

ANTECEDENTES

1.1 Introducción

Ante la necesidad de desarrollar alternativas tecnológicas que permitan la utilización de elementos de desechados, para servir su potencial y contribuir a la disminución del impacto ambiental que se puedan generar por una inadecuada disposición, surge la oportunidad de aprovechar productos vegetales de desecho que permitan innovar en el área de los materiales de ingeniería, tal es el caso de la “Cáscara o cascarilla de arroz”.

La cáscara de arroz constituye un subproducto del proceso agroindustrial, con aplicaciones tan reducidas en la actualidad, que en la práctica se la puede considerar como material de desecho, generando contaminación del medio ambiente. Sin embargo, dada la importancia que tiene este cultivo en Bolivia, que abarca 178 mil hectáreas (2011) y cuya producción anual es aproximadamente de 474 miles de toneladas, resulta posible el aprovechamiento de este residuo.

En este sentido, puede preverse la fabricación de bloques de morteros adicionando la cáscara de arroz como agregado “Ligero”. La experiencia internacional al respecto es exigua y en nuestro país se han efectuado algunos ensayos no sistemáticos de ceniza de cáscara de arroz.

Conceptuando las ventajas de carácter constructivo que puede ofrecer este material, por ser de baja densidad, aislante acústico y no inflamable, se estudiara para el uso de bloques de mortero.

Estamos en un siglo donde la información es la base de todo trabajo de investigación donde para poder avanzar es mejor saber en dónde estamos. Muchas veces nos quejamos por no saber que ruta tomar, no obstante todo está ahí, sólo hay que tomarlo, es el caso de los cereales que luego de miles de años de estar empleándolos de diferentes maneras, aún no es difícil hacerlo bien. En este caso sólo vamos a tomar un segmento muy pequeño que es el caso del arroz y aún más específicamente el de la cáscara de arroz. Se trata de buscar un material (bloques de mortero) en base al cemento como conglomerante y a la cáscara de arroz como “Árido ligero”.

1.2 Justificación

La necesidad de obtener materiales livianos, económicos, de buena y mejores características, como sabemos, cada día es más trascendente, debido principalmente al aumento de volúmenes de obras actuales, donde una pequeña diferencia de volumen unitario adquiere gran consideración en el volumen total, de ahí la importancia de tener un conocimiento de nuevos materiales; que se resumen en la búsqueda de nuevas alternativas de materiales de construcción, estudio detallado de nuevos de esos materiales; sus características, sus aplicaciones, sus variaciones, sus componentes y su viabilidad para nuestro medio.

En nuestro país y en particular en la ciudad de Tarija, con la evolución tecnológica, se ha incrementado las exigencias en el control de calidad de los materiales para la ejecución de obras civiles, por lo que se estudian nuevos materiales (papel mache, corcho y fibra de vidrio, etc.) que podrían minimizar el costo de materiales y ejecución de obras, mejorar los rendimientos, ofrecer mayor seguridad y durabilidad de las obras.

No existe noción clara de las ventajas y desventajas tanto técnicas como económicas del uso de este material en la construcción (cáscara de arroz), esto hace que en obras de gran magnitud y consideración donde existe mayor carga muerta y por consecuencia las dosificaciones de un material ligero en estas y otras obras sea de relevancia y mucha importancia.

Como consecuencia de lo anteriormente expuesto y sabiendo que, es uno de los primeros estudios de mortero ligero con adición de cáscara de arroz que se realiza en esta ciudad, me siento motivada al hacer un aporte con esta investigación, con la cual se podrá identificar de forma directa el comportamiento de este tipo de mezcla (resistencia a compresión), y así ver la viabilidad que presenta este residuo agrícola (cáscara de arroz), como árido ligero.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Establecer el nivel de porcentaje adecuado para reemplazar la arena, con un residuo agrícola como la cáscara de arroz para la elaboración de bloques de mortero.

1.3.2 Específicos

- Establecer las diferencias entre los agregados finos del mortero (arena de río y cáscara de arroz), por medio de ensayos en laboratorio.
- Hacer la caracterización de los materiales que componen la mezcla del mortero para determinar las propiedades mecánicas de cada uno, ya que estos definen, la calidad del mortero.
- Determinar la cantidad de agua para cada una de las proporciones utilizadas.
- Determinar la dosificación de las mezclas correspondientes a diferentes porcentajes de inclusión de cáscara de arroz, para obtener los bloques.
- Estudiar el comportamiento y la calidad del mortero en el ensayo de compresión, para evaluar ventajas y desventajas.
- Analizar la validez de la hipótesis planteada en este capítulo.

1.4 Hipótesis

La hipótesis que se plantea para este trabajo de investigación es:

“Con la adición de cáscara de arroz (estado natural y tratada) en el mortero para la preparación de bloques, se conseguirá reducir su peso como así también se considerará el efecto en su resistencia”

1.5 Alcance

Para poder realizar el estudio propuesto en el trabajo de investigación, se pretende abarcar primeramente una parte teórica sobre los morteros en general y también de cada uno de sus componentes, que nos sirva de base para dejar en claro cuáles son las principales características y propiedades que estos poseen.

Se proyecta explicar y practicar todos los ensayos de laboratorio para la caracterización de cada uno de los materiales que integran la mezcla de mortero tanto como para la mezcla patrón como para el mortero con cáscara de arroz, para luego tabular todos estos datos en planillas normalizadas, determinando así; el módulo de finura, granulometría, peso específico, absorción, peso unitario para los agregados (arena y cáscara de arroz).

En la identificación de las mezclas de mortero, apuntaremos detalladamente el proceso de obtención de la misma, comenzando por realizar el método de dosificación, luego el procedimiento de elaboración, el curado y por último proceder a los ensayos de rotura a compresión de probetas y bloques.

Todos los datos adquiridos de caracterización como de resistencia serán sometidos a un proceso de análisis para su valoración, lo cual se verá reflejado en la obtención de curvas, cuadros y/o planillas; con dichas herramientas podremos estipular sus cualidades y calidad del bloque ante la resistencia a la compresión como así igualmente su relación con el peso que expone.

MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción

Un problema en la actual actividad humana por solucionar en los países en desarrollo, es el tratamiento de las inmensas cantidades de residuos que se generan en la industria y la agricultura, siendo una parte significativa de dichos residuos biomasa, que podrían ser eventualmente empleados como un combustible o en la industria de los materiales de construcción.

Fig. 2.1 Quema de cascarilla de arroz

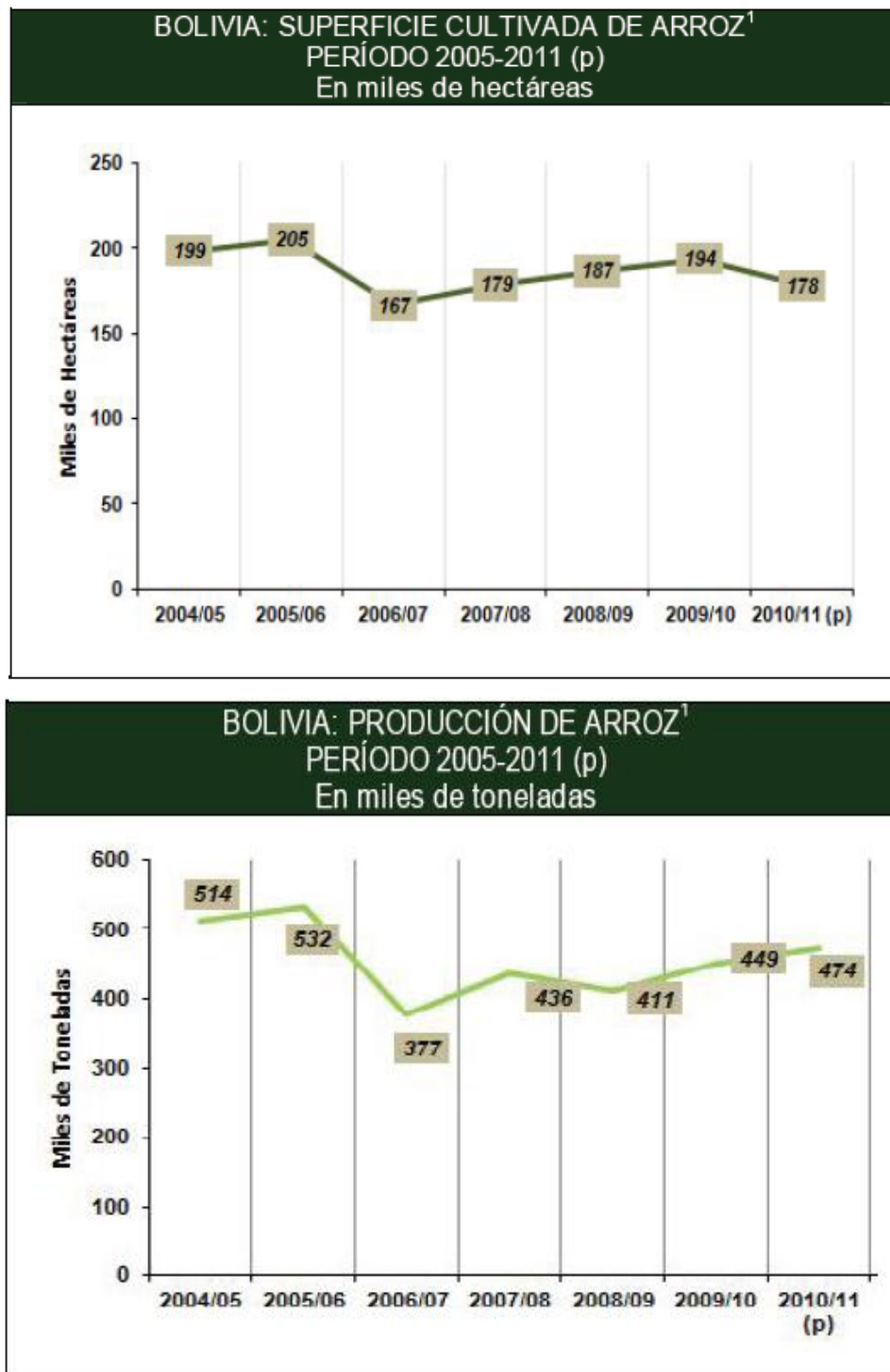


Fuente: Artículo “Hormigón ecológico”

Ante la necesidad de fomentar alternativas tecnológicas que posibilitan la utilización de elementos desechados en procesos productivos para utilizar su potencial y contribuir a la disminución del impacto ambiental que puedan generar por una inadecuada disposición, surge la oportunidad de aprovechar productos vegetales de desecho que admitan innovar en el área de los materiales de ingeniería, es caso de la “Cáscara de arroz”.

En este proyecto se pretende dar un uso de la cáscara de arroz en la ingeniería, usándola como agregado ligero para la fabricación de bloques con cáscara de arroz. La experiencia internacional al respecto es exigua y en nuestro país aún no se han efectuado ensayos sistemáticos.

Gráfico 2.1: Superficie cultivada y producción de arroz (2005-2011)



Fuente: (¹) Cámara Agropecuaria del Oriente CAO en base a datos del Instituto Nacional de Estadísticas – INE/ (p): Datos preliminares--- (IBCE) Instituto Boliviano De Comercio Exterior

2.2 Cáscara de arroz

2.2.1 Definición

La cáscara de arroz es un tejido vegetal constituido por celulosa y sílice, constituye un subproducto del proceso agroindustrial con aplicaciones reducidas, que en la práctica puede considerarse como un material de desecho (En término medio, por cada cuatro toneladas de arroz se generan una tonelada de cáscara de arroz).

2.2.2 Generalidades

El arroz es sin duda el principal producto alimenticio del mundo para más de 1000 millones de personas, se cultiva en terrenos pantanosos, montañas, tierras bajas. En las regiones tropicales el arroz se planta y cosecha prácticamente todo el año (período de crecimiento entre 100-180 días), la producción mundial ha alcanzado en el año 2007 el nivel record de 657,3 millones de toneladas, se estima que más de 100 toneladas de cáscara de arroz son producidas en el mundo.

Por sus características físicas y químicas la cáscara de arroz resulta poco biodegradable y se convierte en un desecho altamente contaminante en especial para las fuentes de agua.

Fig.2.2: Apariencia de las cáscaras de arroz.



Fuente: Elaboración propia

2.2.3 Sobre la producción de arroz en Bolivia

El arroz (*Oryza sativa*) es una monocotiledónea perteneciente a la familia Poaceae, su cultivo comenzó hace casi 10.000 años, en muchas regiones húmedas de Asia tropical y subtropical. Posiblemente la India, sea el país donde se cultivó por primera vez el arroz debido a que en ella abundaban los arroces silvestres. Pero el desarrollo del cultivo tuvo lugar en China, desde sus tierras bajas a sus tierras altas. Probablemente hubo varias rutas por las cuáles se introdujeron los arroces de Asia a otras partes del mundo.

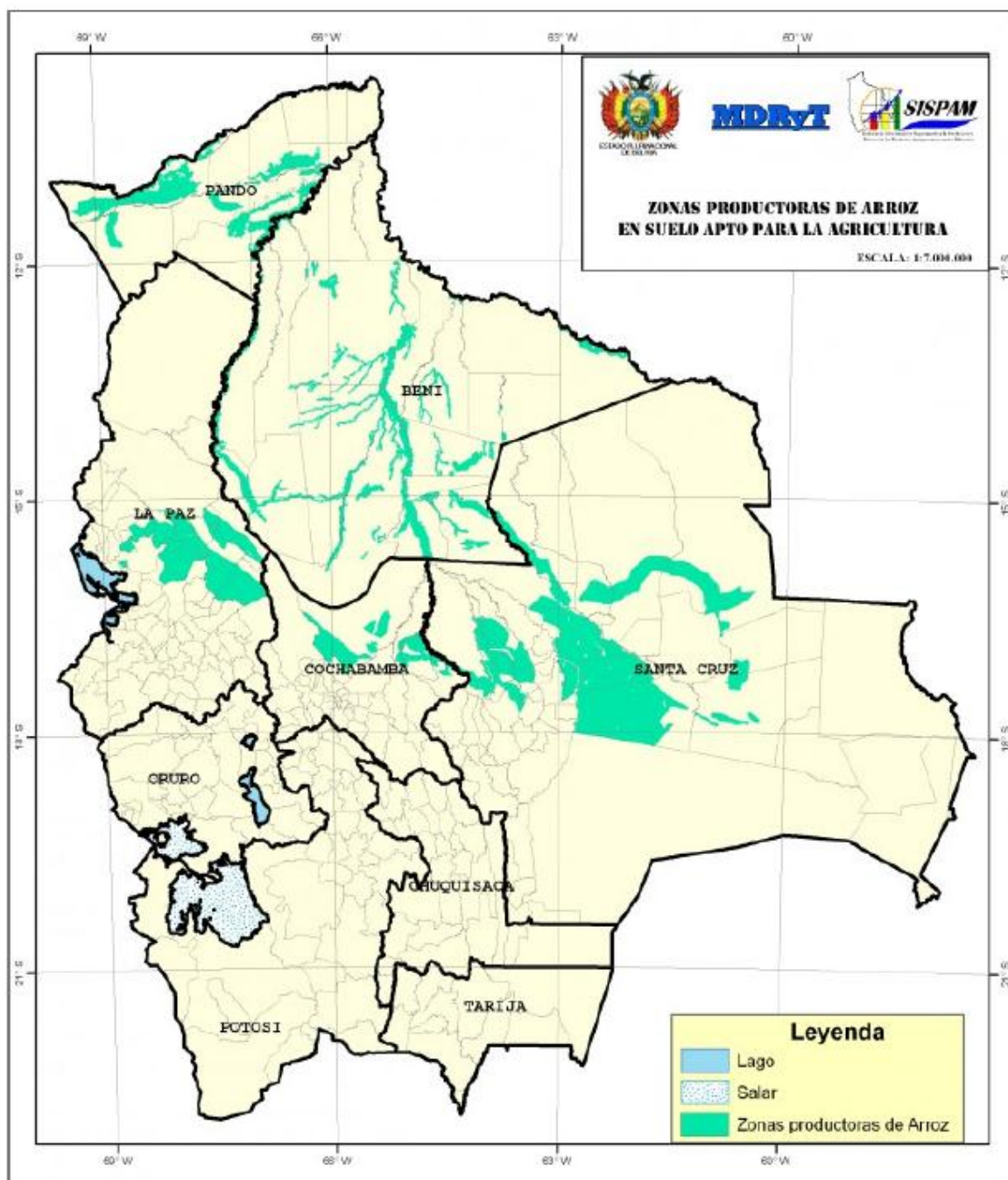
En Bolivia, aunque no existe unanimidad entre los investigadores, se tiene suficientes indicios de que su sembrado fue introducido por colonizadores y misioneros, entre los siglos XVI y XVII, específicamente en la región del Gran Mojo o Paitití, hacia el norte de Santa Cruz.

Las zonas potenciales de cultivo de arroz se presentan en siete departamentos de Bolivia (Oruro y Potosí, son la excepción), siendo Beni, Santa Cruz, La Paz y Cochabamba las zonas que la explotan para venta comercial intensiva, quedando los demás departamentos, como zonas de producción dispersa, particularmente para consumo. Los principales productores son Santa Cruz (60%) y Beni (29%), que en conjunto constituyen el 89% de la producción total de arroz en Bolivia.

El arroz se produce en siete de los nueve departamentos en todas las zonas tropicales y subtropicales de cada departamento. El arroz, uno de los principales cereales que compone la canasta familiar en Bolivia, es labrado para su explotación comercial en los departamentos de Santa Cruz, Beni, La Paz y Cochabamba (Fig. 2.3), siendo el primero el de mayor participación en la producción nacional.

El arroz con cáscara para consumo, debe ser procesado en los llamados “Ingenios arroceros”, siendo el secado, la principal operación de conservación en el proceso de beneficiado del arroz. Esta operación permite un almacenamiento de producto de hasta dos años antes de su beneficiado.

Fig. 2.3: Zonas productoras de arroz en Bolivia



Fuente: “Análisis y pertinencia de la devolución del afrecho de los ingenios arroceros hacia los productores de arroz” - 2011

Los departamentos más importantes de producción son Santa Cruz y Beni, que producen más del 89 % del arroz nacional.

Los rendimientos en el proceso de beneficiado del arroz en chala, de acuerdo al estudio técnico de ASPAR (Asociación de Productores de Arroz) 2006, presentadas en el libro “El Arroz en Bolivia”, en función a los productos originados del beneficiado del arroz, son los siguientes:

Tabla 2.1: Rendimiento del arroz

Productos y subproductos	Porcentaje
Arroz entero	49,45%
Trescuartos	6,17%
Granillo	10,27%
Colilla	3,37%
Afrecho	5,97%
Chala o cáscara	24,77%
Total	100,00%

Fuente: “Análisis y pertinencia de la devolución del afrecho de los ingenios arroceros hacia los productores de arroz” - 2011

Los niveles de producción que se verifican en Bolivia son los siguientes:

Tabla 2.2: Evolución de la producción de arroz con cáscara en Bolivia

Descripción	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Superficie cultivada (has)	198,688	205,178	166,743	178,533	200,448	193,82
Producción (Tn)	513,653	531,969	376,97	435,96	489,205	449,458
Rendimiento	2,585	2,593	2,261	2,442	2,441	2,319

Fuente: “Análisis y pertinencia de la devolución del afrecho de los ingenios arroceros hacia los productores de arroz” - 2011

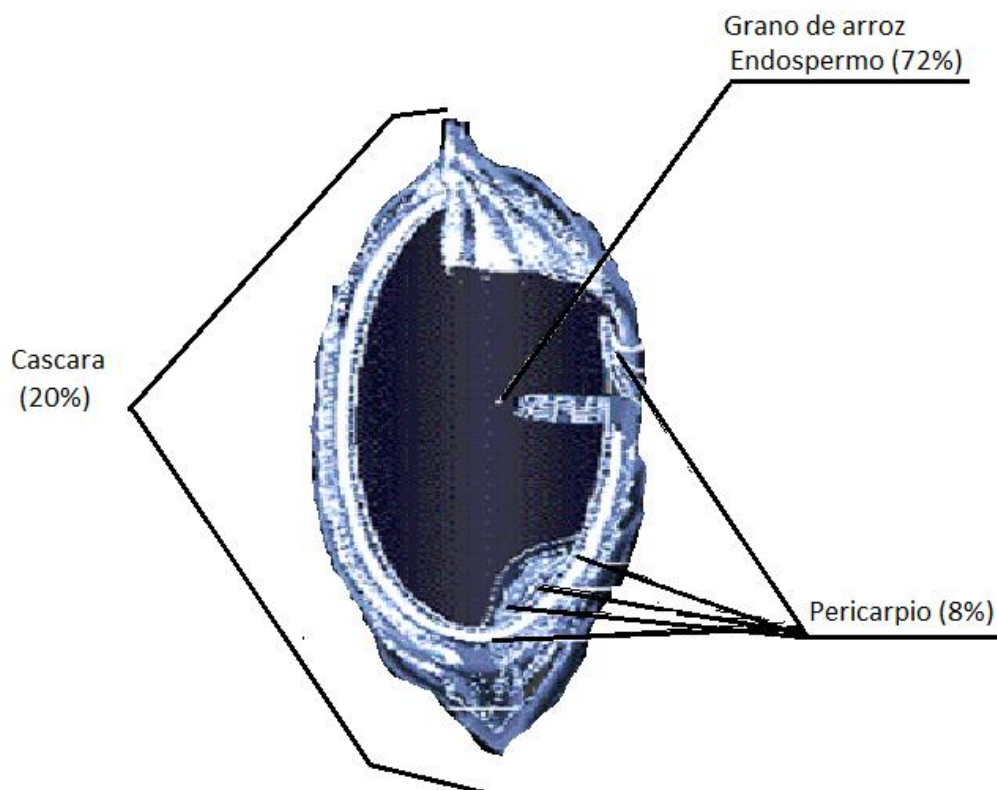
2.2.4 Descripción de la cáscara de arroz

Como se puede apreciar (fig. 2.4) el grano de arroz presenta diferentes estructuras de protección como lo es la cascarilla o cáscara la cual mantiene al grano en una condición de impermeabilidad y termo estabilidad, además de poco contacto con el aire que pueda provocar la degradación de los componentes internos.

Seguido de esta cascarilla se encuentran varias capas entre las cuáles se puede ver el pericarpio, una cubierta de semilla, el nucelio y la aleurona. Dichas capas y la parte del embrión o germen, constituyen lo que conocemos como salvado de arroz.

Examinando con detalle la figura, el 72% del grano está representado por el endospermo almidonoso, el 20% es cascarilla y el restante 8% es el pericarpio o salvado de arroz.

Fig.2.4: Grano de arroz



Fuente: "Alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Colombia" - Universidad de Sucre - 2009.

La cáscara o cascarilla, que constituye aproximadamente 20% en peso del grano y que es separado en el proceso de pilado formándose verdaderas montañas de cascarilla (fig. 2.5) al costado de los molinos, lo que ocasiona problemas de espacio por la acumulación de este desecho.

Fig. 2.5: Acumulación de la cascara de arroz



Fuente: Elaboración propia “Ingenio arrocero Warnes – Santa Cruz”

2.3 Morteros

En la ingeniería civil, y a propósito en los materiales de construcción, se ha dado a lo largo de las últimas décadas un importante desarrollo de la tecnología del concreto, toda vez que este ha sido un material que han permitido un invaluable avance de las técnicas constructivas gracias a los niveles de resistencia alcanzados, y a que dicho material ha mostrado a que siendo trabajado bajo condiciones técnicas adecuadamente controladas, es un material de gran durabilidad. El mortero por su parte, aun cuando se le podría conceptuar como una clase especial de concreto, que sólo contiene agregado fino, pero que en sus componentes es básicamente igual a aquel, no ha experimentado el mismo grado de desarrollo práctico, o por lo menos ha sido considerado injustamente como de “Clase inferior” a pesar de su indiscutible utilidad y su universalidad de uso en las obras.

2.3.1 Definición

Los morteros pueden definirse como la mezcla de material aglomerante (cemento Portland y/u otros cementantes), un material de relleno (agregado fino), agua y eventualmente aditivos, con propiedades químicas, físicas y mecánicas similares a las del concreto y son ampliamente manejados para pegar piezas de mampostería en la construcción de muros, o para recubrirlos, en cuyo caso se le conoce como recubrimiento o revoque.

Mortero en su definición más general es toda mezcla de cemento + arena + agua. Él puede tener función estructural, o no tenerla. Los pañetes, por ejemplo, no poseen función estructural; los morteros usados en mampostería (peso o relleno), o los usados para fundir elementos estructurales (bloques), si poseen tal función.

- De acuerdo con su origen, los morteros pueden ser premezclados en planta, premezclados secos, o elaborados en obra.
- De acuerdo con su dosificación ha sido costumbre hablar de morteros de relación 1:n (1:3 ó 1:4 etc.), requiriendo indicar partes de cemento: Arena; sin embargo, bajo esta denominación se ha incurrido casi siempre a un error implícito por lo siguiente:
 - No es claro si se trata de partes en masa o en volumen.
 - Varios morteros con la misma relación 1: n, y con igual manejabilidad, puede arrojar diferentes resistencias a compresión a los 28 días, en razón de la granulometría de la arena utilizada.

2.3.2 Morteros para mampostería estructural

2.3.2.1 Clasificación de los morteros de mampostería

De acuerdo con esta Norma ASTM C-270 los morteros se catalogan en tipo M, S, N y O, (ver tabla 2.3) son ordenadas de mayor a menor en cuanto a fuerza compresiva y de menor a mayor en facilidad de moldeabilidad.

Puesto que no hay un sólo tipo de mortero ideal, la decisión de cuál usar debería basarse en la mejor mezcla para el proyecto y no simplemente en una alta fuerza compresiva. El

mortero siempre debe ser de una fuerza compresiva menor que la de las unidades que comprenden el ensamblaje de la mampostería.

Tabla 2.3: Clasificación de los morteros

Tipo de mortero	Características
M	• Alta resistencia • Ofrece más durabilidad que otros morteros • Recomendado para mampostería reforzada o requerimiento de cargas altas • Se debe usar en estructuras en contacto con el suelo
S	• Mortero con mejores características de adherencia • Para estructuras bajo cargas de compresión normales pero alta adherencia • Para usar cuando es el único medio de adherencia con la pared.
N	• Mortero de propósito general, utilizado en estructuras sobre el nivel del suelo. • Adecuado para utilizar en paredes interiores o divisiones. • Representa la mejor opción de resistencia, trabajabilidad y economía. • Lo afectan la absorción de las unidades, calidad de la mano de obra y otras variables.
O	• Mortero de baja resistencia y con alto contenido de cal. • Puede usarse en paredes o divisiones sin cargas, o para revestimientos exteriores. • Son de uso común en viviendas de uno o dos niveles. • Excelente trabajabilidad y bajo costo.

Fuente: Norma ASTM C-270

2.3.3 Composición del mortero

2.3.3.1 Componentes tradicionales

La calidad de los materiales a utilizar, los áridos y su granulometría, el cemento y su dosificación influyen en la calidad del mortero. Se deberán realizar ensayos previos, de los materiales a emplear, para determinar si la composición es la más idónea.

❖ **Cemento**

Definición.- Es un polvo gris-verdoso, que dentro del sector de la construcción, edificación y obras públicas; constituye un material de alto valor estructural, porque al ser mezclado con agua adquiere una solidez pétreas, se trata también de un aglomerante por excelencia.

Características físicas y mecánicas.- las características físicas y mecánicas más importantes son: Finura de molido, peso específico, fraguado, expansión y resistencias mecánicas.

❖ **Agregado (fino)**

Definición.- se considera como agregado fino a la arena o a la piedra natural finamente triturada, de dimensiones reducidas y que pasan el tamiz 9,5 mm (3/8”) y que cumple con los límites establecidos en la Norma ASTM C-33. Las arenas provienen de la desintegración natural de rocas; y que arrastrados por corrientes aéreas o fluviales se acumulan en lugares determinados.

Características físicas y mecánicas.- las particularidades físicas y mecánicas más significativas son: Granulometría, peso específico y porcentaje de absorción y peso unitario.

❖ **Agua**

El agua de amasado se compone de agua de adición y de la humedad natural de los áridos. Al igual que en la mezcla corriente, el agua de amasado debe ser preferentemente de la red de agua potable. Si no se dispone de ella, al agua a emplear debe ensayarse para verificar que no contiene sustancias nocivas para el mortero. La relación entre la cantidad de agua de amasado y el contenido de cemento se expresa al igual que el hormigón convencional mediante la relación agua/cemento, pero además de debe considerar que la cáscara de arroz absorbe agua.

2.3.4 Características del mortero

La evaluación de las propiedades de los morteros puede considerarse como una medida de control de calidad, por lo general se toman en cuenta en estado plástico y endurecido. Si un

mortero cumple con dichas características, fraguará y endurecerá dentro del tiempo y resistencia esperados, se dividen en dos grupos bien diferenciados:

- Estado fresco, entendiéndose en ellas las que lo hacen trabajable, deformable plásticamente bajo la acción de pequeños esfuerzos, determinan las condiciones del uso del mortero.
- Estado endurecido, cuando tiene la edad necesaria para adquirir resistencia mecánica.

2.3.4.1 Estado fresco

Plasticidad

Propiedad del mortero fresco de la que depende la mayor o menor plasticidad para poder tenderlos y rellenar completamente las juntas. De la plasticidad depende lograr buena unión entre los elementos constructivos cuando se colocan mampuestos, así como disminuir la penetración de agua en los cerramientos terminados. En general, se acepta como medida de la manejabilidad, el valor de fluidez de la mezcla obtenido en la mesa de flujo de acuerdo a la norma ASTM C-230 *Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement* (Especificación estándar de la mesa de flujo para el uso en ensayos de cemento hidráulico). Entre los principales factores que pueden afectar la consistencia y por tanto la trabajabilidad, se encuentran:

- Características del agregado fino (granulometría y forma de las partículas).
- Contenido de cemento utilizado.

Retención de agua

La retención del agua es la habilidad que tiene el mortero de resistir la rápida pérdida de agua, al contacto con el aire y los bloques secos de mampostería y ladrillos. Si el mortero no tiene una buena retención del agua se endurece rápidamente, haciendo difícil obtener uniones resistentes al agua, al ensamblar la mampostería. Esto permite que las unidades puedan ser acomodadas, alineadas y niveladas, por lo que resulta ser uno de los

factores de mayor incidencia en la adherencia entre morteros y unidades; la velocidad de endurecimiento y la resistencia a la compresión del mortero, ya que afecta la hidratación del cemento. Puede ser mejorada mediante la adición de cal, dada su capacidad plastificante, aunque hoy en día se tienen otras alternativas igualmente satisfactorias como el uso de aditivos plastificantes y agentes incorporadores de aire.

2.3.4.2 Estado endurecido

Resistencia a compresión

Es la propiedad más indicativa del comportamiento del mortero en los cerramientos portantes contruidos con mampuestos. La resistencia debe ser lo más elevada posible, aunque es conveniente que sea inferior a los elementos de albañilería que va a unir.

Adherencia

La adherencia puede entenderse debido a la penetración de la pasta del mortero en el elemento de albañilería (mampuesto, sustrato), provocada por la succión capilar que este ejerce.

Retracción

Es la pérdida de volumen del mortero y se debe principalmente a reacciones químicas de hidratación de la pasta, sobre todo en aquellas con una alta relación agua-cemento. Para evitar la retracción es conveniente usar cementos de baja retracción al secado (puzolánicos o con adición inerte) y agregados de buena granulometría, con pocos finos.

Durabilidad

Es la resistencia a los agentes externos, como las bajas temperaturas, la penetración del agua, desgaste por abrasión, retracción al secado, eflorescencias, agentes corrosivos o choques térmicos, entre otros, sin deterioro de sus condiciones físico-químicas con el tiempo.

2.4 Aprovechamiento de la cáscara de arroz

En el marco de este trabajo de investigación se comprobará la aplicación de la cáscara de arroz como material de construcción.

2.4.1 Material de construcción derivado de cáscara de arroz

Se considera a la cáscara o cascarilla de arroz en estado natural o con tratamiento previo, para la utilización como agregado granular para el material conglomerado (mortero).

La cáscara de arroz no es apta para la construcción de elementos estructurales principales, como por ejemplo vigas, nervios o columnas. Sin embargo, conceptuando las ventajas de carácter constructivo que puede ofrecer este material, por ser de baja densidad, aislante acústico y no inflamable, es un material excelente para la utilización en alivianamiento de losas, la elaboración de mampostería, paneles prefabricados y bloques.

Fig. 2.6: Bloque con cascarilla de arroz



Fuente: Artículo “La cascarilla de arroz: Nuevo material para elaborar hormigón”

2.4.2 Tratamiento de la cáscara de arroz

La cáscara de arroz, al mezclarse con la pasta de cemento, modifica desfavorablemente las características de fragua y endurecimiento propias al aglomerante. Este desarreglo se debe a

la constitución orgánica del material, que interviene en los procesos de hidratación del cemento. El fenómeno se potencializa cuando la cáscara no ha sido lavada y contiene polvo con porcentajes variables de materia orgánica.

Para la solución del problema existen varias alternativas. La primera consiste en la aceleración del proceso de fraguado por la adición de un acelerante, evitando de esta manera la acción de los elementos orgánicos de la materia. Otra solución se encuentra en el lavado prolongado con agua, para eliminar el polvo y las materias desprendidas durante la agitación y contacto con el agua. Finalmente, la aplicación de métodos denominados de “Mineralización” de la cáscara. Estos métodos, básicamente pueden clasificarse según sus objetivos en los siguientes:

- Procedimientos para impermeabilizar la cáscara de arroz, evitando la acción solvente.
- Procedimientos para producir una oxidación parcial, capaz de mejorar la estabilidad de la cáscara.
- Procedimientos para neutralizar la acción orgánica.

Los tratamientos que se utilizan son los siguientes:

- Tratamiento con cloruro de calcio, como solución mineralizante
- Tratamiento con una mezcla de cloruro de calcio y cal.
- Tratamiento previo en pasta de cal y secado.

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Características de los materiales que componen la mezcla de mortero

3.1.1 Cemento

Para este trabajo de investigación se utilizó cemento IP-30 “El Puente”, se adquirió la cantidad necesaria para el desarrollo de todo el trabajo de investigación, los ensayos en su totalidad se desarrollarán en el laboratorio de suelos y Hormigones de la Universidad autónoma Juan Misael Saracho. Los datos, resultados e imágenes de los mismos se encuentran en los anexos (A.9 y A.41)

Tabla 3.1: Propiedades del cemento “El Puente”

Propiedad	Valor	Norma Boliviana	Norma ASTM	Pliego español RC-75
Perdida al fuego	1,97%	5.0 % máx.	3,0 % máx.	-
Si O ₂	23,41%	-	-	-
Al ₂ O ₃	5,33%	-	-	-
Fe ₂ O ₃	2,38%	-	-	-
Ca O	60,70%	-	-	-
Mg O	4,35%	5,0 % máx.	5,0 % máx.	5,0 % máx.
S O ₃	1,54%	3,5 % máx.	2,5 % máx.	4,0 % máx.
Residuo insoluble	1,87%	3,0 % máx.	0,75 % máx.	3,0 % máx.
Cal libre	1,39%	2,5 % máx.	2,5 % máx.	3,0 % máx.
Residuo M-200	12%	-	-	< 15 %
Tiempo de fraguado	2,5 h	Inicial: 45 min. Final: 10 h	Inicial: 45 min. Final: 10 h	Inicial: 45 min. Final: 10 h
Blaine	2960	2600	2800	-
R a/c	0,645	-	-	-
Fluidez	77	-	-	-
Resistencia a compresión 3 días (Kg/cm ²)	139	80	126	175
Resistencia a compresión 7 días (Kg/cm ²)	216	150	196	250
Resistencia a compresión 28 días (Kg/cm ²)	323	250	273	350
Densidad (gr/cm ³)	3,14	-	-	-

Fuente: “Dosificación y resistencias de hormigones elaborados con materiales regionales”

U.A.J.M.S./S.I.B - Tarija/C.I.C - Tarija

3.1.1.1 Finura del cemento

❖ Objetivo

Determinar la finura del cemento (IP 30) por medio de un tamizado de malla N° 200.

❖ Materiales y equipo

Los materiales y equipos necesarios para la finura del cemento son:

- Cemento (IP 30).
- Balanza de capacidad 100 gr y una sensibilidad de 0.05 gr.
- Una brocha.
- Tamiz N° 200 y N°40.

❖ Memoria de la práctica

- ☞ Pesar un recipiente en la balanza y luego en el mismo pesar 50 gr. de cemento para determinar su finura.
- ☞ Añadir la muestra a los tamices N° 40 y N° 200 con base y tapa. Agitar la misma manualmente con movimientos verticales y horizontales con golpes de vez en cuando, esto se lo debe realizar entre 15 a 20 minutos. Es mejor si se lo efectúa en un vibrador mecánico.
- ☞ Se quita la tapa y se separa la malla N° 40 vaciando la fracción de cemento sobre un recipiente limpio previamente pesado, a las partículas que han quedado atrancados entre los hilos de la malla no hay que forzarlos a pasar a través de ella; se invierte el tamiz y con la ayuda de una brocha se adicionan las partículas retenidas en el recipiente.
- ☞ Se pesa la fracción de muestra obtenida en la malla N° 40. Se lo guarda la misma hasta el final de la prueba, para poder repetir las pesadas en caso de error.

☞ Se realiza los dos pasos anteriores para las fracciones de muestra retenidas en la malla N° 200 y en la base. Todos los pesos retenidos se anotan en la hoja de registro para el cálculo.

☞ Se calcula utilizando la fórmula:

$$F = Pr / 50 * 100$$

Donde:

F=Finura del cemento expresado como porcentaje en peso, del residuo que no pasa el tamiz N° 200.

Pr=Peso del residuo que no pasa el tamiz N° 200.

3.1.2 Agregado fino (cáscara de arroz)

La cáscara o cascarilla de arroz acopiada para este trabajo de investigación, es de grano largo, traído del ingenio arrocero de Warnes-Santa Cruz



3.1.2.1 Mineralización (Tratamiento de la cáscara de arroz)

❖ Objetivo

Perfeccionar las características físicas y mecánicas de la cáscara de arroz natural, para generar mejores resultados en este trabajo de investigación.

❖ Materiales y equipo

Los materiales y equipos necesarios para la mineralización de la cáscara de arroz son:

- Cal y Agua.
- Cáscara de arroz.
- Fuente, guantes de goma, malla para tamizar.

❖ Memoria de la práctica

- ☞ Verificar que la muestra está seca.
- ☞ La proporción que se utilizó para conseguir la pasta fue de 2,5 kilos de cal por 3 litros de agua, para 1,5 kilos de cáscara de arroz.
- ☞ Una vez definida la proporción, procedemos a vaciar la cal y añadir el agua en una fuente, y lo mezclamos manualmente para formar la pasta de cal.
- ☞ Ya formada la pasta, añadir la cáscara de arroz y mezclar manualmente de manera que la pasta se combine de manera homogénea con la cáscara.
- ☞ Posteriormente, se procede al secado de la muestra (secado al sol). Ya seca la muestra se procede a tamizar para separar las partículas gruesas de las finas. El procedimiento en imágenes ver en el anexo A.40

3.1.2.2 Granulometría (cáscara de arroz)

❖ Objetivo

Delimitar la distribución del tamaño de particular y el modulo de finura del agregado fino (cáscara de arroz).

❖ Materiales y equipo

Los materiales y equipos necesarios para la determinación de la granulometría del agregado fino son:

- Juego de tamices (#4, #8, #16, #30, #50, #100, #200)
- Balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
- Agregado fino 100 gr (Cáscara de arroz).

❖ Memoria de la práctica

a) Método seco

- Preparación de la muestra
 - ☞ Verificar que el espécimen este seco.
 - ☞ Seleccionar una pequeña muestra del acopio.
- Procedimiento
 - ☞ Pesar la cantidad requerida para hacer la prueba (100 gr) en una balanza sensible a 0.01 gr.
 - ☞ Una vez pesados los 100 gr de la muestra se procede al tamizado.
 - ☞ Colocar la muestra en el juego de tamices (#4, #8, #16, #30, #50, #100 y #200) para luego agitarlo manualmente por 15 minutos.
 - ☞ El tiempo de agitado depende de la cantidad de finos en la muestra, pero por lo general debe ser un tiempo mayor o igual a los 15 minutos.
 - ☞ Después del tamizado se pesan las partículas retenidas en cada tamiz y se trabaja en gabinete llevándolos a porcentajes de tal manera que se puedan graficar, para verificar que está en los rangos comprendidos para ser aceptados como apropiado para la preparación del mortero. Los datos, resultados e imágenes se muestran en los anexos (A.2 y A.37)

3.1.2.3 Peso específico y porcentaje de absorción (cáscara de arroz)

❖ **Objetivo**

Establecer el peso específico aparente y el peso específico granel del agregado fino (cáscara de arroz), lo mismo que la determinación de la cantidad de agua que puede absorber la cáscara de arroz cuando se somete a un proceso de saturado (sumergir en agua) durante 24 horas

❖ **Materiales y equipo**

Los materiales y equipos necesarios para la disposición del peso específico y porcentaje de absorción son:

- Probeta, termómetro, secadora.
- Balanza con sensibilidad de 0.1 gr.
- Horno a temperatura de 105°C.
- Recipiente para colocar la muestra a secar.
- Cáscara de arroz saturada durante 24 horas (50 gr.)

❖ **Memoria de la práctica**

- ☞ Seleccionar el espécimen (cáscara de arroz) por el método de cuarteo de tal manera que toda la muestra pase por el tamiz N° 4.
- ☞ Sumergir la muestra en un recipiente con agua, y dejar reposar durante 24 hrs. De tal manera que el material quede totalmente saturado durante este periodo.
- ☞ Sacar la muestra del agua y secar con una secadora de manera uniforme, el secado debe ser superficialmente.
- ☞ Con el fin de controlar que la superficie este seca superficialmente y tomando en cuenta de que se trata de cáscara de arroz una material distinto a la arena. Se controla presionando con la mano un puñado de cáscara de

arroz, si cuando suelta la mano y si esta se desprendía fácilmente ya estaba lista y si sucediera lo contrario seguir secando.

- ☞ Pesar sobre una hoja 50 gr de la muestra secada en el anterior paso.
- ☞ Pesar la probeta y colocar 500 ml de el agua, para su exactitud usar una pipeta.
- ☞ Vaciar la muestra a la probeta que contiene agua, registrar la nueva altura que indica la probeta, efectuar este paso con el debido cuidado, para no perder muestra. Con el fin de eliminar el aire presente en la probeta, se hace girar la probeta sobre si misma.
- ☞ Pesar la probeta con la muestra sumergida en ella, registrar ese dato.
- ☞ Vaciar con el debido cuidado el contenido de la probeta en un recipiente, para luego poner a secar en al horno a temperatura constante (durante 24 hrs.)
- ☞ Sacar de horno, esperar a que se enfrié el recipiente, y pesar la muestra para obtener el peso seco de la misma, teniendo en cuenta que no adquiera humedad de la atmosfera. Los datos, resultados e imágenes se señalan en los anexos (A.5 y A.38)
- ☞ Se procede a realizar los cálculos con la siguientes fórmulas:

$$\text{- Peso específico a "granel"} = \frac{A}{V-W}$$

Donde:

A= Peso se la muestra secada al horno (gr.)

V= Volumen del frasco (ml.)

W= Peso del agua agregado al frasco (gr. ó ml.)

$$\text{- Peso específico saturado con superficie seca} = \frac{50}{V-W}$$

$$\text{- Peso específico aparente} = \frac{A}{(V-W)-(50-A)}$$

$$\text{- Porcentaje de absorción} = \frac{50-A}{A} * 100$$

NOTA:

Para la determinación del peso específico y el porcentaje de absorción se siguió básicamente las guías de tecnología del hormigón (Ing. Orgaz). No obstante, por las características específicas de la cáscara de arroz, en su empleo como árido se apartó del contenido de esta en 1 punto en concreto:

- ✚ La cantidad de muestra de cáscara con superficie saturada seca, en lugar de ser $500 \pm 0,1$ gr. se ha tomado de $50 \pm 0,1$ gr., ya que debido al bajo peso específico de la cáscara, un peso de 500 gr. Haría muy difícil su manipulación.

3.1.2.4 Peso unitario (cáscara de arroz)

❖ Objetivo

Determinar el peso unitario del agregado fino (cáscara de arroz) a temperatura ambiente.

❖ Materiales y equipo

- Cáscara de arroz.
- Balanza sensible al 5% de la muestra, y de capacidad de 20Kg. o mayor.
- Recipiente cilíndrico. El tamaño del molde cilíndrico que se debe usar depende del tamaño máximo de las partículas; la siguiente tabla indica la medida a emplear.

tamaño máximo del árido (pulgadas)	Capacidad de la medida	
	(pie ³)	(litros)
$> 1 \frac{1}{2}$	1	28,32
$1 \frac{1}{2} - \frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	14,16
$< \frac{1}{2}$	$\frac{1}{10}$	2,83

Fuente: Especificación de la ASTM C-29

- Varilla de compactación de acero de 5/8" de diámetro y aproximadamente de 60cm. de largo
- Barra de hierro para enraizar, termómetro y recipientes.

❖ Memoria de la práctica

a) peso unitario suelto

- ☞ Tomamos una cantidad apropiada de agregado fino (cáscara de arroz).
- ☞ Pesamos el molde cilíndrico, anotar este dato.
- ☞ Calibrar el molde determinando el peso del agua, midiendo la temperatura del agua. El volumen del molde se establece dividiendo el peso del agua requerido para llenar el respectivo molde por el peso unitario del agua a la misma temperatura.
- ☞ Realizamos el ensayo de agregado fino (cáscara de arroz) sin compactar, introduciendo la cáscara dentro del molde cuidadosamente a una altura de 5 cm, excediendo la parte superior del molde y con la barra de hierro se desecha el exceso de agregado dejando la arena enrazada a la superficie del molde.
- ☞ Pesar el molde junto con el agregado tratando de ser lo más preciso posible y de no golpear el molde.
- ☞ Considerar 5 veces los dos procedimientos anteriores, para así poder obtener la media del peso unitario suelto.

b) peso unitario compactado

- ☞ Llenamos el recipiente cilíndrico poco a poco en 3 capas las cuáles deben compactarse a 25 golpes con una varilla de acero, luego enrasamos la superficie de la arena.
- ☞ Pesar el molde junto con la muestra compactada.
- ☞ Considerar 5 veces los dos procedimientos anteriores, para así poder adquirir la media del peso unitario compactado. Los datos, resultados e imágenes se prueban en los anexos (A.3; A.4 y A.39)

3.1.3 Agregado fino (Arena de Río)

La cantera de arena utilizada para el presente trabajo de investigación es de canto rodado de la clasificadora de áridos “San Blas”, la cual extrae los áridos (agregado grueso y agregado fino) del río Guadalquivir. Dicha seleccionadora está localizada a 1 Km. Al Sud del centro de la ciudad Tarija, a 200 metros del Colegio La Salle.

3.1.3.1 Granulometría

❖ Objetivo

Determinar la distribución del tamaño de particular y el módulo de finura del agregado fino (arena), es decir un estudio de granulometría para saber si esta es apta o no para la preparación de morteros

❖ Materiales y equipo

Los materiales y equipos necesarios para la determinación de la granulometría del agregado fino son:

- Juego de tamices (#4, #8, #16, #30, #50, #100, #200).
- Taras, brocha para limpiar los tamices.
- Horno a temperatura de 105°C.
- Balanza con sensibilidad de 0.1 gr.
- Agregado fino (arena) 500 gr.

❖ Memoria de la práctica

a) Método seco

- Preparación de la muestra
 - ☞ Verificar si la muestra está seca y limpia, es decir, libre de impurezas.
 - ☞ Elegir una pequeña muestra del acopio.

- ☞ Según las especificaciones de la ASTM para que la arena sea apta para la preparación del hormigón debe estar entre los rangos:

tamices	% que pasa según especificaciones ASTM
3/8"	100
Nº 4	100
Nº 8	95 - 100
Nº 16	60 - 100
Nº 30	35 - 70
Nº 50	15 - 35
Nº 100	0 - 15
base	0

Fuente: Especificación de la ASTM para agregado fino

➤ Procedimiento

- ☞ Obtener la muestra por cuarteo.
- ☞ Pesar la cantidad requerida para hacer la prueba (500 gr) en una balanza sensible a 0.1 gr.
- ☞ Una vez pesados los 500 gr de la muestra se procede al tamizado.
- ☞ Colocar la muestra en el juego de tamices (#4, #8, #16, #30, #50, #100 y #200) para luego agitarlo manualmente por 15 minutos.
- ☞ El tiempo de agitado depende de la cantidad de finos en la muestra, pero por lo general debe ser un tiempo mayor o igual a los 15 minutos.
- ☞ Después del tamizado se pesan las partículas retenidas en cada tamiz y se trabaja en gabinete llevándolos a porcentajes de tal manera que se puedan graficar, para verificar que está en los rangos comprendidos para ser aceptados como apropiado para la preparación del hormigón.

b) Análisis con lavado

- ☞ Pesar en un recipiente la cantidad de muestra necesaria (arena 500 gr).

- ☞ Vaciar el contenido del recipiente sobre el tamiz N° 200 cuidadosamente sin perder muestra y con ayuda del agua, lavar lo mejor posible la muestra, para que todas las particular más finas pasen por el tamiz.
- ☞ El material retenido en el tamiz N° 200 se lo pesa en un recipiente.
- ☞ Por último se deja secar en el horno a temperatura constante (durante 24 hr) de tal manera que después se proceda al pesado de la muestra (arena), registrar ese dato. Los datos, resultados e imágenes se muestran en los anexos (A.6 y A.34)

3.1.3.2 Peso específico y porcentaje de absorción

❖ Objetivo

Delimitar el peso específico aparente y el peso específico a granel del agregado fino (arena), lo mismo que la determinación de la cantidad de agua que puede absorber la arena cuando se somete a un proceso de saturado (sumergir en agua) durante 24 horas

❖ Materiales y equipo

Los materiales y equipos necesarios para la disposición del peso específico y porcentaje de absorción son:

- Probeta de 1000 ml.
- Secadora, termómetro.
- Balanza con sensibilidad de 0.1 gr
- Molde cónico (h=73 mm.; a=338 mm.; b=89 mm.).
- Varilla metálica de compactación de forma cilíndrica de 340 gr de peso y 25 mm de diámetro.
- horno a temperatura de 105°C y recipiente para colocar la muestra a secar.
- Arena saturada durante 24 horas (500 gr.)

❖ Memoria de la práctica

- ☞ Seleccionar la muestra (arena) por el método de cuarteo de tal manera que toda la muestra pase por el tamiz N° 4, aproximadamente debe pesar 1 kg.
- ☞ Sumergir la muestra en un recipiente con agua, y dejar reposar durante 24 hrs. De tal manera que el material quede totalmente saturado durante este periodo.
- ☞ Sacar la muestra del agua y secar con una secadora de manera uniforme, el secado debe ser superficialmente.
- ☞ Con el fin de controlar que la muestra este seca superficialmente, se la coloca en el molde cónico en el cual se apisona 25 veces en 3 capas y luego se retira el cono, si la muestra aun mantiene la forma del cono significa que aun sigue húmeda, seguir secando, para volver a colocara al molde, y si al quitar el molde, la arena se desliza con facilidad, ya esta lista pues perdió su humedad superficial. Pero si en este proceso la arena esta demasiado seca se debe rociar agua y dejar reposar por
- ☞ Pesar 500 gr de la muestra secada en el anterior paso.
- ☞ Pesar la probeta y colocar 500 ml de el agua, para su exactitud usar una pipeta.
- ☞ Vaciar la muestra a la probeta que contiene agua, registrar la nueva altura que indica la probeta, efectuar este paso con el debido cuidado, para no perder muestra. Con el fin de eliminar el aire presente en la probeta, se hace girar la probeta sobre si misma.
- ☞ Pesar la probeta con la muestra sumergida en ella.
- ☞ Vaciar con el debido cuidado el contenido de la probeta en un recipiente, para luego poner a secar en al horno a temperatura constante (durante 24 hrs.)
- ☞ Sacar de horno, esperar a que se enfríe el recipiente, y obtener el peso seco de la muestra, teniendo en cuenta que no adquiera humedad de la atmósfera. Los datos, resultados e imágenes se muestran en los anexos (A.8 y A:35)
- ☞ Se procede a realizar los cálculos con la siguientes formulas:

$$- \text{Peso específico a "granel"} = \frac{A}{V-W}$$

Donde:

A= Peso de la muestra secada al horno (gr.)

V= Volumen del frasco (ml.)

W= Peso del agua agregado al frasco (gr. ó ml.)

$$- \text{Peso específico saturado con superficie seca} = \frac{500}{V-W}$$

$$- \text{Peso específico aparente} = \frac{A}{(V-W)-(500-A)}$$

$$- \text{Porcentaje de absorción} = \frac{500-A}{A} * 100$$

3.1.3.3 Peso unitario

❖ Objetivo

Determinar el peso unitario del agregado fino (arena) a temperatura ambiente.

❖ Materiales y equipo

- Arena.
- Balanza sensible al 5% de la muestra, y de capacidad de 20Kg. o mayor.
- Recipiente cilíndrico cuya capacidad debe ser de 2.83 lt. según especificaciones de la ASTM C-29 y varilla de compactación de acero de 5/8" de diámetro y aproximadamente de 60cm. de largo.
- Barra de hierro para enraizar, termómetro y recipientes.

❖ Memoria de la práctica

a) peso unitario suelto

☞ Tomamos una cantidad apropiada de agregado fino (arena) la cual fue obtenida mediante cuarteo.

☞ Pesamos el molde cilíndrico, anotar este dato.

- ☞ Calibrar el molde determinando el peso del agua, midiendo la temperatura del agua. El volumen del molde se delimita dividiendo el peso del agua requerido para llenar el respectivo molde por el peso unitario del agua a la misma temperatura.
- ☞ Realizamos el ensayo de agregado fino (arena) sin compactar, introduciendo la arena dentro del molde cuidadosamente a una altura de 5 cm, excediendo la parte superior del molde y con la barra de hierro se desecha el exceso de agregado dejando la arena enraizada a la superficie del molde.
- ☞ Pesar el molde junto con el agrado tratando de ser lo más preciso posible y de no golpear el molde.
- ☞ Considerar 5 veces los dos procedimientos anteriores, para así poder conseguir la media del peso unitario suelto.

b) peso unitario compactado

- ☞ Llenamos el recipiente cilíndrico poco a poco en 3 capas las cuáles deben compactarse a 25 golpes con una varilla de acero, luego enrasamos la superficie de la arena.
- ☞ Pesar el molde junto con la muestra compactada.
- ☞ Considerar 5 veces los dos procedimientos anteriores, para así poder adquirir la media del peso unitario compactado. Los datos, resultados e imágenes se prueban en los anexos (A.7 y A.36)

3.1.4 Agua

El agua empleada en el mezclado del mortero debe estar limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica u otras sustancias nocivas para la elaboración de la mezcla.

El agua utilizada para el trabajo de investigación, tanto en la preparación de las mezclas, como así igualmente en el curado de las probetas, procedió de la red de agua potable de la ciudad de Tarija, específicamente de la zona de El Tejar.

3.1.4.1 características del agua

Casi cualquier agua natural que se pueda beber (potable) y que no tiene un sabor u olor marcado, puede aprovecharse como agua de mezclado en la elaboración de morteros. Cuando las impurezas en el agua de mezclado son excesivas, pueden afectar no sólo el tiempo de fraguado, la resistencia y la estabilidad volumétrica (variación dimensional), sino que también pueden provocar eflorescencia. Siempre que sea posible, debe evitarse el agua con altas concentraciones de sólidos disueltos.

Tabla 3.2: Análisis Físico-Químico del Agua Potable en la ciudad de Tarija

Parámetro de análisis	Resultados	Unidades
Aspecto	Limpia cristalina	-
Olor	Inodoro	-
PH	6,08	-
Sólidos total	3	mg/lt
calcio	1	mg/lt
Cloruro	7,9	mg/lt
Magnesio	2,8	mg/lt
Impureza total	3,8	mg/lt
Alcalinidad total	13,2	mg/lt
Índice de Langelier	-1,95	No corrosiva

Fuente: Tesis “análisis metodológico de la dosificación, mezclado y control de calidad para concreto ligero” Juan José Segovia Rivera 2007

3.2 Metodología y procedimiento para la investigación

3.2.1 Dosificación de la mezcla (patrón)

Como se indicó anteriormente al mortero, aun cuando se le podría considerar como una clase especial de concreto, que solo contiene agregado fino, pero que en sus componentes es básicamente igual a aquel, no ha experimentado el mismo grado de fomento práctico.

La dosificación fue posible tomando criterios estipulados y de laboratorio, apoyándose en la dosificación ACI, a pesar de que la misma es exclusivamente para hormigones y no así

para la realización de morteros. Se optó por el uso de este tipo de dosificación, puesto que no se encontró una bibliografía específica o que se adecuara para la dosificación de morteros para la realización de bloques estructurales.

Para la dosificación se partió por la cantidad de agua de mezclado, y ya estableciendo una relación A/C, se pasó a calcular la cantidad de cemento requerido para un metro cúbico de mortero, una vez teniendo la cantidad de agua y cemento calculamos la cantidad de agregado fino (arena), se realizaron 3 dosificaciones para encontrar una mezcla patrón, (anexo A.1).

Tablas 3.3: Dosificación para la mezcla patrón

Mezcla Ay (mezcla patrón)		
MAETRIAL	PESO SECO	UNIDADES
AGUA	14,5	lt
CEMENTO	23,39	kg
ARENA	96,77	kg
Relación A/C = 0,6		
Proporción = 1:4 (1:4,14)		
Asentamiento = 1,2 cm		

Fuente: Elaboración Propia

3.2.2 Dosificación de la mezcla (cáscara de arroz y cáscara de arroz tratada)

Para el mortero liviano, no existe una metodología o una normativa específica a seguir, para que basándose en ella podamos conseguir una correcta dosificación.

Solo contamos en nuestra bibliografía con algunos elementos, datos y criterios a través de los cuáles, se efectuara una dosificación de mezcla de pruebas que permitan llegar a los valores óptimos.

- Diseño del mortero (Cemento, arena, cáscara de arroz y agua)

Se utilizará la dosificación Ay, para lo cual se procedió a reemplazar en volumen al agregado fino (arena de río) por cáscara de arroz, las mismas se detallan en los anexos (A.10; A.11; A.12 Y A.13), las proporciones que se utilizaron son las siguientes:

CA 20% proporción 1:4 (1:4,14) (20% de cáscara de arroz)

CA 40% proporción 1:4 (1:4,14) (40% de cáscara de arroz)

CA 60% proporción 1:4 (1:4,14) (60% de cáscara de arroz)

CA 80% proporción 1:4 (1:4,14) (80% de cáscara de arroz)

- Diseño del mortero (Cemento, arena, cáscara de arroz tratada y agua)

Al igual que la anterior mezcla se empleará la dosificación Ay, para lo cual se procedió a reemplazar en volumen al agregado fino (arena de río) por cáscara de arroz tratada (mineralizada), las dosificaciones se detallan en los anexos (A.14; A.15; A.16 Y A.17), las proporciones que se utilizaron son las siguientes:

CAT 20% proporción 1:4 (1:4,14) (20% de cáscara de arroz)

CAT 40% proporción 1:4 (1:4,14) (40% de cáscara de arroz)

CAT 60% proporción 1:4 (1:4,14) (60% de cáscara de arroz)

CAT 80% proporción 1:4 (1:4,14) (80% de cáscara de arroz)

3.2.3 Preparación del mortero en el laboratorio para los ensayos a compresión

3.2.3.1 Preparación de los materiales y equipo

- Los materiales se mantuvieron a la temperatura del ambiente (entre 28 y 24 °C) antes de empezar los ensayos.
- El cemento se almacenó en un lugar seco del laboratorio.
- La cáscara de arroz natural al ser su porcentaje de absorción 52.28%, se optó por suturar el material antes de ser aprovechado.
- Los moldes para las probetas tienen que estar limpios y engrasados antes de vaciar la mezcla para que no se adhiera al mismo.
- Equipo que se utilizó para todas las preparaciones de probetas (patrón, con cáscara de arroz y con cáscara de arroz tratada)



3.2.3.2 Número de probetas

a) Mortero patrón

Para cada variable o condición de ensayo se prepararán un número igual de probetas de mortero; se vaciarán 12 probetas, para evaluar sus resistencias a compresión a los 7 y 28 días de curado.

b) Mortero con cáscara de arroz y con cáscara de arroz tratada

Para cada variable o condición de ensayo se elaborarán un número igual de probetas de mortero (con cáscara de arroz y cáscara de arroz tratada); se vaciarán 90 probetas, para evaluar sus resistencias a compresión a los 14 y 28 días de curado respectivamente.

3.2.3.3 Forma y dimensiones de la probeta

Las probetas para el ensayo de compresión se optarán por la forma cilíndrica con una longitud igual a dos veces el diámetro y no así con las cubicas como debería ser

para pruebas de compresión a morteros, debido a que se trabajo con arena gruesa de río. Las probetas cilíndricas Standard son de 15 cm de diámetro y 30 cm de alto.

3.2.3.4 Mezclado del mortero

a) Mezclado del mortero Patrón

- ❖ El mortero (patrón) fue mezclado en una hormigonera con capacidad de 140 litros, la misma que fue adecuada para la cantidad de mortero que se preparo, la cantidad fue suficiente, tal que, después de moldear las probetas de ensayo (6 probetas), existía un exceso o margen de seguridad por pérdidas de un 20%.
- ❖ Para tener una idea más clara de proceso de mezclado, a continuación se indica el orden y la manera que se introducen los materiales a la hormigonera en funcionamiento, para conseguir una mezcla homogénea y satisfactoria.
 - 1.- Primeramente se introduce agua, lo suficiente como para que la hormigonera se hidrate, luego se lo añade una porción de arena posteriormente el cemento, para que estas sean mezcladas hasta un estado homogéneo.
 - 2.- Se va agregando lo restante de agua medida y necesaria, para luego realizar el ensayo de asentamiento.
 - 3.- En todo este proceso se va golpeando la hormigonera con un combo de goma, para evitar que se adhiera a las paredes de la misma.

b) Mezclado del mortero con cáscara de arroz

- ❖ El mortero con cáscara de arroz fue mezclado en una hormigonera con capacidad de 140 litros, la misma que fue apropiada para la cantidad de mortero que se preparo, la cantidad fue suficiente, tal que, después de moldear las probetas de ensayo (6 probetas), existía un exceso o margen de seguridad por pérdidas de un 20%.
- ❖ Para tener una idea más clara de proceso de mezclado, a continuación se indica el orden y la manera que se introducen los materiales a la hormigonera en funcionamiento, para conseguir una mezcla homogénea y satisfactoria.
 - 1.- Primeramente se introduce agua, lo suficiente como para que la hormigonera se hidrate, luego se lo agrega una porción de arena y luego el cemento, para que estas sean

mezcladas hasta un estado homogéneo. Se va agregando también en porciones la cáscara de arroz hidratada.

2.- Se va añadiendo lo restante de agua medida y necesaria, para luego realizar el ensayo de asentamiento. Como la cáscara de arroz estaba hidratada en este proceso hubo agua sobrante.

3.- En todo este proceso se va golpeando la hormigonera con un combo de goma, para evitar que se adhiera a las paredes de la misma.

4.- Todos los anteriores pasos son los mismos para cada dosificación (20%, 40%, 60%, y 80% de cáscara de arroz)

c) Mezclado del mortero con cáscara de arroz tratada

❖ El mortero con cáscara de arroz tratada al igual que las anteriores fue mezclado en una hormigonera con capacidad de 140 litro.

❖ Para tener una idea más clara de proceso de mezclado, a continuación se indica el orden y la manera que se introducen los materiales a la hormigonera en funcionamiento, para obtener una mezcla homogénea y satisfactoria.

1.- Primeramente se introduce agua, lo suficiente como para que la hormigonera se hidrate, luego se lo añade una porción de arena y luego el cemento, para que estas sean mezcladas hasta un estado homogéneo. Se va aumentando asimismo en porciones la cáscara de arroz tratada.

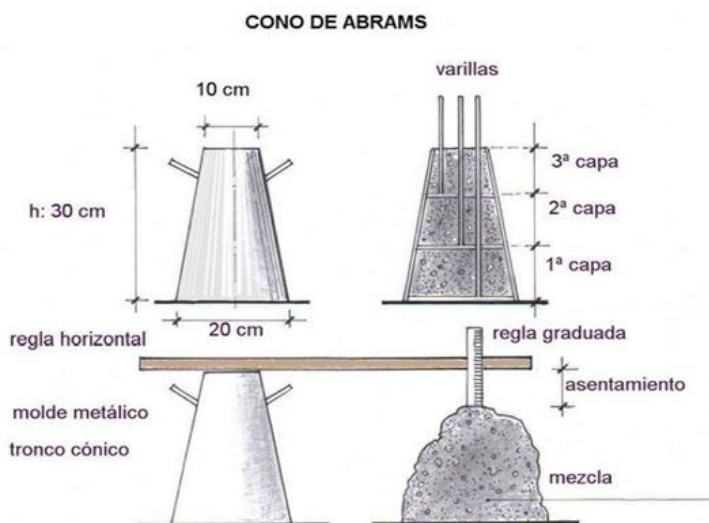
2.- Se va adicionando lo restante de agua. Como la cáscara de arroz tratada estaba seca (mineralizada con cal), en este proceso hubo que añadir agua medida y necesaria para que la mezcla tomará un aspecto homogéneo y tenga la consistencia deseada, para luego realizar el ensayo de asentamiento.

3.- En todo este proceso se va golpeando la hormigonera con un combo de goma, para evitar que se adhiera a las paredes de la misma.

4.- Todos los anteriores pasos son los mismos para cada dosificación (20%, 40%, 60%, y 80% de cáscara de arroz tratada). Las imágenes se muestran en el anexo A.42

3.2.3.5 Consistencia del mortero (patrón, con cáscara de arroz y con cáscara de arroz tratada)

- ❖ La consistencia de cada preparación de mortero se midió inmediatamente después de mezclar, realizando el ensayo de asentamiento, utilizando el método del Cono de Abrams, el cual dio un promedio de 3 cm de asentamiento.
- ❖ El molde tronco-cónico se llena con la mezcla en tres capas iguales, compactadas con la varilla (de acero) mediante 25 golpes enérgicos por capa, que atraviesan la capa a compactar, pero no las inferiores.
- ❖ Todo el mortero empleado para el ensayo de asentamiento es devuelto al recipiente de mezcla e inmediatamente se procede a vaciar la mezcla en los moldes. Las imágenes se muestran en el anexo A.44



NOTA:

El ensayo completo, desde el llenado hasta el retiro del molde, se realizará sin interrupciones y en un lapso menor a 5 minutos.

3.2.3.6 Procedimiento de vaciado

- ❖ Luego de efectuar el ensayo de asentamiento se procedió al vaciado de la mezcla a los moldes.
- ❖ Al igual que para el ensayo de asentamiento se llena el molde en tres capas iguales, compactadas con la varilla (de acero) mediante 25 golpes enérgicos por capa.

- ❖ Con el fin de eliminar los vacíos se procede a dar golpes al molde con un combo de goma.
- ❖ Al final se lo afina con una plancha metálica para que la superficie sea lisa y uniforme. Después de 24 horas se procede al desencofrado con el debido cuidado para no dañar la probeta, para proceder con el curado (método de sumersión) de las mismas hasta el momento del ensayo. Las imágenes se muestran en el anexo A.45

NOTA:

Con el fin de evitar que el mortero se pegue en las paredes del molde es necesario encerarlas con aceite o grasa.

3.2.3.7 Ensayo de rotura de las probetas

❖ Objetivo

Determinar la resistencia a compresión de la probeta patrón y las probetas con cáscara de arroz (estado natural y tratada) a los 14 y 28 días.

❖ Materiales y equipo

Los materiales y equipos necesarios son:

- Probetas cilíndricas.
- Equipo de compresión (prensa).

❖ Memoria de la práctica

- ☞ Pesar todas las probetas que serán sometidas a compresión, tabular este dato.
- ☞ Colocar la probeta el pistón, introducir todos los referentes necesarios para que el equipo proceda con el ensayo.



- ☞ Con los datos obtenidos se procede con trabajo de gabinete. Los datos y resultados se muestran en los anexos (A.18 - A.26) Las imágenes se muestran en el anexo A.47



3.2.4 Elaboración de los bloques

3.2.4.1 Preparación de los materiales y equipo

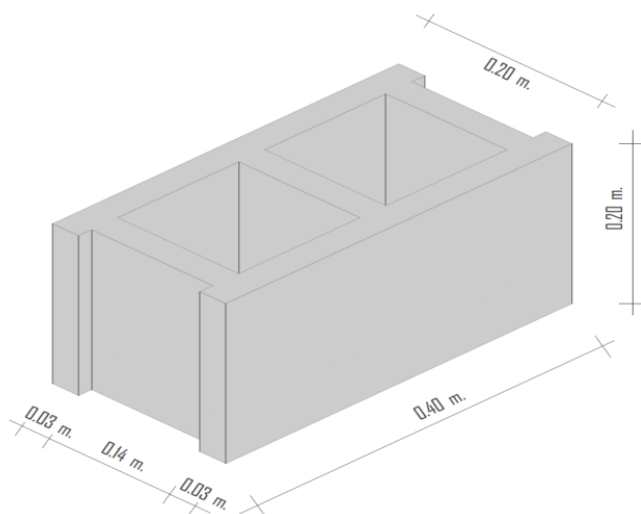
- Los materiales se mantuvieron a la temperatura del ambiente (entre 28 y 24 °C) antes de empezar.
- Equipo que se utilizó para la elaboración de bloques



- Los moldes para los bloques tienen que estar limpios y hidratados antes de vaciar la mezcla, para que no se adhiera al mismo.

3.2.4.2 Forma y dimensiones del bloque

La forma de los bloques es prismática rectangular con dos huecos en el medio, cuyas dimensiones son las siguientes:



3.2.4.3 Mezclado del mortero con cáscara de arroz

- ❖ El mezclado del mortero con cáscara de arroz tratada, se la realizó de forma manual al no ser una producción en gran magnitud.
- ❖ Para tener una idea más clara de proceso de mezclado, a continuación se indica la manera en que se procedió, para obtener una mezcla homogénea.
 - 1.- Primeramente nos aseguramos de que el espacio donde se realizará el mezclado este limpio. Se coloca todos los materiales en el piso y se procede a mezclar con la ayuda de una pala, hasta que todo este homogéneo.
 - 2.- Se va añadiendo el agua de poco en poco hasta que tenga la consistencia deseada, la mezcla tiene que ser seca ya que será sometida a un proceso de vibrado para la obtención de los bloques.
 - 3.- Si el agua añadida es en exceso, esperar a que pierda humedad.

3.2.4.4 Procedimiento de colocado a los moldes

- ❖ Luego de realizar el mezclado se procede al vaciado de la mezcla al molde.
- ❖ Con la ayuda de una pala se coloca la mezcla al equipo, más específicamente a una plancha que está a un lado del molde. Y con un enrasador se procede a introducir la mezcla al molde, hasta que este se llene.

- ❖ Con el fin de eliminar los vacíos se procede al vibrado del molde en un espacio de 10 segundos, luego se enrasa la superficie para que quede uniforme, la mezcla sobrante se la retira.
- ❖ Al fin de que la superficie sea uniforme, se compacta con el mismo equipo unos 2 o 3 golpes de acuerdo lo que se requiera. Se procede a desmoldar con el debido cuidado para no dañar los bloques, para proceder con el curado de las mismas hasta el momento del ensayo. Las imágenes se muestran en el anexo A.43



NOTA:

Con el fin de evitar que el mortero se pegue en las paredes del molde es necesario hidratarlo.

3.2.4.5 Ensayo de compresión de los bloques en estudio

❖ Objetivo

Determinar la resistencia a compresión de los bloques patrón y los bloques con cáscara de arroz tratada a los 28 días.

❖ Materiales y equipo

Los materiales y equipos necesarios son:

- bloques.
- Equipo de compresión.

❖ Memoria de la práctica

- ☞ Pesar todos los bloques que serán sometidas a compresión, tabular estos datos.
- ☞ Colocar el bloque al pistón, para que la fuerza aplicada sea distribuida de manera uniforme, se colocará en placas. Se introduce todos los datos necesarios para que el equipo proceda con el ensayo.



- ☞ Con los datos obtenidos se procede con trabajo de gabinete. Los referentes y resultados se muestran en los anexos (A.27 y A.28) Las imágenes se prueban en el anexo A.47

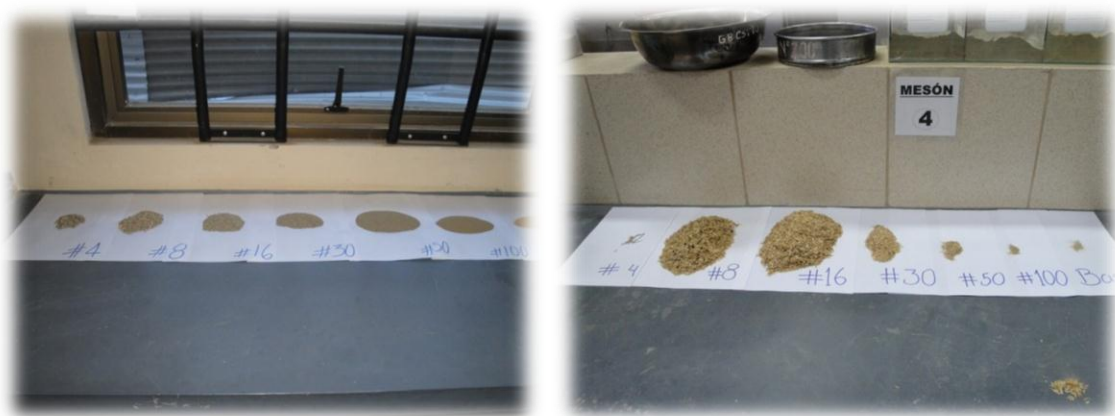


ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 Características físicas y mecánicas de los agregados

Como se vio anteriormente, el banco de material del agregado fino (arena) escogido es de canto rodado. Se consideró este banco, por la cercanía que tiene la seleccionadora con la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, además vendría a conformar un importante aporte para entender mejor y saber las características que tiene dicho material (Tabla 4.1). Como así también el comportamiento de la arena al ser reemplazado por cáscara de arroz (estado natural y tratada).

Fig. 4.1: agregados del mortero



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.1: Características físicas y mecánicas de la arena

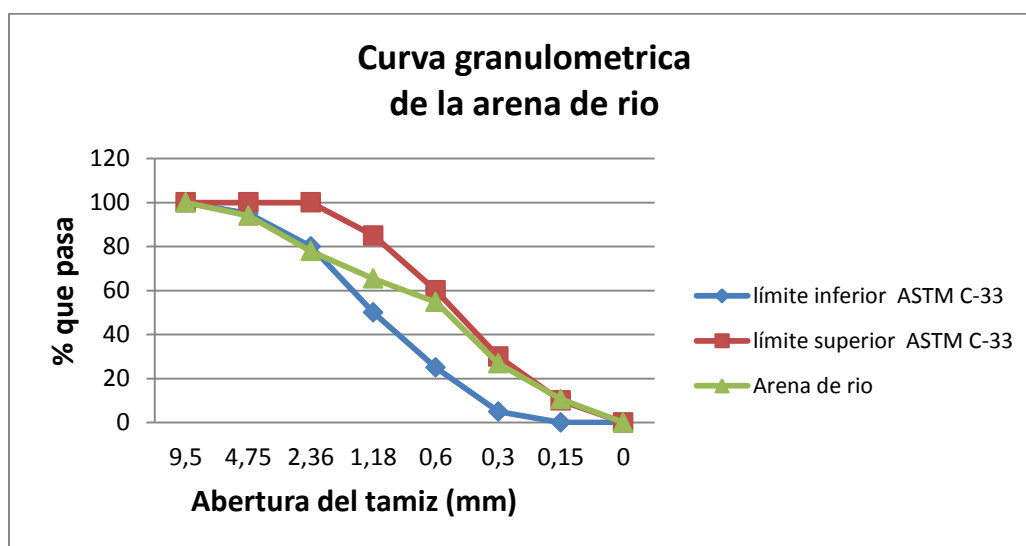
	Arena de Rio
Peso específico a granel (gr/cm ³)	2,183
Peso específico con S.S.S. (gr/cm ³)	2,245
Peso específico aparente (gr/cm ³)	2,327
Peso unitario compactado (gr/cm ³)	2,099
Peso unitario suelto (gr/cm ³)	1,947
Módulo de finura	3,70
% de absorción	2,83
% que pasa el tamiz N°200	4,77

Fuente: Elaboración propia

El módulo de finura es un parámetro que se obtiene de la suma de los porcentajes retenidos acumulados de la serie Tyler de tamices, se considera que el módulo de finura de una arena adecuada para producir concreto debe estar entre 2,3 y 3,1; donde un valor menor a 2 indica una arena fina, 2,5 una arena de finura media y más de 3 una arena gruesa. En este caso el módulo de finura es de 3,7 lo cual indica que se trata de una arena gruesa.

Como se observa la curva granulométrica de la arena de río, se encuentra dentro de los límites especificados por la ASTM C-33, lo cual indica que es adecuada para cumplir con los objetivos del presente trabajo de investigación.

Gráfico 4.1: Curva granulométrica de la arena de río

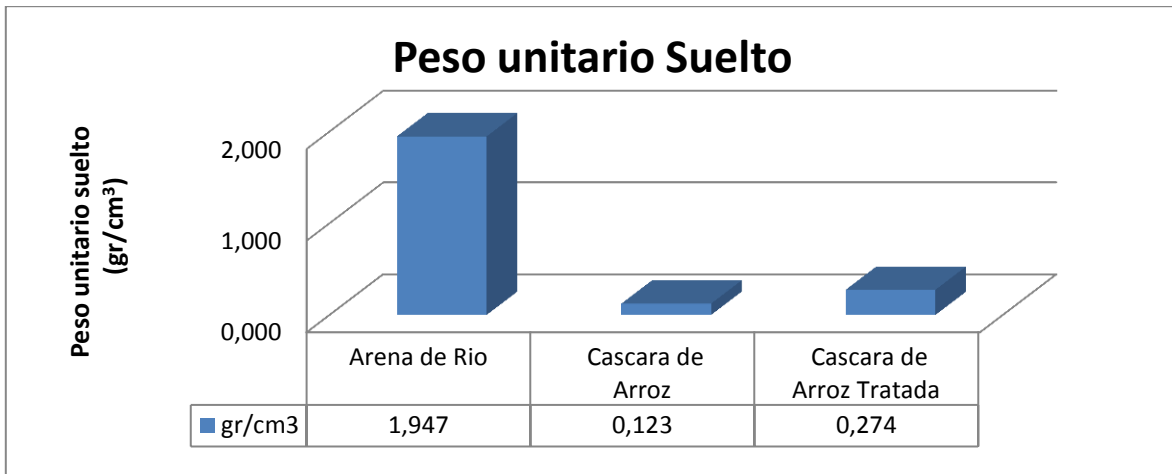
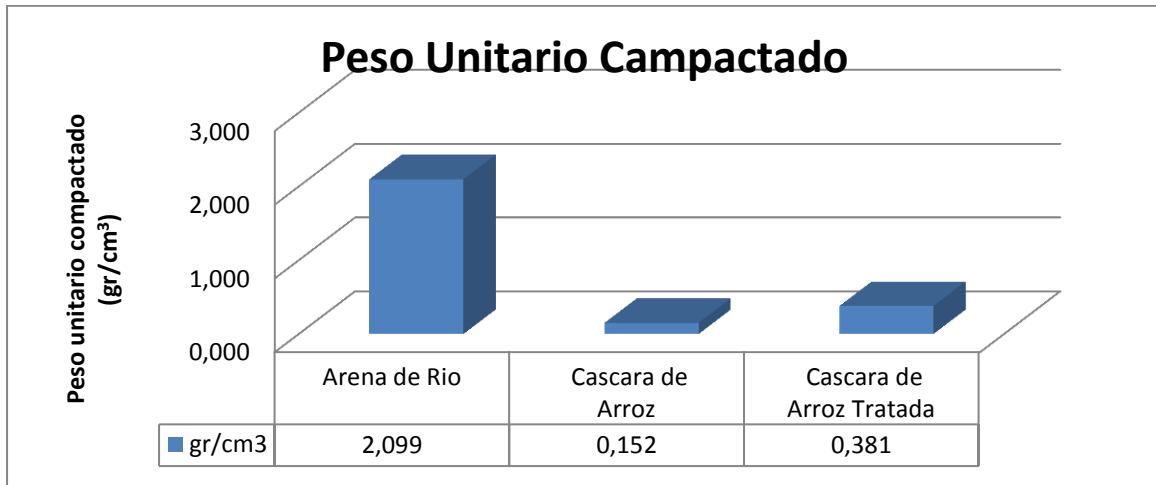


Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados (gráfico 4.3), la densidad de la arena de río ($2,327 \text{ gr/cm}^3$) es mayor al de la cáscara de arroz ($1,438 \text{ gr/cm}^3$), lo que indica que la arena de río es más pesada. Factor que tomé para la decisión de que el reemplazo de la arena por cáscara de arroz, sea en volumen.

Los valores de peso unitario compactado y suelto presentan el mismo comportamiento (grafico 4.2) respectivamente, resultados que tomé en cuenta al momento de realizar las dosificaciones de las mezclas, al sustituir en porcentaje de volumen, la arena de río por cáscara de arroz.

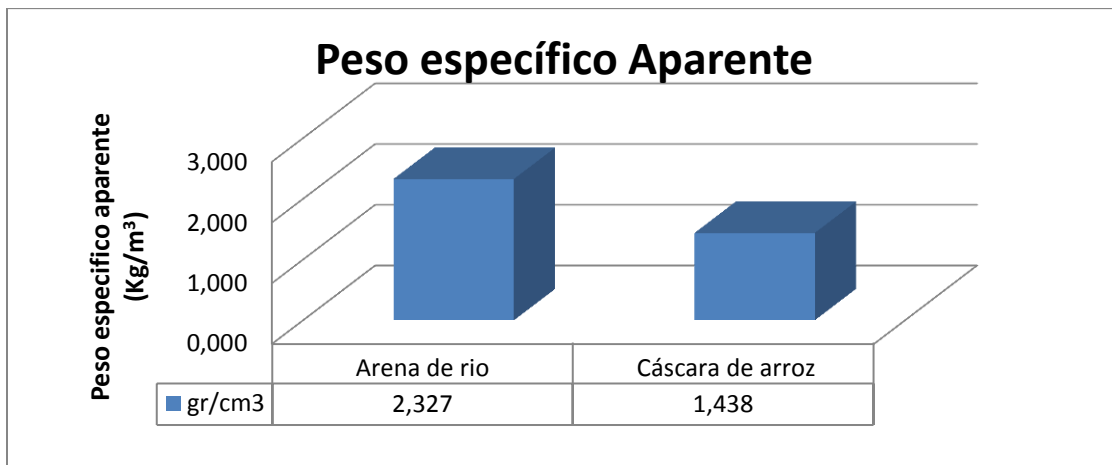
Gráfico 4.2: Peso unitario suelto y compactado



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la cáscara de arroz utilizada, se lograron obtener resultados de su caracterización (Tabla 4.3) apoyándose en información secundaria. Comprobando así que la cáscara de arroz es de muy baja densidad en comparación con la arena (Gráfico 4.3), esto se debe a que se trata de un residuo agrícola.

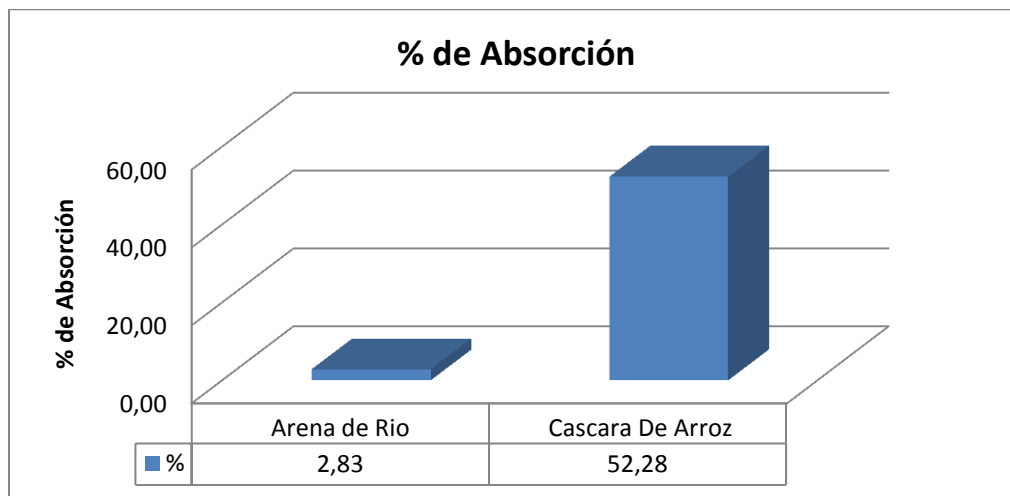
Gráfico 4.3: Peso específico aparente



Fuente: Elaboración propia

Así también analizando el porcentaje de absorción, observamos (gráfico 4.4) que la cáscara de arroz presenta un porcentaje de absorción muy elevada (52,28 %) en comparación de la arena de rio, este fue el motivo por el cual decidí saturar la cáscaras de arroz (estado natural) antes de proceder al mezclado del mortero.

Gráfico 4.4: Porcentaje de absorción



Fuente: Elaboración propia

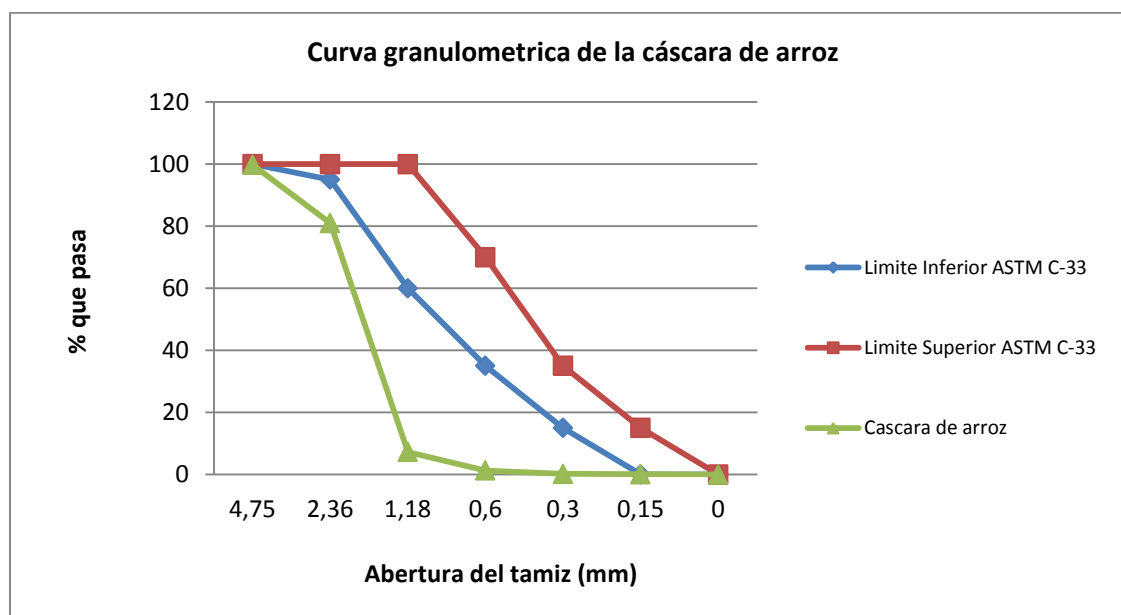
El módulo de finura o módulo granulométrico de un árido, en este caso cáscara de arroz es de 5,10 valor muy alto, como consecuencia de que la gran mayoría de las partículas son del mismo tamaño gráfico 4.5

Tabla 4.2: Características físicas y mecánicas de la cáscara de arroz

	Cáscara de Arroz	Cáscara de Arroz Tratada
Peso específico a granel (g/cm ³)	0,821	*
Peso específico con SSS (g/cm ³)	1,250	*
Peso específico aparente (g/cm ³)	1,438	*
Peso unitario compactado (g/cm ³)	0,152	0,381
Peso unitario suelto (g/cm ³)	0,123	0,274
Modulo de finura	5,103	5,103
% de absorción	52,281	*
% que pasa el tamiz N°200	*	*

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.5: Curva granulométrica de la cáscara de arroz



Fuente: Elaboración propia

Para el análisis granulométrico seguí el procedimiento corriente de tamizado para agregados finos. La muestra tomada en los 5 casos, fue de 100 gr de cáscara de arroz en las condiciones de ambiente, se adoptó esta cantidad por acomodarse bien al tamaño de los tamices normalizados y manejo de los mismos. Se puede observar en el gráfico de la curva granulométrica, que el 98.72 % del material se encuentra comprendido entre 0,59 mm (tamiz N° 30) y 4,76 mm (tamiz N° 4).

4.2 Análisis de resistencias en las probetas con cáscara de arroz (natural y tratada)

El análisis metodológico tiene un carácter principalmente de relación y comparación, entre el comportamiento del mortero ante la resistencia a compresión y las distintas variables y/o características de sus componentes, que en este caso es la variación del porcentaje de adición en volumen de cáscara de arroz y cáscara de arroz tratada al mortero (20%, 40% 60% y 80%).

Para este estudio se partió de dos variables bien definidas, que son:

- Resistencia a compresión del mortero.
- Reemplazo de la arena, con cáscara de arroz en volumen.

Partiendo de relacionar estas variables, podemos obtener gráficos ajustados a curvas, que nos darán una idea de cómo es el comportamiento del mortero con cáscara de arroz.

4.2.1 Coeficiente de correlación (R^2)

Este coeficiente nos da una media con respecto a si la gráfica estimada es o no un buen ajuste. Así por ejemplo si $R^2=0.95$, esto significa que la gráfica de regresión explica el 95% de variación total.

4.2.2 Evaluación de las resistencias a compresión

Después de realizados todos los ensayos pude notar, que mientras se va incrementando el porcentaje de adición de cáscara de arroz (estado natural y tratada), esta incidía en la resistencia a compresión del mortero, ver tablas (4.3 y 4.4). Así también observé, que la mezcla más óptima de la cual se tuvieron mejores resultados para una edad de 28 días, fue de las probetas con cáscara de arroz tratada, como se muestra en los gráfico 4.6; 4.7 y 4.8.

Como se dijo en anteriores capítulos, esta dosificación fue posible tomando criterios estipulados y de laboratorio, volviendo constante a la variable: Cemento.

Tabla 4.3: Resistencia a compresión a los 28 días (con CA)

		Con Cáscara de arroz en un:			
	P.P.	20%	40%	60%	80%
Resistencia a la compresión (Kg/cm2)	190,94	127,29	90,69	67,91	38,02
Resistencia a compresión en %	100	66,66	47,50	23,74	19,91

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.4: Resistencia a compresión a los 28 días (con CAT)

		Con cáscara de arroz tratada en un:			
	P.P.	20%	40%	60%	80%
Resistencia a la compresión (Kg/cm2)	190,94	141,66	115,73	79,87	58,38
Resistencia a compresión en %	100	74,19	60,61	41,83	30,57

Fuente: Elaboración propia

Donde:

P.P. = probeta patrón

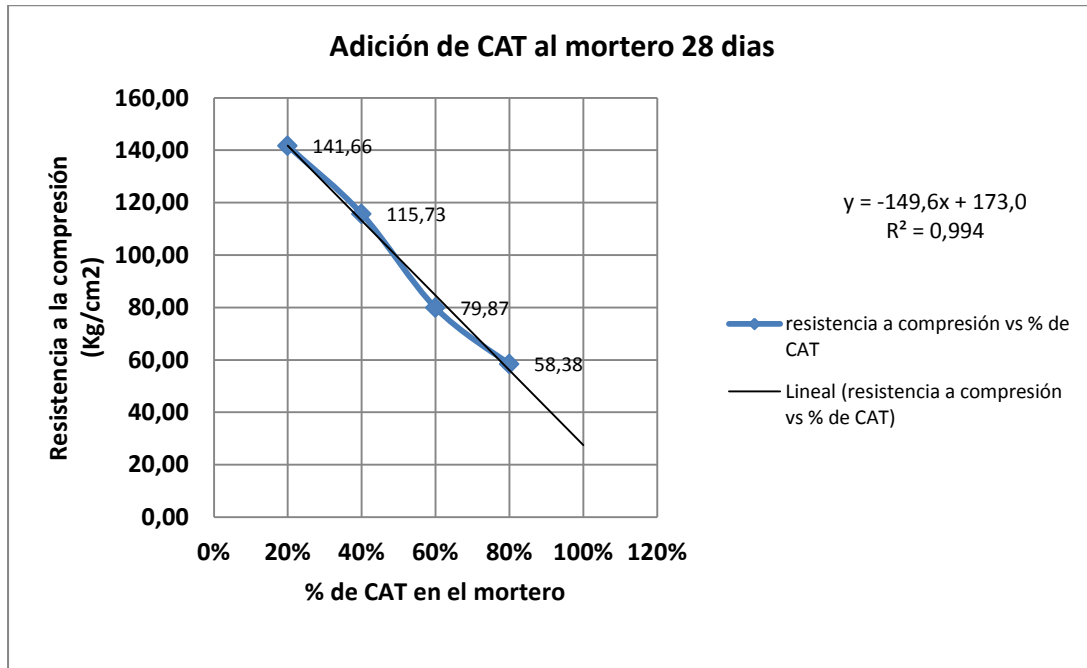
CA = cáscara de arroz

CA T= cáscara de arroz tratada

4.2.3 Determinación de curvas de resistencia a compresión vs. porcentaje de cáscara de arroz (estado natural y tratada)

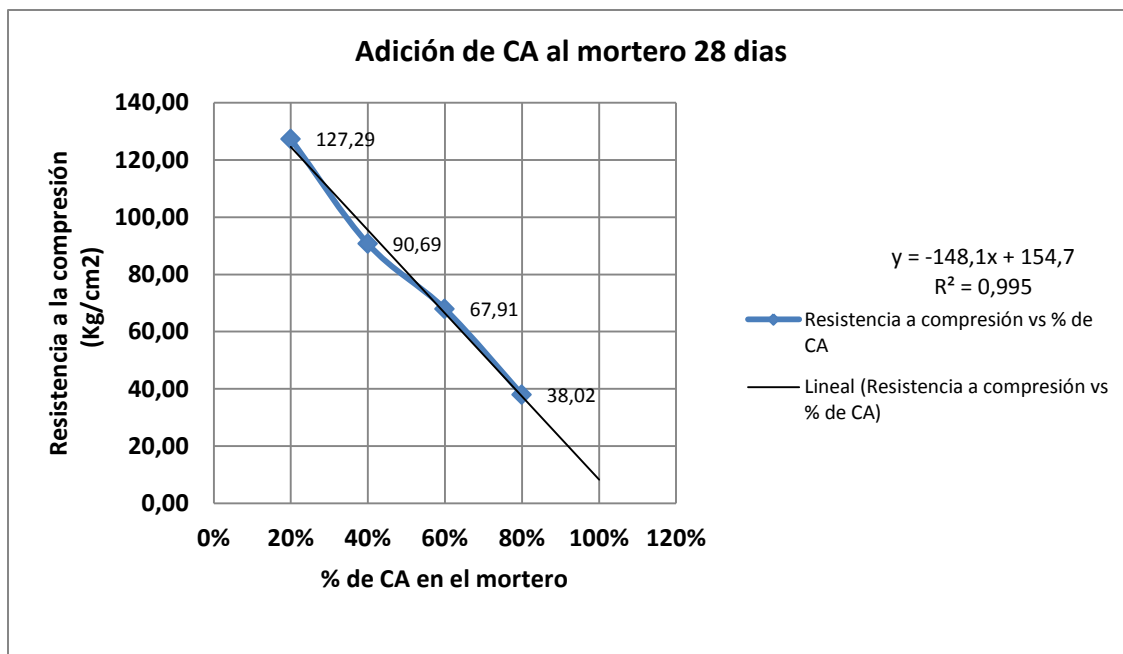
Para realizar el ajuste de los datos adquiridos en los ensayos de compresión, con el fin de conseguir los gráficos de mejor ajuste a la relación resistencia a compresión vs. porcentaje de cáscara de arroz (natural y tratada) en el mortero, se utilizó planillas de Excel.

Gráfico 4.6: Resistencia del mortero con cáscara de arroz tratada en diferentes proporciones (28días)



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.7: Resistencia del mortero con cáscara de arroz en diferentes proporciones (28días)



Fuente: Elaboración propia

Una vez procesado los datos conseguí la gráfica, para luego encontrar la ecuación que más se ajuste (gráficos 4.6 y 4.7), en este caso una ecuación lineal con su respectivo coeficiente de determinación:

❖ Mortero con cáscara de arroz tratada:

$$\text{Resistencia a compresión} = -149,6 (\% \text{ de CA}) + 173,0$$

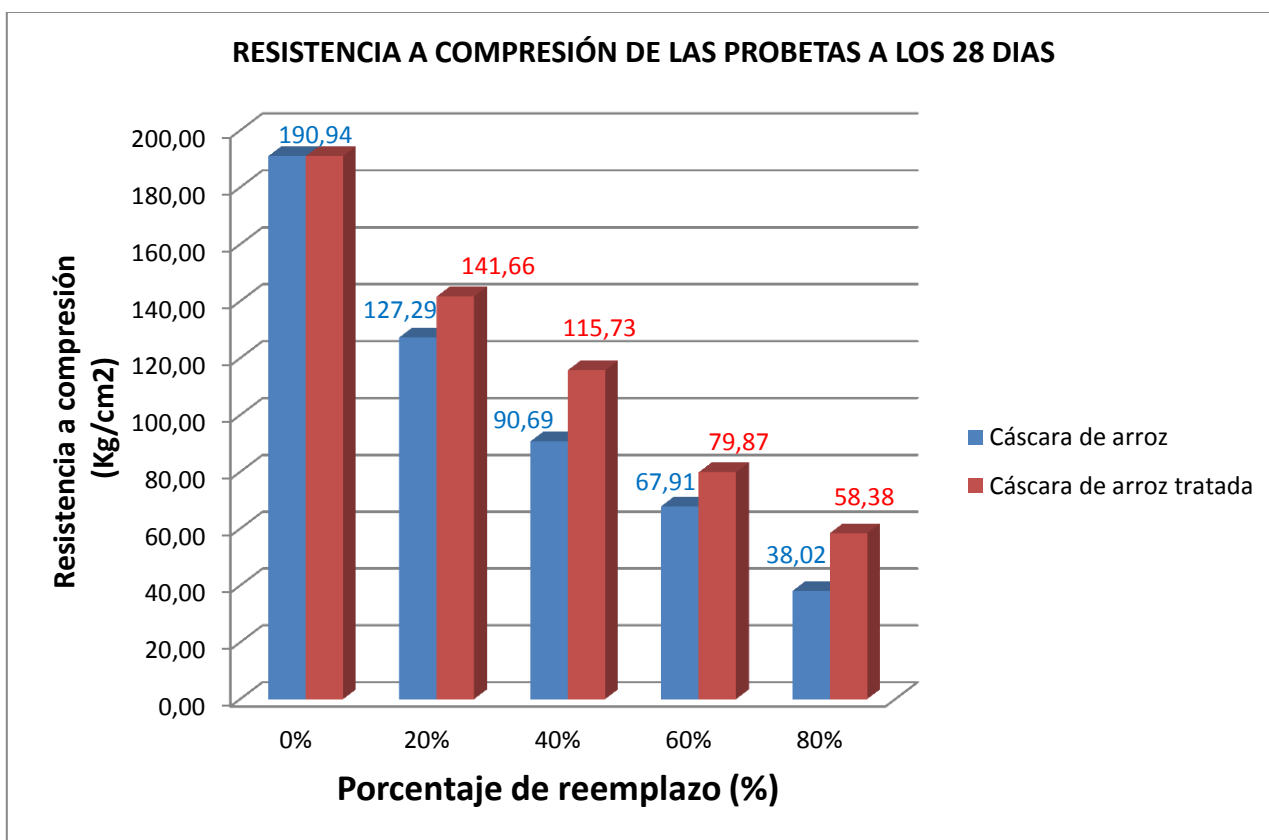
$$R^2 = 0,994$$

❖ Mortero con cáscara de arroz:

$$\text{Resistencia a compresión} = -148,1 (\% \text{ de CAT}) + 154,7$$

$$R^2 = 0,995$$

Gráfico 4.8: Comparación de las resistencias (Kg/cm²) del mortero con cáscara de arroz (estado natural y tratado) en diferentes proporciones



Fuente: Elaboración propia

4.3 Peso de las probetas con cáscara de arroz (estado natural y tratada)

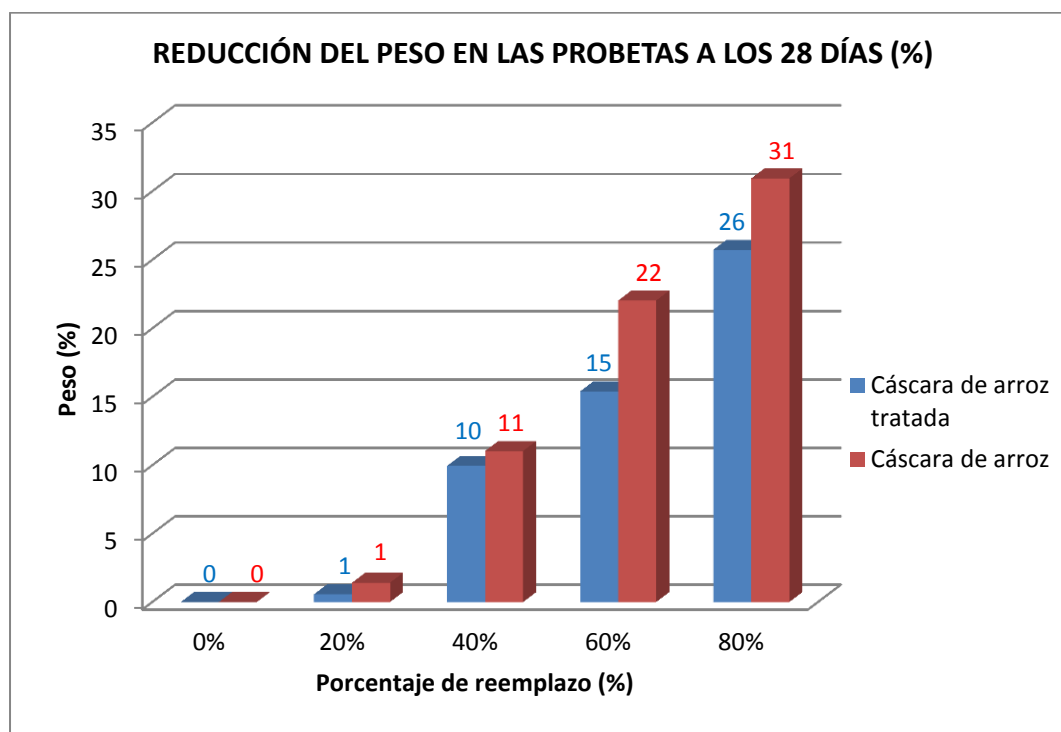
Como se indicó en el anterior capítulo debido a que se trabajó con arena gruesa de río, las probetas fueron cilíndricas Standard las cuáles son de 15 cm de diámetro y 30 cm de alto. Observando la comparación de los pesos de las probetas patrón y las probetas con cáscara de arroz (estado natural y tratada) (tabla 4.6 y gráfico 4.10), se puede notar que las probetas con cáscara de arroz tratada son más pesadas que las probetas con cáscara de arroz natural.

Tabla 4.5: Comparación de pesos de la probeta patrón y las probetas con cascara de arroz

% de adición	Peso de la probeta con:	
	Cáscara de arroz tratada (Kg)	Cáscara de arroz (Kg)
0%	11,77	11,77
20%	11,70	11,60
40%	10,60	10,47
60%	9,96	9,18
80%	8,74	8,13

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.9: Comparación de pesos en porcentaje de la probeta patrón y las probetas en estudio



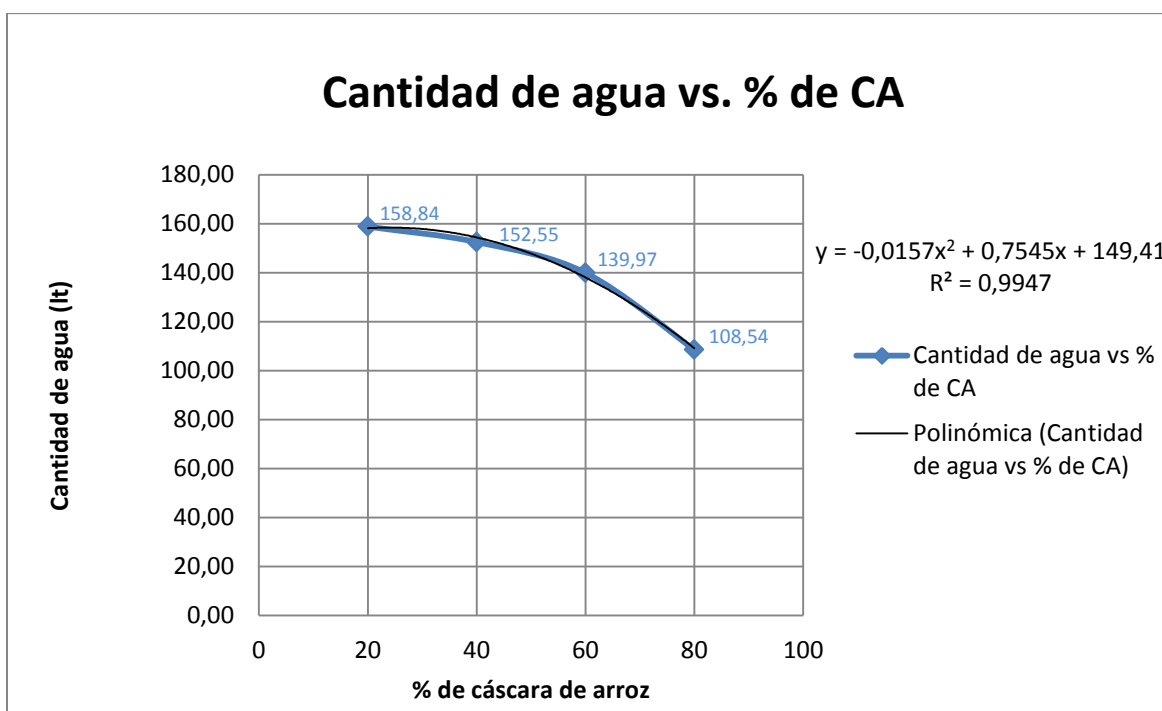
Fuente: Elaboración propia

4.4 Cantidad de agua para cada una de las dosificaciones utilizadas

En cuanto a la cantidad de agua utilizada para las diferentes dosificaciones, se partió de la cantidad de agua para la probeta patrón. Cuando trabajé con las mezclas de mortero con cáscara de arroz, tomé muy en cuenta el porcentaje de absorción, ya que este fue demasiado alto en comparación con la arena de río, para contrarrestar opté por saturar la cáscara antes del mezclado, lo cual produjo que el agua de mezclado necesaria para esta dosificación, sobraré y ha medida que el porcentaje de adición de cáscara aumentaba, disminuía la cantidad de agua de mezclado tal como se muestra en el gráfico 4.10.

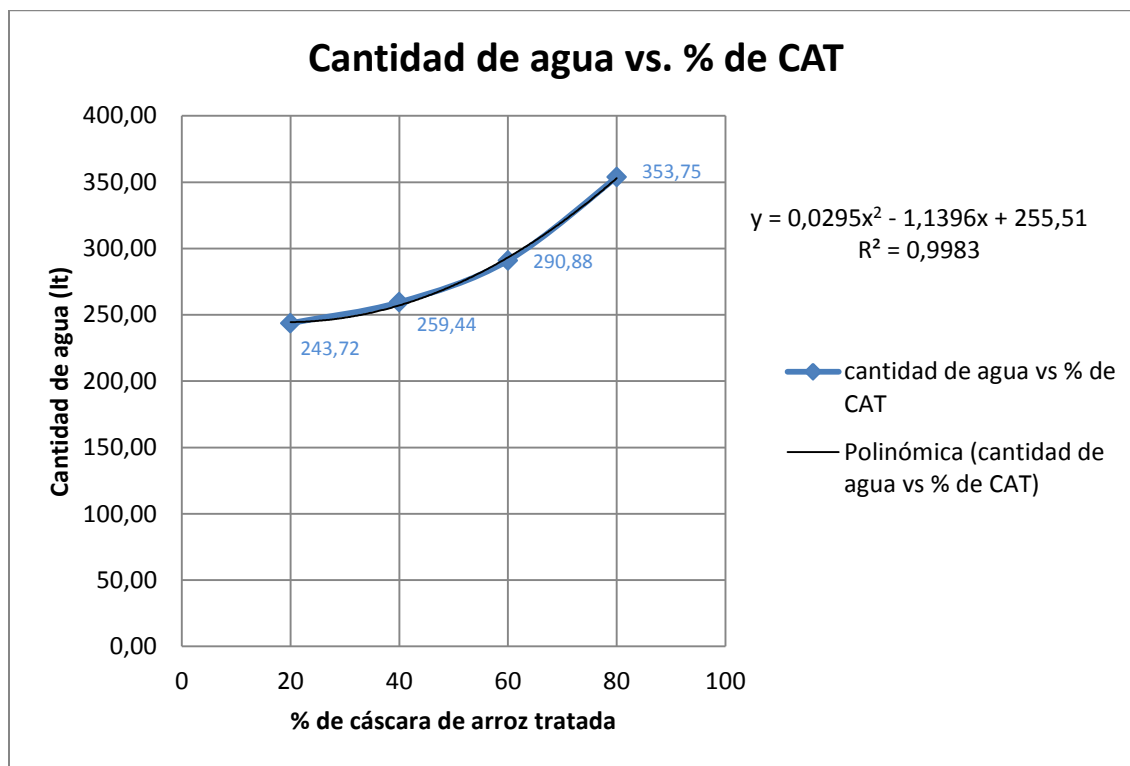
Pero al trabajar con la cáscara de arroz tratada, al no poder obtener mediante ensayos de laboratorios el porcentaje de absorción, preferí utilizar la cantidad de agua de la probeta patrón, y ha medida que se realizaba los ensayos de mezclado se fue aumentando la cantidad de agua para una adecuada consistencia, tal como se muestra en gráfico 4.11.

Gráfico 4.10: Cantidad de agua necesaria para 1m³ de mortero con Cáscara de Arroz



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.11: Cantidad de agua necesaria para 1m³ de mortero con Cáscara de Arroz Tratada



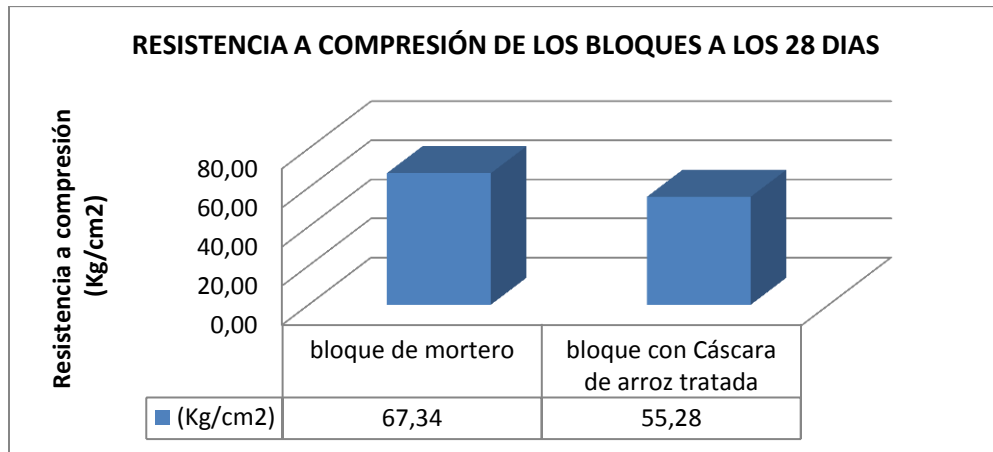
Fuente: Elaboración propia

4.5 Evaluación de las resistencias a compresión de los bloques

Después de haber realizado todos los ensayos de dosificación con el uso de cáscara de arroz en las probetas y analizar los resultados, se determinó que el nivel adecuado o porcentaje de adición para reemplazar en volumen, la arena por cáscara de arroz (tratada) es de 60%, ya que su resistencia alcanzó 79,87 Kg/cm², un 42% en comparación con la probeta patrón (190,94 Kg/cm²).

Para la fabricación de los bloques se partió de la dosificación ya establecida de mortero con el 60% de cáscara de arroz tratada. Una vez elaborado los bloques (ver anexo A.43 y A.48) y estos someterlos a ensayo de compresión (ver anexo A.27 y A.28), se adquirieron los siguientes resultados como resumen de todos los ensayos a los bloques:

Gráfico 4.12: Resistencia a compresión



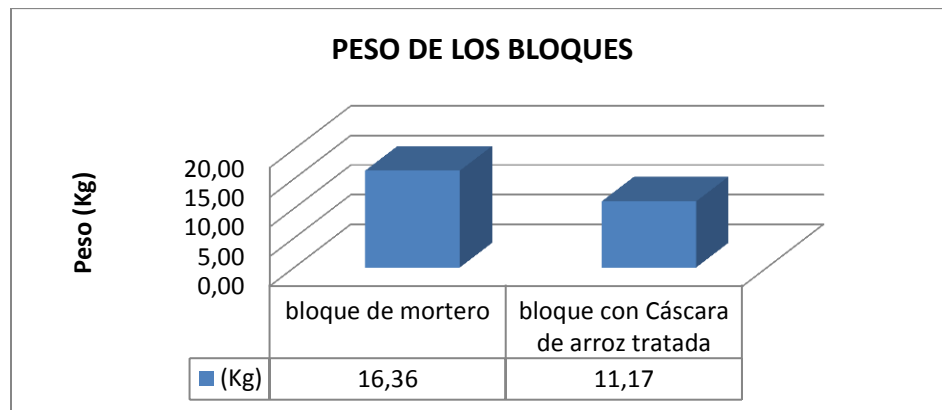
Fuente: Elaboración propia

4.6 Diferencia entre los resultados obtenidos y los resultados esperados

En cuanto a la resistencia de los bloques, partí de la resistencia del bloque patrón cuyo valor fue de 67,34 Kg/cm², y como se pudo observar en el gráfico 4.12 la resistencia del bloque con cáscara de arroz tratada disminuye un 18% en comparación con el bloque patrón, esto hace posible la fabricación de bloques de mortero con cáscara de arroz tratada.

Como se planteo en el objetivo general, el nivel adecuado o porcentaje de adición para reemplazar en volumen, la arena por cáscara de arroz tratada, es de 60% ya que su resistencia a compresión es de 55,28 Kg/cm²; además reduce su peso en un 32% en comparación con el bloque patrón, como se observa en el gráfico 4.13.

Gráfico 4.13: Peso de los bloques



Fuente: Elaboración propia

4.7 Análisis de la trabajabilidad en morteros con cáscara de arroz (estado natural y tratada) y su homogeneidad

Según la experiencia que se tuvo en el vaciado de las probetas para el presente trabajo de investigación con respecto a la trabajabilidad de las diferentes mezclas, se puede decir que se tuvo algunas dificultades, ya que la cantidad de agua considerada inicialmente fue modificada ha medida que los ensayos de mezclado se llevaban a cabo. Pues para las mezcla con cáscara de arroz natural la cantidad de agua excedía, y ocurría lo contrario cuando se trabajaba la mezcla con cáscara de arroz tratada.

Para la elaboración de los bloques, no se presentaron problemas en su trabajabilidad, ya que se contaba con una dosificación ya establecida. Además en el proceso de preparación el molde es vibrado durante 10 segundos, para la eliminación de los vacíos y acomodo de las partículas.

En cuanto a la homogeneidad de todos los componentes del mortero, ya sea para las probetas o los bloques, decimos que no hubo inconvenientes a pesar de que la cáscara de arroz es un material de muy baja densidad, pues no presentó problemas de separación de los materiales en el momento del vibrado en la fabricación de los bloques, ni en el compactado de las probetas en la elaboración de las mismas, como se puede observar en las siguientes imágenes:

Fig. 4.2: Homogeneidad de los materiales





Fuente: Elaboración propia

4.8 Conclusiones

Luego de completado los trabajos de laboratorio y el correspondiente análisis de los resultados, se rescatan las siguientes deducciones:

- ❖ Observando los resultados de la caracterización de los materiales, se pudo notar la gran diferencia entre los agregados finos, partiendo de que la arena es un pétreo y la cáscara de arroz un material orgánico, de muy baja densidad y con un porcentaje de absorción muy elevado en comparación con la arena.
- ❖ La densidad de arena de río ($2,327 \text{ gr/cm}^3$) es mayor a la de cáscara de arroz ($1,438 \text{ gr/cm}^3$), lo cual significa que a mayor cantidad de reemplazo de arena por cáscara de arroz, los morteros son más livianos.
- ❖ La relación agua/cemento de los morteros evaluados es directamente proporcional al contenido de cáscara de arroz (a mayor contenido de cáscara arroz, mayor cantidad de agua).
- ❖ Tomando en cuenta los resultados adquiridos de las resistencias a compresión vs. el porcentaje de cáscara de arroz (estado natural y tratada) de las probetas, se consiguió llegar a la conclusión de que se consiguen mejores resistencias cuando al mortero se le añade cáscara de arroz tratada.

RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm^2) CON:		% DE REEMPLAZO
Cáscara de arroz	Cáscara de arroz tratada	
190,94	190,94	0%
127,29	141,66	20%
90,69	115,73	40%
67,91	79,87	60%
38,02	58,38	80%

- ❖ Los bloques en estudio (bloques con cáscara de arroz) son apropiados para la elaboración de muros de cerramiento, puesto que presenta una resistencia de $55,28 \text{ Kg/cm}^2$, un 18% menos que la resistencia del bloque patrón $67,34 \text{ Kg/cm}^2$.
- ❖ Así también en el ámbito ecológico es muy favorable el uso de cáscara de arroz como agregado para la producción de bloques, ya que hoy en día se la considera como material de desecho, generando contaminación del medio ambiente.

- ❖ Por último es importante resaltar que todos los ensayos de caracterización de materiales, estuvieron acorde a las Normas y límites que rigen un estudio de este tipo, por lo que los resultados obtenidos son de total credibilidad.

4.9 Recomendaciones

Para viabilizar su uso y futuras investigaciones me permito indicar las siguientes recomendaciones:

- ❖ Realizar correctamente todos los ensayos de caracterización de los materiales componentes del bloque con cáscara de arroz, para así tener una información confiable, puesto que de esto depende las características y propiedades finales del mismo.
- ❖ Se debe tener gran cuidado en el momento de pesar los componentes de las mezclas, ya que pueden originar una variación en los resultados tanto en el aumento como en el descenso de las resistencias.
- ❖ La forma de mezclado de los componentes de este tipo de mortero es muy importante, ya que la mala forma de introducir los componentes a la mezcladora, ocasiona que la misma se adhiera a las paredes y/o no se obtenga una mezcla homogénea.
- ❖ En cuanto al vibrado en la obtención de bloques este no debe ser mayor a los 15 segundos, para evitar que los componentes de mismo se separen.
- ❖ Para realizar futuros trabajos de investigación, puedo mencionar como nuevos temas: La determinación de los porcentajes de cal en la mineralización de la cáscara de arroz y sus respectivas incidencias en la resistencia final de los bloques; o como se comporta los bloques o paneles con cáscara de arroz triturada.