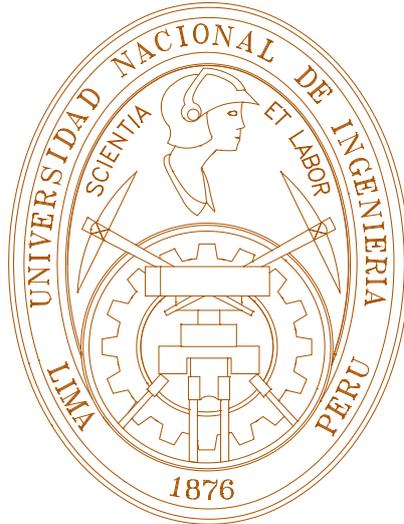


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**UTILIZACIÓN DE PUZOLANAS NATURALES EN LA  
ELABORACIÓN DE PREFABRICADOS CON BASE  
CEMENTICIA DESTINADOS A LA CONSTRUCCIÓN DE  
VIVIENDAS DE BAJO COSTO**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN  
TECNOLGIA DE LA CONSTRUCCION**

**ELABORADO POR:**

**Ing. CARLOS ALBERTO VILLEGAS MARTÍNEZ**

**ASESOR:**

**Dr. Ing. JAVIER ARRIETA FREYRE**

**Lima - Perú**

**2012**

UTILIZACIÓN DE PUZOLANAS NATURALES EN LA ELABORACIÓN DE  
PREFABRICADOS CON BASE CEMENTICIA DESTINADOS A LA CONSTRUCCIÓN  
DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO

**Ing° Carlos Alberto Villegas Martínez**

Presentado a la Sección de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Civil en  
cumplimiento parcial de los requerimientos para el grado de:

**MAESTRO EN TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN  
DE LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**2012**

**Autor : Ing° Carlos Alberto Villegas Martínez**

**Recomendado : Dr. Ing. Javier E. Arrieta Freyre  
Asesor de la Tesis**

**Aceptado por : CE.Ing. Francisco Coronado del Aguila  
Jefe de la Sección de Posgrado**

UTILIZACIÓN DE PUZOLANAS NATURALES EN LA ELABORACIÓN DE  
PREFABRICADOS CON BASE CEMENTICIA DESTINADOS A LA  
CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO

**Ing° Carlos Alberto Villegas Martínez**

Presentado a la Sección de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Civil en  
cumplimiento parcial de los requerimientos para el grado de:

**MAESTRO EN TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN  
DE LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**2012**

**Autor : Ing° Carlos Alberto Villegas Martínez**

**Recomendado : Dr. Ing. Javier E. Arrieta Freyre  
Asesor de la Tesis**

**Aceptado por : CE.Ing. Francisco Coronado del Aguila  
Jefe de la Sección de Posgrado**

## AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de investigación se realizó con esfuerzo y dedicación. Se persistió tenazmente en buscar la utilización de puzolanas naturales para su uso en elementos prefabricados a base de mortero o concreto en viviendas no convencionales con la finalidad de reducir su costo. Se concibió que, sólo de esta manera, el trabajo de investigación podría constituir un aporte verdadero y significativo a la Ingeniería Civil y a la sociedad en su conjunto.

Con mucho cariño y amor, quiero dedicarles mi Tesis a quienes siempre se han interesado en mis sueños y en mis metas; Antonio Villegas Ch. y Marina Martínez S. mis padres, Mery, Rolando, Raúl, Fernando mis hermanos, y a mi amiga cuñada Clara.

A mi hija Nicole que es mi inspiración y quien me da fuerzas a seguir adelante.

Con mucho amor e infinito agradecimiento a mi novia Elena, quien es una persona muy importante en mi vida.

A mi asesor de Tesis, Dr. Javier Arrieta Freyre por su apoyo generoso y constante durante todo el tiempo que duro la investigación.

Al grupo de investigadores que apoyaron a esta Investigación FIC-UNI, FAUA; Ing. Raquel Barrionuevo de Machicao, Ing. Isabel Moromi N., Arq. Juan Benllonchpiquer, y la contraparte de España la Universidad Politécnica de Valencia UPV, Dr. José María Monzó Balbuena, Jordi Payá Bernabeu.

Al Laboratorio N° 1 de Ensayo de Materiales de la FIC-UNI, donde se realizaron los ensayos de esta investigación.

Por último, y no por ello menos importante a mi alma mater, la Universidad Nacional de Ingeniería por haberme formado, por haberme dado muchas oportunidades para seguir creciendo hasta el día de hoy.

**Carlos Alberto Villegas Martínez**

## D E D I C A T O R I A

Dedico este trabajo a la memoria de Antonio Villegas Ch., mi padre por sus consejos, confianza, apoyo y motivación constante que me brindo, en mi formación profesional y mi vida personal.

## **RESUMEN**

La presente tesis se ha desarrollado en el marco de un Proyecto de investigación llevado a cabo por investigadores de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) Perú y la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), España.

El estudio realizado tuvo como objetivo verificar la utilización de puzolanas en la producción de morteros y concretos para revestimientos y fabricación de componentes constructivos con base cementicia, como una solución a la urgente necesidad de vivienda en los países en desarrollo.

Los programas de gobierno no alcanzan a cubrir ni siquiera el crecimiento del déficit y las soluciones tecnológicas que utilizan son económicamente poco accesibles a los grupos más desfavorecidos.

Con ese fin se identificaron las puzolanas existentes en localidades previamente seleccionadas, se caracterizaron las muestras, estudiaron diferentes dosificaciones de mezclas, preparándose probetas con adición de diferentes porcentajes de puzolana, las que fueron sometidas a ensayos mecánicos, ciñéndose en todo el proceso a las normas técnicas vigentes.

Los resultados alcanzados muestran que la ceniza de cascarilla de arroz (CCA) es una puzolana artificial que por sus características puede reemplazar ventajosamente un porcentaje de cemento en la producción de componentes y preparación de morteros para la construcción de viviendas de bajo costo y revestimientos, respectivamente.

## ABSTRACT

This thesis has been developed within a research project carried out by researchers at the National University of Engineering (UNI) Peru and the Polytechnic University of Valencia (UPV), Spain.

The study aimed to verify the use of pozzolana in the production of mortar and concrete and manufacturing building components as a solution to the urgent need for housing in developing countries.

Government programs fail to meet even the growth of the deficit and the technological solutions are not economically accessible to the most disadvantaged groups.

To that purpose it was identified samples which were characterized, test different dosages of mixtures, preparing test samples with addition of different percentages of pozzolana, which were subjected to mechanical tests under technical standards.

The results obtained show that ash from husk of rice (CCA) is an artificial pozzolana which can replace advantageously a percentage of cement in the production of components and mortars for the construction of low-cost housing.

# ÍNDICE

	<u>Pág.</u>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	ix
<b>CAPITULO I. GENERALIDADES</b>	
1.1 Estado del arte de las puzolanas de origen natural.	1
1.2 Las puzolanas volcánicas y canteras a nivel nacional	2
1.3 Cáscara de arroz a nivel nacional y ubicación de los molinos	3
1.4 Impacto en el medio ambiente y la salud	5
1.5 Normalización	9
1.6 Sistemas constructivos no convencionales utilizados	13
<b>CAPITULO II: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE PUZOLANAS NATURALES</b>	
2.1 Descripción del convenio Universidad Nacional de Ingeniería y la Universidad Politécnica de Valencia	20
2.2 Alcances del proyecto de investigación	20
2.3 Aprovisionamiento de las muestras	21
2.4 Acondicionamiento de las muestras	23
2.5 Caracterización físico-química de las puzolanas	24
2.6 Estudio de la reactividad puzolánica	45
<b>CAPITULO III: PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS COMPONENTES DEL MORTERO</b>	
3.1 Consideraciones generales	51
3.2 Propiedades físicas de los componentes del mortero y concreto	51
a) Cemento.	
b) Agua.	
c) Agregados.	
d) Puzolanas.	
3.3 Diseño de mezcla del mortero control y mortero con la puzolana en el concreto	55
a) Diseño de mezcla del mortero de control.	
b) Diseño de mezcla del mortero de control con puzolanas volcánicas.	
c) Diseño de mezcla del mortero de control con cenizas de cáscara de arroz.	

3.4	Ensayos mecánicos de compresión de los testigos Elaborados	57
	a) Ensayos de compresión del mortero de control.	
	b) Ensayos de compresión del mortero de control más puzolanas volcánicas.	
	c) Ensayos de compresión del mortero de control más cenizas de cáscara de arroz.	
	d) Estudio comparativo de los resultados.	
	e) Análisis e interpretación de los resultados obtenidos.	
<b>CAPITULO IV: DISEÑO DE MEZCLAS DE MORTEROS Y CONCRETOS CON PUZOLANA</b>		
4.1	Selección de las puzolanas para una óptima dosificación	63
4.2	Diseño de mezcla del mortero para la aplicación en Recubrimientos	63
4.3	Diseño de mezcla del concreto para la aplicación en la elaboración de elementos prefabricados	68
<b>CAPITULO V: ELABORACIÓN DE ELEMENTOS PREFABRICADOS DE CONCRETO CON PUZOLANAS EN VIVIENDAS DE BAJO COSTO</b>		
5.1	Maquinaria y equipos para la elaboración de los bloques de Concreto	73
5.2	Sistema constructivo denominado Domocaña	76
5.3	Elaboración de paneles de quincha	79
5.4	Sistema de techo denominado Domozed	81
5.5	Elaboración de bloquetas de concreto para los muros de Albañilería	86
5.6	Análisis de costos comparativos de bloquetas de tipo artesanal	88
<b>CAPITULO VI: PROGRAMA DE DIFUSIÓN DE LA UTILIZACIÓN DEL MORTERO Y CONCRETO CON PUZOLANAS EN VIVIENDAS DE BAJO COSTO</b>		
6.1	Taller en la Universidad Politécnica de Valencia-España.	94
6.2	Taller en la UNI-FIC Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales	96
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		102
<b>BIBLIOGRAFIA</b>		105
<b>ANEXOS</b>		107

# INTRODUCCIÓN

## ANTECEDENTES

Como parte del proceso agroindustrial, el arroz producido en el país es procesado por 471 molinos, de los cuales el 70% se encuentra en el Norte, generándose anualmente 380,000 TM de cascarilla que representa el 20% del arroz cáscara y que sólo el 5% es utilizado como combustible para los hornos de secado de ladrillos en el departamento de Piura y que el resto es quemado o arrojado a los ríos aledaños.

Según un estudio realizado en la Pontificia Universidad Católica del Perú PUCP, la especie de arroz cultivada mayoritariamente en el Perú entre los años 1992 y 2001 era la ORYZA SATIVA, alcanzando la producción un promedio de 1`900,000 TM (Tonelada métrica) al año, siendo las zonas de mayor producción los departamentos de Lambayeque (24%), San Martín (16%), La Libertad (14%). Piura (10%), Arequipa (21%) y otros (15%).

En la historia de la humanidad los arquitectos y constructores han buscado soluciones tecnológicas especiales para realizar sus obras arquitectónicas. En el siglo I d.c. Antonio Vitrubio relata, que los Romanos utilizaron la Puzolana como aditivo mineral en la elaboración de sus concretos, éstas fueron extraídas de un pueblo llamado Pozzuoli al pie del Vesubio, era una piedra volcánica, porosa y ligera. Así también, utilizaron aditivos naturales como leche, sangre y grasa animal para mejorar la trabajabilidad de las mezclas en concretos y morteros.

Estos materiales fueron utilizados en la construcción del coliseo romano 80 años d.c. y el Panteón de Adriano construido en el año 123 d.c. que fué durante 1500 años la mayor cúpula construida, con 43.3 m. de diámetro, el uso de éstos materiales le han brindado la durabilidad a estas construcciones los cuales pueden ser apreciados hoy en día.

Actualmente en el sector de la construcción en el Perú se produce cementos puzolánicos, pero no utiliza puzolanas naturales disponibles tales como; cascarilla de arroz y muy poco las puzolanas de origen volcánico.

En el ámbito internacional existen investigaciones similares, en especial con caña de azúcar, bagazo y paja de caña, con resultados relevantes, pero no se ha encontrado experiencias de aplicación en componentes prefabricados y morteros para la construcción de viviendas de bajo costo.

## JUSTIFICACION:

El déficit de vivienda en Iberoamérica, según el Consejo Económico para América Latina (CEPAL), alcanza los 42 millones de viviendas y, lejos de estabilizarse, va en aumento. Según sus estadísticas el 10% de las viviendas son diseñadas y construidas por profesionales y el 90% son autoconstruidas.

De acuerdo a últimas declaraciones del Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento, un estudio del Banco Mundial señala que el déficit en el Perú asciende a 2,2 millones de unidades habitacionales y se incrementa en 90.000 unidades cada año.

El costo de los materiales de construcción es, en la mayoría de los casos la que incide en el costo total de una vivienda. Este hecho afecta negativamente en la posibilidad de acceder a una vivienda por parte de la población de bajos ingresos. La única forma de bajar los costos es mediante la autoconstrucción, que se da sin ninguna asesoría técnica, con graves deficiencias constructivas, por la falta de medios económicos el término de la construcción se prolonga de 30 años o más.

El estudio busca una alternativa tecnológica que utiliza puzolanas naturales, especialmente la cascarilla de arroz, muy abundante en el país, para producir morteros y concretos, reduciendo el volumen del cemento, cumpliendo con los parámetros físicos y mecánicos que indican las normas vigentes. Un resultado añadido es contribuir a la utilización de la cascarilla de arroz, que por su alto volumen de producción ocasiona problemas, teniendo en cuenta en muchos casos es arrojado a la rivera de los ríos contaminando el medio ambiente, por tal motivo la utilización de este material reducirá la contaminación ambiental y por ende su impacto en el ambiente.

De alcanzarse los resultados previstos se habría logrado una solución innovadora de uso de puzolanas naturales en componentes prefabricados y morteros para viviendas de bajo costo, con menores costos y con posibilidades de ser aplicados por microempresas. Así también, se ha previsto divulgarlos a través de dos talleres, uno en Lima, orientado hacia microempresarios y autoconstructores; y, el otro, en la Universidad Politécnica de Valencia en España, para el conocimiento de docentes, estudiantes de pregrado y postgrado.

En ese sentido en la actualidad existe un convenio entre la Universidad Nacional de Ingeniería a través del Instituto General de Investigación y la Universidad Politécnica de Valencia de España, en la realización de este estudio el cual es desarrollado conjuntamente con representantes de la Facultad de Arquitectura Urbanismo y Artes, y la Facultad de Ingeniería Civil a través del Laboratorio N° 1 de Ensayo de Materiales.

#### **HIPOTESIS:**

Utilización de puzolanas naturales en reemplazo parcial del 10% al 20% del cemento en la elaboración de elementos prefabricados de concreto y morteros, permitiendo lograr viviendas con menores costos, manteniendo en lo posible la resistencia y mejorando la durabilidad en el concreto y mortero.

#### **OBJETIVO:**

El objetivo general del proyecto, es la valoración de las puzolanas naturales y cenizas de cáscara de arroz como materiales susceptibles de ser incorporados en la elaboración de elementos prefabricados (viguetas, bloquetas, techos Domozed, tejas y adoquines de concreto) y ser utilizados también en los morteros de uso en la construcción de viviendas

de bajo costo, siendo su aplicación en zonas donde abunda este material, contribuyendo así a proponer una alternativa tecnológica para las familias de escasos recursos.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL PROYECTO**

Los principales objetivos a tener en cuenta son los siguientes;

- Propuesta de dosificaciones de morteros de base cementicia que incorporen puzolanas, con el estudio de las propiedades mecánicas.
- Incorporación de las puzolanas a distintos elementos prefabricados de concreto y morteros de uso habitual en viviendas de bajo costo (Cañacreto, quincha, techo Domocaña y Domozed, etc.).
- Factibilidad en la adquisición de un molino para la molienda de las puzolanas naturales, moldes metálicos y maquina bloquetera (tipo rosacometa) para la elaboración de bloques de concreto.
- Realización de talleres nacional e internacional con fines de difusión de esta tecnología.

## **IMPORTANCIA:**

En el Perú, como en los otros países en vías desarrollo, a diferencia de los países desarrollados, el costo de los materiales de construcción supone en la mayoría de los casos, el componente más importante del costo total de una vivienda.

Este hecho todavía se acentúa más cuando trata de viviendas para la población con bajos ingresos.

El cemento es el insumo más caro en la elaboración de los elementos de concreto armado, impacto que recae el segmento mayoritario de la población de escasos recursos. Por éste motivo, el estudio de investigación está orientada ha mejorar las tecnologías tradicionales que utilizan materiales no cementicios (adobe, tapial, quincha, bagazo, azufre, guadua, madera, etc) según la disponibilidad de los mismos en cada país, incorporando las puzolanas naturales en los morteros.

Por otro lado, se tratará de minimizar los contenidos de cemento Pórtland en morteros y concreto mediante la adición de puzolanas de origen volcánico y/o cenizas de cascarilla de arroz, consiguiendo mejorar las propiedades de los concretos, sobre todo sobre brindando la durabilidad de los mismos.

Finalmente el proyecto propone la utilización de este tipo de materiales, para permitir obtener morteros y concretos de buena calidad, a un precio menor, lo que facilitaría su uso por sectores de la población con escasos recursos.

Los resultados serán difundidos y promocionados para su uso, en especial por microempresarios, previamente capacitados, podría contribuir como una alternativa tecnológica para la construcción de viviendas de bajo costo, teniendo como valor agregado que las puzolanas naturales en la producción del mortero y concreto contribuyen a reducir el impacto ambiental.

## METODOLOGÍA DEL PROYECTO:

- Recopilación de información y análisis del tema a nivel nacional e internacional.
- Se visitará los departamentos de Arequipa, Ayacucho, Lambayeque, Piura y San Martín, con el objeto de obtener información y recoger muestras de puzolanas naturales y de cascarilla de arroz como insumo para la obtención de cenizas.
- Las puzolanas naturales y cenizas de cáscara de arroz, entre las principales a analizar serán las que figuran en el cuadro N°1:

CUADRO N°1: PUZOLANAS Y CENIZAS DEL ESTUDIO		
N°1	NOMBRE	PROCEDENCIA
1.	P I ( PZ - 3 ) : PUZOLANA	CONCHUPATA - AYACUCHO
2.	P II ( PZ - 2 ) : PUZOLANA	TOTORILLAS - AYACUCHO
3.	P III ( PZ - 4 ) : PUZOLANA	TANTURJO - PACAYCASA - AYACUCHO
4.	C I ( CCAH - 2 ) : CENIZA QUEMADA EN HORNO	TARAPOTO- SAN HILARION- SAN MARTIN
5.	C II ( CCAP - 2 ) : CENIZA QUEMADA EN PAMPA	SAN MARTIN - PICOTA
6.	C III ( CCAP - 3 ) : CENIZA QUEMADA EN PAMPA	TARAPOTO - SAN MARTIN
7.	C V ( CCAH - 3 ) : CENIZA QUEMADA EN HORNO	SAN MARTIN-PICOTA-MOLINERA TRANSAMAZONICA

- Localización, toma de muestras (aprovisionamiento) de puzolanas de roca volcánica y traslado a la ciudad de Lima para su acondicionamiento (molienda y tamizado para los ensayos de laboratorio).
- Localización y toma de muestras (aprovisionamiento) de las cenizas de cáscara de arroz y traslado a la ciudad de Lima para su acondicionamiento (molienda y tamizado para los ensayos de laboratorio).
- Ensayos químicos para determinar la actividad puzolánica de las puzolanas naturales y su caracterización físico-química de las puzolanas.
- Diseño de mezcla en morteros, elaboración de morteros de forma cúbica y realización de ensayos macro preparando distintas dosificaciones de morteros, sustituyendo porcentajes crecientes de cemento por puzolanas naturales.
- Evaluación de los resultados y designación de las puzolanas y/o cenizas de cáscara de arroz con mayor performance, indicando la dosificación para ser utilizados en morteros y recubrimientos (para el revestimiento de paneles de quincha, cobertura del techo Domocaña (tipo cúpula). Así también para la elaboración de los concretos prefabricados de uso habitual en viviendas de bajo costo (techos Domozed; viguetas y losas).
- Factibilidad de adquisición de maquinaria para la molienda de las puzolanas naturales, moldes metálicos y maquina bloquetera denominada Rosacometa para la elaboración de los bloques de concreto.
- Se realizarán dos talleres con el objetivo de transferir los resultados obtenidos de la investigación. Uno de estos talleres se realizará en Perú e irá destinado fundamentalmente a los beneficiarios (potenciales autoconstructores) y responsables de microempresas constructoras y el otro taller tendrá lugar en la Universidad politécnica de Valencia, España, irá destinado a estudiantes, profesores y estudiantes de postgrado.

## CRONOGRAMA :



## CAPITULO I: GENERALIDADES

### 1.1 Estado del arte de las puzolanas de origen natural.

En la historia de la humanidad los arquitectos y constructores han buscado soluciones tecnológicas especiales para realizar sus obras arquitectónicas. En el siglo I d.c. Antonio Vitruvio relata, que los romanos utilizaron la puzolana como aditivo mineral en la elaboración de sus concretos, ésta fue extraída de un pueblo llamado Puzol (Pozzuoli) al pie del Vesubio, era una piedra volcánica, porosa y ligera. Así también, utilizaron aditivos naturales como leche, sangre y grasa animal para mejorar la trabajabilidad de las mezclas en concretos y morteros.

Estos materiales fueron utilizados en la construcción del Panteón de Adriano (ver Foto N°1.01) construido en el año 123 d.c. que fué durante 1500 años la mayor cúpula construida, con 43.3 m. de diámetro, aún mantiene el récord de ser la mayor construcción de concreto no armado que existe en el mundo así como en el Coliseo Romano (ver Foto N°1.02) en el año 80 d.c., las puzolanas han brindado durabilidad a estas construcciones las cuales pueden ser apreciadas hoy en día.



Foto N°1.01: Panteón de Adriano en Roma – Italia, construido en el año 123 d.c.

Actualmente en el sector de la construcción del Perú se produce cementos puzolánicos, pero no utiliza puzolanas naturales como cascarilla de arroz y muy poco las puzolanas de origen volcánico.

En el ámbito internacional existen investigaciones similares, en especial con caña de azúcar, bagazo y paja de caña, con resultados relevantes, pero no se ha encontrado experiencias de aplicación en componentes prefabricados y morteros para la construcción de viviendas de bajo costo.



Foto N°1.02: Coliseo Romano en Roma-Italia construido en el año 80 d.c.

## 1.2 Las puzolanas volcánicas y canteras a nivel nacional.

La ceniza volcánica se puede englobar dentro del grupo de las rocas volcánicas, las cuales se constituyen en vidrios amorfos debido al enfriamiento brusco de la lava. Con una composición similar a la piedra pómez o la obsidiana, surgen de la deposición y sedimentación de finas partículas de magma que son expulsadas al aire durante la erupción, o bien de la solidificación de la propia lava.

La ceniza de cáscara, al contrario de la cenizas volcánicas no constituye un desecho o subproducto (agrario o industrial) sino que se encuentra en la naturaleza, normalmente formando grandes bloques que después son explotados como canteras. Constituyen el primer referente histórico de lo que hoy en día se conoce como materiales con características puzolánicas, como se ha visto, los romanos descubrieron su aplicación en la construcción.

Debido a la gran variedad de materiales que abarca esta denominación no se entrará a valorarlas en profundidad en este apartado, sino que más adelante se analizarán una por una las muestras utilizadas en este proyecto.

Según el Ministerio de Energía y Minas (MEM), el Perú produjo más de 20 millones de toneladas de minerales no metálicos en el 2010, registrando un crecimiento de 33% respecto al 2006 (10). Los sectores de destino tradicionales de los minerales no metálicos en el Perú han sido el sector construcción y las industrias de materiales de construcción, de cerámica, y en menor grado, la de fertilizantes y químicos.

Los productos mineros no metálicos con mayor volumen de producción (más de 100 mil toneladas) en el Perú son: caliza, hormigón, arena, arcilla, puzolana (en estado natural), boratos, yeso, sílice, carbón. De los minerales que conforman este grupo, los de mayor producción en el año 2010 son la caliza y el hormigón, como se muestra en el Cuadro N° 1.01.

Cuadro N°1.01: Producción de minerales no metálicos en el Perú en el 2005-2010.

PRODUCCION MINERA NO METALICA 2005 - 2010 (Ton. métrica)					
PRODUCTOS	2006	2007	2008	2009	2010
CALIZA	8425304	9609966	10226820	10303932	11528146
HORMIGON	1773107	2659359	5798074	5503685	3674739
ARENA	2041646	2248222	2802838	2891460	2799022
ARCILLA	948617	2183804	1720838	2020623	1119763
PUZOLANA	278477	329266	425095	477591	700514
YESO	290418	330687	463134	321012	308051
BORATOS	0	233991	349891	187221	292855
SISLICE	175556	203872	266318	218846	277195
CARBON	71185	100621	142021	161428	88219

FUENTE: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS DEL PERÚ 2011

Para la elección de las puzolanas correspondientes al presente estudio, se realizaron visitas a diferentes ciudades del interior del país, con la finalidad de verificar la disponibilidad y volúmenes existentes de puzolana en estado natural y de la cascarilla de arroz.

De esta manera se logró identificar la existencia de puzolanas en las ciudades de Arequipa y Ayacucho, cuya procedencia y característica se aprecia en el Cuadro N° 1.02.

Cuadro N° 1.02: Puzolanas a emplearse en el estudio

MUESTRAS DE PUZOLANA NATURALES					
MUESTRA	DENOMINACION		CARCTERISTICA		PROCEDENCIA (REGION)
	ESPAÑA	PERU	COLOR	ASPECTO	
PUZOLANAS NATURALES	PZ - 1	P IV	Rojizo	Pulverulento con agregados de tamaños variados	Arequipa
	PZ - 2	P I	Marron blanquesino	Pulverulento con agregados de tamaños pequeño	Ayacucho - Conchupata
	PZ - 3	P II	Marron blanquesino	Pulverulento con agregados de tamaños pequeño	Ayacucho - Totorilla
	PZ - 4	P III	Marrón	Pulverulento con agregados de tamaños pequeño	Ayacucho - Tantarjo

FUENTE: PROPIA

### 1.3 Cáscara de arroz a nivel nacional y ubicación de molinos.

En el Perú, la mayor producción de arroz se produjo en el año 2009, donde se obtuvo aproximadamente 300,000 toneladas, el cual es un subproducto voluminoso y contaminante, significa un crecimiento de 7.1% respecto al año 2008 debido al incremento de las áreas de cultivo de 123,824 hectáreas en la Costa Norte (Piura), Selva (San Martín, Amazonas, Loreto y Ucayali) y la Costa Sur (Arequipa) (19). De haberse obtenido la ceniza de la cáscara de arroz, la cual representa el 20% en peso de la cáscara, se hubieran tenido disponibles 60,000 toneladas de ceniza.

Las plantas agroindustriales que procesan arroz se encuentran en la costa norte, y poseen más del 50% de las instalaciones existentes. La cáscara de arroz se comercializa con precios variables según la zona, el molino y la oportunidad. La producción de arroz se ha incrementado en los últimos años por el aumento de la superficie dedicada a este cultivo, por el impacto de nuevas variedades introducidas y el incremento de la productividad. En el Gráfico N° 1.01, se muestra la producción de arroz y la ubicación de la mayor superficie cosechada en los años de 1990 al 2000 y 2000 al 2009.

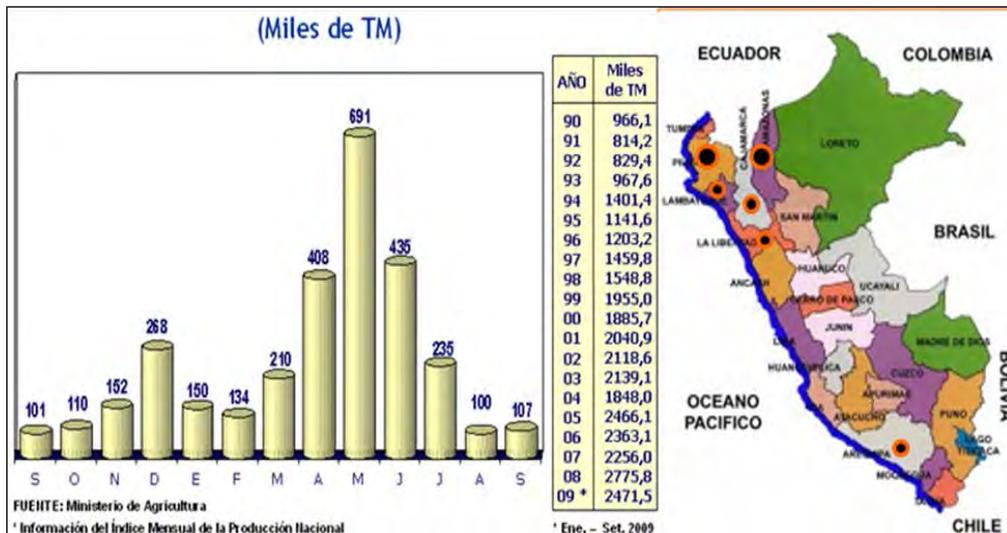


Gráfico N° 1.01: Producción de arroz en el Perú en el 1990 - 2009

El trabajo estudia el aprovechamiento en mezclas cementicias de la cáscara de arroz, cultivo que ocupa en el país cerca de 140,000 hectáreas, de las cuales el 64 % se encuentra en la zona de influencia en el Norte del país, resultando factible el aprovechamiento de este residuo industrial. Para la elección de los Molinos correspondientes al estudio, se realizaron visitas a diferentes ciudades del interior del país, con la finalidad de verificar la disponibilidad y volúmenes existentes de puzolana en estado natural y de la cascarilla de arroz.

En general, se constató la existencia de plantas agroindustriales de cascarillas de arroz en las ciudades de Arequipa, Chiclayo, Lambayeque y San Martín (Tarapoto),

cuya ubicación geográfica se detalla en la Figura N° 1.01. y en el Cuadro N° 1.03 se indica la ubicación de las plantas agroindustriales de las cuales se han obtenido muestras de cenizas de cáscara de arroz para realizar el estudio que se presenta.



Figura N° 1.01: Zonas productoras de arroz y de puzolana.

Cuadro N° 1.03: Procedencia de las plantas agroindustriales proveedores de cascarilla de arroz.

MUESTRAS DE CASCARILLAS DE ARROZ					
MUESTRA	DENOMINACION		CARCTERISTICA		PROCEDENCIA (REGION)
	ESPAÑA	PERU	COLOR	ASPECTO	
CENIZAS DE CASCARAS DE ARROZ QUEMADAS EN PAMPA	CCAP - 1	C IV	Rosáceo	Pulverulento con pequeños trozos de cascarilla de arroz	Arequipa San Martin - Tranzamazonica
	CCAP - 2	C II	Grisáceo	Pulverulento con cascarillas de color negro. Muestra gruesa por la alta humedad.	
	CCAP - 3	C III	Rosáceo	Pulverulento con pequeños trozos de cascarilla de arroz amarillentas. Industria AMMY PICOTA.	
CENIZAS DE CASCARAS DE ARROZ QUEMADAS EN HORNO	CCAHA - 1	C IV	Rosáceo	Pulverulento con pequeños trozos de cascarilla de arroz amarillentas.	CHICLAYO - LAMBAYEQUE (HORNO ARTESANAL) SAN MARTIN - SAN HILARION
	CCAHA - 2	C I	Gris oscuro	Pulverulento con pequeñas cantidades de inquemados de color negro.	
	CCAHA - 3	C V	Negrusco	Pulverulento con pequeñas cantidades de cascarilla amarillentas.	SAN MARTIN - TRANSAMAZONICA (BANDA SHILCAYO) LIMA (MUESTRA QUEMADA EN EL LEM)
	CCAUNI	CCAUNI	Negrusco	Pulverulento con pequeñas cantidades de cascarilla blanquesinas. Ceniza quemada en mufa.	

#### 1.4 Impacto en el medio ambiente y la salud.

La ceniza de cáscara de arroz es una puzolana de origen industrial que se puede utilizar como una adición mineral en el concreto. El empleo de esta adición mineral activa en la industria del cemento y del concreto se viene desarrollando aceleradamente en gran parte del mundo en razón de las regulaciones ambientales y la evolución del mercado y la normativa internacional. Las ventajas de incorporar esta adición genera el ahorro de energía no renovable, debido a que se utilizaría menos cemento y por consiguiente menor energía, ayudando a la protección y conservación del medio ambiente y su uso mejora de las propiedades del cemento y la durabilidad del concreto.

La cáscara de arroz constituye un subproducto del proceso agroindustrial, con aplicaciones reducidas; en la actualidad, en la práctica se la puede considerar como material de desecho, resultando factible el aprovechamiento de este residuo.

Como parte del proceso agroindustrial, el arroz producido en el país es procesado por 471 molinos, de los cuales el 64% se encuentra en el Norte, generándose anualmente 380,000 TM (Tonelada métrica) de cascarilla que representa el 20% del arroz y sólo el 5% es utilizado como combustible para los hornos de secado de ladrillos en el departamento de Piura, el resto es quemado o arrojado a los ríos aledaños propiciando la contaminación ambiental.

Actualmente en el Perú la cáscara de arroz se utiliza como materia prima para la elaboración del llamado pulitón que es un abrasivo barato para uso doméstico, también se le utiliza como ingrediente en la fabricación de adobes, así mismo se le utiliza como combustible en el quemado de los ladrillos de arcilla y un porcentaje mínimo se usa como combustible en hornos industriales para el secado del arroz.

En ese sentido, la utilización de la ceniza de cáscara de arroz en reemplazo de parte del cemento en la elaboración de elementos prefabricados de concreto y mortero hace de este material un producto más económico y beneficioso para las zonas geográficas donde este material abunda. Como por ejemplo en la ciudad de Tarapoto donde existen empresas agroindustriales productoras de arroz las cuales cuentan con grandes áreas de cultivo, como se aprecia en la Foto N°1.03.



Foto N°1.03: Secado de arroz de la planta Agroindustrial en Tarapoto y áreas de sembrío

Este material puede ser aprovechado en lugar de desecharlo, la cascarilla de arroz usualmente es almacenado o arrojado en pampas aledañas a las plantas agroindustriales, como se aprecia en la Foto N°1.04, material que al descomponerse contamina el ambiente y afecta a la salud de los pobladores.



Foto N°1.04: Eliminación de desechos de cascarilla de arroz en áreas cercanas a las plantas agroindustriales y el lecho de los ríos.

Para la utilización y manipulación de la ceniza de cáscara de arroz es necesario que el personal a cargo del trabajo cuente con los implementos de seguridad que indican las normas técnicas de seguridad industrial.

El cemento con cascarilla de arroz posee mismas o superiores propiedades mecánicas que el cemento tradicional se hace menor uso de los recursos naturales no renovables, se reduce el consumo energético y por ende las emisiones, contribuyendo a la sostenibilidad del medio ambiente.

La idea general es utilizar los materiales que se dispongan en el medio en donde se produce, en este caso la cascarilla de arroz o puzolanas volcánicas con la finalidad de obtener el cemento "verde" que elimine o reduzca al mínimo la contaminación por las emisiones de dióxido de carbono de las plantas tradicionales de cemento.

Cada tonelada de cemento fabricado para su uso en el concreto da una tonelada de emisiones de gases de efecto invernadero dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera. En el Perú, la producción de cemento representa aproximadamente el 5 por ciento de todas las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con la actividad humana, en el Gráfico N° 1.02, se observa las emisiones de CO<sub>2</sub> en América Latina.

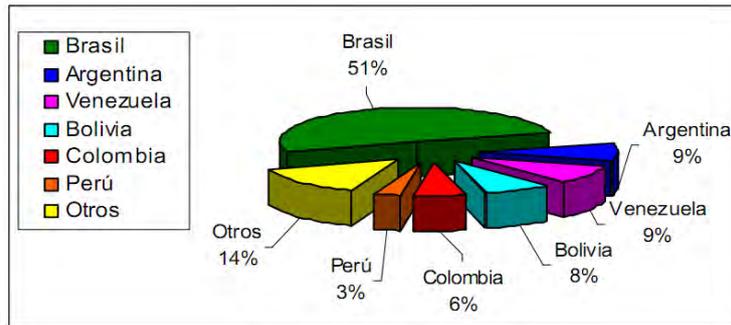


Gráfico N°1.02: Total de emisión de CO2 en América Latina (Fuente: SCOTIABANK).

Para la naturaleza el proyecto de cemento con cascarilla de arroz representa un doble beneficio, porque además de disminuir la emisión de contaminantes al ser quemada, la utilización de las puzolanas se reduce el uso de los agregados en el concreto frenando así la extracción de este material de los ríos.

La quema de la cascarilla de arroz contribuye a eliminar la proliferación de hongos y bacterias perjudiciales al cultivo (21)

En la fabricación del cemento se requiere de un alto gasto energético, ya que para su fabricación las temperaturas requeridas están en el orden de 1450°C, mientras que para la quema de las cenizas de cáscara de arroz se requiere aproximadamente 650 °C mientras que las puzolanas volcánicas no se requiere quemarlas su uso es directo.

Al quemarse la paja de arroz, los gases producidos son principalmente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y otros en trazas como: óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y agua, en menos volumen que en la fabricación en comparación con la del cemento.

La alta concentración temporal de las emisiones de gases y partículas provocadas por la combustión, combinada con las condiciones meteorológicas de la zona, que provocan que estos gases y partículas se dirijan hacia zonas urbanas, ocasiona afectaciones de tipo respiratorio y molestias en la población residencial.

Para lograr el aprovechamiento de la cascarilla de arroz, es necesario desarrollar una industria de recogida, transporte y almacenamiento, con la finalidad de asegurar que la operación sea totalmente amigable con el ambiente.

## 1.5 Normalización.

Las adiciones minerales son materiales inorgánicos que son incorporados al cemento o al concreto y morteros, en diferentes porcentajes, con el fin de mejorar sus propiedades dándoles mayor durabilidad, generan menor calor de hidratación y mayor resistencia.

### a) Definición y clasificación de las puzolanas

La norma ASTM C 618 y N.T.P. 334.090 define a la puzolana de la siguiente manera, “Es un material silíceo o sílico-aluminoso, que finamente dividido y en presencia de agua, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio para formar compuestos que poseen propiedades hidráulicas”. Las puzolanas se clasifican en puzolanas naturales y artificiales, las propiedades físicas y químicas de las puzolanas se ven en los Cuadros N°1.04 y 1.05

Según la NTP 334.104 y ASTM C 618 (Cementos. Adiciones minerales del concreto: puzolana natural cruda o calcinada y ceniza volante. Especificaciones). Definen tres clases de cenizas volantes:

**Clase F:** Ceniza volante producidas por la calcinación de carbón antracítico o bituminoso. Cenizas que poseen propiedades puzolánicas.

**Clase N:** Puzolanas naturales crudas o calcinadas, tal como las diatomitas; tufos y cenizas volcánicas, calcinadas o sin calcinar; y materiales que requieren de calcinación para inducir propiedades satisfactorias.

**Clase C:** Ceniza volante producida por la calcinación de carbón sub-bituminoso o lignito. Esta clase de ceniza, además de tener propiedades puzolánicas, también tiene propiedades cementicias.

Cuadro N°1.04: Requisitos químicos de las puzolanas

Composición Química	Clase de N	Adición F	Mineral C
Dióxido de silicio + óxido de aluminio + óxido de hierro, mín, %	70,0	70,0	50,0
Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> ), máx., %	4,0	5,0	5,0
Contenido de humedad, máx., %	3,0	3,0	3,0
Pérdida por calcinación, máx., %	10,0	6,0	6,0

FUENTE: Ing. Rosaura Vásquez, curso de Posgrado – Tecnología de la construcción.

Cuadro N° 1.05: Requisitos Físicos de las puzolanas

<b>Requisitos</b>	Clase de N	Adición F	Mineral C
<b>Fineza:</b> Cantidad retenida en el tamizado vía húmeda en la malla de 45 µm (N° 325), máx., % <sup>A</sup>	34	34	34
<b>Índice de actividad resistente:<sup>B</sup></b> Con cemento portland, a 7 días, mín., %	75	75	75
Con cemento portland, a 28 días, mín., %	75	75	75
Demanda de agua, máx., % del control	115	105	105
<b>Estabilidad:<sup>D</sup></b> Expansión, contracción en autoclave, máx, %	0,8	0,8	0,8
<b>Requisitos de uniformidad:</b> Densidad, máxima variación del promedio, %	5	5	5
Porcentaje retenido en 45 µm (N° 325), variación máx., puntos de % del promedio	5	5	5

FUENTE: Ing. Rosaura Vásquez, curso de Posgrado – Tecnología de la construcción.

## b) Clasificación de las puzolanas naturales y artificiales

### Puzolanas naturales:

**Cenizas volcánicas**, se forman por erupciones de carácter explosivo, en pequeñas partículas que son templadas a temperatura ambiente, originando la formación del estado vítreo.

**Tufos o tobas volcánicas (zeolitas)**, producto de la acción hidrotermal sobre las cenizas volcánicas y de su posterior cementación diagenética.

**Tierras de diatomeas (diatomitas)**, puzolanas de origen orgánico. Depósitos de caparzones silíceos de microscópicas algas acuáticas unicelulares (diatomeas).

### Puzolanas artificiales:

Las puzolanas artificiales son sub-productos industriales y materiales tratados térmicamente y se clasifican de la siguiente forma.

**Cenizas volantes (fly ash)**, subproducto de centrales termoeléctricas que utilizan carbón pulverizado como combustible. Se separan de los gases de combustión por precipitación mecánica o electrostática. Polvo fino constituido esencialmente de partículas esféricas ( $\varnothing \sim 1$  a  $100 \mu\text{m}$ ), como se aprecia en la Foto N° 1.05.



Foto N° 1.05: Ceniza volante y micrografía de partículas de ceniza volante (aumento 1000X).

**Arcillas activadas térmicamente**, las arcillas naturales no presentan actividad puzolánica a menos que su estructura cristalina sea destruida mediante un tratamiento térmico a temperaturas del orden de 600 a 900° C.

**Microsílice (silica fume)**, subproducto de la reducción del cuarzo de alta pureza con carbón en hornos de arco eléctrico para la producción de silicio o aleaciones de ferro silicio.

- Presenta gran actividad puzolánica,
- Partículas esféricas muy finas ( $\varnothing \sim 0,1 \mu m$ ).
- Elevado contenido de sílice amorfa ( $SiO_2$ : 90 - 96 %).
- Gran área superficial mayor a  $15 m.^2/gr$ .

Los requisitos químicos y físicos de la microsíllice se muestran en los cuadros N° 1.06 y 1.07.

La Microsílice se presenta en: estado original, compactado o en suspensión, en la Foto N° 1.06 se aprecia la microsíllice y una micrografía de la ceniza.

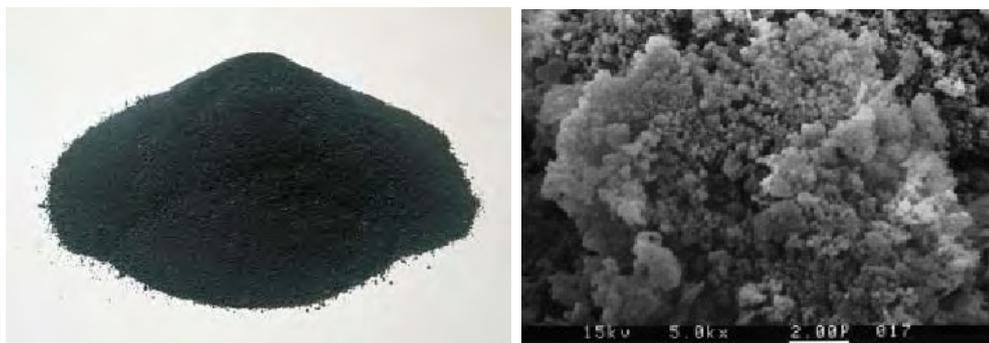


Foto N° 1.06: Vista de la microsíllice y su micrografía de partículas (aumento de 20000X).

En la Figura N° 1.02, se observa una comparación de la granulometría del cemento portland y la microsilica siendo esta última aproximadamente cien veces más pequeñas que las partículas del cemento. Así también en la Figura N° 1.03 se indica un esquema de una planta de silicio por el proceso de reducción de cuarzo en horno de arco eléctrico.

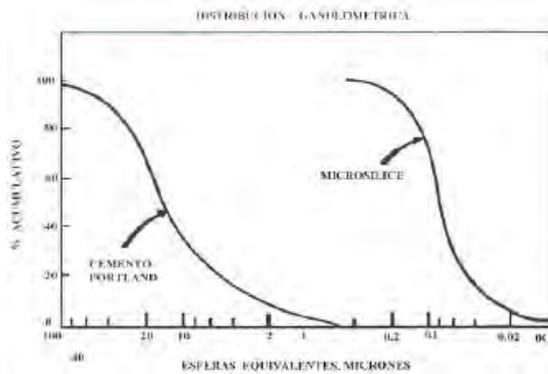


Figura N° 1.02: Comparación de la granulometría del cemento portland con la Microsílice.

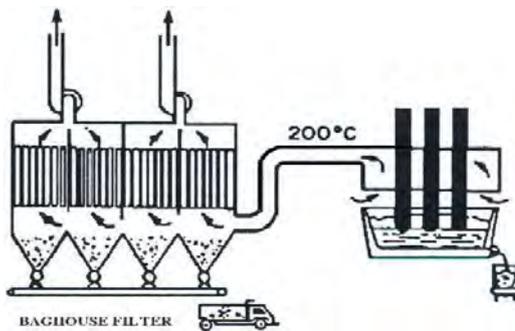


Figura N° 1.03: Esquema de una planta de silicio.

Cuadro N° 1.06: Microsílice, requisitos físicos

Sílice (SiO <sub>2</sub> ), mín., %	85,0
Contenido de humedad, máx., %	3,0
Pérdida por ignición, máx., %	6,0

FUENTE: Ing. Rosaura Vásquez, curso de Posgrado – Tecnología de la construcción.

Cuadro N° 1.07: Microsílice, requisitos físicos

<b>Tamaño mayor:</b>	
Porcentaje retenido en tamiz de 45 um (N° 325), máx., %	10
Porcentaje retenido en tamiz de 45 um (N° 325), máx. variación del promedio, puntos de porcentaje	5
<b>Índice de actividad puzolánica acelerada:</b>	
Con cemento portland a 7 días, mín. % del control	85

FUENTE: Ing. Rosaura Vásquez, curso de Posgrado – Tecnología de la construcción.

**Cenizas de cáscara de arroz**, producida por la calcinación controlada de la cáscara de arroz (% ceniza ~ 20 % peso de la cáscara), de forma general se puede indicar algunas características de estas cenizas que consisten básicamente en:

- Sílice amorfa (>90 %)

- Estructura celular de gran área superficial (50 a 60 m.<sup>2</sup>/g)
- Posee gran actividad puzolánica.

Representa una fuente valiosa de energía, se puede estimar que; 1 ton. de cáscara de arroz es equivalente a 0,5 ton carbón o 0,35 ton. de petróleo, una vista de la micrografía de la ceniza se aprecia en la Foto N° 1.07.

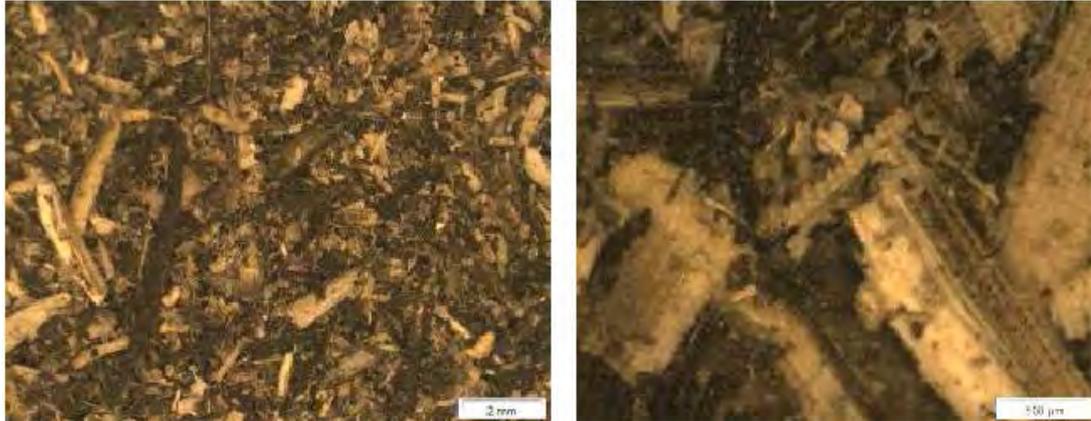


Foto N° 1.07: Vista de la micrografía de la ceniza de cáscara de arroz quemada en el horno del laboratorio de la UNI-FIC.

### 1.6 Sistemas constructivos no convencionales utilizados.

El déficit de viviendas en los países en desarrollo sigue aumentando, sin que el esfuerzo de los gobiernos alcance a atender ni siquiera el crecimiento anual del déficit. Los estratos de menores ingresos no tienen capacidad adquisitiva para acceder a los programas que se promueven en el sector formal, especialmente por el alto costo de las tecnologías convencionales, en los que predomina el uso del cemento Portland en los diferentes elementos estructurales que componen este tipo de construcciones, como se puede apreciar en el Cuadro N° 1.08.

El Consejo Económico para América Latina (CEPAL) menciona que la construcción formal, con participación profesional, no alcanza ni al 10% de todas las construcciones que se realizan en Latinoamérica y El Caribe (20). La autoconstrucción de las viviendas es la única solución posible, aunque tiene graves deficiencias técnicas y, muchas veces, en zonas de alto riesgo, lo que las hace vulnerables en caso de desastres. Este proceso se realiza utilizando también las tecnologías convencionales.

Perú es un país con características climáticas y ecológicas distintas en toda su extensión, abundantes recursos naturales, ocurrencia frecuente de sismos muchas veces severos, vientos fuertes, aluviones, sequías, lluvias torrenciales, entre otros eventos extremos. Tiene diferentes culturas en su vasto territorio, así como problemas sociales y económicos.

La tarea de construir en el Perú y las tecnologías a utilizar están íntimamente ligadas a esa realidad. Ante esto, es urgente atender las crecientes necesidades de vivienda, en especial la de los grupos más desfavorecidos que tratan de resolver su problema autoconstruyendo en forma progresiva su vivienda, primero levantan los muros y se detienen en el techo porque es un proceso complejo y costoso. Existen una variedad de sistemas constructivos no convencionales que se utilizan en las zonas de la costa, sierra y selva utilizando los materiales predominantes de la zona debido a que estos recursos naturales son los que más abundan.

En ese aspecto en este capítulo se tratará dos sistemas constructivos en las que se desarrolla el proyecto, para luego más adelante en el capítulo cinco se desarrollara la aplicación mediante la construcción de dos módulos; prototipos conformados por muros de albañilería armada elaboradas con unidades de albañilería de concreto y el techo conformado por el sistema Domozed, con viguetas de concreto armado y domos de concreto, elementos prefabricados los cuales contienen cenizas de cáscara de arroz.

### a) Sistema Domocaña

El Sistema domocaña (ver la Foto N° 1.08) cuya elaboración genera un costo muy bajo respecto al sistema convencional, debido a que los materiales a utilizar son recursos de la zona, de fácil proceso constructivo y probadamente sismo resistente como lo demuestra los resultados obtenidos en el CISMID comprobando que funciona bien ante cargas sísmicas.

Cuadro N°1.08: Componentes constructivos más utilizados en el Perú

MUROS ESTRUCTURALES	Albañilería o mampostería estructural <sup>4</sup>	Armada (refuerzos internos de acero)
		Confinada (refuerzos de hormigón o concreto armado)
		Adobe
MUROS NO ESTRUCTURALES (cerramientos)	Hormigón (concreto) armado vaciado o colado en obra <sup>5</sup>	Con malla metálica de barras de acero
		Con malla metálica electrosoldada
		Lineales (vigas y columnas)
ENTREPIOSOS Y TECHOS	Prefabricado o semiprefabricados	Bidimensionales (paneles o similares)
		Albañilería simple
MUROS NO ESTRUCTURALES (cerramientos)	Paneles	Con elementos simples huecos o perforados <sup>6</sup>
		De madera, fibrocemento y otros
ENTREPIOSOS Y TECHOS	Losa aligerada	Con viguetas coladas en la obra
	Losa maciza	Con malla de barras de acero
	Prefabricados	Con malla electrosoldada
ESCALERAS	Hormigón (concreto) armado	Viguetas con bovedillas o similares
		Vaciado o colado en obra o prefabricada
		Con pasos de madera o metálicos
ESTRUCTURA PARA MUROS ENTREPIOSOS Y TECHOS	Estructura metálica	Con pasos de madera
	Estructura de madera	Columnas, vigas, paneles, cerchas, etc.
	De madera	Idem
	De madera y bambusas	Idem
ESTRUCTURA PARA MUROS ENTREPIOSOS Y TECHOS	Metálicas	Idem
	Hormigón (concreto) armado	Vigas y columnas (pórticos) con cerramientos diversos (albañilería, paneles y otros)

Los elementos y componentes del domocaña son; cúpula (techo domocaña, conformado un bastidor de madera y caña) y las paredes conformado por

(paneles elaborados a base de bastidores de madera y dentro de ella la caña como el; carrizo, caña brava, caña de Guayaquil o bambú).

Estas gramíneas de rápido crecimiento, son flexibles e internamente huecas, de sección cilíndrica, presenta tabiques transversales, distribuidos adecuadamente a lo largo del tallo, son muy rígidas y de una resistencia apreciable; tiene buena durabilidad, en comparación con otras gramíneas, su diámetro varía de  $\frac{1}{2}$ " a  $1\frac{1}{2}$ ", su altura sobrepasa los 6 metros, su color es amarillo pardo o pardo claro, como se aprecia en la Foto N°1.09, los paneles de quincha y el techo domocaña se aprecia en la vivienda de la Foto N°1.08



Foto N°1.08: Vista terminada de una vivienda que tiene como techo el sistema domocaña

Se encuentran especialmente en las orillas de las fuentes de agua y zonas tropicales; por sus excelentes características de resistencia son utilizados en el país por familias de escasos recursos, especialmente en la fabricación de esteras. En la cobertura se utiliza malla gallinero y recubrimiento de mortero cemento - arena o de barro, en general son materiales de bajo costo. La Caña de Guayaquil (*guadua angustifolia*), es muy parecida al carrizo, se diferencia por su tallo carnoso, casi sólido; con hojas fuertemente adheridas al tallo, conformando así un conjunto muy denso, su color es amarillo lustroso. Existe en las riberas de los ríos de la costa y en la ceja de selva, dura menos que el carrizo, pero adecuadamente preservada no tiene problemas.



Foto N°1.09: Gramíneas para uso en la construcción de sistemas no convencionales.

### Construcción y ensayo de prototipos:

Revisando estudios teóricos del comportamiento de cúpulas de ferrocemento (mortero de reducido espesor reforzado con acero), se aplicaron en el sistema del domocaña, constatándose que este tipo de estructuras trabajan a compresión y tienen un comportamiento satisfactorio ante la solicitación de cargas de servicio.

Por consiguiente, se concluyó que teniendo en cuenta las características físicas y mecánicas de las cañas que se usan en vez del acero, el domocaña puede tener también un comportamiento similar ante las mismas sollicitaciones de carga. Con el fin de verificar esa hipótesis, se desarrollaron y construyeron prototipos de techo domocaña con las siguientes características; de 2.50 m. x 2,50 m. en planta, con una flecha de 0.70 m. y un espesor de 80 mm., otro de 3,40 m x 3,40 m y 1,00 m de flecha; utilizando cañas, como el carrizo, caña brava y otro con tiras de bambú.

La losa tiene de forma de cúpula como se aprecia en la Figura N° 1.04 elaborada a base de cañas entrecruzadas transversalmente sujetos a presión en el marco cuadrado o rectangular de madera que es la base de la estructura, cúpula que en todos sus puntos trabaja a la compresión, reduciéndose sus valores cuanto más alta es la flecha.

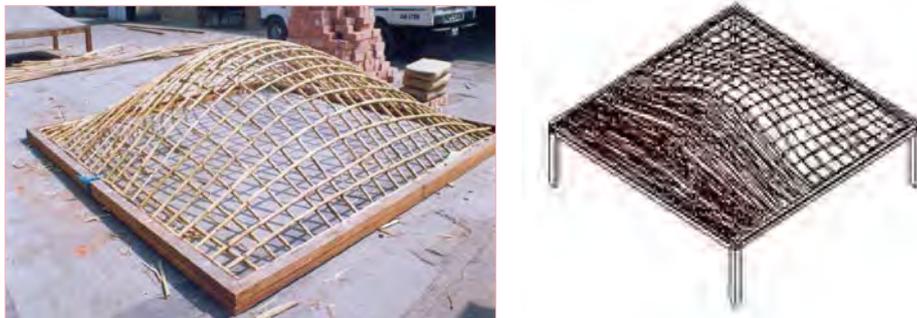


Figura N°1.04: Cúpula del sistema Domocaña

Esa característica permite además tener muros relativamente bajos, haciéndolos más estables y, por consiguiente, más seguros, lo que incide además en un menor costo. Por otro lado la losa (domocaña) reparte la carga sobre los cuatro muros que lo sustentan, lo que no sólo amarra a esos muros, sino también, mejora su comportamiento ante cargas laterales.

El prototipo se apoya sobre la viga collar que usualmente debe amarrar los muros, cuyo material dependerá de aquellos. Para confinar y facilitar el montaje de la retícula de caña, se diseñó un bastidor a fijarse en la viga collar como se aprecia en la Figura N° 1.05

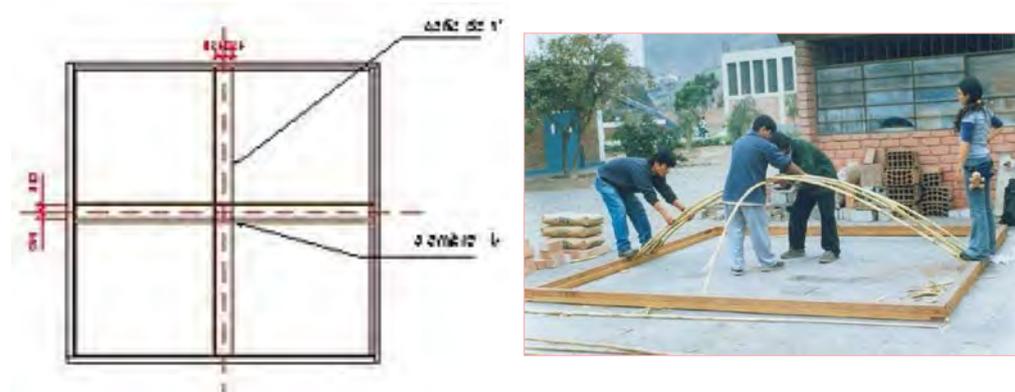


Figura N°1.05: Fijación de la caña al marco de madera.

Se realizó una prueba de carga al sistema Domocaña de bambú, al igual que el de caña brava en el CISMID; luego en el ensayo se verifico que su desempeño estructural está prácticamente en el rango elástico, lo que significa que todavía podía haber soportado un mayor nivel de carga.

El domocaña puede ingresar al rango inelástico (es decir presentar fluencia) sin ningún problema, ya que las cañas aportan un buen nivel de ductilidad lo que hace el domocaña funcione bastante bien.

En conclusión, el techado con los domocaña presenta un comportamiento muy bueno ante cargas de servicio y, probablemente, su respuesta también sea adecuada ante cargas sísmicas, principalmente debido a su capacidad para incursionar en el intervalo lineal; la prueba de carga se aprecia en la Foto N° 1.10.



Foto N° 1.10: Prueba de carga en al techo domocaña realizado en el CISMID

### a) Sistema Domozed

El sistema constructivo no convencional denominado DOMOZED, es un sistema prefabricado para entresijos y techos, constituido por elementos prefabricados: viguetas y unidades rectangulares en forma de pequeñas cúpulas llamadas domos, como se aprecia en la figura N°1.06.

Las viguetas prefabricadas de concreto armado sirven de soporte a los domos, elementos cuya proyección plana cuadrada tiene una longitud de lado que varía entre 0,50 m y 0,70 m.

El sistema constructivo Domozed se completa con el vaciado del concreto sobre el techo similar a la losa aligerada convencional, de manera que las viguetas alcancen su resistencia total y que todo el conjunto actúe como una unidad monolítica (diafragma rígido), teniendo la apariencia de una losa nervada vista desde el interior.

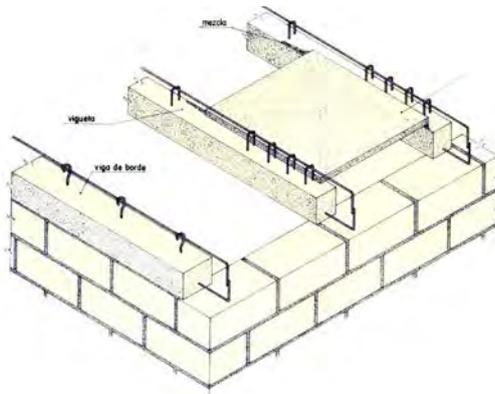


Figura N°1.06: Sistema domozed, vigas de concreto armado y domos de concreto.

El sistema Domozed similar a la losa aligerada cumple con la función de transmitir las cargas de gravedad y las de sismo. El Domozed, según los estudios realizados, posee gran ductilidad. El sistema constituye una tecnología con procesos de fabricación y constructivo racionalizados, que puede ser industrializada en microempresas o construida artesanalmente con el apoyo de mano de obra no especializada.

Por la simplicidad de la prefabricación de las viguetas, de su montaje en obra y vaciado de una losa superior, con un mínimo encofrado, sus costos son competitivos, alcanzando una reducción de sus costos de un entrepiso o techo aligerado de concreto vaciado o colado en sitio. Es uno de los sistemas de prefabricación liviana que se propuso en el Proyecto Experimental de Vivienda PREV I.

El Domo, es una unidad aligerante del sistema Domozed, que tiene la apariencia de una pequeña cúpula. El domo soporta con regularidad una carga de 500 kg/m.<sup>2</sup>

Técnicamente los domos son cáscaras funiculares, que por sus dimensiones pequeñas tiene un comportamiento, dentro del sistema Domozed, distinto al de una estructura laminar. Los domos tienen una proyección plana cuadrada que puede ser de 50 cm, 60 cm ó 70 cm de lado respectivamente, y de 2.5 cm. de espesor en promedio (ver detalle Foto N° 5.24), como se aprecia en la Foto N° 1.11.

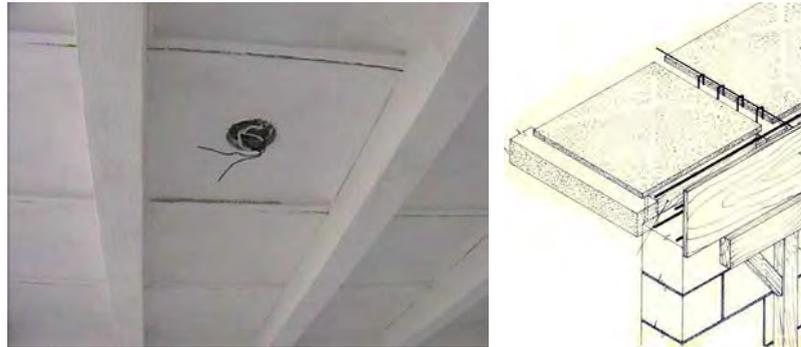


Foto N°1.11: Se aprecia un entrepiso acabado, mostrando el domo de concreto.

## CAPITULO II

### PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE PUZOLANAS NATURALES

#### 2.1 Descripción del Convenio Universidad Nacional de Ingeniería y la Universidad Politécnica de Valencia.

Ante la urgencia de atender las crecientes necesidades de vivienda en los países en desarrollo, los programas de gobierno no alcanzan a cubrir ni siquiera el crecimiento del déficit y las soluciones tecnológicas que utilizan se presentan como económicamente poco accesibles a los grupos más desfavorecidos.

De otro lado, los procesos socio-económicos de una población en ascendente crecimiento está aumentando las emisiones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, generando un cambio climático no natural, irreversible a corto plazo, nocivo para la vida humana y la naturaleza. En este contexto en el sector de la construcción se le asigna una responsabilidad de la emisión de un 40% de CO<sub>2</sub>, siendo así la que más aporta al deterioro del medio ambiente (20).

En ese contexto, investigadores de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) Perú y la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), España sumaron conocimientos y experiencias para la utilización de puzolanas en la producción de morteros para revestimientos y fabricación de elementos de concreto como componentes constructivos con base cementicia como una solución que contribuya a los problemas mencionados.

Con ese fin se identificaron las puzolanas existentes en localidades previamente seleccionadas, se caracterizaron las muestras, se estudiaron diferentes dosificaciones de mezclas, preparándose probetas con adición en diferentes porcentajes de puzolana, las que fueron sometidas a ensayos mecánicos, ciñéndose en todo el proceso a las normas técnicas vigentes.

#### 2.2 Alcances del proyecto de investigación.

El estudio propone la utilización de puzolanas naturales en remplazo del 10% al 20% del cemento en la elaboración de elementos prefabricados de concreto y morteros, permitiendo así lograr viviendas con menores costos, asegurando la resistencia y mejorando la durabilidad del concreto y mortero.

Igualmente se plantea elaborar elementos prefabricados de concreto; como domos, vigas, bloquetas de concreto y morteros, añadiendo a estos elementos las cenizas de cáscara de arroz, elementos que corresponden a los sistemas constructivos de Domocaña y Domozed, valorando así las puzolanas naturales y cenizas de cáscara

de arroz para la construcción de viviendas de bajo costo, contribuyendo así a proponer una alternativa tecnológica para las familias de escasos recursos.

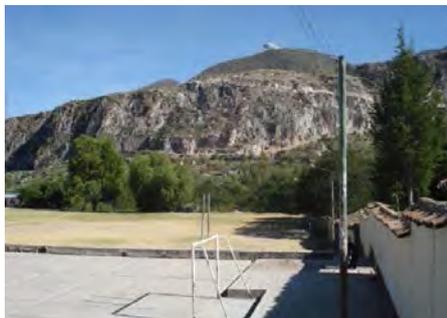
Una vez realizado el trabajo de investigación se realizará la difusión y el desarrollo de los talleres de capacitación con la finalidad de realizar la transferencia tecnológica.

### 2.3 Aprovisionamiento de las muestras

Para la elección de las muestras, se llevó a cabo un trabajo de campo en diferentes ciudades del interior del país, con la finalidad de verificar la disponibilidad y volúmenes existentes, tanto de ceniza de cascarilla de arroz como de la puzolana natural. Se seleccionaron los departamentos de Arequipa, Ayacucho, Lambayeque, Piura y San Martín, considerando que los dos primeros tienen canteras de puzolana natural y las restantes al igual que Arequipa son productoras de arroz, como se aprecia en el Cuadro N° 1.02 y el Cuadro N° 1.03.

#### a. Aprovisionamiento de las puzolanas naturales:

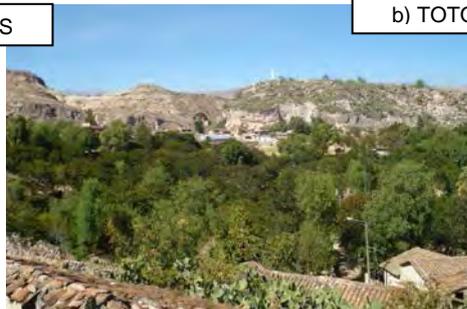
En el Departamento de Ayacucho se ubicaron tres canteras de puzolanas volcánicas naturales, las cuales se encuentran en los poblados de Tantarjo, Totorillas y Conchupata, como se muestra en la Foto N°2.01.



b) TOTORILLAS



b) TOTORILLAS



c) CONCHUPATA

Foto N° 2.01: Canteras de puzolana en la ciudad de Ayacucho.

#### b. Aprovisionamiento de la cascarilla de arroz:

Se viajó a la ciudad de Tarapoto y se trajo doce bolsas de muestras de ceniza de cáscara de arroz (CV), quemado en hornos de la molinera Agroindustrial MHIL SAC (Picota) y tres bolsas de muestras (CIII) sin quemar de la molinera

Transamazónica, ver la Foto N°2.02. La obtención de las cenizas de cascarilla de arroz de las plantas agroindustriales de arroz se realiza de la siguiente manera; luego de un proceso de depilado de las cascarilla de arroz, son llevados a los hornos para su quemado para finalmente obtener la ceniza de cáscara de arroz, luego estas son embolsadas.

Proceso similar son los realizados en otras plantas agroindustriales, diferenciándose en el quemado de las cenizas los cuales son realizados en el exterior de la planta, denominándoseles, quemados en pampa para su acondicionamiento.



Foto N° 2.02: Aprovisionamiento de la cenizas de cáscara de arroz, Tarapoto.

Las muestras del estudio fueron obtenidas de la zona de quema del horno de la planta la molineras Agroindustrial MHIL SAC (Picota), cabe señalar que para enfriar la ceniza le vierten agua, siendo está secada de manera natural dentro de la planta para luego ser embolsada, tal como se aprecia en la foto N° 2.03 (vista del horno y ceniza de cáscara de arroz obtenida).



Foto N° 2.03: Horno de quemado de la planta agroindustrial MHIL SAC de Picota, Tarapoto San Martín

Las muestras de puzolanas y cenizas de cáscara de arroz fueron enviadas a Valencia (España) para el estudio de su caracterización físico-química y un estudio de reactividad puzolánica por parte del grupo de investigación en química de los materiales (GIQUIMA), del Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón (ICITECH) de la Universidad Politécnica de Valencia.

## 2.4 Acondicionamiento de las muestras

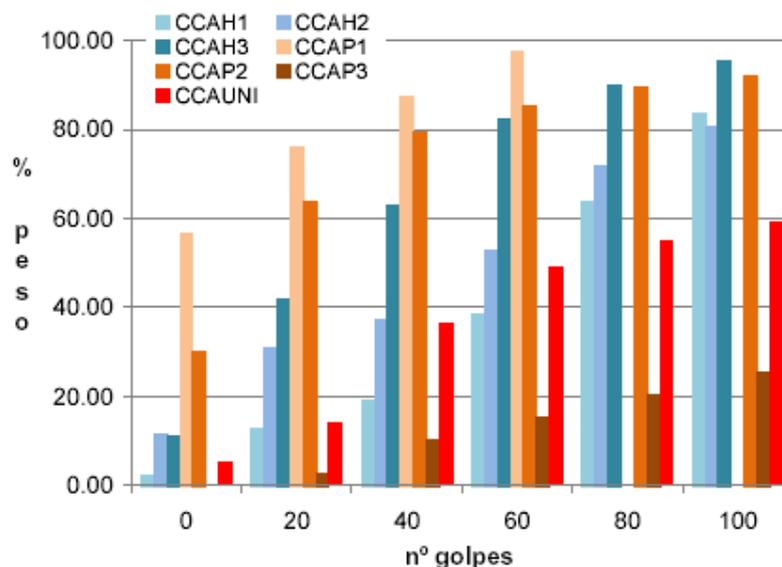
Con la finalidad de acondicionar las muestras para los análisis físicos químicos las muestras se trataran de tres maneras:

### a. Muestras sin moler:

Son tamizadas únicamente por el tamiz de 800  $\mu\text{m}$ , no considerando ningún residuo retenido. Estas muestras son utilizadas para la determinación de la granulometría por difracción láser (ADL) de las muestras originales, y para su observación por microscopía óptica y electrónica.

### b. Muestras molidas manualmente:

1. **Puzolanas naturales:** Son trituradas en un mortero de cerámica hasta que pasan por el tamiz de 250  $\mu\text{m}$
2. **Cenizas de cáscara de arroz:** Fueron triturados en un mortero de cerámica hasta pasar por un tamiz de 125  $\mu\text{m}$ . Se intentó estandarizar un método de machaqueo de las muestras, realizando como máximo 100 golpes con el almirez, considerando como límite que pase como mínimo el 70% de la muestra, tal como se aprecia en la Gráfica N° 2.01.



Gráfica N° 2.01: Porcentaje de material menor de 125  $\mu\text{m}$ , en función al número de golpes.

Se observa la muestra CCAP-3 (C III) no se consiguió machacar a la misma finura que las demás (con 100 golpes, solo se consiguió el 25% de material por debajo de 125  $\mu\text{m}$ ), mientras que la muestra más “blanda” fue la muestra CCAP-1 (C IV), que con 40 golpes conseguimos que pasara el 97% de la muestra por el tamiz de 125  $\mu\text{m}$ .

### 3. Muestras molidas en molinos:

La molienda de las puzolanas y cenizas de cáscara de arroz se realizó en un micro molino FRISTCH, modelo Analysette3 Spartan Pulverisette 0 con una única bola de zirconio de 50 mm de diámetro, durante 15 minutos, como se aprecia en la Foto N° 2.04.



Foto N° 2.04: Micro molino de bola de Zirconio

## 2.5 Caracterización físico-química de las puzolanas

Para la caracterización físico-química de las muestras se sometieron a los siguientes análisis: Microscopía óptica, Microscopía electrónica, Energías dispersivas de Rayos X (EDX), Análisis granulométrico por difracción láser (ADL), Difracción de Rayos X (DRX), Análisis termogravimétrico y térmico diferencial (TGA/DTA)

### a) Microscopía óptica

Para la caracterización de las muestras por microscopía óptica se ha utilizado un estereomicroscopio Olympus, model SZ61. El conductor de luz es también Olympus, modelo KL1500 LCD. Las fotos se realizan con una cámara acoplada a la lupa, de la marca Olympus modelo Altra 20, como se aprecia en la Foto N°2.05. Para su observación se coloca una pequeña cantidad de muestra sobre el porta muestras. Todas las muestras utilizadas en este ensayo fueron materiales originales sin moler.



Foto N°2.05: Microscopio óptico.

- **Microscopia óptica de las Puzolanas naturales:**

De la microscopia realizada se observa, la muestra de Arequipa (PZ-1: P IV - Arequipa) presenta un aspecto ligeramente diferente al resto, siendo de un color más rojizo y partículas de mayor tamaño respecto a las puzolanas procedentes de Ayacucho (P I - Conchupata, P II - Totorilla y P III - Tantarjo), como se aprecia en la Foto N° 2.06.

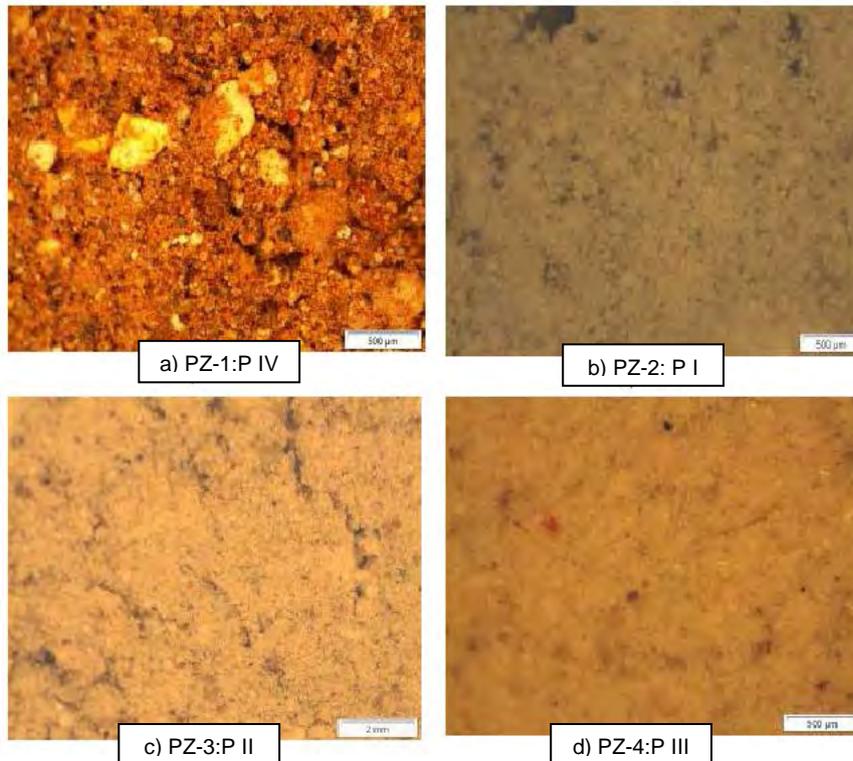


Foto N° 2.06: Fotografías por microscopia óptica de las muestras de puzolanas naturales.

### Microscopía óptica de las cenizas de cáscara de arroz quemadas en pampa:

De las fotografías con microscopía, como se aprecia en la Foto N° 2.07 de las distintas muestras de ceniza de cáscara de arroz quemada en pampa o cielo abierto, estas son parecidas, de color blanquecino, conservando la forma de la cáscara y observándose la presencia de algunos no quemados.

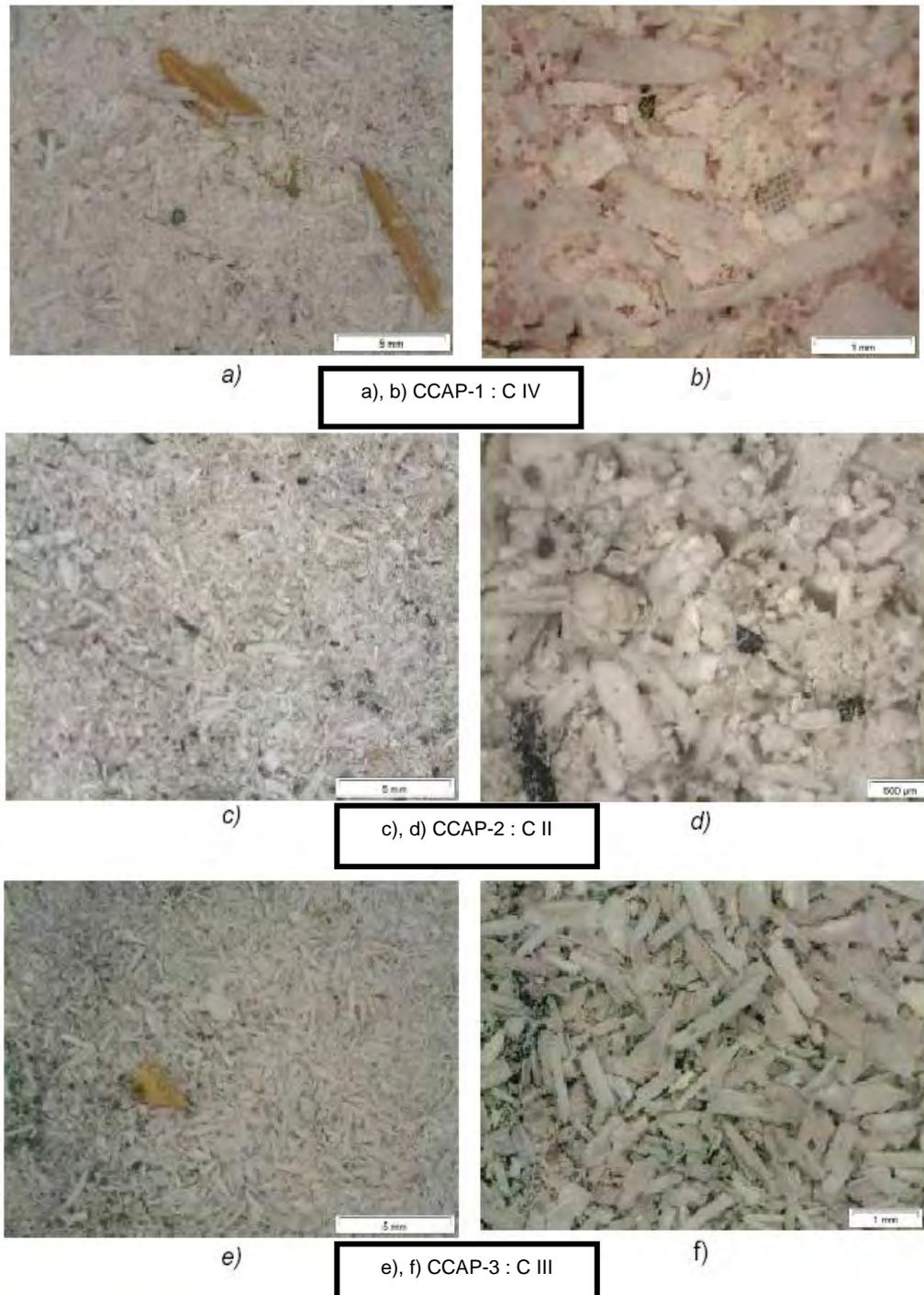


Foto N° 2.07: Fotografías por microscopio óptica de las muestras de ceniza de cáscara de arroz quemada en pampa (a cielo abierto).

- **Microscopia óptica de las cenizas de cáscara de arroz quemadas en horno:**

En este caso las muestras también son parecidas, de color blanquecino, sobre todo la muestra CCAH-1 (C IV, mientras que las otras quizás por el mayor número de inquemados son más oscuras con zonas amarillentas de cáscara sin quemar. Las cenizas conservan en todos los casos el esqueleto de la cáscara, como se aprecia en la Foto N° 2.08.

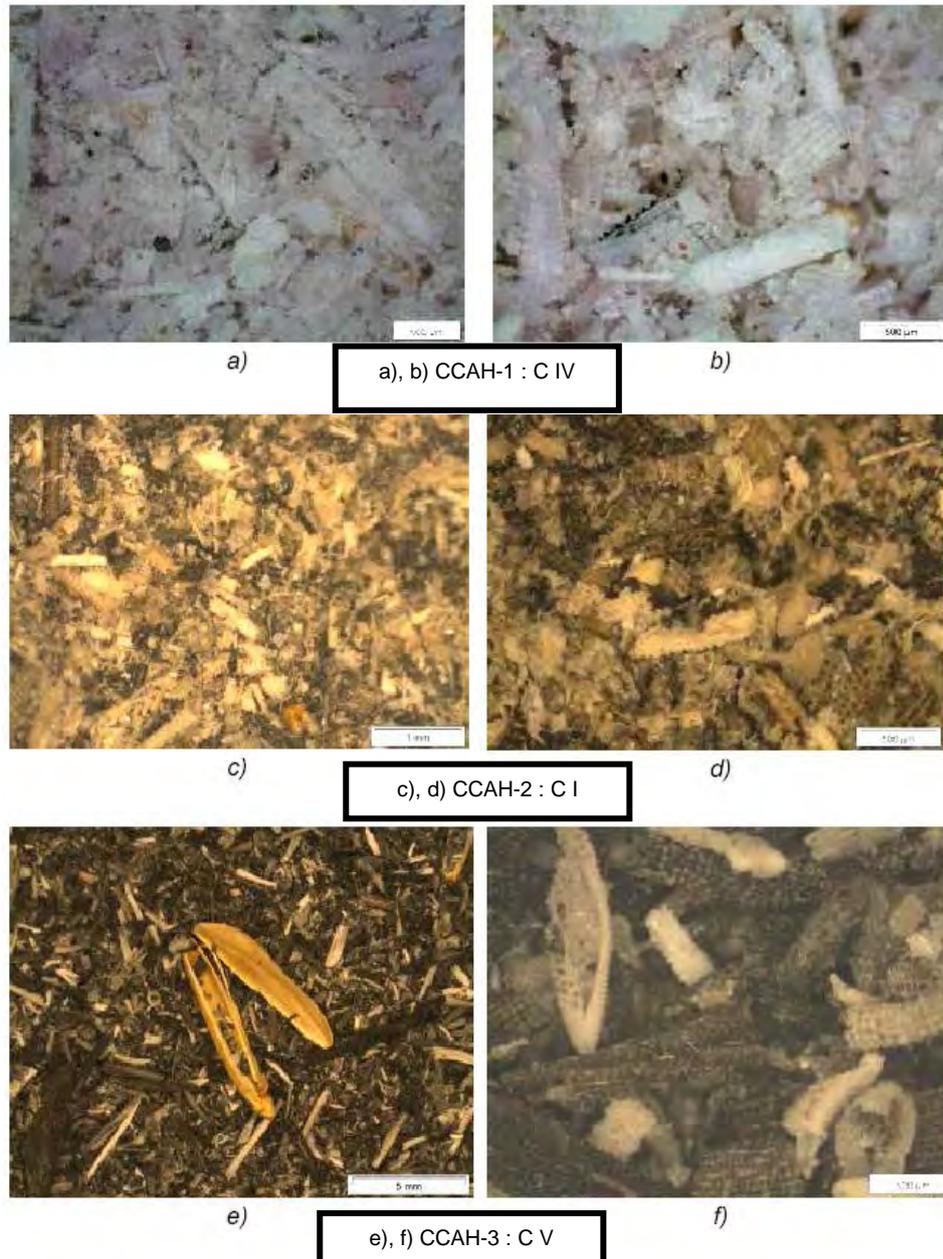


Foto N°2.08: Fotografías ópticas de las cenizas de cáscara de arroz quemadas en horno.

### b) Microscopía electrónica de barrido (SEM)

En este estudio se utilizó un equipo de microscopia JEOL JSM6300, aplicando a la muestra un voltaje de 20 KV para la obtención de imágenes, ver la foto N° 2.09. Las muestras deben ser metalizadas para facilitar la conductividad eléctrica de las mismas.



Foto N°2.09: Equipo de microscopía electrónica.

El tiempo de exposición de la muestra fue de 90 segundos, a una intensidad de 40 mA y una distancia de trabajo de 5mm. La presión a la que se realizó el proceso de recubrimiento fue de  $2,4 \cdot 10^{-2}$  mbar.

#### **Puzolanas naturales:**

En las micrográficas se puede observar que la PZ-1 (P IV, de la Foto N° 2.10 ,b) es ligeramente distinta al resto de las puzolanas. Mientras que las puzolanas naturales PZ-2 (PI), PZ-3 (PII) y PZ-4 (PIII), presentan cristales angulosos de aspecto vitrificado (Foto N°10, b, c y d), la puzolana de Arequipa muestra cristales más redondeados.

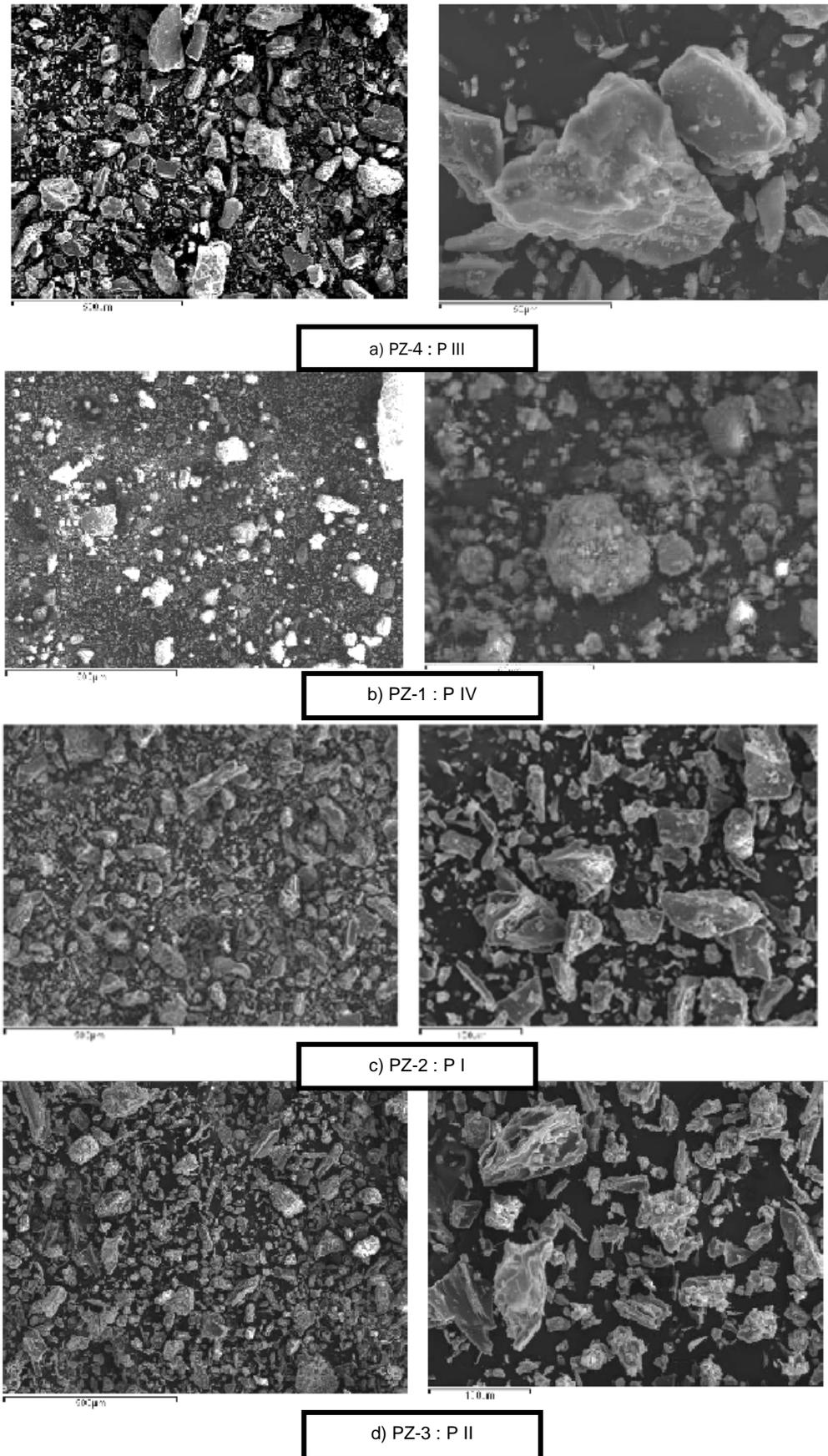


Foto N° 2.10: Micrografías de SEM de las muestras de puzolanas naturales.

### Cenizas de cáscara de arroz quemadas en pampa:

Las micrografías muestran dos tipos de ceniza. Las muestras CCAP-1(CIV) y CCAP-3 (CIII), procedentes de Arequipa y de San Martín parecen haberse obtenido en procesos de combustión donde se han alcanzado temperaturas elevadas, lo que se manifiesta por su forma redondeada, como si la estructura de la ceniza hubiera comenzado a sinterizar.

Sin embargo la muestra CCAP-2 (CII) obtenida en la Molinera Transamazónica parece ser una ceniza producida a menor temperatura ya que se mantiene el esqueleto de la cáscara con formas angulosas y no redondeadas. como se observa en la Foto N° 2.11.

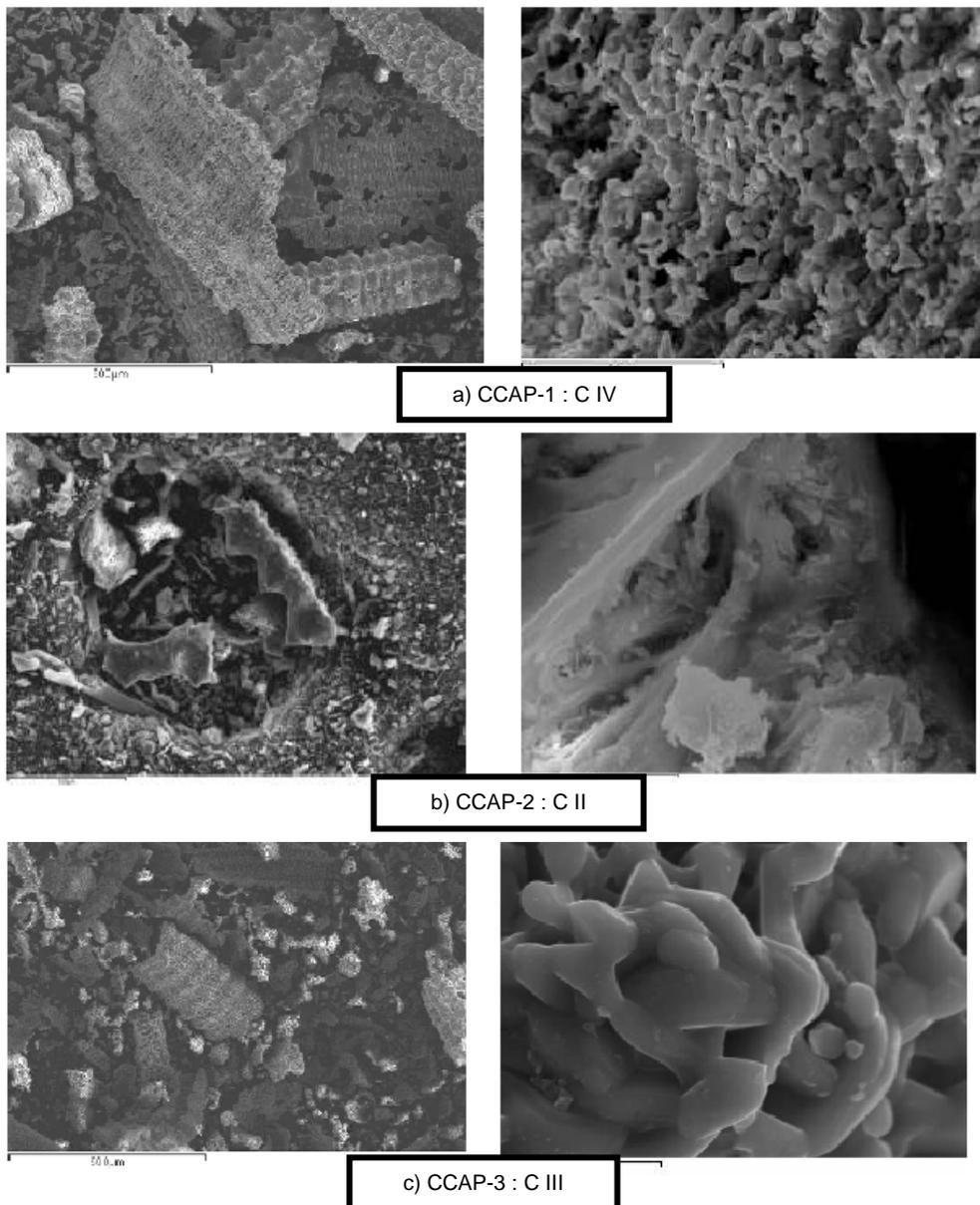


Figura N° 2.11: Micrografías de SEM, ceniza de cáscara de arroz quemada en pampa.

### Cenizas de cáscara de arroz quemadas en horno:

De manera análoga a las muestras quemadas en pampa en las muestras obtenidas en horno se presentan también las dos situaciones.

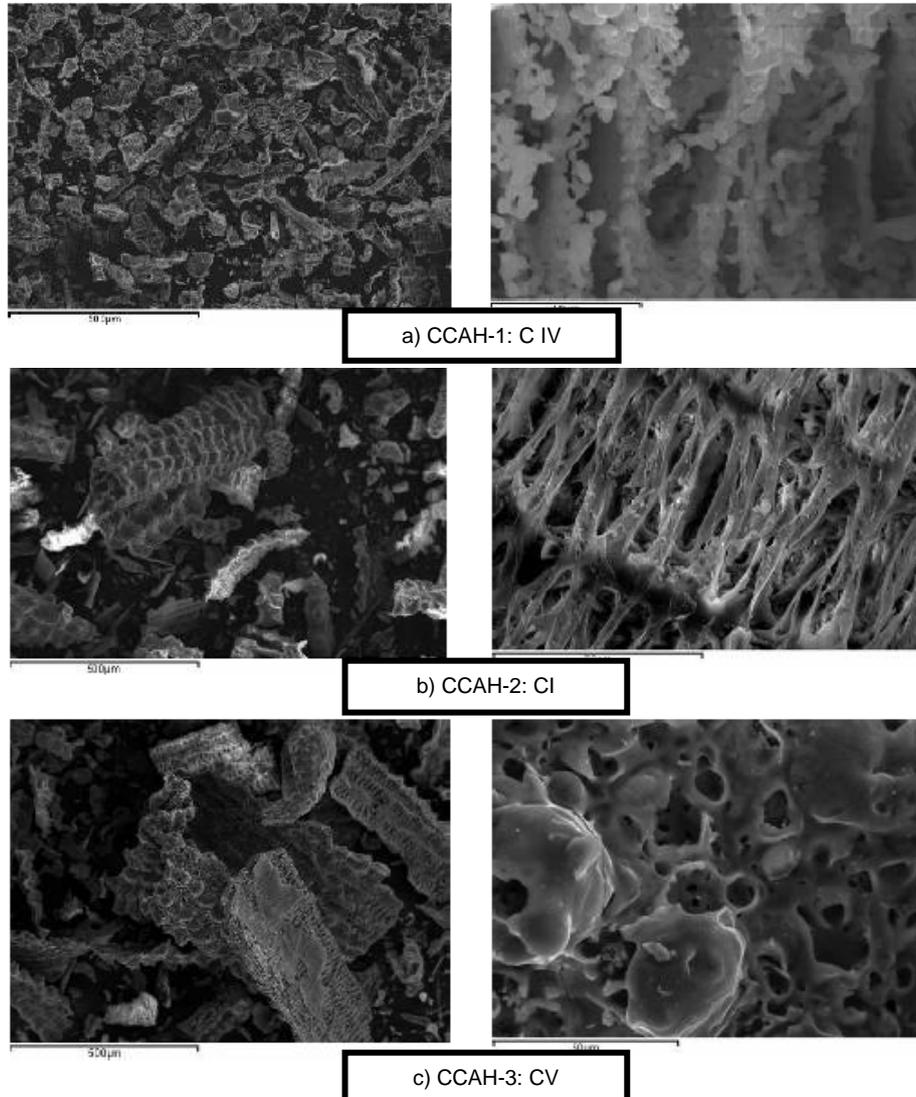


Foto N° 2.12: Micrografías de SEM, ceniza cáscara de arroz quemada al horno.

Por una parte, las muestra CCAH-1(CIV) y CCAH-3 (CV), procedentes de Lambayeque y la Molinera Transamazónica de San Martín presentan cenizas con esqueletos en forma redondeada y parcialmente sinterizada, hecho que hace suponer que se encuentra parcialmente cristalizada y que por tanto se ha obtenido a temperaturas elevadas, como se observa en la Foto N° 2.12.

Sin embargo la muestra procedente de Tarapoto (San Martín), CCAH-2 (CI) presenta estructuras angulosas procedentes de estructuras amorfas, por lo que hace suponer que se ha obtenida a temperaturas menores.

En el caso de la muestra (CCAUNI) obtenida en horno de laboratorio de la Universidad Nacional de Ingeniería, parece encontrarse entre las dos situaciones, ya que si bien se observan los esqueletos marcados de la cáscara, si se empiezan a redondear y sinterizar los bordes.

### c) Energías dispersivas de Rayos X (EDX)

Se realizó un estudio a nivel cualitativo, para conocer cuáles eran los elementos mayoritarios presentes en las muestras. El microanálisis se realizó con un equipo OXFORD INSTRUMENTS modelo Link-Isis.

Para la realización del ensayo, en cada material, realizada una micrografía se elegía una zona y se realizaba un microanálisis. A modo de ejemplo en la Foto N° 2.13, se muestra para la muestra PZ-1 (P IV) la micrografía con la zona elegida para el microanálisis y el espectro de EDX obtenido. En el Cuadro N° 2.01 se resumen los resultados obtenidos.

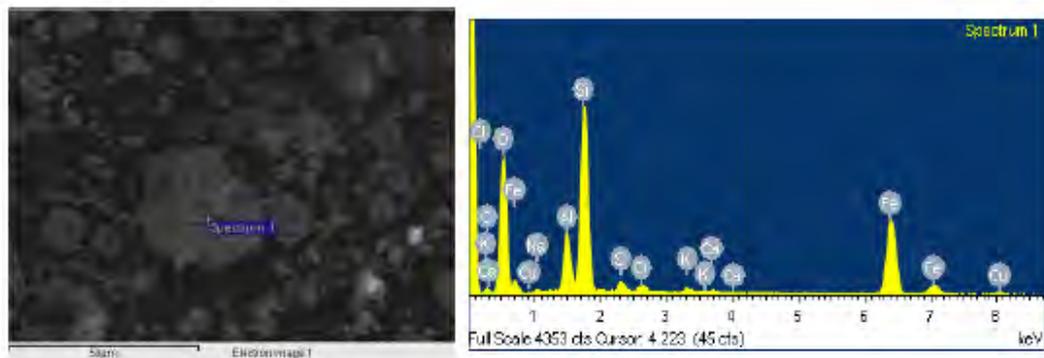


Foto N° 2.13: Micrografía y espectro de EDX de la muestra PZ-1 (PIV).

El análisis por energías dispersivas de Rayos X indica, que la puzolana natural PZ-1 (P IV) contiene hierro, a lo que debe su color distinto y su textura. Todas, las puzolanas y la piedra pómez contienen mayoritariamente Si, y Al con elementos minoritarios con Na, K, Ca, lo que debe indicar la presencia de aluminosilicatos. Respecto a las cenizas de cáscara de arroz en su composición principal es la sílice, ya que su elemento mayoritario es el silicio, con presencia minoritaria de potasio en todas las muestras. Este hecho es característico de las cenizas de cáscara de arroz. También algunas de ellas contienen trazas de sodio, S, Mg, Na y P, lo que indica la presencia probable de sulfatos y fosfatos alcalinos.

Hay que tener en cuenta que esta técnica también permite en ocasiones observar en que zonas o tipos de agregados se concentran determinados elementos. A modo ilustrativo en la Foto N° 2.14, se ha analizado dos puntos distintos para la muestra CCAH-1 (CVI), observándose que en la superficie del esqueleto de la ceniza que se encuentra más sinterizado se concentra una mayor concentración de K, en forma probable de sulfato, (ver micrografía y espectro en la Foto N° 2.14), mientras que en la parte del interior del esqueleto es donde se encuentra la sílice.

Cuadro 2.01: Elementos químicos presentes en la muestra detectados por EDX

Tipo	Clave muestra	Elementos mayoritarios	Elementos minoritarios (<4%)
<b>Puzolanas naturales</b>	PZ-1	Si, Al, Fe	Ca, S, K, Na
	PZ-2	Si, Al	K, Na, Ca
	PZ-3	Si, Al	Na, K, Ca
	PZ-4	Si, Al, K	Na, Fe, Ca
<b>Piedra pómez</b>	PP-1	Si, Al, K	Na, Fe, Ca
<b>Ceniza de cáscara de arroz quemada en pampa</b>	CCAP-1	Si	K
	CCAP-2	Si	K
	CCAP3	Si	-
<b>Ceniza de cáscara de arroz quemada en horno</b>	CCAH-1	Si,	K, S
	CCAH-2	Si	K
	CCAH-3	Si	K
	CCAUNI	Si	K, Mg, P, Ca
	CCADACSA	Si	K,Ca, Na

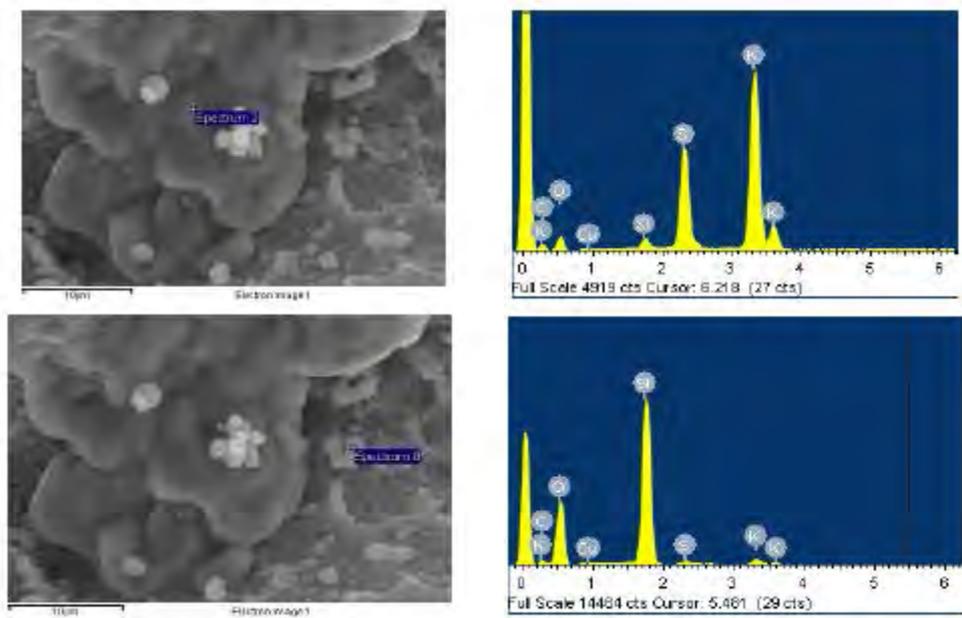


Foto N° 2.14: Micrografía y espectro de EDX de distintas zonas analizadas en la muestra CCAH-1 (C IV).

#### d) Granulometría láser (ADL)

Para el estudio granulométrico de estas muestras se ha utilizado como técnica, el análisis de partículas por difracción de rayos láser (ADL). Para ello, se ha empleado un aparato Malvern Mastersizer 2000, como se parecía en la Foto N° 2.15, que permite hacer un análisis de las partículas por difracción de rayos láser desde 0.02 hasta 2000µm, ofreciendo flexibilidad, alta resolución y reproducibilidad de los análisis.



Foto N° 2.15: Equipo de granulometría por difracción láser.

Para cada material se ha realizado su granulometría para la muestra original y después de su tratamiento, se a machacado tamizado y/o molido.

- **Puzolanas naturales**

En la figura N° 2.01, se recogen las curvas de distribución granulométrica de las muestras originales y tratadas. En todos los casos se observa que al machacar la muestra la curva de distribución granulométrica se desplaza a zonas de menor tamaño de partícula, y la forma de la curva se hace más uniforme, sin hombros en la zona de mayor tamaño, como muestras las curvas de los materiales originales.

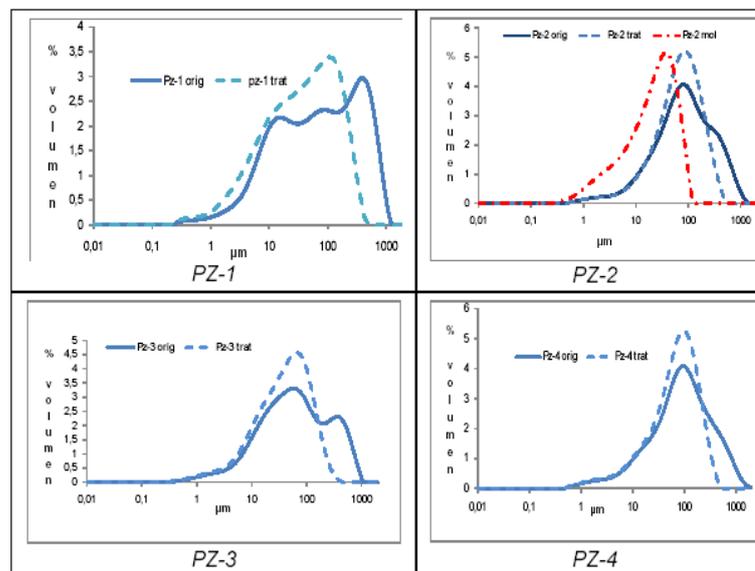


Figura N° 2.01: Curvas de distribución granulométrica de las puzolanas naturales originales y tratadas.

En el cuadro N° 2.02, se resumen diversos parámetros relacionados con el tamaño de las partículas como son:

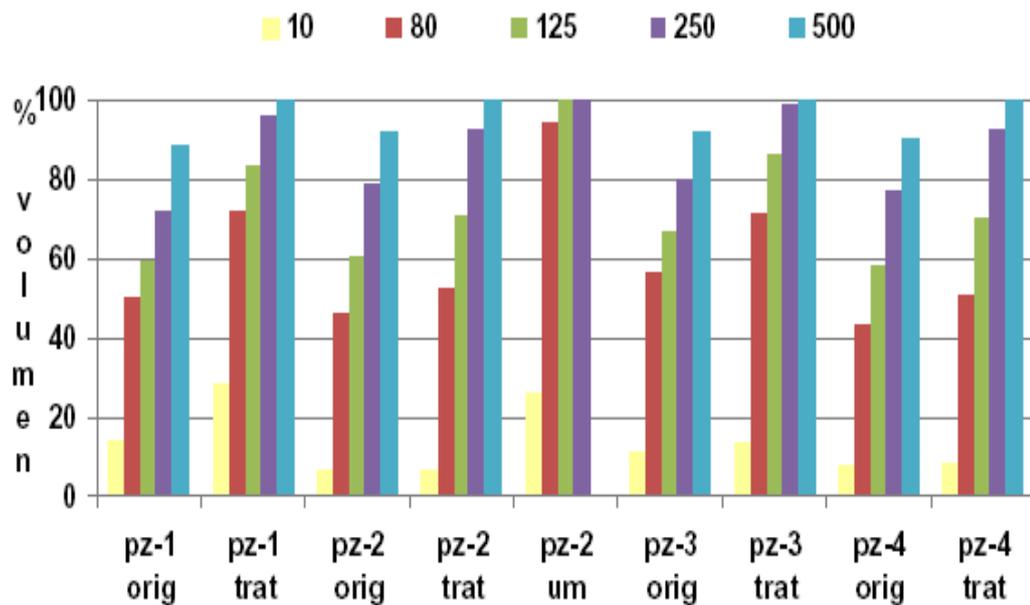
A la vista de los datos en el Cuadro N° 2.04, el material menos grueso parece ser la muestra, PZ-3 (PII), ya que es la muestra con menor diámetro medio (146.35  $\mu\text{m}$ ) y con mayor porcentaje de partículas entre 10 y 80  $\mu\text{m}$  (45.90%).

El tratamiento de machaqueo con un mortero provoca un aumento del porcentaje de partículas entre 10 y 80  $\mu\text{m}$ , fundamentalmente y una disminución del diámetro medio de partícula.

El tratamiento por molienda de la muestra PZ-2 (PI) incrementa de manera más notoria los hechos anteriormente expuestos ( $D_m$  30.60  $\mu\text{m}$ ;  $10 < x < 80$  del 68.89% en volumen). Para una mejor comprensión de estos resultados en la Gráfica N° 2.02 se grafican los porcentajes de partículas acumulados por debajo de un tamaño determinado (10, 80, 125, 250 y 500  $\mu\text{m}$ , en función del tipo de muestra.

Cuadro N° 2.02: Diversos parámetros relacionados con el tamaño de partícula para las puzolanas naturales

CLAVE	TIPO TRATAM.	D(0.1) ( $\mu\text{m}$ )	D(0.5) ( $\mu\text{m}$ )	D(0.9) ( $\mu\text{m}$ )	$D_m$ ( $\mu\text{m}$ )	<10 $\mu\text{m}$ (%)	10<x<80 (%)	80<x<250 (%)
PZ-1 Orig	Original	7.30	77.52	535.34	184.95	14.38	36.22	21.74
PZ-1 trat	Machacada	2.82	30.12	170.26	62.34	28.55	43.71	23.97
PZ-2 Orig	Original	15.12	89.49	440.37	167.38	6.42	39.84	32.27
PZ-2 trat	Machacada	15.63	75.33	220.81	100.49	6.19	46.33	40.26
PZ-2 UM	Molida en micromolino	3.29	24.41	67.67	30.60	25.62	68.89	5.49
PZ-3 Orig	Original	9.32	62.24	434.90	146.35	10.82	45.90	23.11
PZ-3 trat	Machacada	7.58	44.07	141.85	62.27	13.59	58.08	26.79
PZ-4 Orig	Original	13.39	97.41	485.71	186.10	7.53	35.98	33.94
PZ-4 trat	Machacada	12.11	77.81	219.82	100.10	8.37	42.76	33.93



Gráfica N° 2.02: Porcentaje de partículas por debajo del tamaño indicado. Influencia del tipo de tratamiento a las puzolanas naturales.

### Cenizas de cáscara de arroz quemadas en pampa

En el caso de las cenizas de cáscara de arroz quemadas en pampa, al ser un material más blando que las puzolanas naturales el proceso de machaqueo parece modificar significativamente la distribución granulométrica, desplazándose ésta a tamaños de partícula menores. Esta disminución parece similar para todas las muestras y es muy importante cuando el tratamiento es de molienda.

En el Cuadro N° 2.03, se resumen distintos parámetros granulométricos y en la Figura N° 2.02 se representan los valores de porcentajes de partícula acumulados.

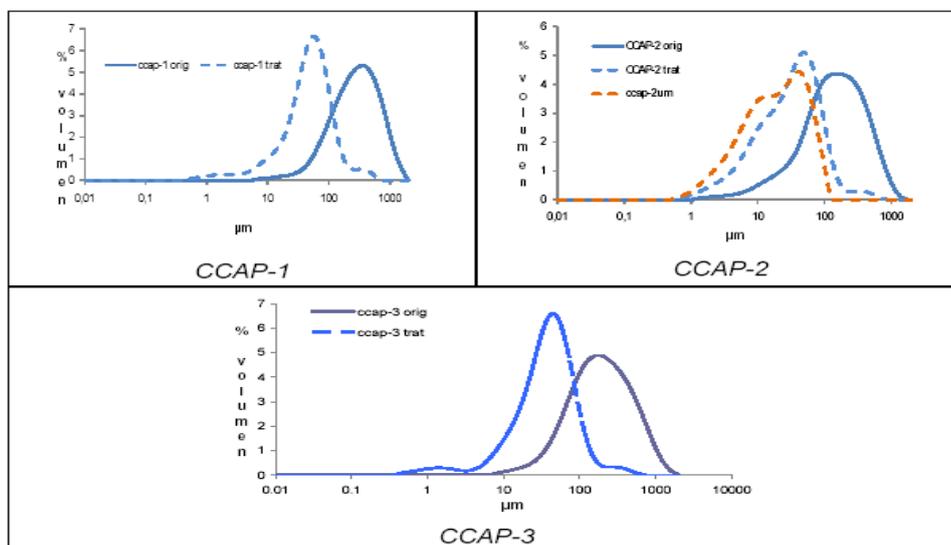
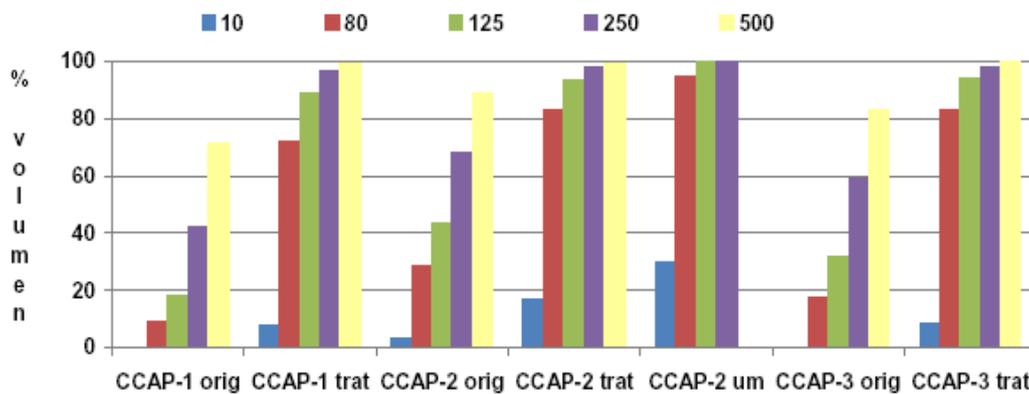


Figura N° 2.02: Curvas de distribución granulométrica de las cenizas de cascara de arroz quemadas en pampa originales y tratadas.

Cuadro N° 2.03: Diversos parámetros relacionados con el tamaño de partícula para las cenizas de cáscara de arroz

CLAVE	TIPO TRATAM.	D(0.1) (µm)	D(0.5) (µm)	D(0.9) (µm)	Dm (µm)	<10 µm (%)	10<x<80 (%)	80<x<250 (%)
CCAP-1 Orig	Original	84.54	303.4	847.81	397.64	0.24	8.87	32.84
CCAP-1 trat	Machacada	12.73	52.80	131.27	70.86	7.72	64.26	24.56
CCAP-2 Orig	Original	29.27	511.0	524.13	225.89	3.03	25.41	39.43
CCAP-2 trat	Machacada	6.35	34.74	102.86	52.08	17.18	65.70	14.96
CCAP-2 UM	Molida en micromolino	3.82	20.03	66.50	28.60	29.80	64.88	5.32
CCAP-3 Orig	Original	57.16	197.6	649.74	288.86	0.21	17.25	41.83
CCAP-3 trat	Machacada	11.83	40.98	100.38	54.58	8.58	74.43	15.07



Gráfica N° 2.03: Porcentaje de partículas por debajo del tamaño indicado. Influencia del tipo de tratamiento a la ceniza de cáscara de arroz quemada en pampa.

Como se ha comentado, anteriormente las cenizas de cáscara de arroz son más blandos que los materiales volcánicos, lo que se manifiesta en que el propio tratamiento de machaqueo modifica los tamaños de partícula. Así todas las muestras prácticamente con el tratamiento disminuyen su tamaño haciéndose menor que 250 µm., como se aprecia en la Gráfica N° 2.03.

En cuanto a las cenizas originales la ceniza de menor tamaño es la CCAP-2, procedente Totorilla. Cabe destacar que además para esta muestra, el proceso de molienda transforma su granulometría drásticamente, haciendo que más del 90% de sus partículas queden por debajo de 80 µm.

- **Cenizas de cáscara de arroz quemadas en horno:**

También en este caso, el proceso de machaqueo modifica significativamente la distribución granulométrica, desplazándose esta a tamaños de partícula menores, ver la Figura N° 2.03.

Esta disminución parece similar para todas las muestras y es muy importante cuando el tratamiento es de molienda.

En este caso se observa que el tratamiento más efectivo y rápido es la molienda ya que hace que, prácticamente todas las partículas estén por debajo de las 80  $\mu\text{m}$ , tanto para la ceniza CCAH-2.

De todas formas el tratamiento manual para este tipo de muestras se detecta que es muy efectivo, ya que más del 90% de partículas se encuentra por debajo de 250  $\mu\text{m}$ ., como se aprecia en la Gráfica N° 2.04.

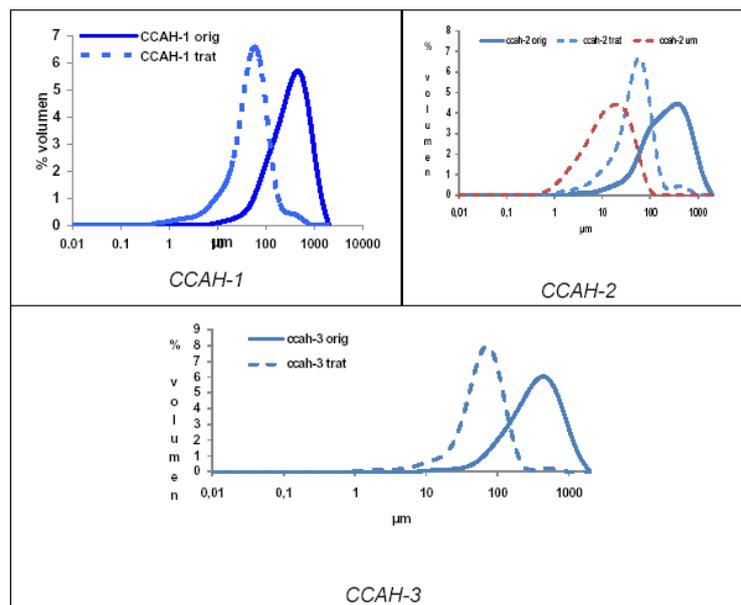
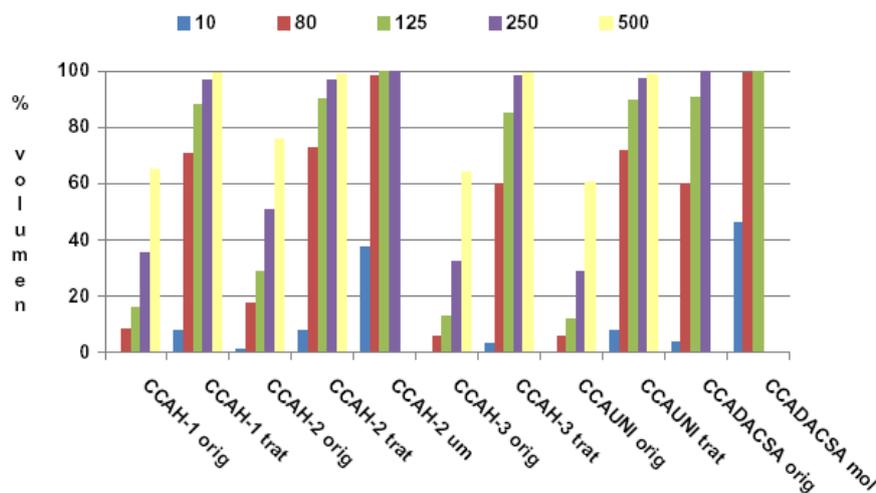


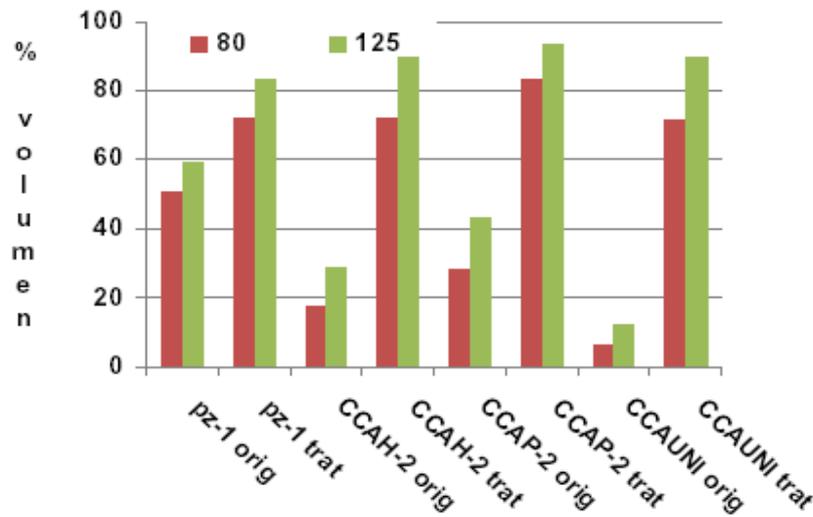
Figura N° 2.03: Curvas de distribución granulométrica de las cenizas de cáscara de arroz quemadas en horno originales y tratadas (CCAH-2 también molida en micro molino).



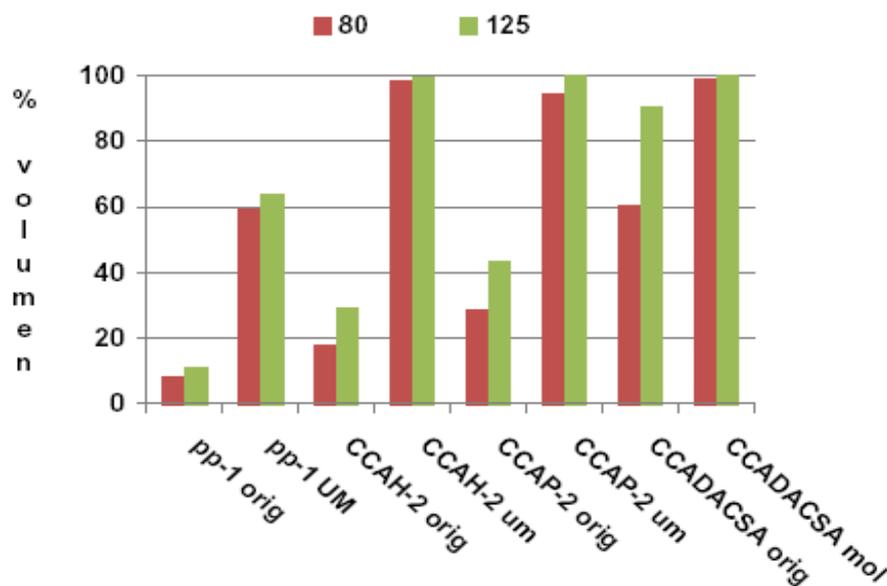
Gráfica N° 2.04: Porcentaje de partículas por debajo del tamaño indicado. Influencia del tipo de tratamiento a la ceniza de cáscara de arroz quemada en horno.

Por último y a modo de comparación en la Gráfica N° 2.05, se representa la variación del porcentaje de partículas por debajo de 80 y 125 µm para los materiales originales y tratados y en la Gráfica N° 2.06, para los materiales originales y molidos. Se puede concluir que:

- El tratamiento manual es más efectivo en las cenizas de cáscara de arroz que son más blandas. En las puzolanas es necesario utilizar el proceso de molienda para obtener disminuciones de tamaño importantes.



Gráfica N° 2.05: Variación del porcentaje de partículas por debajo de 80 y 125 µm para los materiales originales y tratados con machaqueo



Gráfica N° 2.06: Variación del porcentaje de partículas por debajo de 80 y 125 µm para los materiales originales y molidos.

#### d) Difracción de Rayos X

Para la realización de este ensayo las muestras fueron machacadas o molidas hasta pasar por un tamiz de 125  $\mu\text{m}$ . Los ensayos por difracción de Rayos X se realizaron sobre la fracción que pasaba por dicho tamiz.

El equipo utilizado fue un Bruker D8, (Foto N° 2.16) operando con la radiación Ká-Cu (1.5406Å), con una tensión de 40kV y una intensidad de corriente de 20 mA; se registraron los difractogramas para el intervalo  $2\theta = 5 - 55^\circ$ , con un ángulo de paso de  $0.020^\circ$  y un tiempo de adquisición por paso de 1 segundo. Los difractogramas registrados fueron almacenados en soporte magnético y posteriormente fueron tratados para la identificación mineral con el programa DRXWIN versión 2.56.



Foto N° 2.16: Equipo de difracción de Rayos X.

- **Puzolanas naturales:**

En el Cuadro N° 2.06, se recogen los datos encontrados referidos a la identificación mineralógica de las muestras de puzolanas naturales, y en la figura N° 2.10, se muestran los difractogramas de las muestras PZ-1 a PZ-4.

De los espectros de rayos X además de poder identificar la composición mineralógica de las puzolanas, podemos deducir además el grado de cristalinidad de las muestras, observando la desviación de la línea base entre  $15-30^\circ$  del ángulo  $2\theta$ . Este hecho va a influir en la reactividad de dichas muestras. A la vista de los espectros está claro que las puzolanas PZ-1 y PZ-3 son muy cristalinas, la muestra PZ-4 es parcialmente amorfa, mientras que la puzolana PZ-2, procedente de Conchupata (Ayacucho), es totalmente amorfa ya que presenta una gran desviación de la línea base, y la asignación de picos es muy complicada.

Respecto a la composición mineralógica, ver el Cuadro N° 2.04, se observa la presencia mayoritaria de tridimita en la PZ-1, quizás debido a que se formó a gran temperatura. El otro componente mayoritario es un feldespatos, la ortoclasa. Destaca también la presencia de hematites como componente secundario, lo que corrobora la detección de Fe en el espectro de EDX.

La muestra PZ-2 (P I), totalmente amorfa, y solamente se detectan con claridad los picos asignados a feldespatos como ortoclasa y sanidina. Sin embargo en la muestra PZ-3 (P II) procedente de Totorilla, del departamento de Ayacucho, se destaca la presencia mayoritaria de zeolitas tipo faujasita, mientras que en la muestra PZ-4 (P III), se observan mayoritariamente compuestos tipo feldepatos como albita y sanidina, y como componentes secundarios otro feldespatos, anortita y ortosilicatos como la mullita.

Además, se detectan trazas de hematites, cuarzo y faujasita; estas dos últimas se encuentran también como trazas en las otras puzolanas naturales analizadas PZ-2 (P I).

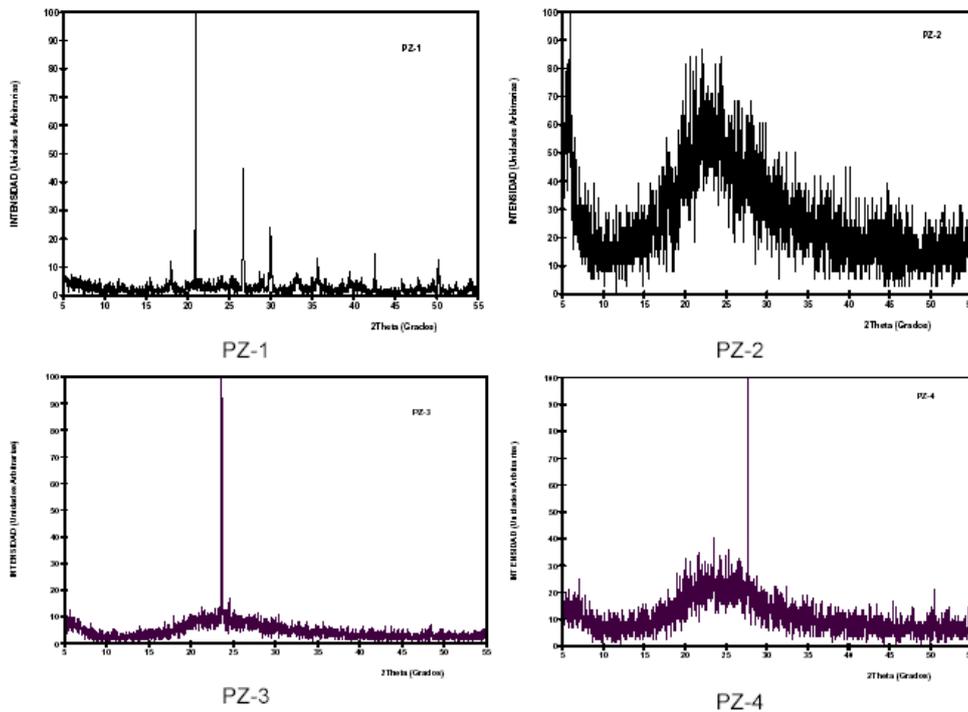
Cuadro N° 2.04: Identificación mineralógica de las muestras de puzolana natural, por difracción de rayos X

MINERAL	PZ-1	PZ-2	PZ-3	PZ-4
Tridimita $SiO_2$	xxx			
Cuarzo $SiO_2$	x	x		x
Hematites $Fe_2O_3$	xx		x	x
Faujasita $Na_2Al_2Si_4O_{12} \cdot 8H_2O$	x	x	xxx	x
Albita $NaAlSi_3O_8$				xxx
Sanidina $(Na,K)AlSi_3O_8$		xx	x	xxx
Ortoclasa $KAlSi_3O_8$	xxx	xxx	x	
Mullita $Al_6Si_2O_{13}$		x		xx
Anortita $CaAl_2Si_2O_8$				xx
Calcita $CaCO_3$	x			

Clave:

xxx Comp. Mayoritarios    xx Comp. Secundarios    x Comp. minoritarios y/o posibles

FIGURA N° 2.04: Espectros de difracción de rayos X de las puzolanas naturales



**Cenizas de cáscara de arroz quemadas en pampa:**

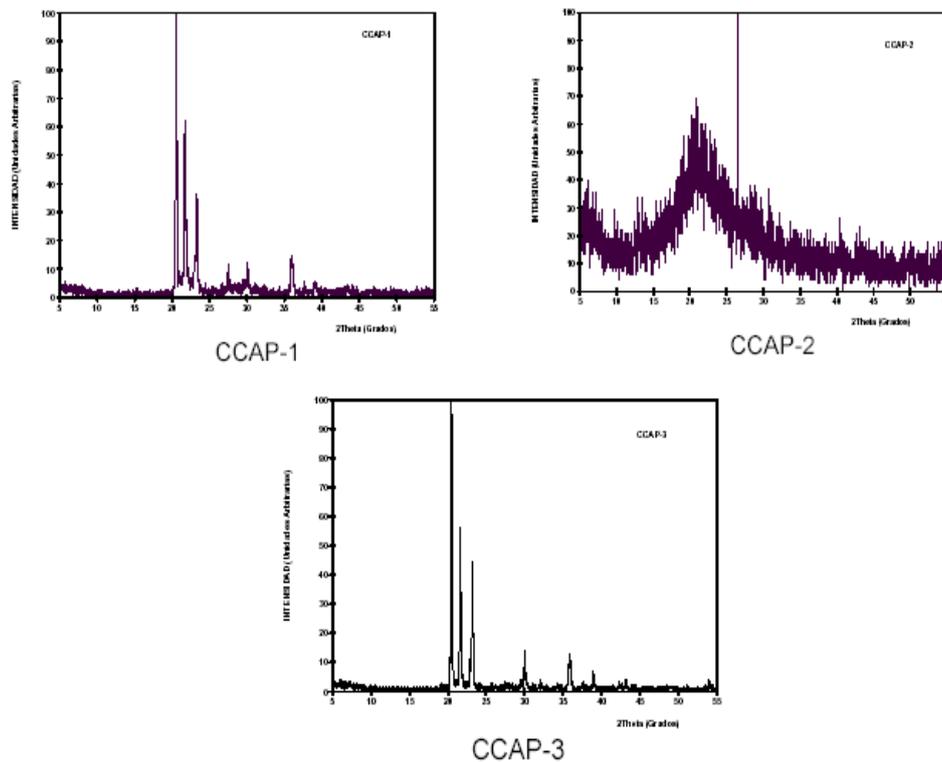
En el Cuadro N° 2.05 se recogen los datos encontrados referidos a la identificación mineralógica de las muestras de ceniza de cáscara de arroz quemada en pampa, y en la Figura N° 2.05 se muestran sus difractogramas.

Cuadro N° 2.05: Identificación mineralógica de las muestras de ceniza de cáscara de arroz quemada en pampa, por difracción de rayos X

MINERAL	CCAP-1	CCAP-2	CCAP-3
Tridimita $SiO_2$	xxx	xx	xxx
Cuarzo $SiO_2$		xxx	
Cristobalita $SiO_2$			xxx
Sanidina $(Na,K)AlSi_3O_8$	x	x	
Fosfato sódico potásico $KNa_2(PO_3)_3$	x	x	
Pirofosfato potásico $\alpha-K_4P_2O_7$		x	
Hematites $Fe_2O_3$		x	
Pirofilita $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$		x	

Clave: xxx Comp. Mayoritarios    xx Comp. Secundarios    x Comp. minoritarios  
 y/o posibles

Figura N° 2.05: Espectros de difracción de rayos X de las cenizas de cáscara de arroz quemadas en pampa.



De la observación de la Figura N° 2.05, se puede deducir que las muestras CCAP-1 (C IV) y CCAP-3 (C III) son muy cristalinas mientras que la muestra CCAP-2 (P II), procedente de la Molinera Transamazónica del Departamento de San Martín es muy amorfa, ya que presenta una gran desviación de la línea base, lo que hace complicado la identificación de los picos de su difractograma. En esta muestra se destaca un pico que es el de cuarzo como elemento mayoritario y tridimita.

Sin embargo, en las otras dos muestras cristalinas no se detecta cuarzo sino que la sílice se encuentra en forma mayoritaria de tridimita y cristobalita, lo que hace suponer que durante el proceso de incineración se han alcanzado temperatura elevadas. También se detectan trazas de diversos fosfatos potásicos en la muestra CCAP-2 y CCAP-1 y feldespatos como la sanidina.

- **Cenizas de cáscara de arroz quemadas en horno:**

En el Cuadro N° 2.06, se recogen los datos encontrados referidos a la identificación mineralógica de las muestras de ceniza de cáscara de arroz quemada en horno, y en la Figura N° 2.06 se muestran sus difractogramas.

Cuadro N° 2.06: Identificación mineralógica de las muestras de ceniza de cáscara de arroz quemada en horno, por difracción de rayos X

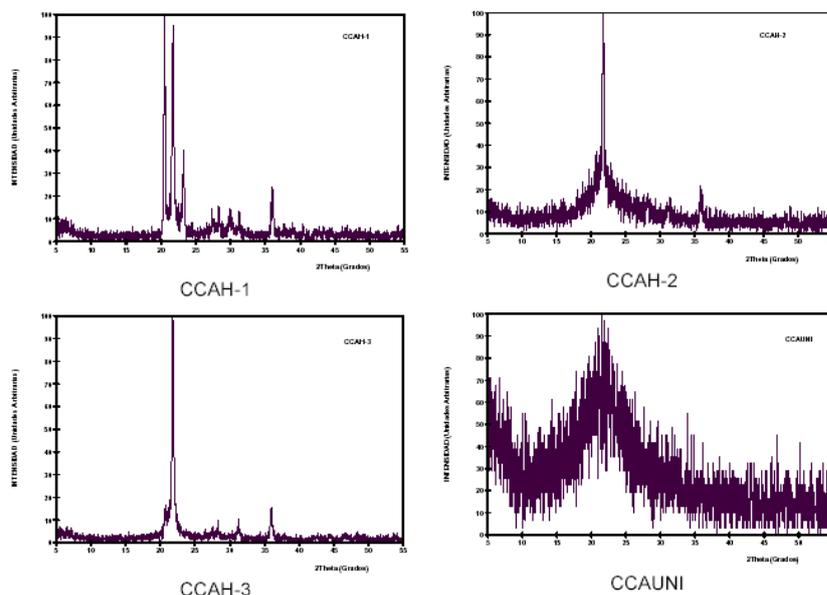
MINERAL	CCAH-1	CCAH-2	CCAH-3	CCAUNI	CCA DACSA
Tridimita $SiO_2$	xxx	xxx	x	xxx	xx
Cuarzo $SiO_2$			x		x
Cristobalita $SiO_2$			xxx		xxx
Mullita $Al_6Si_2O_{13}$					x
Óxido potásico $\alpha-K_2O$	xx	x		x	
Pentóxido de fósforo $\alpha-P_2O_5$	x	x		x	
Fosfato sódico potásico $KNa_2(PO_3)_3$	x	x			x
Pirofosfato potásico $\alpha-K_4P_2O_7$				x	x
Albita $NaAlSi_3O_8$		xx	x		
Sanidina $(Na,K)AlSi_3O_8$	x		x		
Ortoclasa $KAlSi_3O_8$		xx	x		
Grafito, C					x
Mica Moscovita $KMgAlSi_4O_{10}(OH)_2$		xx			
Calcita $CaCO_3$					x

Clave: xxx Comp. Mayoritarios xx Comp. Secundarios x Comp. minoritarios y/o posibles

De la Figura N° 2.06, se puede deducir que las muestras CCAH-1 (C IV) y CCAH-3 (C V) son cristalinas, mientras que la muestra CCAH-2 (C I) es parcialmente amorfa. La muestra quemada en el laboratorio (CCAUNI) es C I) muy amorfa.

En cuanto a la composición mineralógica las muestras cristalinas (CCAH-1 y CCAH-3), contienen como componentes mayoritarios tridimita y cristobalita, respectivamente, lo que pone de manifiesto que en su obtención se han alcanzado temperaturas muy elevadas, probablemente por encima de los 900°C.

Figura N° 2.06: Espectros de difracción de rayos X de las cenizas de cáscara de arroz quemadas en horno



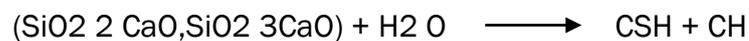
La muestra CCAH-2 (C I), aunque con un carácter parcialmente amorfo, como lo demuestra la desviación de la línea base, también tiene tridimita como componente principal. En estas tres muestras también se detectan trazas de minerales arcillosos tipo feldespatos (albita ortoclasa o sanidina), o de óxidos de potasio o de fósforo.

En la muestra obtenida en el horno de laboratorio se detecta casi como único componente la tridimita, a pesar de su elevada amorficidad. Quizás aunque en su obtención la muestra fue sometida a temperaturas elevadas, su enfriamiento fue relativamente rápido, lo que produjo dicho carácter amorfo.

## 2.6 Estudio de la reactividad puzolánica.

La denominada reacción puzolánica es principalmente la producida entre el óxido de Silicio o sílice ( $\text{SiO}_2$ ), la Cal o Hidroxido de Calcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , conocido como portlandita y el agua, para producir Silicatos de Calcio Hidratados (CSH). Es una reacción equivalente a la que se da en el cemento portland y se obtiene un producto muy similar. A continuación primero se expondrá sobre la reacción de hidratación del cemento Portland en la cual se produce  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y luego se tratará la reacción de la portlandita con las puzolanas.

Así la reacción de hidratación del cemento portland puede simplificarse, sin tener en cuenta la estequiometría ni las fases aluminosas, de la siguiente manera:



En esta ecuación el  $\text{SiO}_2 \cdot 2 \text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2 \cdot 3 \text{CaO}$  (Silicato bicálcico y tricálcico) son los componentes principales del cemento portland y CSH (Silicato de Calcio hidratado) y CH (Hidroxido de Calcio,  $\text{CaOH}$ ) son los productos de la reacción. Mientras que el (CSH) podría definirse como el “pegamento” del cemento y principal responsable de su resistencia e impermeabilidad, el (CH) no tiene valor cementante y se disuelve fácilmente en medios agresivos. La principal aportación de este compuesto es la de mantener un ambiente alcalino (Ph) alto que ayuda a proteger de la corrosión a las armaduras en el cemento armado. La capacidad cementante de estos compuestos es debida, entre otras cosas, a su estructura atómica.

El (CSH) posee una estructura altamente amorfa, con gran cantidad de ramificaciones que al entrecruzarse unas con otras forman un conjunto sólido, salpicado por partículas de (CH), cristalinas, y que suponen puntos de ruptura del entramado amorfo, creando puntos débiles en la estructura global.

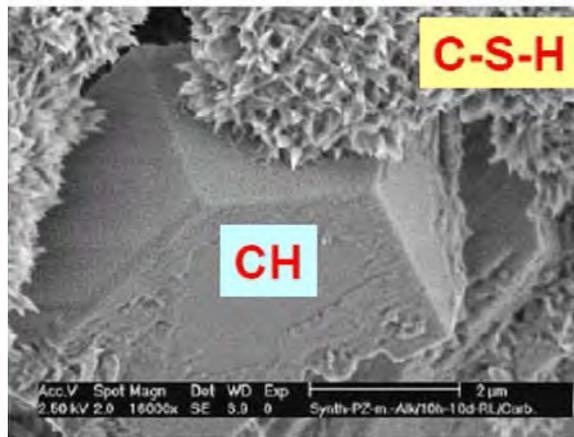
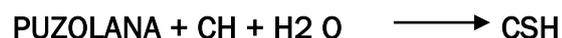


Figura N° 2.07: Micrografía de la reacción de hidratación.

Los granos de cemento, al contacto con el agua comienzan a desarrollar unos filamentos a su alrededor que en su conjunto forma el denominado gel. Los filamentos de cada grano se van entrelazando con los pertenecientes a los granos vecinos y así se forma la estructura ramificada de la Figura N° 2.07.

Pero esta red no ocupa todo el volumen de la mezcla, notándose la presencia de partículas del (CH), pero además existen espacios libres donde la red no puede llegar debido al relativo gran tamaño de las partículas, dejando una serie de espacios que contienen moléculas de agua. Debido a la diferencia de densidad esta agua tiende a salir hacia la superficie, formando en su camino los denominados poros capilares, que terminan debilitando la estructura global, al igual que las partículas de (CH).

Por su parte la reacción puzolámica tendría la siguiente forma:



Es decir, no se produce Cal, sino que la consume, siendo el reciente CHS formando su principal producto de reacción. Por tanto, si se adiciona cierta cantidad controlada de puzolana dentro del cemento portland ésta reaccionaría con el (CH) producto de la hidratación del cemento Portland provocando la reducción de fases no deseadas y transformándolas en otras que contribuirán al aumento de su resistencia.

La nucleación del (CH) alrededor de las partículas de puzolana, más finas, y distribuidas por toda la red reemplazará los cristales de (CH) (grandes y orientados) por otros cristales (mucho más pequeños y amorfos) procedentes de la reacción puzolánica.

Además de los efectos derivados de la componente química de la adición son igualmente importantes aquellos derivados de la componente física, relacionados con su tamaño de partícula y su superficie específica. Aunque depende del tipo de

puzolana y del proceso de molienda éstas presentan generalmente tamaños de grano muy pequeños, esto es, molienda a una gran superficie específica.

Estas partículas minúscula se introducen en la red creada por el cemento, situándose entre sus granos y desarrollando sus propios filamentos de gel, y promoviendo una mayor compacidad de la mezcla que da como resultado una menor porosidad y por tanto una mayor resistencia e impermeabilidad.

#### **En resumen:**

La reacción puzolánica consume (CH) en lugar de generarlo, lo que hace más resistente a las mezclas en ambientes acidos y otros.

Debido a su pequeño tamaño de grano las puzolanas rellenan muy finamente los espacios vacios dificultando la formación de los poros capilares que se generan en la hidratación del cemento.

Es una reacción lenta, por lo que la liberación de calor también lo será, aportando estabilidad, pero retrasando el fraguado.

#### • **Estudio de la reactividad puzolánica.**

La reacción del cemento Pórtland con agua, mediante una serie de procesos da como resultado productos de hidratación y libera portlandita.

Esta portlandita liberada, en presencia de materiales puzolánicos activos puede dar lugar a la formación de nuevos productos de hidratación, similares a los formados en la hidratación del cemento.

Para estudiar la reactividad puzolánica de las muestras se procedió a llevar a cabo la preparación de pastas de cemento, donde se sustituye un porcentaje de cemento por las distintas muestras. En este caso, se prepara una pasta control de cemento con relación agua/ cemento 0.5, para conocer el porcentaje de cal liberada en la pasta control, para cada edad de curado determinada.

Para cada tiempo de curado se recoge una porción de pasta, se machaca en un mortero de ágata con acetona para detener las reacciones de hidratación, luego la mezcla se filtra y el sólido se seca en estufa a 60 °C durante 30 minutos.

El método que se aplicó a todas las muestras analizadas tenia como características principales:

- Intervalo de calentamiento de 35-600°C.
- Velocidad de calentamiento de 10°C/min.
- Crisol de aluminio de 100 µL sellable con orificio en la tapa para atmósfera autogenerada.

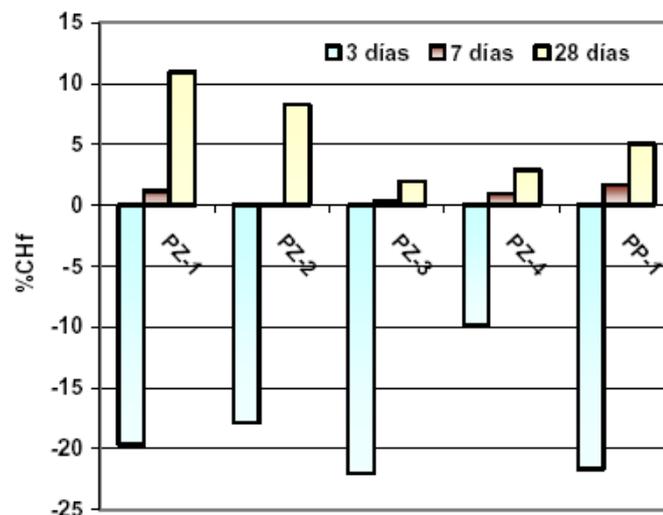
Se eligió dicho intervalo de temperaturas, debido a que los procesos de deshidratación de los hidratos formados, así como de deshidroxilación de la cal que queda disponible se encuentran en este intervalo.

#### a) Estudio de reactividad puzolánica con puzolanas naturales

Para este estudio se fabricó una pasta control (solo cemento) con una relación agua/binder 0.5, y pastas cemento/puzolana con un 15% de sustitución de cemento por puzolana. Dichas pastas también tienen una relación agua/binder de 0.5. Las pastas se guardaron en botes de polietileno cerrados y mantenidos en cámara húmeda a 20°C. Los tiempos de curado fueron 3, 7 y 28 días de curado. Como materiales puzolánicos se utilizaron las puzolanas naturales PZ-1, PZ-2, PZ-3 y PZ-4. Todas ellas se usaron tratadas (machacadas con mortero y tamizadas).

Para cada edad, se recoge una porción de pasta, se machaca en un mortero de ágata con acetona para detener las reacciones de hidratación. La mezcla se filtra y el sólido se seca en estufa a 60°C durante 30 minutos.

En la Gráfica N° 2.07, se representa la evolución del porcentaje de Cal fijada para cada pasta a cada edad de curado correspondiente. Se puede observar que:



Gráfica N° 2.07: Evolución del porcentaje de Cal fijada (CHF) en función del tiempo de curado para pastas/puzolana

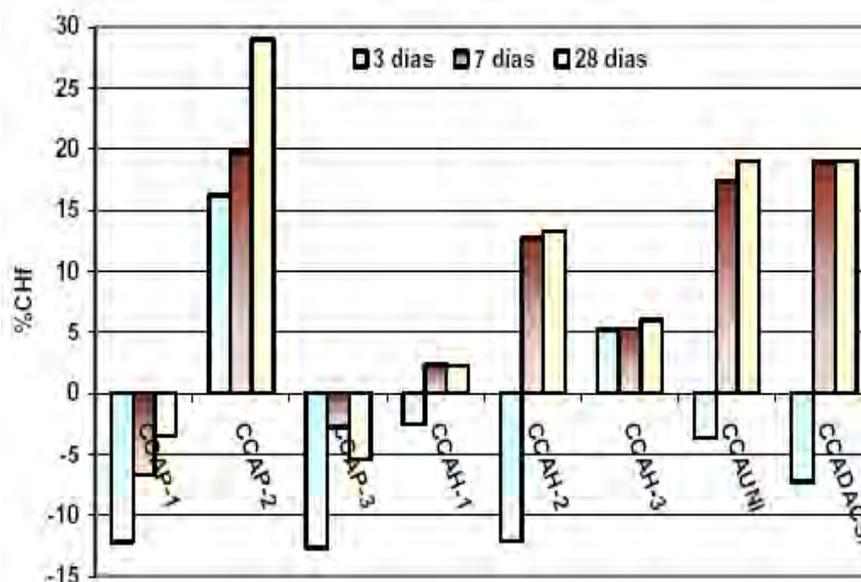
- Todas las puzolanas no presentan actividad puzolánica a 3 días de curado, sino que aceleran la reacción de hidratación del cemento, hecho que se pone de manifiesto por la obtención de porcentajes de Cal fijada negativos.
- A 7 días de curado, prácticamente actúan como materiales inertes ya que el porcentaje de cal fijada es muy pequeño (menor del 2%)

- A 28 días de curado si se observan porcentajes de fijación de cal positivos, para todos los materiales.
- Las puzolanas más reactivas son la PZ-1, proveniente de Arequipa y la PZ-2, de Conchupata (Ayacucho). En el caso de esta última parece lógico su comportamiento a la vista de que se trata de un material amorfo. Sin embargo, en el caso de la PZ-1 no parece ser esa la explicación, ya que es cristalino.

### b) Estudio de reactividad puzolánica con cenizas de cáscara de arroz

Para este estudio se fabricó una pasta control (solo cemento) con una relación agua/binder 0.5, y pastas cemento/ceniza con un 15% de sustitución de cemento por ceniza de cáscara de arroz. Dichas pastas también tienen una relación agua/binder de 0.5. Las pastas se guardaron en frascos de polietileno cerrados y mantenidos en cámara húmeda a 20 °C. Los tiempos de curado fueron 3, 7 y 28 días. Las cenizas utilizadas fueron las cenizas de cáscara de arroz quemadas en pampa, las muestras CCAP-1, CCAP-2 y CCAP-3. En el caso de cenizas de cáscara de arroz quemadas en horno las muestras CCAH-1, CCH-2 y CCAH-3.

Para cada edad, se recoge una porción de pasta, se machaca en un mortero de ágata con acetona para detener las reacciones de hidratación. La mezcla se filtra y el sólido se seca en estufa a 60 °C durante 30 minutos. En la Gráfica N° 2.08, se representa la evolución del porcentaje de cal fijada para cada pasta a cada edad de curado correspondiente. Podemos observar que:



Gráfica N° 2.08: Evolución del porcentaje de Cal fijada (CHF) en función del tiempo de curado, para pastas/ceniza.

- En general, a tres días de curado se detecta un porcentaje de cal fijada negativo para todas las pastas, excepto para las que contienen CCAP-2 (C II) y CCAH-3 (C V). Como anteriormente se ha comentado, este hecho es indicativo que las cenizas están acelerando los procesos de hidratación del cemento.
- De las cenizas quemadas en pampa la única que manifiesta actividad puzolánica es la ceniza CCAP-2 (C II), procedente de la Molinera Trasamazónica del Departamento de San Martín.
- La reactividad de la ceniza CCAP-2 (C II) es importante, ya a 3 días de curado presenta un porcentaje de cal fijada que supera el 15% y alcanza el 29% a 28 días de curado. Los resultados están de acuerdo con las características físico-químicas encontradas. De las tres cenizas de pampa es la ceniza más amorfa, también se trata de la ceniza de este tipo que presenta un mayor número de partículas por debajo de 10  $\mu\text{m}$ .
- De las cenizas obtenidas en horno la más reactiva es la muestra CCAH-3 (C V), procedente de Tarapoto, que alcanza un porcentaje de fijación de cal del 13.25% a 28 días de curado, aunque como se observa es menor que para la ceniza de pampa CCAP-2 (C II).
- En este caso, también la mayor reactividad se puede justificar por sus características físico-químicas; es la más amorfa, con el aspecto de su estructura menos redondeado y mayor porcentaje de partículas por debajo de 10  $\mu\text{m}$  respecto de las otras dos cenizas obtenidas en horno.

De los estudios realizados se puede concluir que las puzolanas naturales y las cenizas de cáscara de arroz son reactivas, siendo estas últimas en mayor medida.

De las puzolanas naturales estudiadas las más reactivas son la PZ-1 (P IV) del departamento de Arequipa y la PZ-2 (P I) de Conchupata de Ayacucho, mientras que las cenizas de cáscara de arroz más reactivas son la CCAP-2 (C II) de la Molinera Transamazónica y la CCAH-3 (C V) de la Molinera San Hilarión. No obstante, hay que tener en cuenta que la reactividad se ha estimado determinando la Cal fijada mediante análisis termogravimétrico, por lo que deberían confirmarse los resultados determinando las resistencias mecánicas en morteros elaborados con dichas puzolanas.

## CAPITULO III PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS COMPONENTES DEL MORTERO

La determinación de las propiedades físicas de los materiales componentes del mortero y concreto se realizaron de acuerdo a la normatividad actual.

La dosificación de los morteros para el uso en revestimientos (tarrajeo), como mortero de adherencia (pegado de unidades de albañilería) y coberturas, serán los óptimos de acuerdo a los ensayos realizados que se mostrarán en este capítulo.

Así también, la dosificación optimizada para la elaboración de bloquetas de concreto, las cuales serán utilizados en la elaboración de los muros de albañilería armada del sistema constructivo Domozed.

### 3.1 Consideraciones generales

Para la elaboración del mortero y concreto a utilizarse en los sistemas constructivos descritos se utilizará la ceniza de cáscara de arroz denominado (CV) para todos los casos.

Como prueba de ello se construyeron dos módulos para la utilización de los elementos prefabricados indicados, como se aprecian en los capítulos V y VI respectivamente.

### 3.2 Propiedades físicas de los componentes del mortero y concreto.

#### a) Cemento.

El cemento utilizado es el cemento Portland Tipo I, se verificó su buen estado, cumple con la norma técnica ASTM C-150.

#### b) Agua.

El agua potable es de la red pública correspondiente al Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales, cumpliendo los límites permisibles indicados en la norma técnica.

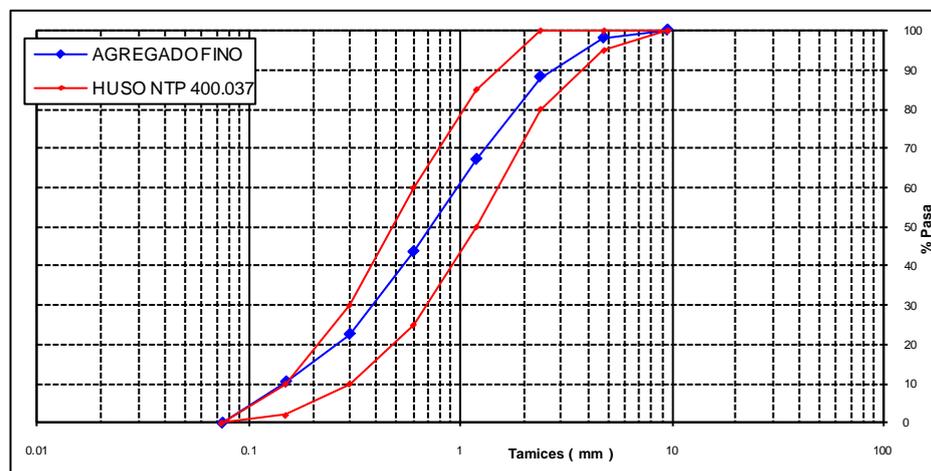
#### c) Agregado fino, granulometría y propiedades físicas de la arena.

La arena tiene como procedencia la cantera San Martín en Lima, según el análisis granulométrico realizado de acuerdo a la N.T.P. 400.037 como se aprecia en el cuadro N° 3.01, la arena es predominante gruesa con un módulo de finura de 2.98, que encaja dentro del uso granulométrico ASTM C-33, como se indica en el gráfico N° 3.01.

Cuadro N° 3.01: Granulometría de la Arena

TAMIZ MALLA N°	PESO RETENIDO (gr.)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	(%) QUE PASA
1/2 "	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8 "	0.00	0.00	0.00	100.00
1/4 "	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	13.50	2.70	2.70	97.30
N° 8	85.00	17.00	19.70	80.30
N° 16	101.50	20.30	40.00	60.00
N° 30	103.50	20.70	60.70	39.30
N° 50	104.00	20.80	81.50	18.50
N° 100	61.50	12.30	93.80	6.20
FONDO	31.00	6.20	100.00	0.00
SUMA	500	100	MÓDULO DE FINEZA:	2.98

Gráfico 3.01: Curva granulométrica de la arena, uso ASTM-C33



Así también, se determinó las propiedades físicas de la arena como el módulo de finura, contenido de humedad, pesos unitarios; suelto y compactado, pesos específicos y porcentaje de absorción, como se indica el resumen de los resultados obtenidos en el cuadro N°3.02, encontrándose los resultados completos de los ensayos de laboratorio en la Ficha N°1 y Ficha N°2 del Anexo 1.

Cuadro N° 3.02: Resumen de las propiedades físicas de la arena

DESCRIPCIÓN: PROPIEDADES FÍSICAS DE LA ARENA	
MÓDULO DE FINEZA	2.7
PESO UNITARIO SUELTO (kg./m. <sup>3</sup> )	1707
PESO UNITARIO COMPACTADO (kg./m. <sup>3</sup> )	1935
PESO ESPECÍFICO (gr./cm. <sup>3</sup> )	2.6
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	0.81
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	1.32

**d) Agregado grueso, granulometría y propiedades físicas de la piedra.**

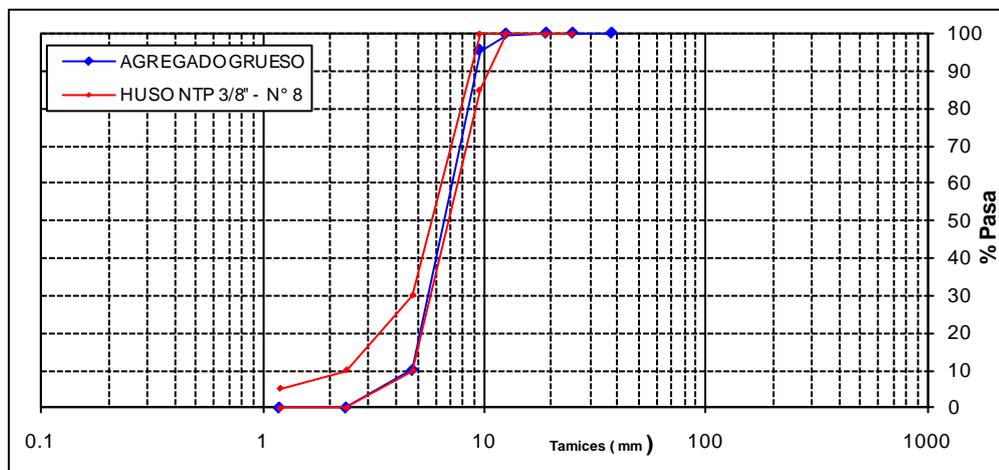
La piedra tiene como procedencia la cantera La Gloria, según el análisis granulométrico realizado de acuerdo a la N.T.P. 400.037 como se aprecia en el cuadro N°3.03, la piedra es predominante fina, denominado confitillo, con un módulo de finura de 5.94, que encaja dentro del uso granulométrico ASTM 8, como se indica en el Gráfico N° 3.02

Cuadro N°3.03: Granulometría de la piedra

TAMIZ MALLA N°	PESO RETENIDO (gr.)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	(%) QUE PASA
1 1/2 "	0.00	0.00	0.00	100.00
1 "	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4 "	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2 "	12.50	0.25	0.25	99.75
3/8 "	213.00	4.26	4.51	95.49
1/4 "	3519.50	70.39	74.90	25.10
N° 4	753.50	15.07	89.97	10.03
FONDO	501.50	10.03	100.00	0.00
SUMA	5000	100	MÓDULO DE FINEZA:	5.94

Así también, se determinó las propiedades físicas de la piedra como el módulo de finura, contenido de humedad, pesos unitarios; suelto y compactado, pesos específicos y porcentaje de absorción, como se indica el resumen de los resultados obtenidos en el Cuadro N° 3.04, encontrándose los resultados completos de los ensayos de laboratorio en la Ficha N°1 y Ficha N°2 del Anexo 1.

Gráfico N° 3.02: Curva granulométrica de la piedra, uso ASTM 6



Cuadro N° 3.04: Resumen de las propiedades físicas de la Piedra

DESCRIPCIÓN: PROPIEDADES FÍSICAS DE LA PIEDRA	
MÓDULO DE FINEZA	5.94
PESO UNITARIO SUELTO (kg./m. <sup>3</sup> )	1441
PESO UNITARIO COMPACTADO (kg./m. <sup>3</sup> )	1616
PESO ESPECÍFICO (gr./cm. <sup>3</sup> )	2.67
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	0.55
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	1.37
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	1 "

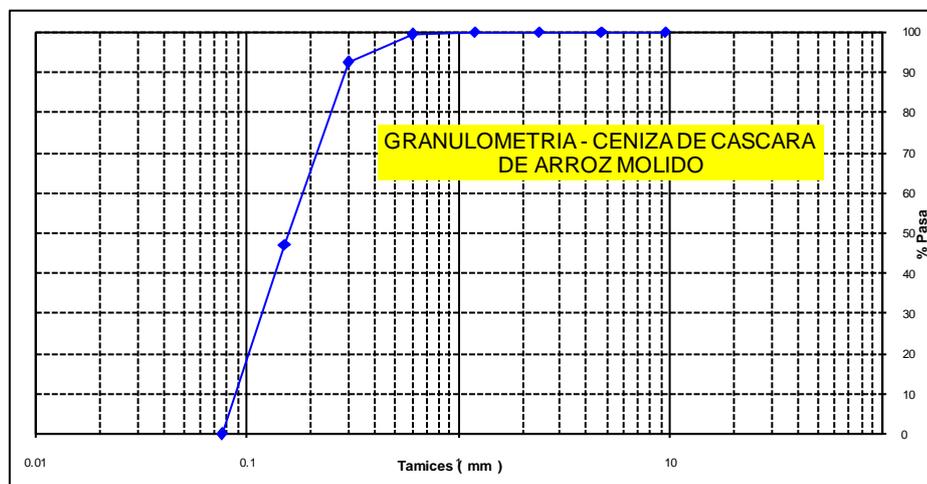
e) Granulometría de la ceniza de cáscara de arroz.

La preparación de la muestra luego de secadas al horno se realizo la molienda en aproximadamente 1h 45' en el molino de bolas del proyecto. Luego se realizó la granulometría ceniza de cáscara de arroz obteniendo los siguientes resultados como se observan en el Cuadro N° 3.05 y Gráfico N° 3.03.

Cuadro N° 3.05: Granulometría de la ceniza de cáscara de arroz

TAMIZ ( Pulg )	% RET.	% RET. ACUM.	% PASA
3/8"	0.00	0.00	100.00
N°4	0.00	0.00	100.00
N°8	0.00	0.00	100.00
N°16	0.00	0.00	100.00
N°30	0.00	0.00	100.00
N°50	0.75	0.75	99.25
N°100	7.00	7.75	92.25
N°200	45.00	52.75	47.25
FONDO	47.25	100.00	0.00

Gráfico N° 3.03: Curva granulométrica de la ceniza de cascara de arroz



### 3.3 Diseño de mezcla del mortero control y con puzolana en el concreto.

Con la finalidad de elaborar los elementos prefabricados de mortero o concreto, se realizó el diseño de mezclas de mortero de control sin considerar las puzolanas naturales y luego el diseño adicionándolas en reemplazo de una parte del cemento.

Para el análisis de las puzolanas volcánicas, se realizó la molienda de manera manual, ver la Foto N° 3.01, y luego son pasadas por la malla N° 325 para darle la finura al cemento con la finalidad de analizar sus propiedades mecánicas.



Foto N° 3.01: Tamizado de las puzolanas naturales

Para el análisis de la ceniza de cáscara de arroz, la muestra fue molida utilizando el molino de bolas, en un tiempo aproximado de 45 minutos para darle la finura similar al cemento, con la finalidad de elaborar mortero de control y mortero con la adición de las cenizas reemplazándola del 10% y 15% del peso de cemento con la finalidad de verificar su performance.

De los resultados obtenidos de las puzolanas volcánicas y de las cenizas de cáscara de arroz se determinará la puzolana natural que mostró la mejor resistencia a la compresión. Las pruebas se realizaron en el laboratorio de cemento del L.E.M. N° 1 de la FIC-UNI.

#### a) Diseño de mezcla del mortero de control y del mortero con la adición de las puzolanas volcánicas.

Se prepararon mezclas de control a base de mortero de cemento en una proporción de 1 : 2.75 y una relación (agua/cemento) = 0.60. La arena utilizada es de la cantera San Martín y cemento Portland Tipo I (Sol de Cementos Lima).

La dosificación utilizada es el siguiente;

#### MEZCLA DE CONTROL:

(Cemento, Arena, Agua) = (500, 1375, 300 ml.),  $a/c = 0.60$

Una vez obtenido el diseño patrón se reemplazó parte del cemento por el 20% de puzolana y ceniza de cáscara de arroz.

**FLUIDEZ:**

La fluidez del mortero deberá encontrarse entre el  $110 \pm 5\%$ , utilizando la mesa de sacudidas, Con la finalidad de encontrar el óptimo contenido de agua, del ensayo de Fluidez se obtuvo 300 ml. de agua.

Los resultados de los ensayos de compresión del mortero de control y con la adición de las puzolanas volcánicas se indican en los Cuadros N° 3.06, 3.07 y 3.08.

**b) Diseño de mezcla del mortero de control y con la adición de la ceniza de cáscara de arroz.**

Se prepararon mezclas de control a base de mortero de cemento en una proporción de 1 : 2.75 y una relación (agua/cemento) = 0.60. La arena utilizada es de la cantera San Martín y cemento Portland Tipo I (Sol de Cementos Lima). La dosificación utilizada es el siguiente;

**DISEÑO CONTROL:**

(Cemento, Arena, Agua) = (500, 1375, 300 ml.),  $a/c = 0.60$

Una vez obtenido el diseño patrón se reemplazó parte del cemento por una cantidad el 10% y 15% de ceniza de cáscara de arroz, de la siguiente manera;

**FLUIDEZ:**

La fluidez del mortero deberá encontrarse entre el  $110 \pm 5\%$ , utilizando la mesa de sacudidas se encontró el óptimo contenido de agua de 300 ml.

Los resultados de la mezcla del mortero de control y de los ensayos de compresión se indicarán en los Cuadros N° 3.09, 3.10 y 3.11. En resumen de las dosificaciones utilizadas es el siguiente;

**MEZCLA DE CONTROL MÁS 10% DE CENIZA:**

(Cemento, Arena, Ceniza, (a/c) ) = (500, 1375, 50,  $a/c = 0.60$ )

De la dosificación se observa el reemplazo de parte del cemento en 10% de la ceniza de cáscara de arroz.

### MEZCLA DE CONTROL MÁS 15% DE CENIZA:

(Cemento, Arena, Ceniza, (a/c) ) = (500, 1375, 75, a/c = 0.60)

De la dosificación se observa el reemplazo de parte del cemento en 15% de la ceniza de cáscara de arroz.

### 3.4 Ensayos mecánicos de compresión de los testigos elaborados.

Con la finalidad de conocer la resistencia a la compresión del mortero de control y con la adición de las puzolanas naturales se elaboraron especímenes en probetas en moldes cúbicos de 5 x 5 x 5 cm. para la realización de los ensayos de compresión en el mortero endurecido.



Foto N° 3.02: Ensayo de compresión en mortero de cemento con ceniza de cáscara de arroz.

#### a) Ensayos de compresión del mortero con las puzolanas volcánicas.

En los resultados del cuadro N°3.06, se observa el ensayo de compresión del mortero de control, obteniéndose una resistencia a los 28 días de 372 kg./cm.<sup>2</sup> y a los 45 días una resistencia de 380 kg./cm.<sup>2</sup>.

Cuadro N°3.06: Ensayo de Compresión en mortero de control

LABORATORIO DE CEMENTO					CEMENTO		500		100%		CUADRO N° 2:						
DISEÑO PATRON: MORTERO DE CEMENTO					ARENA		1375				ING: CARLOS VILLEGAS						
FECHA: MARTES 03/03/09					AGUA		300				TEC: F.R.L. R.V.M.						
DOSIFICACION: 1 : 2.75					( a / c )		0.60										
N° CUBO	IDENTIFICA. TESTIGOS	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	NUMERO DE DIAS	FLUIDEZ					FLUIDEZ (%)	SECCION		AREA (cm. <sup>2</sup> )	CARGA (kg.)	ESFUERZO (kg./cm. <sup>2</sup> )	ESFUERZO (kg./cm. <sup>2</sup> )	ESFUERZO (Mpa.)
					D1	D2	D3	D4	DP		L1	L2					
1	PA(0.60)	03/03/2009	10/03/2009	7	15.10	15	15.10	15.00	15.05	48.13	5	5	25	7800	312	275	28
2	PA(0.60)	03/03/2009	10/03/2009	7	15.10	15	15.10	15.00	15.05	48.13	5	5	25	6500	260		
3	PA(0.60)	03/03/2009	10/03/2009	7	15.10	15	15.10	15.00	15.05	48.13	5	5	25	6350	254		
4	PB(0.60)	03/03/2009	31/03/2009	28	15.10	15	15.10	15.00	15.05	48.13	5	5	25	9000	360	372	37
5	PB(0.60)	03/03/2009	31/03/2009	28	15.10	15	15.10	15.00	15.05	48.13	5	5	25	10700	428		
6	PB(0.60)	03/03/2009	31/03/2009	28	15.10	15	15.10	15.00	15.05	48.13	5	5	25	8200	328		
7	PC(0.60)	03/03/2009	17/04/2009	45	15.5	15.4	15.5	15.5	15.475	52.31	5	5	25	10000	400	380	38
8	PC(0.60)	03/03/2009	17/04/2009	45	15.5	15.4	15.5	15.5	15.475	52.31	5	5	25	9100	364		
9	PC(0.60)	03/03/2009	17/04/2009	45	15.5	15.4	15.5	15.5	15.475	52.31	5	5	25	9400	376		
10	PD(0.60)	03/03/2009	01/06/2009	90	15.5	15.4	15.5	15.5	15.475	52.31	5	5	25		0	0	0
11	PD(0.60)	03/03/2009	01/06/2009	90	15.5	15.4	15.5	15.5	15.475	52.31	5	5	25		0		
12	PD(0.60)	03/03/2009	01/06/2009	90	15.5	15.4	15.5	15.5	15.475	52.31	5	5	25		0		

A continuación se presenta en el cuadro N°3.07 los resultados de resistencia a la compresión realizados en las fechas indicadas de elaboración a los especímenes del mortero de control más la adición del 20% de la puzolana PI (CONCHUPATA).

Cuadro N°3.07: Ensayo de compresión del mortero de control más la puzolana PI CONCHUPATA

LABORATORIO DE CEMENTO		CEMENTO		400	80%	CUADRO N° 3:											
DISEÑO PATRON + PUZOLANA P I (CONCHUPATA)		ARENA		1375													
FECHA: MIERCOLES 11/03/09		PUZOLANA		100	20%	ING: CARLOS VILLEGAS											
DOSIFICACION: 1 : 2.75		AGUA		300		TEC: F.R.L. R.V.M.											
		(a/c)		0.60													
N° CUBO	IDENTIFICA. TESTIGOS	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	NUMERO DE DIAS	FLUIDEZ					FLUIDEZ (%)	SECCION		AREA (cm.²)	CARGA (kg.)	ESFUERZO (kg./cm.²)	ESFUERZO (kg./cm.²)	ESFUERZO (Mpa.)
					D1	D2	D3	D4	DP		L1	L2					
1	PIA (0.60)	11/03/2009	18/03/2009	7	12.50	13.00	12.60	13.00	12.78	25.74	5	5	25	4850	194	199	20
2	PIA (0.60)	11/03/2009	18/03/2009	7	12.50	13.00	12.60	13.00	12.78	25.74	5	5	25	4910	196.4		
3	PIA (0.60)	11/03/2009	18/03/2009	7	12.50	13.00	12.60	13.00	12.78	25.74	5	5	25	5200	208		
4	PIB (0.60)	11/03/2009	08/04/2009	28	12.50	13.00	12.60	13.00	12.78	25.74	5	5	25	5500	220	236	24
5	PIB (0.60)	11/03/2009	08/04/2009	28	12.50	13.00	12.60	13.00	12.78	25.74	5	5	25	6400	256		
6	PIB (0.60)	11/03/2009	08/04/2009	28	12.50	13.00	12.60	13.00	12.78	25.74	5	5	25	5800	232		
7	PIC (0.60)	11/03/2009	25/04/2009	45	12.90	13.10	13.10	12.90	13.00	27.95	5	5	25	7100	284	267	27
8	PIC (0.60)	11/03/2009	25/04/2009	45	12.90	13.10	13.10	12.90	13.00	27.95	5	5	25	6600	264		
9	PIC (0.60)	11/03/2009	25/04/2009	45	12.90	13.10	13.10	12.90	13.00	27.95	5	5	25	6300	252		
10	PID (0.60)	11/03/2009	25/06/2009	90	12.90	13.10	13.10	12.90	13.00	27.95	5	5	25		0	0	0
11	PID (0.60)	11/03/2009	25/06/2009	90	12.90	13.10	13.10	12.90	13.00	27.95	5	5	25		0		
12	PID (0.60)	11/03/2009	25/06/2009	90	12.90	13.10	13.10	12.90	13.00	27.95	5	5	25		0		

Se presenta en el cuadro N°3.08 los resultados de resistencia a la compresión realizados en las fechas indicadas de elaboración de los especímenes del mortero de control más la adición del 20% de la puzolana PII (TOTORILLA).

Cuadro N°3.08: Ensayo de compresión del mortero de control más la puzolana PII (TOTORILLA)

LABORATORIO DE CEMENTO		CEMENTO		400	80%	CUADRO N° 4:											
DISEÑO PATRON + PUZOLANA P II (TOTORILLA)		ARENA		1375													
FECHA: VIERNES 06/03/09		PUZOLANA		100	20%	ING: CARLOS VILLEGAS											
DOSIFICACION: 1 : 2.75		AGUA		300		TEC: F.R.L. R.V.M.											
		(a/c)		0.60													
N° CUBO	IDENTIFICA. TESTIGOS	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	NUMERO DE DIAS	FLUIDEZ					FLUIDEZ (%)	SECCION		AREA (cm.²)	CARGA (kg.)	ESFUERZO (kg./cm.²)	ESFUERZO (kg./cm.²)	ESFUERZO (Mpa.)
					D1	D2	D3	D4	DP		L1	L2					
1	PIIA (0.60)	06/03/2009	13/03/2009	7	13.20	13.1	13.00	13.10	13.1	28.94	5	5	25	4500	180	183	18
2	PIIA (0.60)	06/03/2009	13/03/2009	7	13.20	13.1	13.00	13.10	13.1	28.94	5	5	25	4800	192		
3	PIIA (0.60)	06/03/2009	13/03/2009	7	13.20	13.1	13.00	13.10	13.1	28.94	5	5	25	4400	176		
4	PIIB (0.60)	06/03/2009	03/04/2009	28	13.20	13.1	13.00	13.10	13.1	28.94	5	5	25	6850	274	275	27
5	PIIB (0.60)	06/03/2009	03/04/2009	28	13.20	13.1	13.00	13.10	13.1	28.94	5	5	25	7300	292		
6	PIIB (0.60)	06/03/2009	03/04/2009	28	13.20	13.1	13.00	13.10	13.1	28.94	5	5	25	6450	258		
7	PIIC (0.60)	06/03/2009	20/04/2009	45	13.3	13.2	13.2	13.2	13.225	30.17	5	5	25	7200	288	282	28
8	PIIC (0.60)	06/03/2009	20/04/2009	45	13.3	13.2	13.2	13.2	13.225	30.17	5	5	25	6950	278		
9	PIIC (0.60)	06/03/2009	20/04/2009	45	13.3	13.2	13.2	13.2	13.225	30.17	5	5	25	7000	280		
10	PIID (0.60)	06/03/2009	05/06/2009	90	13.3	13.2	13.2	13.2	13.225	30.17	5	5	25		0	0	0
11	PIID (0.60)	06/03/2009	05/06/2009	90	13.3	13.2	13.2	13.2	13.225	30.17	5	5	25		0		
12	PIID (0.60)	06/03/2009	05/06/2009	90	13.3	13.2	13.2	13.2	13.225	30.17	5	5	25		0		

Se presenta en Se presenta en el cuadro N°3.09 los resultados de resistencia a la compresión realizados en las fechas indicadas de elaborados los especímenes del mortero de control más la adición del 20% de la puzolana PIII (TANTURJO).

Cuadro N°3.09: Ensayo de compresión del mortero de control más la puzolana PIII (TANTURJO)

LABORATORIO DE CEMENTO					CEMENTO 400 80%					CUADRO N° 5:							
DISEÑO PATRON + PUZOLANA P III (TANTURJO)					ARENA 1375					ING: CARLOS VILLEGAS							
FECHA: MARTES 10/03/09					PUZOLANA 100 20%					TEC: F.R.L. R.V.M.							
DOSIFICACION: 1 : 2.75					AGUA 300												
					(a / c) 0.60												
N° CUBO	IDENTIFICA. TESTIGOS	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	NUMERO DE DIAS	FLUIDEZ					FLUIDEZ (%)	SECCION		AREA (cm.²)	CARGA (kg.)	ESFUERZO (kg./cm.²)	ESFUERZO (kg./cm.²)	ESFUERZO (Mpa.)
					D1	D2	D3	D4	DP		L1	L2					
1	PIII A (0.60)	10/03/2009	17/03/2009	7	12.00	12.00	12.50	12.50	12.25	20.57	5	5	25	6050	242	225	23
2	PIII A (0.60)	10/03/2009	17/03/2009	7	12.00	12.00	12.50	12.50	12.25	20.57	5	5	25	5450	218		
3	PIII A (0.60)	10/03/2009	17/03/2009	7	12.00	12.00	12.50	12.50	12.25	20.57	5	5	25	5400	216		
4	PIII B (0.60)	10/03/2009	07/04/2009	28	12.00	12.00	12.50	12.50	12.25	20.57	5	5	25	6050	242	239	24
5	PIII B (0.60)	10/03/2009	07/04/2009	28	12.00	12.00	12.50	12.50	12.25	20.57	5	5	25	5800	232		
6	PIII B (0.60)	10/03/2009	07/04/2009	28	12.00	12.00	12.50	12.50	12.25	20.57	5	5	25	6100	244		
7	PIII C (0.60)	10/03/2009	24/04/2009	45	12.20	12.20	12.15	12.20	12.188	19.96	5	5	25	7150	286	266	27
8	PIII C (0.60)	10/03/2009	24/04/2009	45	12.20	12.20	12.15	12.20	12.188	19.96	5	5	25	6100	244		
9	PIII C (0.60)	10/03/2009	24/04/2009	45	12.20	12.20	12.15	12.20	12.188	19.96	5	5	25	6700	268		
10	PIII D (0.60)	10/03/2009	08/06/2009	90	12.20	12.20	12.15	12.20	12.188	19.96	5	5	25		0	0	0
11	PIII D (0.60)	10/03/2009	08/06/2009	90	12.20	12.20	12.15	12.20	12.188	19.96	5	5	25		0		
12	PIII D (0.60)	10/03/2009	08/06/2009	90	12.20	12.20	12.15	12.20	12.188	19.96	5	5	25		0		

b) Ensayos de compresión del mortero elaborada con la ceniza de cáscara de arroz.

En los resultados del cuadro N° 3.09, se observa el ensayo de fluidez se encuentra dentro del rango establecido y la resistencia a la compresión de las muestras se encuentra en el cuadro adjunto.

Cuadro N°3.10: Ensayo de Compresión en mortero de cemento de control

LABORATORIO DE CEMENTO					CEMENTO 500 100%					FLUIDEZ 110 ± 5%						
CONTROL					ARENA 1375					ING: CARLOS VILLEGAS						
FECHA: JUEVES 10/09/09					CENIZA 0 0%					TEC: R.V.M.						
DOSIFICACION: 1 : 2.75					AGUA 300											
					(agua/conglomerante) 0.60											
N° CUBO	IDENTIFICA. TESTIGOS	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	NUMERO DE DIAS	FLUIDEZ					FLUIDEZ (%)	SECCION		AREA (cm.²)	CARGA (kg.)	ESFUERZO (kg./cm.²)	ESF.PROM. (kg./cm.²)
					D1	D2	D3	D4	DP		L1	L2				
1	P A (0%)	03/09/2010	10/09/2010	7	21.30	21.70	21.60	21.30	21.48	111.37	5	5	25	8300	332	343
2	P A (0%)	03/09/2010	10/09/2010	7	21.30	21.70	21.60	21.30	21.48	111.37	5	5	25	9000	360	
3	P A (0%)	03/09/2010	10/09/2010	7	21.30	21.70	21.60	21.30	21.48	111.37	5	5	25	8400	336	
4	P A (0%)	03/09/2010	10/09/2010	7	21.30	21.70	21.60	21.30	21.48	111.37	5	5	25	8700	348	
5	P A (0%)	03/09/2010	10/09/2010	7	21.30	21.70	21.60	21.30	21.48	111.37	5	5	25	8850	354	
6	P A (0%)	03/09/2010	10/09/2010	7	21.30	21.70	21.60	21.30	21.48	111.37	5	5	25	8150	326	
7	P B (0%)	03/09/2010	01/10/2010	28	21.70	21.60	21.80	21.60	21.68	113.34	5	5	25	9300	372	397
8	P B (0%)	03/09/2010	01/10/2010	28	21.70	21.60	21.80	21.60	21.68	113.34	5	5	25	9750	390	
9	P B (0%)	03/09/2010	01/10/2010	28	21.70	21.60	21.80	21.60	21.68	113.34	5	5	25	10500	420	
10	P B (0%)	03/09/2010	01/10/2010	28	21.70	21.60	21.80	21.60	21.68	113.34	5	5	25	10000	400	
11	P B (0%)	03/09/2010	01/10/2010	28	21.70	21.60	21.80	21.60	21.68	113.34	5	5	25	9800	392	
12	P B (0%)	03/09/2010	01/10/2010	28	21.70	21.60	21.80	21.60	21.68	113.34	5	5	25	10250	410	
13	P C (0%)	03/09/2010	14/10/2010	45	21.00	20.70	20.70	21.00	20.85	105.22	5	5	25	11400	456	467
14	P C (0%)	03/09/2010	14/10/2010	45	21.00	20.70	20.70	21.00	20.85	105.22	5	5	25	12100	484	
15	P C (0%)	03/09/2010	14/10/2010	45	21.00	20.70	20.70	21.00	20.85	105.22	5	5	25	11000	440	
16	P C (0%)	03/09/2010	14/10/2010	45	21.00	20.70	20.70	21.00	20.85	105.22	5	5	25	11500	460	
17	P C (0%)	03/09/2010	14/10/2010	45	21.00	20.70	20.70	21.00	20.85	105.22	5	5	25	11900	476	
18	P C (0%)	03/09/2010	14/10/2010	45	21.00	20.70	20.70	21.00	20.85	105.22	5	5	25	12200	488	

**b) Ensayos de compresión del mortero control más ceniza de cáscara de arroz.**

En los resultados del cuadro N°3.11, se observa el ensayo de fluidez y la resistencia a la compresión de las muestras en el tiempo.

Cuadro N°3.11: Ensayo de Compresión del mortero de control más 10% de ceniza de cáscara de arroz

LABORATORIO DE CEMENTO					CEMENTO					450	90%										
CONTROL + CENIZA Q.H. C V					QUE PASA LA MALLA N°100					ARENDA	1375										
FECHA: JUEVES 14/10/10					FLUIDEZ 110 ± 5%					CENIZA	50	10%	ING: CARLOS VILLEGAS								
DOSIFICACION:					1 : 2.75					AGUA	300	TEC: R.V.M.									
											(agua/conglomerante)					0.60					
N° CUBO	IDENTIFICA. TESTIGOS	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	NUMERO DE DIAS	FLUIDEZ					FLUIDEZ (%)	SECCION		AREA (cm.²)	CARGA (kg.)	ESFUERZO (kg./cm.²)	ESF.PROM. (kg./cm.²)					
					D1	D2	D3	D4	DP		L1	L2									
1	CV A (10%)	16/09/2010	23/09/2010	7	19.60	19.90	19.30	19.50	19.58	92.67	5	5	25	8750	350	354					
2	CV A (10%)	16/09/2010	23/09/2010	7	19.60	19.90	19.30	19.50	19.58	92.67	5	5	25	8450	338						
3	CV A (10%)	16/09/2010	23/09/2010	7	19.60	19.90	19.30	19.50	19.58	92.67	5	5	25	9300	372						
4	CV A (10%)	16/09/2010	23/09/2010	7	19.60	19.90	19.30	19.50	19.58	92.67	5	5	25	8800	352						
5	CV A (10%)	16/09/2010	23/09/2010	7	19.60	19.90	19.30	19.50	19.58	92.67	5	5	25	8750	350						
6	CV A (10%)	16/09/2010	23/09/2010	7	19.60	19.90	19.30	19.50	19.58	92.67	5	5	25	9000	360						
7	CV B (10%)	16/09/2010	14/10/2010	28	19.80	19.90	19.80	19.30	19.70	93.90	5	5	25	10450	418	425					
8	CV B (10%)	16/09/2010	14/10/2010	28	19.80	19.90	19.80	19.30	19.70	93.90	5	5	25	10400	416						
9	CV B (10%)	16/09/2010	14/10/2010	28	19.80	19.90	19.80	19.30	19.70	93.90	5	5	25	10300	412						
10	CV B (10%)	16/09/2010	14/10/2010	28	19.80	19.90	19.80	19.30	19.70	93.90	5	5	25	10500	420						
11	CV B (10%)	16/09/2010	14/10/2010	28	19.80	19.90	19.80	19.30	19.70	93.90	5	5	25	11000	440						
12	CV B (10%)	16/09/2010	14/10/2010	28	19.80	19.90	19.80	19.30	19.70	93.90	5	5	25	11100	444						
13	CV C (10%)	16/09/2010	30/10/2010	45	19.90	19.95	19.85	19.90	19.90	95.87	5	5	25	11650	466	482					
14	CV C (10%)	16/09/2010	30/10/2010	45	19.90	19.95	19.85	19.90	19.90	95.87	5	5	25	12400	496						
15	CV C (10%)	16/09/2010	30/10/2010	45	19.90	19.95	19.85	19.90	19.90	95.87	5	5	25	11700	468						
16	CV C (10%)	16/09/2010	30/10/2010	45	19.90	19.95	19.85	19.90	19.90	95.87	5	5	25	12000	480						
17	CV C (10%)	16/09/2010	30/10/2010	45	19.90	19.95	19.85	19.90	19.90	95.87	5	5	25	12800	512						
18	CV C (10%)	16/09/2010	30/10/2010	45	19.90	19.95	19.85	19.90	19.90	95.87	5	5	25	11800	472						

Cuadro N°3.12: Ensayo de Compresión en mortero de control más 15% de ceniza de cáscara de arroz

LABORATORIO DE CEMENTO					CEMENTO					425	90%										
CONTROL + CENIZA Q.H. C V					QUE PASA LA MALLA N°100					ARENDA	1375										
FECHA: JUEVES 14/10/10					FLUIDEZ 110 ± 5%					CENIZA	75	15%	ING: CARLOS VILLEGAS								
DOSIFICACION:					1 : 2.75					AGUA	300	TEC: R.V.M.									
											(agua/conglomerante)					0.60					
N° CUBO	IDENTIFICA. TESTIGOS	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	NUMERO DE DIAS	FLUIDEZ					FLUIDEZ (%)	SECCION		AREA (cm.²)	CARGA (kg.)	ESFUERZO (kg./cm.²)	ESF.PROM. (kg./cm.²)					
					D1	D2	D3	D4	DP		L1	L2									
1	CV A (15%)	17/09/2010	24/09/2010	7	21.00	21.20	21.50	21.30	21.25	109.15	5	5	25	8600	344	341					
2	CV A (15%)	17/09/2010	24/09/2010	7	21.00	21.20	21.50	21.30	21.25	109.15	5	5	25	8500	340						
3	CV A (15%)	17/09/2010	24/09/2010	7	21.00	21.20	21.50	21.30	21.25	109.15	5	5	25	8800	352						
4	CV A (15%)	17/09/2010	24/09/2010	7	21.00	21.20	21.50	21.30	21.25	109.15	5	5	25	8500	340						
5	CV A (15%)	17/09/2010	24/09/2010	7	21.00	21.20	21.50	21.30	21.25	109.15	5	5	25	8100	324						
6	CV A (15%)	17/09/2010	24/09/2010	7	21.00	21.20	21.50	21.30	21.25	109.15	5	5	25	8700	348						
7	CV B (15%)	17/09/2010	14/10/2010	28	19.80	20.10	20.10	19.90	19.98	96.60	5	5	25	10050	402	403					
8	CV B (15%)	17/09/2010	14/10/2010	28	19.80	20.10	20.10	19.90	19.98	96.60	5	5	25	9900	396						
9	CV B (15%)	17/09/2010	14/10/2010	28	19.80	20.10	20.10	19.90	19.98	96.60	5	5	25	10200	408						
10	CV B (15%)	17/09/2010	14/10/2010	28	19.80	20.10	20.10	19.90	19.98	96.60	5	5	25	10050	402						
11	CV B (15%)	17/09/2010	14/10/2010	28	19.80	20.10	20.10	19.90	19.98	96.60	5	5	25	10200	408						
12	CV B (15%)	17/09/2010	14/10/2010	28	19.80	20.10	20.10	19.90	19.98	96.60	5	5	25	10000	400						
13	CV C (15%)	17/09/2010	30/10/2010	45	20.00	19.90	19.95	20.00	19.96	96.48	5	5	25	11500	460	457					
14	CV C (15%)	17/09/2010	30/10/2010	45	20.00	19.90	19.95	20.00	19.96	96.48	5	5	25	11700	468						
15	CV C (15%)	17/09/2010	30/10/2010	45	20.00	19.90	19.95	20.00	19.96	96.48	5	5	25	11400	456						
16	CV C (15%)	17/09/2010	30/10/2010	45	20.00	19.90	19.95	20.00	19.96	96.48	5	5	25	10900	436						
17	CV C (15%)	17/09/2010	30/10/2010	45	20.00	19.90	19.95	20.00	19.96	96.48	5	5	25	11200	448						
18	CV C (15%)	17/09/2010	30/10/2010	45	20.00	19.90	19.95	20.00	19.96	96.48	5	5	25	11900	476						

En los resultados del cuadro N°3.12, se observa el ensayo de fluidez y la resistencia a la compresión de las muestras en el tiempo.

**c) Estudio comparativo de los resultados.**

Respecto de la adición de las puzolanas volcánicas en reemplazo del cemento, se tiene el resumen de los resultados en el cuadro comparativo Cuadro N°3.13, se concluye lo siguiente;

A los 28 días se encuentra al 67% del diseño de control, mientras que a los 45 días se encuentran en un promedio del 71% de la resistencia de control, no alcanzando superar al diseño de control probablemente por utilizar una adición del 20% en reemplazo del cementos, faltando probar con 10% y 15%, además en esta etapa la molienda fue manual.

Cuadro N°3.13: Ensayo de Compresión en mortero de cemento, cuadro comparativo

DIAS	CONTROL	MOLIENDA - MANUAL 20% DE PUZOLANA		
CENIZA	0%	PI-CONCHUPATA	PII-TOTORILLA	PIII-TANTURJO
7	275	199	183	225
28	372	236	275	239
45	380	267	282	266

DIAS	CONTROL	MOLIENDA - MANUAL 20% DE PUZOLANA		
CENIZA	0%	PI-CONCHUPATA	PII-TOTORILLA	PIII-TANTURJO
7	100	72	67	82
28	100	63	74	64
45	100	70	74	70

Referente a la adición de la ceniza de cáscara de arroz en remplazo del cemento del 10% y 15% se tienen los resultados en el Cuadro N 3.14 del ensayo de compresión y del cuadro comparativo, se concluye lo siguiente

La adición del 10% de la ceniza de cáscara de arroz en reemplazo del cemento, a los siete días se encuentra al 103% de su resistencia, a los 28 días se encuentra al 107 superando en 7% a la resistencia de control, como se muestra en el cuadro N°3.13.

Respecto a la adición del 15% de la ceniza de cáscara de arroz en reemplazo del cemento, a los siete días se encuentra al 99% de su resistencia y a los 28 días se encuentra al 102 superando en 2% a la resistencia de control, como se muestra en el cuadro N°3.13.

Cuadro N°3.14: Ensayo de Compresión en mortero de cemento, cuadro comparativo

DÍAS CENIZA	CONTROL 0%	MOLIDO EN MOLINO	
		10%	15%
7	343	354	341
28	397	425	403
45	467	482	457

DÍAS CENIZA	CONTROL 0%	MOLIDO EN MOLINO	
		10%	15%
7	100	103	99
28	100	107	102
45	100	103	98

**d) Análisis e Interpretación de los resultados.**

Respecto a las puzolanas volcánicas no dieron los resultados esperados debido que a los 28 días se encuentra al 67% y a los 45 días se encuentran en un promedio del 71% de la resistencia de control, valores que están por debajo de la resistencia de control, debido a dos factores la molienda fue del tipo manual y el porcentaje utilizado en este caso fue del 20%.

Respecto a la adición del 10% de la ceniza de cáscara de arroz en reemplazo del cemento a los 28 días se encuentra al 107 superando en 7% a la resistencia de control.

Respecto a la adición del 15% de la ceniza de cáscara de arroz en reemplazo del cemento a los 28 días se encuentra al 102% superando en 2% la resistencia, como se muestra en el cuadro N° 3.13.

Se puede afirmar de acuerdo a los ensayos realizados, que se puede adicionar en reemplazo del cemento en elementos prefabricados de mortero o cemento en un 15%.

## CAPITULO IV DISEÑO DE MEZCLAS DE MORTEROS Y CONCRETOS CON PUZOLANA

Con la finalidad de elaborar los elementos prefabricados de concreto, así como el mortero para uso en el tarrajeo y en la adherencia de las unidades de albañilería utilizando la adición de la ceniza de cáscara de arroz en estos materiales compuestos, se tomó en consideración los resultados obtenidos de las propiedades mecánicas, en el cual se concluye que se puede utilizar hasta el 15% de adición.

En consecuencia, para su aplicación en la elaboración de los elementos prefabricados se tomará el 10% de adición de la ceniza de cáscara de arroz.

### 4.1 Selección de las puzolanas para una óptima dosificación

De los ensayos realizados, se ha escogido una de las puzolanas que brindó mejores resultados; la ceniza de cáscara de arroz denominado (CV).

Por consiguiente en los módulos prototipo elaborados denominados sistemas; Domocaña, Domozed y las bloquetas se utilizará esta adición en las mezclas de mortero o concreto.

### 4.2 Diseño de mezcla del mortero para la aplicación en recubrimientos.

Los materiales utilizados en la elaboración del mortero son; cemento Portland Sol Tipo I, agua potable de la red pública del L.E.M. N°1 y la arena de la cantera San Martín.

Se elaborará el mortero de control con los materiales indicados y luego con la adición de la ceniza de cáscara de arroz del 10% y 15% para los análisis de resistencia.

La dosificación utilizada corresponde a lo indicado en la Norma Técnica Peruana N.T.P. E-070 de Albañilería, en lo concerniente al mortero de albañilería para muro portante.

a) Diseño de mezcla del mortero de control y con adición de puzolana en proporción 1 : 4 y relación a/c = 0.85, de acuerdo a la mezcla de control siguiente;

**MEZCLA DE CONTROL:**

(Cemento, Arena, Agua) = (400, 1600, 340 ml.),  $a/c = 0.85$

**MEZCLA CON 10% DE CENIZA:**

(Cemento, ceniza, arena, agua) = (360, 40, 1375, 340 ml.),  $a/c = 0.85$

**MEZCLA CON 15% DE CENIZA:**

(Cemento, ceniza, arena, agua) = (340, 60, 1375, 340 ml.),  $a/c = 0.65$  )

Se elaboraron 36 probetas en moldes cúbicos de 5 x 5 x 5 cm. para la realización de los ensayos de compresión.

- b) Diseño de mezcla del mortero de control y con la adición de puzolana en proporción 1 : 3 y relación  $a/c = 0.65$ , de acuerdo a la mezcla de control siguiente;

**MEZCLA DE CONTROL:**

(Cemento, Arena, Agua) = (500, 1500, 325 ml.),  $a/c = 0.65$ .

**MEZCLA DE CONTROL CON 10% DE CENIZA:**

(Cemento, ceniza, arena, agua) = (450, 50, 1500, 325 ml.),  $a/c = 0.65$

**MEZCLA DE CONTROL CON 15% DE CENIZA:**

(Cemento, ceniza, arena, agua) = (425, 75, 1500, 325 ml.),  $a/c = 0.65$ .

Se elaboraron 36 probetas en moldes cúbicos de 5 x 5 x 5 cm. para la realización de los ensayos de compresión.

- c) Ensayos de compresión de morteros para acabados y recubrimientos.

Luego de elaborados los especímenes estos fueron llevados a la cámara de curado, hasta las fechas indicadas para su rotura en una prensa hidráulica de 150 ton. de capacidad.

Los resultados de los ensayos de compresión del mortero de control, ver el Cuadro N° 4.01 y del control más las adiciones de ceniza de cáscara de arroz, se encuentran en el Cuadro N° 4.02.

Cuadro N° 4.01: Ensayo de compresión del mortero control

LABORATORIO DE CEMENTO					CEMENTO					400	100%	CUADRO N° 1:								
CONTROL + CENIZA Q.H. CV					FLUIDEZ 110 ± 5%					ARENA					1600					
FECHA: JUEVES 18/01/12					CENIZA					0	0%	ING: CARLOS VILLEGAS								
DOSIFICACION: 1 : 4					AGUA					340	TEC: R.V.M.									
					(agua/conglomerante)					0.85										
N° CUBO	IDENTIFICA. TESTIGOS	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	NUMERO DE DIAS	FLUIDEZ					FLUIDEZ (%)	SECCION		AREA (cm.²)	CARGA (kg.)	ESFUERZO (kg./cm.²)	ESF.PROM. (kg./cm.²)				
					D1	D2	D3	D4	DP		L1	L2								
1	P A (0%)	18/01/2012	25/01/2012	7	20.80	20.90	21.00	21.00	20.93	105.95	5	5	25	3150	126	132				
2	P A (0%)	18/01/2012	25/01/2012	7	20.80	20.90	21.00	21.00	20.93	105.95	5	5	25	3200	128					
3	P A (0%)	18/01/2012	25/01/2012	7	20.80	20.90	21.00	21.00	20.93	105.95	5	5	25	3600	144					
4	P A (0%)	18/01/2012	25/01/2012	7	20.80	20.90	21.00	21.00	20.93	105.95	5	5	25	3200	128					
5	P A (0%)	18/01/2012	25/01/2012	7	20.80	20.90	21.00	21.00	20.93	105.95	5	5	25	3100	124					
6	P A (0%)	18/01/2012	25/01/2012	7	20.80	20.90	21.00	21.00	20.93	105.95	5	5	25	3500	140					
7	P B (0%)	18/01/2012	15/02/2012	28	21.70	21.60	21.80	21.60	21.68	113.34	5	5	25	6400	256	250				
8	P B (0%)	18/01/2012	15/02/2012	28	21.70	21.60	21.80	21.60	21.68	113.34	5	5	25	6000	240					
9	P B (0%)	18/01/2012	15/02/2012	28	21.70	21.60	21.80	21.60	21.68	113.34	5	5	25	6000	240					
10	P B (0%)	18/01/2012	15/02/2012	28	21.70	21.60	21.80	21.60	21.68	113.34	5	5	25	6200	248					
11	P B (0%)	18/01/2012	15/02/2012	28	21.70	21.60	21.80	21.60	21.68	113.34	5	5	25	6600	264					
12	P B (0%)	18/01/2012	15/02/2012	28	21.70	21.60	21.80	21.60	21.68	113.34	5	5	25	6300	252					

LABORATORIO DE CEMENTO					CEMENTO					360	90%	CUADRO N° 2:								
CONTROL + CENIZA Q.H. CV					FLUIDEZ 110 ± 5%					ARENA					1600					
FECHA: JUEVES 18/01/12					CENIZA					40	10%	ING: CARLOS VILLEGAS								
DOSIFICACION: 1 : 4					AGUA					340	TEC: R.V.M.									
					(agua/conglomerante)					0.85										
N° CUBO	IDENTIFICA. TESTIGOS	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	NUMERO DE DIAS	FLUIDEZ					FLUIDEZ (%)	SECCION		AREA (cm.²)	CARGA (kg.)	ESFUERZO (kg./cm.²)	ESF.PROM. (kg./cm.²)				
					D1	D2	D3	D4	DP		L1	L2								
1	CV A (10%)	18/01/2012	25/01/2012	7	21.00	20.90	20.80	21.00	20.93	105.95	5	5	25	4000	160	138				
2	CV A (10%)	18/01/2012	25/01/2012	7	21.00	20.90	20.80	21.00	20.93	105.95	5	5	25	3000	120					
3	CV A (10%)	18/01/2012	25/01/2012	7	21.00	20.90	20.80	21.00	20.93	105.95	5	5	25	3950	158					
4	CV A (10%)	18/01/2012	25/01/2012	7	21.00	20.90	20.80	21.00	20.93	105.95	5	5	25	3150	126					
5	CV A (10%)	18/01/2012	25/01/2012	7	21.00	20.90	20.80	21.00	20.93	105.95	5	5	25	3500	140					
6	CV A (10%)	18/01/2012	25/01/2012	7	21.00	20.90	20.80	21.00	20.93	105.95	5	5	25	3100	124					
7	CV B (10%)	18/01/2012	15/02/2012	28	21.60	21.80	21.50	21.40	21.58	112.35	5	5	25	6900	276	267				
8	CV B (10%)	18/01/2012	15/02/2012	28	21.60	21.80	21.50	21.40	21.58	112.35	5	5	25	6500	260					
9	CV B (10%)	18/01/2012	15/02/2012	28	21.60	21.80	21.50	21.40	21.58	112.35	5	5	25	6700	268					
10	CV B (10%)	18/01/2012	15/02/2012	28	21.60	21.80	21.50	21.40	21.58	112.35	5	5	25	6700	268					
11	CV B (10%)	18/01/2012	15/02/2012	28	21.60	21.80	21.50	21.40	21.58	112.35	5	5	25	6800	272					
12	CV B (10%)	18/01/2012	15/02/2012	28	21.60	21.80	21.50	21.40	21.58	112.35	5	5	25	6500	260					

LABORATORIO DE CEMENTO					CEMENTO					340	85%	CUADRO N° 3:								
CONTROL + CENIZA Q.H. CV					FLUIDEZ 110 ± 5%					ARENA					1600					
FECHA: JUEVES 18/01/12					CENIZA					60	15%	ING: CARLOS VILLEGAS								
DOSIFICACION: 1 : 4					AGUA					340	TEC: R.V.M.									
					(agua/conglomerante)					0.85										
N° CUBO	IDENTIFICA. TESTIGOS	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	NUMERO DE DIAS	FLUIDEZ					FLUIDEZ (%)	SECCION		AREA (cm.²)	CARGA (kg.)	ESFUERZO (kg./cm.²)	ESF.PROM. (kg./cm.²)				
					D1	D2	D3	D4	DP		L1	L2								
1	CV A (15%)	18/01/2012	25/01/2012	7	20.90	20.90	21.00	20.80	20.90	105.71	5	5	25	3200	128	133				
2	CV A (15%)	18/01/2012	25/01/2012	7	20.90	20.90	21.00	20.80	20.90	105.71	5	5	25	3150	126					
3	CV A (15%)	18/01/2012	25/01/2012	7	20.90	20.90	21.00	20.80	20.90	105.71	5	5	25	3650	146					
4	CV A (15%)	18/01/2012	25/01/2012	7	20.90	20.90	21.00	20.80	20.90	105.71	5	5	25	3300	132					
5	CV A (15%)	18/01/2012	25/01/2012	7	20.90	20.90	21.00	20.80	20.90	105.71	5	5	25	3400	136					
6	CV A (15%)	18/01/2012	25/01/2012	7	20.90	20.90	21.00	20.80	20.90	105.71	5	5	25	3200	128					
7	CV B (15%)	18/01/2012	15/02/2012	28	20.70	20.70	20.80	20.80	20.75	104.23	5	5	25	6400	256	260				
8	CV B (15%)	18/01/2012	15/02/2012	28	20.70	20.70	20.80	20.80	20.75	104.23	5	5	25	6500	260					
9	CV B (15%)	18/01/2012	15/02/2012	28	20.70	20.70	20.80	20.80	20.75	104.23	5	5	25	6700	268					
10	CV B (15%)	18/01/2012	15/02/2012	28	20.70	20.70	20.80	20.80	20.75	104.23	5	5	25	6400	256					
11	CV B (15%)	18/01/2012	15/02/2012	28	20.70	20.70	20.80	20.80	20.75	104.23	5	5	25	6600	264					
12	CV B (15%)	18/01/2012	15/02/2012	28	20.70	20.70	20.80	20.80	20.75	104.23	5	5	25	6350	254					

Cuadro N° 4.02: Ensayo de compresión del mortero con ceniza de cáscara de arroz.

LABORATORIO DE CEMENTO					CEMENTO					500	100%	CUADRO N° 1:								
CONTROL + CENIZA Q.H. CV					FLUIDEZ 110 ± 5%					ARENA					1500					
FECHA:		MIERCOLES 11/01/12			CENIZA					0	0%	ING: CARLOS VILLEGAS								
DOSIFICACION:		1 : 3			AGUA					325	TEC: R.V.M.									
					(agua/conglomerante)					0.65										
N° CUBO	IDENTIFICA. TESTIGOS	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	NUMERO DE DIAS	FLUIDEZ					FLUIDEZ (%)	SECCION		AREA (cm.²)	CARGA (kg.)	ESFUERZO (kg./cm.²)	ESF.PROM. (kg./cm.²)				
					D1	D2	D3	D4	DP		L1	L2								
1	P A (0%)	11/01/2012	18/01/2012	7	20.80	20.90	21.00	21.00	20.93	105.95	5	5	25	5300	212	211				
2	P A (0%)	11/01/2012	18/01/2012	7	20.80	20.90	21.00	21.00	20.93	105.95	5	5	25	5600	224					
3	P A (0%)	11/01/2012	18/01/2012	7	20.80	20.90	21.00	21.00	20.93	105.95	5	5	25	5300	212	RANGO (±)				
4	P A (0%)	11/01/2012	18/01/2012	7	20.80	20.90	21.00	21.00	20.93	105.95	5	5	25	5200	208	VALOR-MAX.				
5	P A (0%)	11/01/2012	18/01/2012	7	20.80	20.90	21.00	21.00	20.93	105.95	5	5	25	5100	204	VALOR-MIN.				
6	P A (0%)	11/01/2012	18/01/2012	7	20.80	20.90	21.00	21.00	20.93	105.95	5	5	25	5200	208	D.E. =				
7	P B (0%)	11/01/2012	07/02/2012	28	21.70	21.60	21.80	21.60	21.68	113.34	5	5	25	5950	238	243				
8	P B (0%)	11/01/2012	07/02/2012	28	21.70	21.60	21.80	21.60	21.68	113.34	5	5	25	5900	236					
9	P B (0%)	11/01/2012	07/02/2012	28	21.70	21.60	21.80	21.60	21.68	113.34	5	5	25	6000	240	RANGO (±)				
10	P B (0%)	11/01/2012	07/02/2012	28	21.70	21.60	21.80	21.60	21.68	113.34	5	5	25	6200	248	VALOR-MAX.				
11	P B (0%)	11/01/2012	07/02/2012	28	21.70	21.60	21.80	21.60	21.68	113.34	5	5	25	6350	254	VALOR-MIN.				
12	P B (0%)	11/01/2012	07/02/2012	28	21.70	21.60	21.80	21.60	21.68	113.34	5	5	25	6000	240	D.E. =				

LABORATORIO DE CEMENTO					CEMENTO					450	90%	CUADRO N° 2:								
CONTROL + CENIZA Q.H. CV					FLUIDEZ 110 ± 5%					ARENA					1500					
FECHA:		MIERCOLES 11/01/12			CENIZA					50	10%	ING: CARLOS VILLEGAS								
DOSIFICACION:		1 : 3			AGUA					325	TEC: R.V.M.									
					(agua/conglomerante)					0.65										
N° CUBO	IDENTIFICA. TESTIGOS	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	NUMERO DE DIAS	FLUIDEZ					FLUIDEZ (%)	SECCION		AREA (cm.²)	CARGA (kg.)	ESFUERZO (kg./cm.²)	ESF.PROM. (kg./cm.²)				
					D1	D2	D3	D4	DP		L1	L2								
1	CV A (10%)	11/01/2012	18/01/2012	7	20.30	20.40	20.40	20.30	20.35	100.30	5	5	25	5200	208	219				
2	CV A (10%)	11/01/2012	18/01/2012	7	20.30	20.40	20.40	20.30	20.35	100.30	5	5	25	5500	220					
3	CV A (10%)	11/01/2012	18/01/2012	7	20.30	20.40	20.40	20.30	20.35	100.30	5	5	25	5400	216					
4	CV A (10%)	11/01/2012	18/01/2012	7	20.30	20.40	20.40	20.30	20.35	100.30	5	5	25	5700	228					
5	CV A (10%)	11/01/2012	18/01/2012	7	20.30	20.40	20.40	20.30	20.35	100.30	5	5	25	5400	216					
6	CV A (10%)	11/01/2012	18/01/2012	7	20.30	20.40	20.40	20.30	20.35	100.30	5	5	25	5600	224					
7	CV B (10%)	11/01/2012	07/02/2012	28	20.40	20.40	20.30	21.40	20.63	103.00	5	5	25	7900	316	309				
8	CV B (10%)	11/01/2012	07/02/2012	28	20.40	20.40	20.30	21.40	20.63	103.00	5	5	25	7800	312					
9	CV B (10%)	11/01/2012	07/02/2012	28	20.40	20.40	20.30	21.40	20.63	103.00	5	5	25	7700	308					
10	CV B (10%)	11/01/2012	07/02/2012	28	20.40	20.40	20.30	21.40	20.63	103.00	5	5	25	7600	304					
11	CV B (10%)	11/01/2012	07/02/2012	28	20.40	20.40	20.30	21.40	20.63	103.00	5	5	25	7800	312					
12	CV B (10%)	11/01/2012	07/02/2012	28	20.40	20.40	20.30	21.40	20.63	103.00	5	5	25	7500	300					

LABORATORIO DE CEMENTO					CEMENTO					425	85%	CUADRO N° 3:								
CONTROL + CENIZA Q.H. CV					FLUIDEZ 110 ± 5%					ARENA					1500					
FECHA:		JUEVES 18/01/12			CENIZA					75	15%	ING: CARLOS VILLEGAS								
DOSIFICACION:		1 : 3			AGUA					325	TEC: R.V.M.									
					(agua/conglomerante)					0.65										
N° CUBO	IDENTIFICA. TESTIGOS	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	NUMERO DE DIAS	FLUIDEZ					FLUIDEZ (%)	SECCION		AREA (cm.²)	CARGA (kg.)	ESFUERZO (kg./cm.²)	ESF.PROM. (kg./cm.²)				
					D1	D2	D3	D4	DP		L1	L2								
1	CV A (15%)	11/01/2012	18/01/2012	7	21.00	21.20	21.50	21.30	21.25	109.15	5	5	25	6200	248	257				
2	CV A (15%)	11/01/2012	18/01/2012	7	21.00	21.20	21.50	21.30	21.25	109.15	5	5	25	6500	260					
3	CV A (15%)	11/01/2012	18/01/2012	7	21.00	21.20	21.50	21.30	21.25	109.15	5	5	25	6300	252					
4	CV A (15%)	11/01/2012	18/01/2012	7	21.00	21.20	21.50	21.30	21.25	109.15	5	5	25	6800	272					
5	CV A (15%)	11/01/2012	18/01/2012	7	21.00	21.20	21.50	21.30	21.25	109.15	5	5	25	6250	250					
6	CV A (15%)	11/01/2012	18/01/2012	7	21.00	21.20	21.50	21.30	21.25	109.15	5	5	25	6450	258					
7	CV B (15%)	11/01/2012	07/02/2012	28	19.80	20.10	20.10	19.90	19.98	96.60	5	5	25	7600	304	305				
8	CV B (15%)	11/01/2012	07/02/2012	28	19.80	20.10	20.10	19.90	19.98	96.60	5	5	25	7700	308					
9	CV B (15%)	11/01/2012	07/02/2012	28	19.80	20.10	20.10	19.90	19.98	96.60	5	5	25	7600	304					
10	CV B (15%)	11/01/2012	07/02/2012	28	19.80	20.10	20.10	19.90	19.98	96.60	5	5	25	7500	300					
11	CV B (15%)	11/01/2012	07/02/2012	28	19.80	20.10	20.10	19.90	19.98	96.60	5	5	25	7800	312					
12	CV B (15%)	11/01/2012	07/02/2012	28	19.80	20.10	20.10	19.90	19.98	96.60	5	5	25	7500	300					

**d) Estudio comparativo de los resultados.**

El mortero cuya dosificación es de 1 : 4, respecto a la adición del 10% de la ceniza de cáscara de arroz en reemplazo del cemento, a los siete días se encuentra al 105% de su resistencia superando en 5% a la resistencia de control y los 28 días se encuentra al 107%, como se muestra en el cuadro N°4.03.

Respecto a la adición del 15% de la ceniza de cáscara de arroz en reemplazo del cemento, a los siete días se encuentra al 101% de su resistencia superando en 1% a la resistencia de control y los 28 días se encuentra al 104%, como se muestra en el cuadro N°4.03.

Cuadro N° 4.03: Ensayo de compresión del mortero de control y con la adición.

DIAS	CONTROL	MOLIDO EN MOLINO	
CENIZA	0%	10%	15%
7	132	138	133
28	250	267	260

DIAS	CONTROL	MOLIDO EN MOLINO	
CENIZA	0%	10%	15%
7	100	105	101
28	100	107	104

El mortero cuya dosificación es de 1 : 3, respecto a la adición del 10% de la ceniza de cáscara de arroz en reemplazo del cemento, a los siete días se encuentra al 104% de su resistencia superando en 4% a la resistencia de control y los 28 días se encuentra al 127%, como se muestra en el cuadro N°4.04.

Respecto a la adición del 15% de la ceniza de cáscara de arroz en reemplazo del cemento, a los siete días se encuentra al 127% de su resistencia superando en 27% a la resistencia de control y los 28 días se encuentra al 126%, como se muestra en el cuadro N°4.04.

Cuadro N° 4.04: Ensayo de compresión del mortero control y con la adición.

DIAS	CONTROL	MOLIDO EN MOLINO	
CENIZA	0%	10%	15%
7	211	219	257
28	243	309	305

DIAS	CONTROL	MOLIDO EN MOLINO	
CENIZA	0%	10%	15%
7	100	104	122
28	100	127	126

Respecto a la adición del 15% de la ceniza de cáscara de arroz en reemplazo del cemento, a los siete días se encuentra al 98% de su resistencia siendo este menor en 2% a la resistencia de control, como se muestra en el cuadro N°4.03.

### 4.3 Diseño de mezcla del concreto para la aplicación en la elaboración de elementos prefabricados;

Los materiales utilizados en la elaboración del concreto son los indicados en el capítulo III; El cemento Portland Tipo I, el cemento utilizado se verificó su buen estado, el agua potable de la red pública del L.E.M. N°1 y la arena de la cantera San Martín.

Se elaboró el concreto de control para las viguetas de concreto del sistema Domozed, para lo cual se diseño un concreto de un  $f'c = 210 \text{ kg./cm.}^2$  como de control con los materiales indicados y luego se elaboro el concreto con la adición del la ceniza de cáscara de arroz del 10%, 15% para los análisis de resistencia a la compresión.

La dosificación utilizada corresponde al diseño de mezcla de la resistencia indicada y para una relación (agua/cemento) de 0.65, siendo la proporción el siguiente;

a) Diseño de mezcla del concreto de control para vigas de concreto.

El concreto de control se diseñó en función a las propiedades físicas de los agregados (ver el Cuadro N° 4.05), el proporcionamiento de los componentes del concreto de control se dan en el Cuadro N° 4.06.

La dosificación utilizada es la siguiente;

#### DISEÑO DE CONTROL:

Cuadro N° 4.05: Propiedades físicas de los agregados para la elaboración del concreto.

PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS	ARENA	PIEDRA
PESO UNITARIO SUELTO (kg./m. <sup>3</sup> )	1707	1441
PESO UNITARIO COMPACTADO (kg./m. <sup>3</sup> )	1945	1616
PESO ESPECÍFICO (gr./cm. <sup>3</sup> )	2.60	2.67
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	0.81	0.55
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	1.32	1.37
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	----	1/2 "
MÓDULO DE FINEZA	2.70	5.95
COMBINACIÓN; ARENA, PIEDRA	54%	46%

Cuadro N° 4.06: Proporcionamiento en peso y volumen del diseño de mezclas de control.

$a/c = 0.65$										
MATERIAL	Peso Seco	P.e.	Vol. Abs.	D.U.S.	D.O.	D.U.O.	mez (Kg)	48	P/bol C.	P. VOL
Cemento	342	3.13	0.1091	1	342	1	6.8	Kg	42.5	1
Agua	222	1	0.2220	0.65	233	0.68	4.7	Lt	29.0	29.0
Arena	904	2.6	0.3477	2.65	911	2.67	18.2	Kg	113.4	2.33
Piedra	791	2.67	0.2962	2.32	795	2.33	15.9	Kg	98.9	2.40
Aire	2.5	100	0.025							
Aditivo	0.00	1.1	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.0	Kg	0	
<b>P.U.C.S.</b>	<b>2261</b>	SUMA	0.3561	<b>P.U.C.F.</b>	<b>2281</b>	6.6790				

b) Diseño de mezcla para la elaboración de las bloquetas con la adición de las cenizas de cáscara de arroz.

Las propiedades físicas de los agregados se encuentran en el Cuadro N° 4.07 y 4.08. Se elaboró las bloquetas para el uso en muros de albañilería, cuyas características corresponden a lo indicado en la N.T.P. E-070 de Albañilería, y luego se adiciono la ceniza de cáscara de arroz del 10% y 15%.

Cuadro N° 4.07: Propiedades físicas de los agregados.

PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS	ARENA	PIEDRA
P. U. S.	1457 kg./m. <sup>3</sup>	1389 kg./m. <sup>3</sup>
P. U. C.	1655 kg./m. <sup>3</sup>	1548 kg./m. <sup>3</sup>
P. e. masa	2.66 gr./cc.	2.67 gr./cc.
(%w)	1.94%	0.45%
(%ABS.)	0.81%	1.57%
Mod. de finura	3.00	6.03
T. M. N.	N° 4	1 / 4 "
Combinación (A%/P%)	24%	76%

Cuadro N° 4.08: Granulometría de los agregados.

Tamiz ( mm )	Peso ( gr. )		Piedra		Arena		% Piedra	% Arena	A. Global		
	Piedra	Arena	% Ret.	% Acum.	% Ret.	% Acum.	24	76	% Ret.	% Acum.	% Pasa
2 1/2"			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
2"			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
1"			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2"			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
3/8"	187		3.7	3.7	0.0	0.0	0.9	0.0	0.9	0.9	99.1
1/4"	3795.5		75.9	79.7	0.0	0.0	18.2	0.0	18.2	19.1	80.9
N°4	983.5	41	19.7	99.3	8.2	8.2	4.7	6.2	11.0	30.1	69.9
N°8	34	78	0.7	100.0	15.6	23.8	0.2	11.9	12.0	42.1	57.9
N°16		95	0.0	100.0	19.0	42.8	0.0	14.4	14.4	56.5	43.5
N°30		90.5	0.0	100.0	18.1	60.9	0.0	13.8	13.8	70.3	29.7
N°50		80.5	0.0	100.0	16.1	77.0	0.0	12.2	12.2	82.5	17.5
N°100		49	0.0	100.0	9.8	86.8	0.0	7.4	7.4	90.0	10.0
FONDO		66	0.0	100.0	13.2	100.0	0.0	10.0	10.0	100.0	0.0
<b>SUMA</b>	<b>5000</b>	<b>500</b>	<b>M.F.</b>	<b>6.03</b>	<b>M.F.</b>	<b>3.00</b>			<b>M.F.</b>	<b>3.72</b>	

El diseño de mezcla utilizado para el cálculo de la dosificación se detalla en el Cuadro N° 4.09, para una relación (agua/cemento) de 0.74

Cuadro N° 4.09: Parámetros y dosificación para la elaboración de las bloquetas.

DISEÑO DE MEZCLAS $f'c = 70 \text{ Kg/cm}^2$									
Peticionario :		UNI-FIC-UPV BLOQUETA PATRON							
OBRA		BLOQUETAS PREFABRICADAS							
AGREGADOS	ITEM	ARENA	PIEDRA	CEMENTO	SOL tipo I		OTROS	SLUMP	3" - 4"
	P.e.	2.67	2.66		P.E.	3.13		A/C	AGUA
	P.U.S.	1,457	1,389	ADITIVO	MARCA	0	0.75	197	
	P.U.C.	1,655	1,548		P.E.	1.1	0.76	197	
	Ab (%)	0.81	1.57	% W Cemento	0	0.74	197		
	Hum (%)	1.94	0.45	AIRE	% AIRE atrap.	3			
	TNM	---	3/8"						
	MF	3.00	6.03						
COMBINACION (%)		76%	24%						

a/c = 0.76												
MATERIAL	Peso Seco	P.e.	Vol. Abs.	D.U.S.	D.O.	D.U.O.	mez (Kg)	48	P/bol C.	P. VOL	Bol Cem.	PESO CONCRETO
Cemento	259	3.13	0.083	1	259	1	5.2	Kg	42.5	1	6.1	
Agua	197	1	0.197	0.76	186	0.72	3.7	Lt	30.5	30.5		Corrección de agua:
Arena	1401	2.67	0.525	5.40	1428	5.51	28.6	Kg	234.1	5.62	AGUA ADIC.	Agua arena: 15.83
Piedra	441	2.66	0.166	1.70	443	1.71	8.9	Kg	72.6	1.83		Agua piedra: -4.93
Aire	3	100	0.03									10.89
Aditivo	0.00	1.1	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.0	Kg	0		SLUMP	BALDE 1/3 pie³
P.U.C.S.	2300	SUMA	0.310	P.U.C.F.	2316	8.93						PUCF

a/c = 0.74												
MATERIAL	Peso Seco	P.e.	Vol. Abs.	D.U.S.	D.O.	D.U.O.	mez (Kg)	48	P/bol C.	P. VOL	Bol Cem.	PESO CONCRETO
Cemento	266	3.13	0.0851	1	266	1	5.32	Kg	42.5	1	6.3	
Agua	197	1	0.1970	0.74	186	0.70	3.72	Lt	29.7	29.7		Corrección de agua:
Arena	1396	2.67	0.5228	5.24	1423	5.35	28.46	Kg	227.2	5.46	AGUA ADIC.	Agua arena: 15.77
Piedra	439	2.66	0.1651	1.65	441	1.66	8.82	Kg	70.4	1.77		Agua piedra: -4.92
Aire	3	100	0.0300									10.86
Aditivo	0.00	1.1	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.0000	Kg	0		SLUMP	BALDE 1/3 pie³
P.U.C.S.	2301	SUMA	0.312	P.U.C.F.	2317	8.70						PUCF

La dosificación por volumen a utilizar para la elaboración de las bloquetas es el siguiente;

**DOSIFICACION POR VOLUMEN DE OBRA:**

Cemento, Agua, Arena, Piedra = 1 : 5.46 : 1.77 , 29.7 lt./bolsa, a/c = 0.70

**ENSAYO DE COMPRESION EN BLOQUETAS DE CONCRETO:**

A continuación se detallan los resultados de los ensayos de compresión en la bloquetas de concreto del diseño de control y con adición de las cenizas de cáscara de arroz en las proporciones del 10%, 15% y 20%, tal como se aprecian en el Cuadro N° 4.10.

En la Foto N° 4.01, se aprecia el proceso de elaboración de las bloquetas de concreto y en la Foto N° 4.02, se ve el formado de las bloquetas.

Cuadro N° 4.10: Parámetros dosificación para la elaboración de las bloquetas.

LABORATORIO DE CONCRETO								
CONTROL			CONTROL + CENIZA Q.H. CV					
FECHA:	12 DE ENERO 2012		ING. : CARLOS VILLEGAS					
			TECNICO: R.V.					
CUBO N°	IDENTIFICACION TESTIGO	FECHA VACIADO	FECHA ROTURA	NUMERO DIAS	AREA (cm.²)	CARGA (kg.)	ESFUERZO (kg./cm.²)	ESF. PROMEDIO (kg./cm.²)
1	CONTROL (0%)	12/01/2012	19/01/2012	7	546	39000	71	70
2	CONTROL (0%)	12/01/2012	19/01/2012	7	546	37000	68	
3	CONTROL (0%)	12/01/2012	19/01/2012	7	546	38000	70	
4	CONTROL (0%)	12/01/2012	07/02/2012	28	546	45000	82	80
5	CONTROL (0%)	12/01/2012	07/02/2012	28	546	43000	79	
6	CONTROL (0%)	12/01/2012	07/02/2012	28	546	42600	78	
7	CONTROL + CENIZA (10%)	12/01/2012	19/01/2012	7	546	38000	70	72
8	CONTROL + CENIZA (10%)	12/01/2012	19/01/2012	7	546	40000	73	
9	CONTROL + CENIZA (10%)	12/01/2012	19/01/2012	7	546	40600	74	
10	CONTROL + CENIZA (10%)	12/01/2012	07/02/2012	28	546	49000	90	89
11	CONTROL + CENIZA (10%)	12/01/2012	07/02/2012	28	546	48600	89	
12	CONTROL + CENIZA (10%)	12/01/2012	07/02/2012	28	546	47800	88	
13	CONTROL + CENIZA (15%)	12/01/2012	19/01/2012	7	546	37800	69	69
14	CONTROL + CENIZA (15%)	12/01/2012	19/01/2012	7	546	37400	68	
15	CONTROL + CENIZA (15%)	12/01/2012	19/01/2012	7	546	37200	68	
16	CONTROL + CENIZA (15%)	12/01/2012	07/02/2012	28	546	45200	83	82
17	CONTROL + CENIZA (15%)	12/01/2012	07/02/2012	28	546	45800	84	
18	CONTROL + CENIZA (15%)	12/01/2012	07/02/2012	28	546	44000	81	
19	CONTROL + CENIZA (20%)	12/01/2012	19/01/2012	7	546	32000	59	61
20	CONTROL + CENIZA (20%)	12/01/2012	19/01/2012	7	546	34000	62	
21	CONTROL + CENIZA (20%)	12/01/2012	19/01/2012	7	546	33200	61	
22	CONTROL + CENIZA (20%)	12/01/2012	07/02/2012	28	546	39600	73	73
23	CONTROL + CENIZA (20%)	12/01/2012	07/02/2012	28	546	39800	73	
24	CONTROL + CENIZA (20%)	12/01/2012	07/02/2012	28	546	39400	72	



Foto N° 4.01: Proceso de elaborado de las bloquetas de concreto



Foto N° 4.02: Proceso de formado de las bloquetas de concreto

### c) Estudio comparativo de los resultados.

Respecto de la adición de las cenizas de cáscara de arroz y el diseño de control, se tiene el resumen de los resultados en el cuadro comparativo Cuadro N° 4.11, del cual se tiene lo siguiente;

Con la adición del 10% de ceniza se obtiene a los 28 días una resistencia superior al 11% respecto a la muestra de control, con la adición del 15% se obtiene una resistencia a los 28 días del 103% respecto al de control y con 20% se obtiene a los 28 días el 91% de la resistencia de control encontrándose 9% por debajo de la resistencia de control.

En conclusión se recomienda adicionar hasta en un 15% de ceniza de cáscara de arroz en reemplazo del cemento en la elaboración de bloquetas de concreto.

Cuadro N° 4.11: Ensayo de Compresión en bloquetas, cuadro comparativo

DIAS	CONTROL(kg./cm.²)	MOLIDO EN MOLINO		
CENIZA	0%	10%	15%	20%
7	70	72	69	61
28	80	89	82	73

DIAS	CONTROL(kg./cm.²)	MOLIDO EN MOLINO		
CENIZA	0%	10%	15%	20%
7	100	103	99	87
28	100	111	103	91

## CAPITULO V

### ELABORACIÓN DE ELEMENTOS PREFABRICADOS CON PUZOLANA PARA VIVIENDAS DE BAJO COSTO

#### 5.1 Maquinaria y equipos para la elaboración de las bloquetas de concreto.

El proyecto contempla el financiamiento para la adquisición de implementos y equipos de laboratorio para la elaboración de elementos prefabricados de concreto, morteros para el uso en recubrimientos y el asentado de ladrillos.

El equipo adquirido para el desarrollo del proyecto de investigación quedará como donación para el Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales, para su uso en otros trabajos de investigación. A continuación se detalla el equipamiento adquirido.

##### a) Moldes metálicos para la elaboración de bloquetas.

Se adquirieron dos tipos de moldes metálicos para el formado de manera manual de las unidades de albañilería denominados bloquetas, tal como se aprecia en la Foto N° 5.01, el cual presentan las siguientes dimensiones; molde de 0.20 m. x 0.15 m. x 0.40 m. y otro de 0.20 m. x 0.09 m. x 0.40 m., como se indican en la Figura N° 5.01.

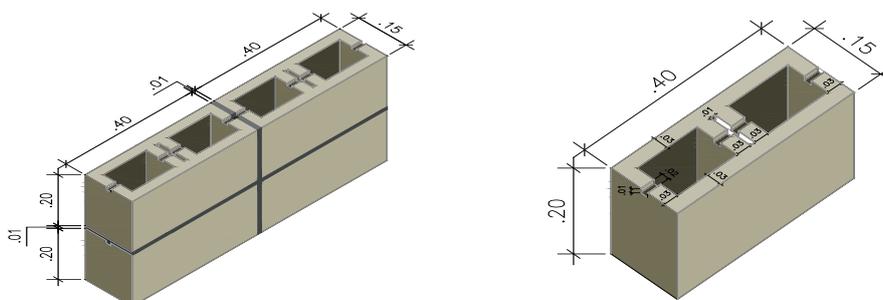


Foto N° 5.01: En la vista se aprecia los moldes metálicos y los especímenes.

### b) Mezcladora para laboratorio.

Se adquirió una mezcladora, tipo “trompito” para el mezclado de los materiales, como se observa en la Foto N° 5.02, el equipo ingresando al laboratorio de concreto.



Foto N° 5.02: En la vista se aprecia la mezcladora

En la Foto N° 5.03, se aprecia el funcionamiento de la mezcladora en el laboratorio de concreto de la UNI.FIC.



Foto N° 5.03: Mezcladora en el laboratorio de concreto de la UNI.FIC.

### c) Máquina Rosacometa semindustrial.

Maquina bloquetera del tipo semindustrial denominado “Rosacometa”, sirve para el formado de las bloquetas de concreto, como se aprecia en Foto N° 5.04.

El equipo se compone de una tolva para el llenado de la mezcla de concreto, contiene cuatro moldes para el formado de las bloquetas, un motor que genera la vibro compactación para el compactado de la mezcla en el interior del molde, tal como se aprecia en la Foto N° 5.05



Foto N° 5.04: Máquina bloquera semindustrial "Rosacometa"



Foto N° 5.05: Tolva de máquina bloquera y vista de los cuatro moldes

#### d) Máquina de vibro compactación.

Máquina eléctrica compuesta por un motor que genera una vibro compactación, utilizada para compactar el concreto dentro del molde metálico cuando este se ubica en la mesa metálica, ver la Foto N° 5.06.



Foto N° 5.06: Mesa vibratora para la vibro compactación del concreto.

### e) Molino de bolas.

Molino de bolas para la molienda de las puzolanas, el cual es utilizado como adición para la elaboración de morteros y elementos de concreto.

El equipo cuenta con un motor eléctrico que permite girar el tambor cilíndrico, para el agitado de las bolas metálicas que generan la molienda de las puzolanas naturales.

En la Foto N° 5.07, se aprecia el traslado del molino mediante una grúa ingresando al laboratorio de concreto del L.E.M. N°1 de la Facultad de Ingeniería Civil.



Foto N° 5.07: En la vista se aprecia un molino de bolas ingresando al laboratorio.

### 5.2 Sistema constructivo denominado Domocaña.

El sistema constructivo del techo Domocaña, está compuesta de un marco de madera de base, el cual se insertan dentro de ella cañas entrecruzadas fijadas con alambre, dándole la forma de cúpula el cual están sujetas a presión, tal como se puede ver en la Foto N° 5.08.



Foto N° 5.08: En la vista se aprecia el armado del techo domocaña.

Para el armado del techo domocaña, se tiene que trabajar con caña en estado seco de  $\frac{1}{2}$ " a  $\frac{3}{4}$ " de diámetro, previamente son cortadas de acuerdo a la dimensión establecida tal como se ve en la Foto N° 5.09.



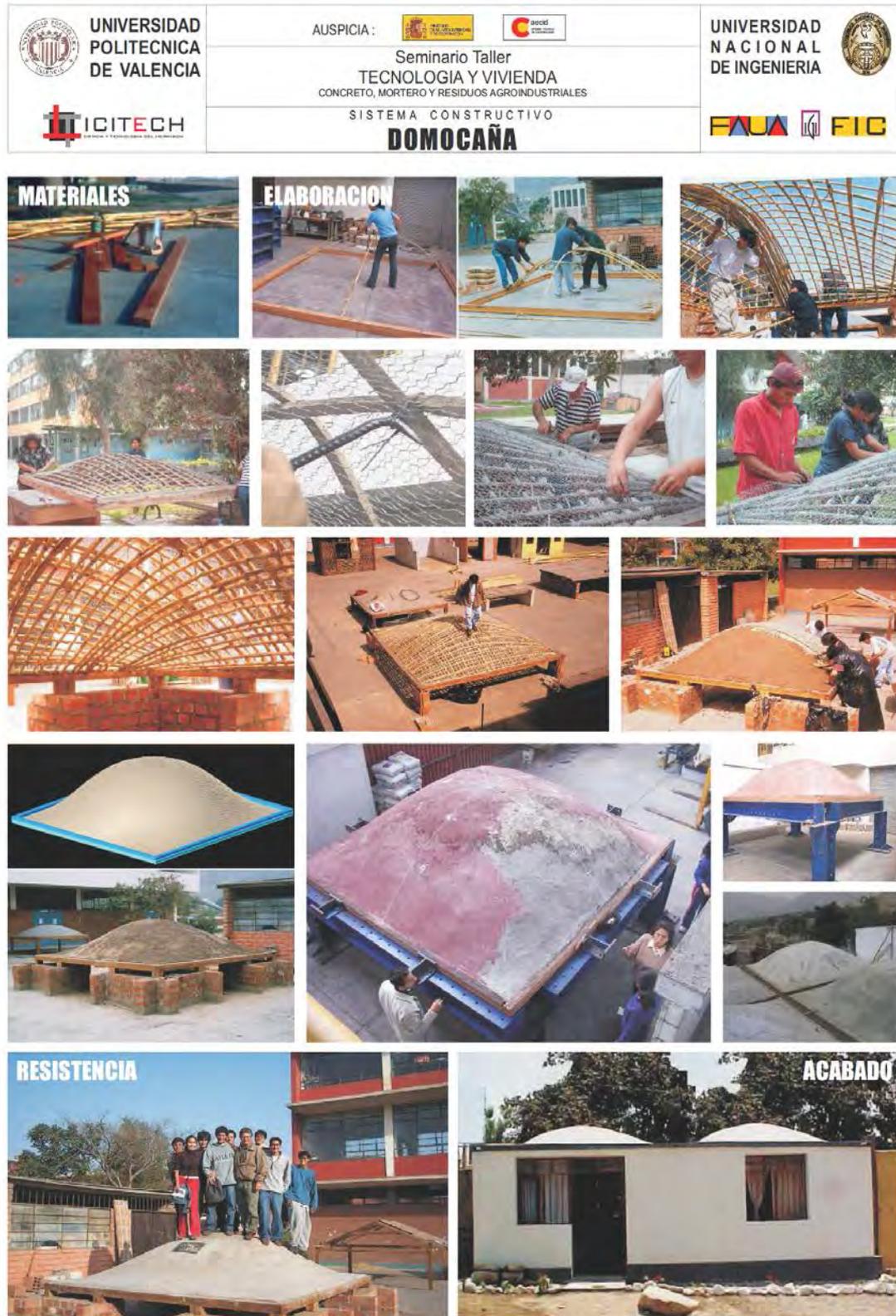
Foto N° 5.09: En la vista se aprecia el armado de la cúpula y el cortado de la caña.

Terminado de elaborar la estructura del techo Domocaña, con la colocación de las cañas, sobre la cúpula se coloca una malla tipo gallinero fijada con alambre y clavos, y debajo de la estructura se coloca una manta plástica con la finalidad de recepcionar el mortero que cae luego de colocar el mortero con la adición de la ceniza de cáscara de arroz sobre la cúpula y luego por debajo de la cúpula, como se aprecia en la Foto N° 5.10. Así también, se observa la preparación del mortero para la aplicación en la cobertura de la cúpula. El proceso esquematiza de la elaboración del Domocaña se aprecia en la Foto N° 5.11.



Foto N° 5.10: Armado del techo Domocaña y preparación del mortero con ceniza para la cobertura.

Foto N° 5.11: Proceso de elaboración del sistema Domocaña.



### 5.3 Elaboración de paneles de quincha.

Los paneles de quincha están compuesto por bastidores de madera, en su interior se coloca las cañas entrelazadas. Los paneles que sirven como muros del sistema de techo Domocaña.

Para la elaboración de los paneles las cañas son habilitadas y cortadas según el tamaño del panel a elaborar, como se observa en la Foto N° 5.12.



Foto N° 5.12: En la vista se aprecia el habilitado de la caña.

La madera correspondiente al bastidor son habilitados y cortados de acuerdo a su dimensión. El proceso de elaboración se aprecia en la Foto N° 15, así como el dimensionamiento y sus detalles.

En la Foto N° 5.13, se aprecia la construcción del panel, bastidor de madera. En la Foto N° 5.14 se aprecia el panel ya elaborado con el revestimiento con listones en su interior que sirve para el trenzado de las cañas con la adición de la ceniza de cáscara de arroz.



Foto N° 5.13: En la vista se aprecia el bastidor terminado.

Foto N°5.14: Proceso de elaboración de paneles.

 <p><b>UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA</b></p> 	AUSPICIA:  	 <p><b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA</b></p>  
	Seminario Taller <b>TECNOLOGIA Y VIVIENDA</b> CONCRETO, MORTERO Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES SISTEMA CONSTRUCTIVO <b>QUINCHA PREFABRICADA</b>	



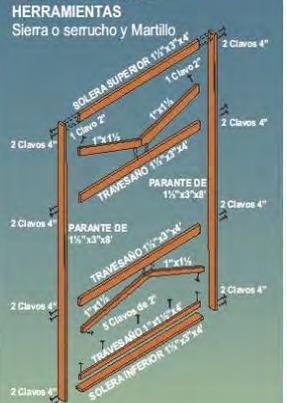
**MATERIALES**

**MADERA**  
 Para bastidor de panel.  
 Pie derecho 1½"x3"x8' (2 unidades)  
 Travesaños 1½"x3"x4' (2 unidades)  
 Travesaño 1"x1½"x4' (1 unidad)  
 Diagonales 1"x1½"x3' (4 unidades)  
 Solera Superior 1½"x3"x4' (1 unidad)  
 Solera Inferior 1½"x3"x4' (1 unidad)

**CLAVOS**  
 De 4" (16 unidades)  
 De 2" (05 unidades)

**CAÑA**  
 Carrizo (1"x2.8mts.)  
 Cantidad = 37 unidades

**HERRAMIENTAS**  
 Sierra o serrucho y Martillo



El ensamblado del bastidor de madera se realiza fácilmente con ayuda de los clavos y el martillo. Se sugiere realizar el curado de la madera para evitar la infección por termitas. Luego se procede al trenzado de la caña en el bastidor. Finalmente, se coloca el revoque. Nota: El revoque con barro, tiene 2.0 kg de paja porcada 100.0 kg de tierra. Otros: Cemento, yeso-cemento

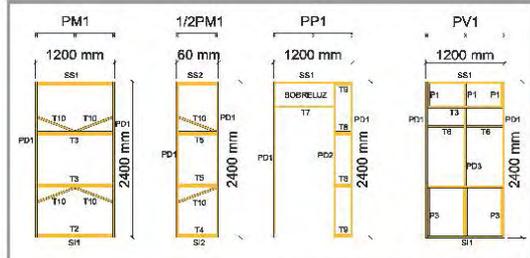




Foto N° 5.15: Se aprecia el bastidor terminado y revestido con mortero.

#### 5.4 Sistema de techo denominado Domozed.

El sistema consiste en la elaboración de una losa de techo constituido a base de viguetas prefabricadas de concreto armado y Domos de mortero o concreto como unidad de techo aligerante, similar a la losa de techo convencional. La tecnología del sistema de Domozed para losa de techo fue diseñado con la finalidad que personas o comunidades puedan fabricar elementos prefabricados mediante la autoconstrucción.

A los elementos prefabricados se adicionarán las cenizas de cáscara de arroz según lo indicado en la dosificación indicada en el capítulo III.

#### Elaboración de los domos

Se realiza el habilitado de la madera para la construcción de tres piezas que conforman el molde para la elaboración de los domos conformados por; **primera pieza**, marco de madera de 0.60 x 0.60 cm. de 2.5 cm de espesor, **segunda pieza**, marco de 0.60 m. x 0.60 m. con dos asas fijadas al marco, tal como se aprecia en la Foto N° 5.16., luego se fija una malla al marco el cual sirve de base para recepcionar el concreto y darle la forma de domo, con una contraflecha de 4 a 6 cm., la **tercera pieza**, es una mesa de madera como base del molde, ver la Foto N° 5.17.



Foto N° 5.16: Habilitado de la madera para el encofrado del domo.



Foto N° 5.17: Habilitado de la madera para el encofrado del domo.

Para la elaboración del concreto, se utilizó una dosificación de cemento, arena y confitillo de 1 : 3 : 2 y 28 lt./bolsa, con una adición del 20% de ceniza, se mezclan los componentes hasta encontrar la homogeneidad, luego se vierte el concreto sobre la carretilla para depositarlo dentro del molde del domo, se acomoda y se enrasa a la superficie. Para darle el acabado se usa un mortero de 1 : 3, la dosis de ceniza (20%) y frotachar ver la Figura N° 5.01, en la Foto N° 5.18 se aprecia el proceso de elaboración de los domos.



Foto N° 5.18: Proceso de elaborado de los domos de concreto.

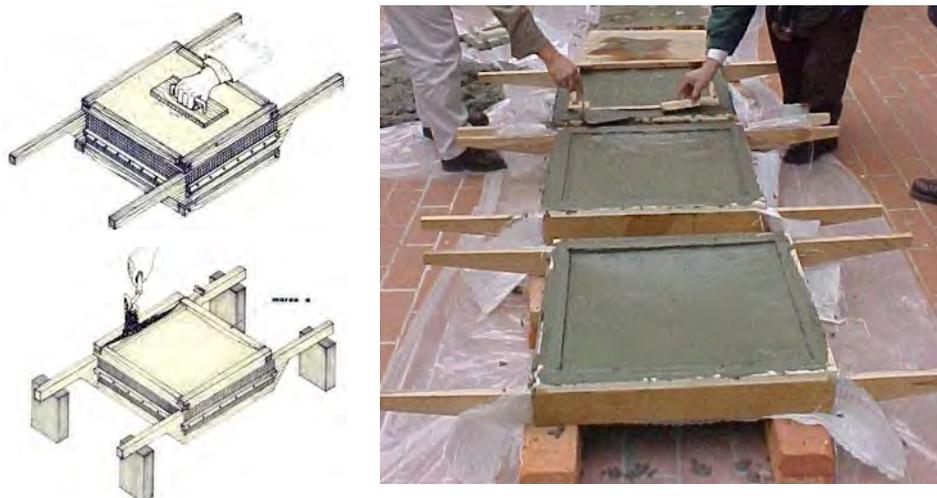


Figura N° 5.01: Enrasado y acabado final del domo con mortero.

Después de un día son desmoldados los domos y curados con agua potable, para luego cubrirlos con mantas de plásticos con la finalidad de prolongar el curado, como se aprecia en la Foto N° 5.19.



Foto N° 5.19: Domo formado y desmoldado – proceso de curado.

### Elaboración de las viguetas de concreto.

Para la elaboración de las viguetas de concreto se sigue los siguientes pasos; se prepara el encofrado de la vigueta de concreto, habilitando el refuerzo estructural de diseño, luego se procede al vaciado del concreto.

Al día siguiente se desencofra, se procede al curado del elemento de concreto, quedando listo el elemento prefabricado, como se aprecia en la Foto N° 5.20.

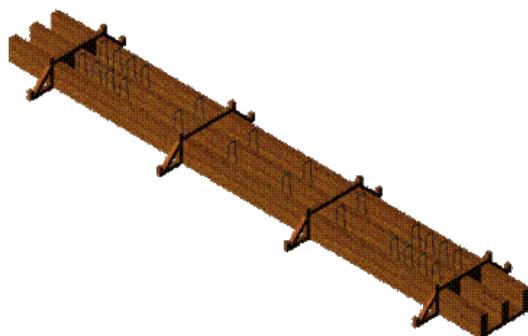


Foto N° 5.20: Encofrado para la elaboración de las viguetas de concreto.

Se realiza el mezclado de los componentes del concreto, seguidamente se realiza el ensayo del como de Abrams para medir la trabajabilidad de la mezcla para un asentamiento de 3" - 4", verificándose su trabajabilidad, tal como se aprecia en la Foto N° 5.21. . Al día siguiente se retira el encofrado obteniéndose la vigueta, como se ve en la Foto N° 5.23. Finalmente se procede con el proceso de curado en el laboratorio de concreto.



Foto N° 5.21: Proceso de mezclado del concreto.

Se procede al vaciado del concreto compactándose en dos capas, al día siguiente desencofran y se procede al curado, quedando listo el elemento fabricado como se aprecia en la Foto N° 5.22 y Foto N° 5.23.

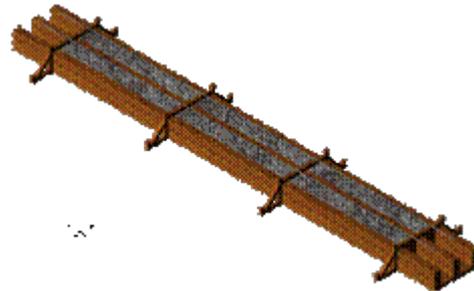
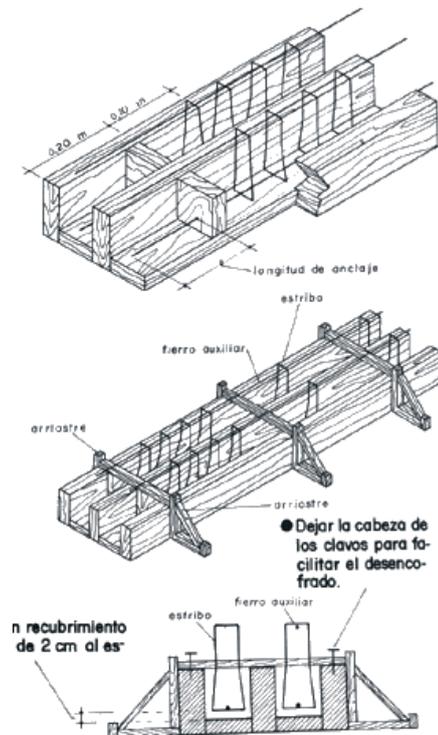


Foto N° 5.22: Proceso de elaboración de la viguetas de concreto.



Foto N° 5.23: Vigueta prefabricada de concreto para el sistema techo Domozed.

En la Foto N° 5.24, se aprecia el sistema constructivo de techo denominado Domozed, el cual está conformado por viguetas de concreto reforzado y domos de concreto, indicando también el dimensionamiento del molde usado para la elaboración de los domos.

### 5.5 Elaboración de bloquetas de concreto para los muros de albañilería

Para la elaboración de las bloquetas de concreto se utilizó la dosificación óptima obtenida adicionando la ceniza de cáscara de arroz en la proporción indicada

Se procedió a vaciar el concreto dentro del molde metálico el cual debe estar ubicado sobre la mesa vibradora, para luego proceder al desmoldado.

El concreto es una mezcla seca de asentamiento con una medida de cero pulgadas, tiene como agregado grueso confitillo, el proceso se puede observar en la Foto N° 5.25.



Foto N° 5.25: En la vista se aprecia la elaboración de las bloquetas.

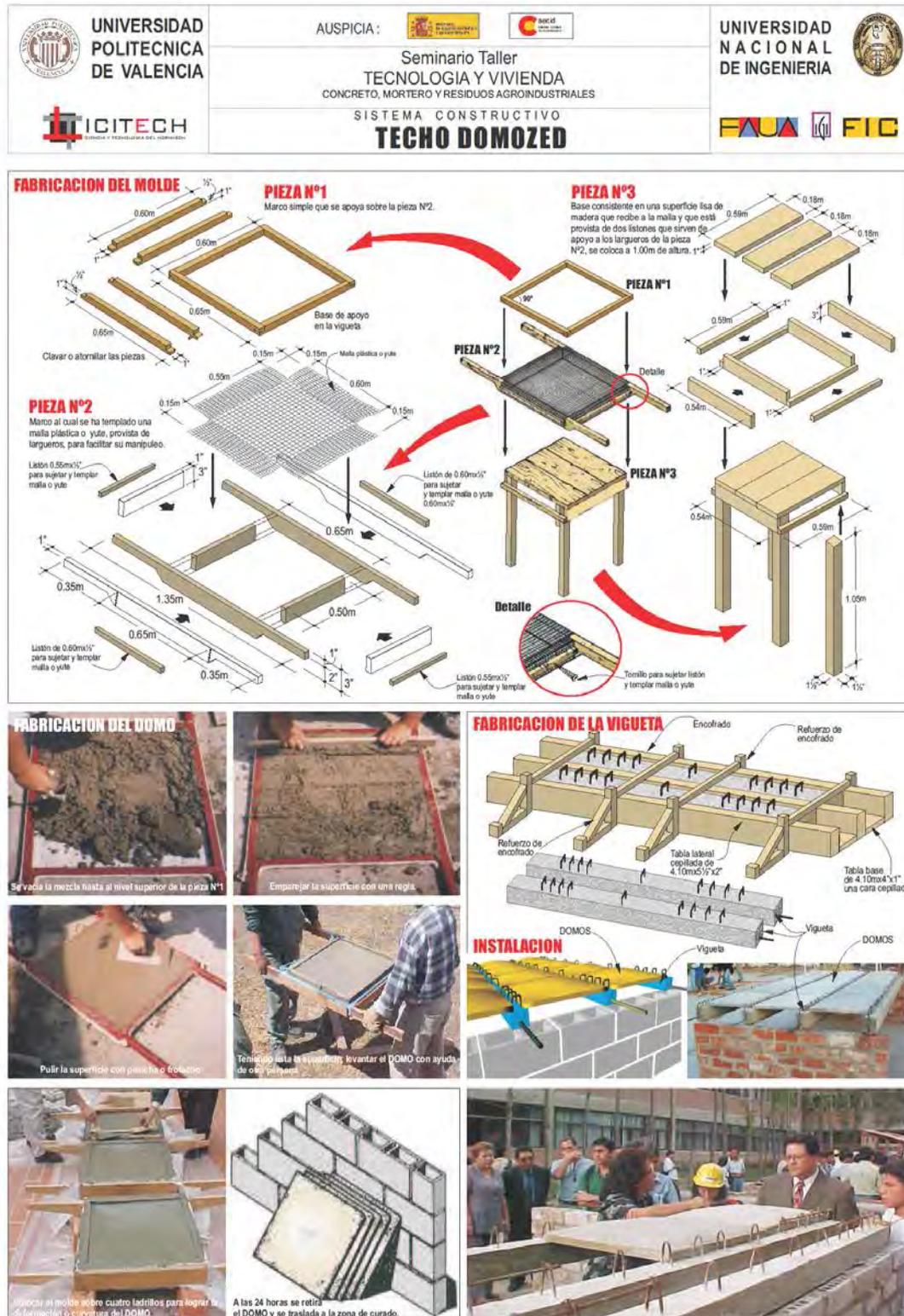


Foto N° 5.24. Proceso constructivo del sistema Domozed.

Las bloquetas se elaboraron utilizando la máquina denominada “Rosacometa” el cual se obtiene cuatro unidades por tanda, tal como se aprecian en las Foto N° 5.26



Foto N° 5.26: Proceso de elaboración de bloques de concreto.

### 5.6 Análisis de costos comparativos de elaboración de bloquetas de tipo artesanal

Para los sistemas de prefabricación de los elementos de concreto y mortero planteados, cuya utilización se recomienda para pobladores de bajos recursos económicos cuyo proceso constructivo es la autoconstrucción considerando que se realizará bajo una dirección técnica ingenieril.

Para el análisis de costos de producción se realizará el comparativo de elaboración de bloquetas de concreto mediante el sistema artesanal, sin adición de la ceniza de cáscara de arroz y otro con la adición del mismo. Para el análisis comparativo se ha tomado el diseño de mezcla del estudio indicado en el Cuadro N° 4.09.

Cuadro N° 4.09: Parámetros y dosificación para la elaboración de las bloquetas.

MATERIAL	Peso Seco	P.e.	Vol. Abs.	D.U.S.	D.O.	D.U.O.	mez (Kg)	48	P/bol C.	P. VOL	Bol Cem.	PESO CONCRETO
Cemento	266	3.13	0.0851	1	266	1	5.32	Kg	42.5	1	6.3	24.000
Agua	197	1	0.1970	0.74	186	0.70	3.72	Lt	29.7	29.7		Corrección de agua:
Arena	1396	2.67	0.5228	5.24	1423	5.35	28.46	Kg	227.2	5.46	AGUA ADIC.	Agua arena: 15.77
Piedra	439	2.66	0.1651	1.65	441	1.66	8.82	Kg	70.4	1.77		Agua piedra: -4.92
Aire	3	100	0.0300									10.86
Aditivo	0.00	1.1	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.0000	Kg	0		SLUMP	BALDE 1/3 pie <sup>3</sup>
P.U.C.S.	2301	SUMA	0.312	P.U.C.F.	2317	8.70						PUCF

a) Análisis de costo de la elaboración de bloquetas de concreto sin adición.

Del diseño de mezcla de la elaboración de bloquetas se ha tomado la dosificación por volumen obteniéndose los resultados que se presentan en el Cuadro N° 5.01.

Cuadro N° 5.01: Dosificación por m.<sup>3</sup> de las bloquetas de concreto.

DOSIFICACION DE MEZCLA PARA CONCRETO DE f 'c = 70 Kg/cm. <sup>2</sup>		
PARA:	1.00	M. <sup>3</sup>
DESCRIPCION	UNDIDAD	CANTIDAD
Cemento	Bolsas	6.3
Arena	m. <sup>3</sup>	0.53
Piedra chancada	m. <sup>3</sup>	0.17
Agua	m. <sup>3</sup>	0.197

Para la elaboración de las bloquetas de concreto se ha considerado una cuadrilla de tres operarios y tres peones el cual tendrá un rendimiento de 2000 (bloquetas/día). Según el análisis de costos realizado para la ciudad de Tarapoto se obtiene el costo de S/. 1.04 nuevos soles la unidad, como se aprecia en el Cuadro N° 5.02.

Cuadro N° 5.02: Análisis de costo unitario de bloquetas sin adición de la ceniza de cáscara de arroz.

ANÁLISIS DEL COSTO UNITARIO DE LA BLOQUETA CONVENCIONAL - CONCRETO f ' c = 70 kg./cm. <sup>2</sup>						
Rendimiento:		2000	Bloquetas/día	UNIDAD:	Unidad	
				<b>COSTO UNITARIO: S/. 1.04</b>		
IETM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	COSTO	PARCIAL
01.00	MANO DE OBRA					
	Operario	H.H	3	0.012	15.00	0.18
	Peón	H.H	3	0.012	13.00	0.16
						<b>0.34</b>
02.00	MATERIALES					
	Cemento	bolsas		0.0315	15	0.47
	Arena	m. <sup>3</sup>		0.00265	35	0.09
	Piedra	m. <sup>3</sup>		0.00085	40	0.03
	Agua	m. <sup>3</sup>		0.000985	1	0.00
						<b>0.60</b>
03.00	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS					
	Herramienta manual	%		5	0.34	0.02
	Mezcladora tipo trompo	h.e	1	0.004	10.00	0.04
	Meza vibradora	h.e	1	0.004	10.00	0.04
	Moldes	h.e	1	0.004	1.00	0.00
						<b>0.10</b>

b) Análisis de costo de la elaboración de bloquetas de concreto con adición.

Del diseño de mezcla para la elaboración de las bloquetas con la adición de la ceniza de cáscara de arroz, con la variación consistente en reemplazar el 15% de la ceniza de cascara de arroz por cemento, se tiene lo siguiente, ver el Cuadro N° 5.03.

Cuadro N° 5.03: Dosificación por m.<sup>3</sup> de las bloquetas de concreto utilizando la adición.

<b>DOSIFICACION DE MEZCLA PARA CONCRETO DE f 'c = 70 Kg/cm.<sup>2</sup></b>		
<b>Incorporando cenizas de cáscara de arroz</b>		
PARA:	1.00	M. <sup>3</sup>
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
Cemento	Bolsas	5.355
Arena	m. <sup>3</sup>	0.53
Piedra chancada	m. <sup>3</sup>	0.17
Agua	m. <sup>3</sup>	0.2
Ceniza de c.a.	kg	40.1625

Para la elaboración de las bloquetas con la adición de ceniza de cáscara de arroz, manteniendo el mismo rendimiento y cuadrilla, según el análisis de costo realizado para la ciudad de Tarapoto se obtiene el costo de la unidad en S/. 1.00 nuevo sole, como se aprecia en el Cuadro N° 5.04.

Cuadro N° 5.04: Análisis de costo unitario de bloquetas sin adición de la ceniza de cáscara de arroz.

<b>ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO DE LA BLOQUETA CON INCORPORACION DE CENIZAS DE CÁSCARA DE ARROZ</b>						
Rendimiento:		2000	Bloquetas/dia	UNIDAD:		Unidad
<b>COSTO UNITARIO:</b>						<b>S/. 1.00</b>
IETM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	COSTO	PARCIAL
01.00	MANO DE OBRA					
	Operario	H.H	3	0.012	15.00	0.18
	Peon	H.H	3	0.012	13.00	0.16
						<b>0.34</b>
02.00	MATERIALES					
	Cemento	bolsas		0.026775	15	0.40
	Arena	m3		0.00265	35	0.09
	Piedra	m3		0.00085	40	0.03
	Agua	m3		0.001	1	0.00
	Ceniza de cáscara de arroz	kg		0.2008125	S/. 0.15	0.03
						<b>0.56</b>
03.00	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS					
	Herramienta manual	%		5	0.34	0.02
	Mezcladora tipo trompo	h.e	1	0.004	10.00	0.04
	Meza vibradora	h.e	1	0.004	10.00	0.04
	Moldes	h.e	1	0.004	1.00	0.00
						<b>0.10</b>

c) Análisis de costo de la elaboración de bloquetas de concreto con adición optimizado.

Del diseño de mezcla de control y con la adición de la ceniza de cáscara de arroz del 10%, 15% y 20% respectivamente en reemplazo del cemento se muestran los valores de resistencia a la compresión obtenidos respecto a la resistencia especificada, ver el Cuadro N° 4.11.

Cuadro N° 4.11: Ensayo de Compresión en bloquetas, cuadro comparativo

DIAS	CONTROL(kg./cm.²)	MOLIDO EN MOLINO		
CENIZA	0%	10%	15%	20%
7	70	72	69	61
28	80	89	82	73

DIAS	CONTROL(kg./cm.²)	MOLIDO EN MOLINO		
CENIZA	0%	10%	15%	20%
7	100	103	99	87
28	100	111	103	91

Del Cuadro N° 4.11, se puede observar los resultados de resistencia a la compresión del diseño de control y con la adición de ceniza de cáscara de arroz en reemplazo del cemento del 10% al 20%, obteniéndose en todos los casos valores mayores a la resistencia especificada de diseño.

Con la adición del 20% de ceniza de cáscara de arroz (supera en 4% al especificado), con 15% (supera en 17% al especificado) y con 10% (supera en 27% a la resistencia especificada), tal como se aprecia en el Cuadro N° 5.05.

Cuadro N° 5.05: Cuadro comparativo de resistencia a la compresión de diseño vs. diseño más adición.

CUADRO COMPARATIVO - RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN BLOQUETAS DE CONCRETO EN ( kg. / cm.² ) Y EN (%)		
DESCRIPCION	(kg./cm.²)	(%)
DISEÑO f'c (ESPECIFICADO)	70	100
CONTROL ( 0% DE CENIZA)	80	114
CONTROL ( 10% DE CENIZA)	89	127
CONTROL ( 15% DE CENIZA)	82	117
CONTROL ( 20% DE CENIZA)	73	104

Por lo tanto podemos obtener un diseño optimizado con la adición del 15% de ceniza de cáscara de arroz, debido que supera en un 17% a la resistencia especificada, el cual nos permite reducir un 5% más en el uso del cemento manteniendo inclusive un factor de seguridad, con esta variante se realizó el análisis del costo según se aprecia en el Cuadro N° 5.06.

Cuadro N° 5.06: Dosificación por m.<sup>3</sup> de las bloquetas de concreto optimizado con la adición del 15% de ceniza de cáscara de arroz.

<b>DOSIFICACION DE MEZCLA PARA CONCRETO DE f 'c = 70 Kg/cm.<sup>2</sup></b>		
<b>Incorporando ceniza de cáscara de arroz</b>		
PARA:	1.00	M. <sup>3</sup>
DESCRIPCION	UNDIDAD	CANTIDAD
Cemento	Bolsas	5.08725
Arena	m. <sup>3</sup>	0.53
Piedra chancada	m. <sup>3</sup>	0.17
Agua	m. <sup>3</sup>	0.197
Ceniza de c.a.	kg	40.1625

Para la elaboración de las bloquetas con la adición de ceniza de cáscara de arroz, manteniendo el mismo rendimiento y cuadrilla, según el análisis de costo realizado para la ciudad de Tarapoto se obtiene el costo de la unidad en S/. 0.98 nuevos soles, como se aprecia en el Cuadro N° 5.07.

Cuadro N° 5.07: Análisis de costo unitario de bloquetas sin adición de la ceniza de cáscara de arroz optimizado.

<b>ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO DE LA BLOQUETA BLOQUETA CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ</b>						
Rendimiento:		2000	Bloquetas/día	UNIDAD:		Unidad
<b>COSTO UNITARIO:</b>						<b>S/. 0.98</b>
IETM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	COSTO	PARCIAL
01.00	<b>MANO DE OBRA</b>					
	Operario	H.H	3	0.012	15.00	0.18
	Peon	H.H	3	0.012	13.00	0.16
						<b>0.34</b>
02.00	<b>MATERIALES</b>					
	Cemento	bolsas		0.02543625	15	0.38
	Arena	m3		0.00265	35	0.09
	Piedra	m3		0.00085	40	0.03
	Agua	m3		0.000985	1	0.00
	Ceniza de cascara de arroz	kg		0.2008125	S/. 0.15	0.03
						<b>0.54</b>
03.00	<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>					
	Herramienta manual	%		5	0.34	0.02
	Mezcladora tipo trompo	h.e	1	0.004	10.00	0.04
	Meza vibradora	h.e	1	0.004	10.00	0.04
	Moldes	h.e	1	0.004	1.00	0.00
						<b>0.10</b>

En el análisis del costo de la bloqueta del Cuadro N° 5.07, se incluye el costo del kilo de ceniza de cáscara de arroz en la ciudad de Tarapoto, siendo este de S/. 0.15 nuevos soles, como se aprecia en el Cuadro N° 5.08.

Cuadro N° 5.08: Análisis de costo unitario del kilo de ceniza de cáscara de arroz.

ANÁLISIS DEL COSTO UNITARIO DE LA CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ - MOLIENDA						
Por hora se muele 90 kg de ceniza; equivalente a 6 bolsas con una eficiencia de 100%						
Rendimiento:		48	Bolsas/día	UNIDAD:	Bolsas	
Nota: Una bolsa tiene 15 kg de ceniza quemada						
<b>COSTO UNITARIO:</b>						<b>S/. 5.80</b>
IETM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	COSTO	PARCIAL
01.00	MANO DE OBRA					
	Peón	H.H	2	0.333	13.00	4.33
						<b>4.33</b>
02.00	MATERIALES					
						<b>0.00</b>
03.00	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS					
	Herramienta manual	%		3	4.33	0.13
	Máquina de moler	h.e	1	0.167	8.00	1.33
						<b>1.46</b>
Costo de la ceniza de cáscara de arroz por bolsas de 45 kg:						S/. 6.81
<b>Costo de la ceniza de cáscara de arroz por kg:</b>						<b>S/. 0.15</b>

En consecuencia para un millar de unidades de albañilería (bloquetas de concreto) en la ciudad de Tarapoto, se tendría un ahorro de 5.84%, como se observa en el Cuadro N° 5.09.

Cuadro N° 5.09: Cuadro comparativo del costo del millar de la bloqueta convencional versus el diseño optimizado con la ceniza de cáscara de arroz.

COSTO MILLAR DE BLOQUETA CONVENCIONAL	COSTO MILLAR BLOQUETA CON CENIZA
S/. 1,037.04	S/. 976.47
% DE AHORRO	5.84%

Por otro lado, se ha estimado el costo de una bolsa de ceniza de cáscara de arroz de 45 kg., análisis que incluye el costo del embolsado de la ceniza de cáscara de arroz y la molienda, obteniéndose un costo de S/. 6.81 nuevos soles, la bolsa de 45 kg., como se observa en el Cuadro N° 5.10 en el anexo.

## CAPITULO VI

# PROGRAMA DE DIFUSIÓN DE LA UTILIZACIÓN DEL MORTERO Y CONCRETO CON PUZOLANAS EN VIVIENDAS DE BAJO COSTO

El proyecto contempla la difusión y la transferencia tecnológica de los sistemas constructivos no convencionales referidos a la construcción de viviendas de bajo costo como una alternativa para dar solución a los problemas de habitabilidad.

En ese sentido se programaron dos talleres de en la ciudad de Lima, organizado por la Universidad Nacional de Ingeniería y la Universidad Politécnica de Valencia, dirigidos a docentes, universitarios y instituciones dedicados a este tipo de sistemas constructivos alternativos.

### 6.1 Taller en la Universidad Politécnica de Valencia - España.

En el mes de Marzo del 2009 se realizó un curso internacional en la ciudad de Valencia - España, denominado; **“UTILIZACION DE DESECHOS AGROINDUSTRIALES EN EL CONCRETO Y MORTERO EN VIVIENDAS DE BAJO COSTO”**, el desarrollo del curso incluyó charlas técnicas y talleres de aplicación con la elaboración de elementos prefabricados y el proceso de construcción de sistemas de vivienda, como techo de Domocaña, paneles de madera (bastidores) con la inclusión de caña como entramado formando el esqueleto del muro el cual fue revestido con mortero adicionado (ceniza de cáscara de arroz) y también elaboración de bloquetas de concreto y tejas.

Las charlas técnicas fueron brindados por el grupo de trabajo del convenio Perú y España de acuerdo a lo estipulado en el marco del convenio del proyecto de investigación. En la Foto N° 6.01 se aprecia momentos de las charlas técnicas dada en la Universidad politécnica de Valencia, en el ciclo de conferencia del taller.



Foto N° 6.01: Taller de difusión en España.

En la segunda parte del curso, se dió la parte práctica, consistía en la elaboración de paneles conformado por bastidores de madera, teniendo como relleno caña los cuales fueron trenzados dentro del panel, para luego colocar el mortero de recubrimiento en los paneles utilizando para ello la adición de la ceniza de cáscara de arroz, tal como se aprecia en la Foto N° 6.02.



Foto N° 6.02: Participantes en la construcción de los paneles.

En la Foto N° 6.02, se aprecia el taller con la participación de los alumnos, que consistía en la elaboración de paneles conformado por bastidores de madera y el trenzado con caña brava, para luego colocar el mortero de recubrimiento a los paneles utilizando para ello la adición de la ceniza de cáscara de arroz.

Por otro lado, se elaboró el techo de domocaña, conformado por una manco de madera teniendo el domo como techo y una cobertura elaborada a base de cañas colocados a presión, los cuales fueron revestidos por un mortero el cual contenía ceniza de cáscara de arroz, como se observa en la Foto N° 6.03.



Foto N° 6.03: Construcción del Domocaña en el taller de difusión.

## 6.2 Taller en la UNI-FIC Laboratorio N° 1 Ensayo de Materiales.

En el mes de Enero del 2010 se realizó un curso internacional en la ciudad de Lima, denominado; **“UTILIZACION DE DESECHOS AGROINDUSTRIALES EN EL CONCRETO Y MORTERO EN VIVIENDAS DE BAJO COSTO”**, el cual incluía un talleres y charlas técnicas.

Se brindaron charlas de capacitación al público en general, referido a la elaboración de elemento prefabricados; bloquetas de concreto, construcción del sistema domocaña, paneles a base de madera y caña con cobertura de mortero, sistema constructivo domozed, en todos los casos se adicionó a las mezclas la ceniza de cáscara de arroz.

Se construyó un prototipo de vivienda de domocaña (techo domocaña y muros conformados por paneles de madera y caña) y otro de albañilería armada con la utilización de bloquetas de concreto.

Para ello se elaboró los planos del módulo respectivo, como se aprecia en los planos de planta a Figura N° 6.01 y en la Figura N° 6.02 el plano de planta del techo. En la Figura N° 6.03, se aprecian los moldes utilizados para el formado de las bloquetas.

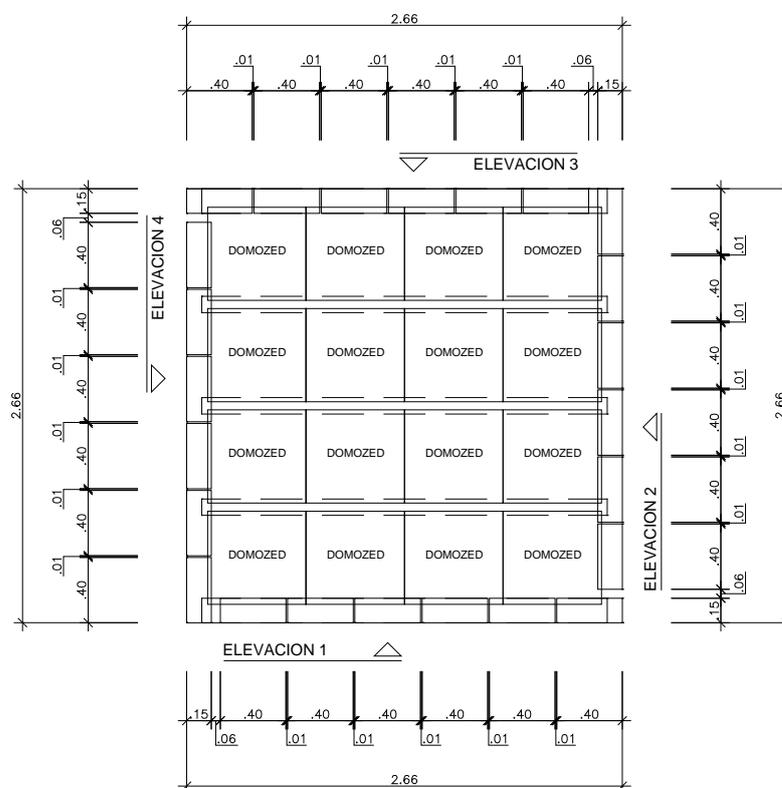


Figura N° 6.01: Prototipo; Plano de planta de los muros de distribución.



El módulo diseñado fue elaborado por los alumnos inscritos al curso, el cual fue proyectada tal como se aprecia en la Figura N° 6.04.



Figura N° 6.04: Vista del módulo elaborado a base de bloquetas de concreto.

Para la construcción del módulo, se realizó la excavación para la cimentación y luego se levanto los muros de albañilería armada, elaborado por alumnos inscritos al curso, el cual fue construido en los exteriores del L.E.M., como se ve en la Foto N° 6.01.



Figura N° 6.01: Vista del módulo elaborado a base de bloquetas de concreto.

El módulo de albañilería armada tiene como losa aligerada el sistema Domozed del proyecto, en la vista se aprecia la presentación de las viguetas, ver la Foto N° 6.02.



Foto N° 6.02: Vista del módulo elaborado a base de bloquetas de concreto.

En otra parte del taller los alumnos elaboraron los domos de concreto para el techo Domozed, como se aprecia en la Foto N° 6.03 y luego la colocación y presentación del sistema de losa como se observa en la Foto N° 6.04.



Foto N° 6.03: Vista del módulo elaborado a base de bloquetas de concreto.



Foto N° 6.04: Vista del prototipo, presentación de los domos y losa de techo Domozed.

En el patio de la UNI-FIC, se aprecia la cúpula del sistema Domocaña elaborado por alumnos del curso, ver las Foto N° 6.05 y 6.06.



Foto N° 6.05: Vista de la presentación del Domocaña elaborado en el curso Taller.



Foto N° 6.06: Vista presentación del techo Domocaña y finalización del curso Taller.

También elaboraron bloquetas de concreto en el taller con la participación de los alumnos, se preparó la mezcla con la adición de la ceniza de cáscara de arroz, ver la Foto N° 6.07 y 6.08, en la Foto N° 6.09 se aprecia los bloques elaborados y proceso de curado.



Foto N° 6.07: Preparación de la mezcla y elaboración de las bloquetas.



Foto N° 6.08: Preparación de la mezcla y elaboración de las bloquetas.



Foto N° 6.09: Bloquetas de concreto elaborados y proceso de curado.

En el taller otro grupo de alumnos se elaboraron paneles de caña, muros a base de caña entrelazadas dentro del panel, teniendo como cobertura mortero con adicción de ceniza de cáscara de arroz, ver la Foto N° 6.10.



Foto N° 6.10: Prototipo de modelo con paneles de quinchá.

Finalmente se aprecian las viguetas de concreto armado, se elaboraron en el área de ensayos mecánicos del L.E.M., ver la Foto N° 6.11.



Foto N° 6.11: Elaboración de las viguetas de concreto en el L.E.M. por los alumnos.

## CONCLUSIONES

1. De los ensayos de energías dispersas y rayos X (EDX), nos indican que las puzolanas y cenizas de cáscara de arroz estudiado contienen mayoritariamente Sílice (Si) en un 94% y 4% en menores proporciones de Potasio (K), Sodio (Na), Calcio (Ca), lo que representan materiales con alta actividad puzolánica.
2. Los ensayos de granulometría laser realizados a la puzolana, luego de la molienda utilizando el molino, las cenizas de cáscara de arroz son las que presentaron mejor finura que las puzolanas volcánicas, notándose este hecho en el tamizado para obtener una finura similar al cemento, factor que influyó en la obtención de la resistencia en los morteros elaborados.
3. De los análisis químicos de reactividad puzolánica, la puzolana natural procedente de Conchupata denominada (PI) es la que presenta mejores características puzolánicas, mientras que las cenizas de cáscara de arroz quemadas en horno son las que presentaron mejores características puzolánicas que las cenizas de cáscara quemadas en pampa y mejores que las puzolanas naturales, hecho que se confirma con los ensayos realizados en compresión mediante la elaboración de morteros.
4. En el estudio se ha encontrado que las cenizas de cáscara de arroz son las que presentaron mejores propiedades mecánicas en la adición en morteros y concreto, siendo la ceniza de cáscara de arroz estudiado procedente de Tarapoto, denominado (CV), la que tuvo mejor performance respecto a sus propiedades mecánicas, obteniéndose en reemplazo del cemento hasta un 15% similar resistencia a la mezcla de control.
5. En la elaboración de bloquetas de concreto, adicionando en reemplazo del cemento por ceniza de cáscara de arroz del 10% se obtuvo a los 28 días una resistencia superior al 11% respecto a la muestra de control, con la adición del 15% se obtiene una resistencia a los 28 días del 103% respecto a la muestra de control y con 20% se obtiene a los 28 días el 91% de la resistencia de control.

En conclusión se recomienda adicionar hasta en un 15% de ceniza de cáscara de arroz en reemplazo del cemento en la elaboración de bloquetas de concreto.

6. La adición también se aplica en los morteros de uso en la construcción como; revestimientos, recubrimiento y morteros de albañilería, siendo este mortero de uso no es estructural, de los resultados para una dosificación de 1 : 4, adicionando 10% de ceniza en reemplazo del cemento supera al de control en 7%, en tanto que para la adición del 15% de la ceniza de cáscara de arroz, a los 28 días supera al de control en 4%.

En consecuencia en vista a los resultados obtenidos, estos morteros como no son estructurales se puede adicionar hasta en un 20%.

7. Para un mortero cuya dosificación de 1:3, con adición del 10% de ceniza supera el control del 27%, indicando su buen comportamiento, en tanto que para la adición del 15% de la ceniza de cáscara de arroz, a los 28 días supera al de control en 26%, se puede concluir que para esta dosificación se puede adicionar hasta en un 30%.
8. En la elaboración de las bloquetas de concreto para el módulo del prototipo elaborado, se realizó el análisis de costo comparativo de la elaboración de bloquetas de manera convencional y otro con el uso de la ceniza de cáscara de arroz en reemplazo del cemento en un 15% del diseño de mezcla optimizado, se obtiene un ahorro del 5.84% utilizando la adición de ceniza de cáscara de arroz.
9. Se ha realizado talleres de difusión para el conveniente uso de este material en Lima, en la UNI-FIC se desarrollaron dos talleres y en España, en la Universidad Politécnica de Valencia se realizó un taller. Siendo los cursos para poder brindar la transferencia tecnológica para su aplicación en construcciones no convencionales, sobre todo para las zonas de bajos recursos económicos, donde este material predomina.
10. La utilización de este material como reemplazo de parte del cemento de elementos de concreto o mortero es fundamental sobretodo, donde este material abunda como por ejemplo entre las ciudades de Lambayeque y Pacasmayo debido a que existe la disponibilidad de cascarilla de arroz.

En estas ciudades se cuenta con 35 molinos los mismos que pilan 382,560 toneladas de arroz de cáscara al año.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar estudios para implementar su industrialización y propuesta de embolsado de la ceniza de cascará de arroz.
2. Debe realizarse un esfuerzo en incrementar el uso de los materiales alternativos al cemento portland, con el desarrollo de programas de capacitación, introducción del uso de estos materiales y tecnologías en los proyectos gubernamentales de construcción de viviendas sociales.
3. Considerar los materiales y tecnologías constructivas no convencionales como línea prioritaria de investigación, tanto en los países en vías de desarrollo como en los países desarrollados.

4. En la actualidad hay un clima de **confianza en el uso de los materiales innovadores** a gran escala, para ello es necesario un soporte científico y tecnológico que se debe ofrecer desde las Universidades y Centros de Investigación del Perú.
5. Los materiales puzolánicos en general y la ceniza de cáscara de arroz en particular, cuando presentan una calidad adecuada, son materiales que han demostrado un buen comportamiento en morteros y concretos de cemento portland según lo demostrado en el estudio.

---

## BIBLIOGRAFIA

- (1) MORTEROS LIGEROS DE CASCARA DE ARROZ, Ing. Manuel Gonzáles de la Cotera, Colección libros de ASOCEM.
- (2) SISTEMA DOMOZED, Ing. Raquel Barrionuevo de Machicao, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Arquitectura y Urbanismo y Artes FAUA.
- (3) ESTADO ACTUAL DE LA INVESTIGACIÓN DE LAS PUZOLANAS EN GUATEMALA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION, Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, Universidad San Carlos Guatemala.
- (4) DESARROLLO DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS NO CONVECCIONALES, Análisis y Diseño de Sistema Constructivos no Convencionales, Ing. Hernán Arboccó, ACI 2002.
- (5) SISTEMAS CONSTRUCTIVOS ENSAYADOS EL CISMID/FIC/UNI SITEMA CS UNA ALTERNATIVA EN EVOLUCION, Dr. Carlos Zavala Toledo, ACI 2002.
- (6) COMPORTAMIENTO SISMICO DE VIVIENDAS CONSTRUIDAS CON PANELES POLIBLOCK REFORZADO, Análisis y Diseño de Sistema Constructivos no Convencionales, Ing. Angel San Bartolomé, ACI 2002.
- (7) SISTEMA CONSTRUCTIVO EN SECO-SISTEMA DRYWALL, Empresa Eternit-Gyplac, Arq. Raul Posada Candela, ACI 2002.
- (8) DISEÑO DE ALBAÑILERÍA ARMADA Y LOSASA ALIGERADAS CON VIGUETAS PRETENSADAS, Empresa FIRTH, Ing. María Castillo Aravena, ACI 2002.
- (9) SISTEMA CONSTRUCTIVO EN MADERA, Ejemplos a nivel Internacional, Arq. Christian Arbaiza Mendoza, CITEMADERA, ACI 2002.
- (10) N.T.P. 334.066, Cementos. Método de ensayo para determinar el índice de actividad puzolánica utilizando cemento Pórtland.
- (11) N.T.P. 334.003, Elaboración de la pasta y mortero de cemento.
- (12) N.T.P. 334.005, Método de ensayo para determinar la consistencia normal y el fraguado del cemento.

- 
- (13) N.T.P. 331.042, Elaboración del mortero plástico para determinar la resistencia a la flexión y compresión.
  - (14) N.T.P. 331.051, Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión en mortero de cemento utilizando cubos de 50 mm. de lado.
  - (15) N.T.P. 331.057, Método de ensayo para determinar la Fluidéz en mortero de cemento.
  - (16) ASOCIACION PERUANA DE MOLINEROS DEL ARROZ, conferencia en el Congreso de la República Marzo 2012.
  - (17) PROYECTO, "Utilización de Puzolanas naturales en la elaboración de prefabricados con base cementicia destinados a la construcción de viviendas de bajo coste. Dr. José Monzó, Dr. Yordi Payá Bernabeu, Valencia, Febrero 2011.
  - (18) PUZOLANAS, Dra. Rosaura Vásquez, Jefe de control de calidad de Cementos Pacasmayo, curso de Materiales de Construcción, curso de posgrado UNI-FIC en Tecnología de la Construcción, Lima 2006.
  - (19) PROINVERSION, Ministerio de Energía y Minas, Producción no metálica en el Perú, Lima 2010.
  - (20) TECNOLOGIA Y VIVIENDA CONCRETO Y MORTERO Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES; Ing. Raquel Barrionuevo de Machicao, Congreso de la República – Comisión de Vivienda y Construcción, Lima Mayo 2012.
  - (21) La paja de arroz, consecuencias de su manejo y alternativas de aprovechamiento, Dr. Diana Abril, Dr. Enrique Navarro y Alejandro Abril, Junio 2009.