DE BLOQUES			CARGA Kg.	RESIS. PROM Kg./cm2	%DE RESISTENCIA	ESPECIFICACIÓN Kg/cm2	OBSERVACIONES
				FECHA DE VACIADO	EDAD DIAS	FECHA DE ROTURA					
1		35		26-ene.-18	7	2-feb.-18	6.230	31	89		BLOQUES TRADICIONALES
2		35		26-ene.-18	7	2-feb.-18	6.210	31	89		
3		35		26-ene.-18	7	2-feb.-18	5.771	29	82		
1		35		26-ene.-18	14	9-feb.-18	8.015	40	115		BLOQUES TRADICIONALES
2		35		26-ene.-18	14	9-feb.-18	7.954	40	114		
3		35		26-ene.-18	14	9-feb.-18	7.750	39	111		
1		35		26-ene.-18	21	16-feb.-18	9.157	46	131		BLOQUES TRADICIONALES
2		35		26-ene.-18	21	16-feb.-18	9.188	46	131		
3		35		26-ene.-18	21	16-feb.-18	8.974	45	128		
1		35		26-ene.-18	28	23-feb.-18	9.767	49	140		BLOQUES TRADICIONALES
2		35		26-ene.-18	28	23-feb.-18	9.585	48	137		
3		35		26-ene.-18	28	23-feb.-18	9.698	48	139		

TEC. DANIEL URDANIGO INTRIAGO  
LABORATORISTA "LUP"

ING. JARED LOPEZ LOOR  
RESPONSABLE TEC. "LUP"  
LABORATORIO

## ANEXO 6

### Normativa INEN 3066 (2016)

NTE INEN 3066

2016-11

**TABLA 5. Absorción máxima de agua en bloques Clase A**

Tipo	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción de agua máxima promedio (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción de agua máxima por unidad (kg/m <sup>3</sup> )
Liviano	< 1 680	288	320
Medio	1 680 a 2 000	240	272
Normal	> 2 000	208	240

Para el ensayo de absorción se requiere, por lote, una muestra compuesta por tres bloques enteros sin defectos.

En el Anexo D se describe el método de ensayo para determinar la absorción de agua de los bloques de hormigón.

#### 5.4 Resistencia a la compresión simple

Al momento de su entrega, los bloques deben cumplir con las resistencias netas mínimas a la compresión simple, establecidas en la Tabla 6.

**TABLA 6. Resistencia neta mínima a la compresión en bloques de hormigón**

Descripción	Resistencia neta mínima a la compresión simple (MPa)*		
	Clase A	Clase B	Clase C
Promedio de 3 bloques	13,8	4,0	1,7
Por bloque	12,4	3,5	1,4

\* 1 MPa = 10,2 kg/cm<sup>2</sup>

En el Anexo E se describe el método de ensayo de la resistencia a la compresión simple.

#### 5.5 Resistencia al fuego

Las mamposterías construidas con bloques Clase A y Clase B deben cumplir con la resistencia al fuego especificada en el diseño, de acuerdo con los requerimientos del proyecto, aplicando el método de ensayo en ASTM E119 y/o ACI 216.1.

### 6. MUESTREO

El fabricante y el comprador de común acuerdo definirán el lugar de muestreo de los bloques.

El plan de muestreo dependerá del acuerdo entre el fabricante y el comprador.

Planes secuenciales:

- por atributos NTE INEN-ISO 2859-1 y NTE INEN-ISO 8422, y
- por variables NTE INEN-ISO 3951-5 y NTE INEN-ISO 8423.

El número de bloques a ensayar debe ser el indicado en la Tabla 7, según la propiedad seleccionada.

**TABLA 7. Número de bloques a ensayar según la propiedad seleccionada**

2016-791

6

