



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

Título del Proyecto:

Ceniza de cascarilla de arroz en mortero para reducir las patologías por humedad en enlucidos.

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil

Autores:

Pincha Tuabanda Anael Vanessa
Valdivieso Pulgar Gemma Yhael

Tutor:

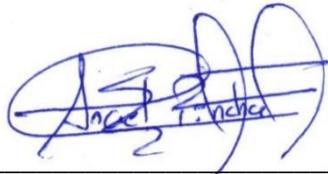
Msc. Marco Javier Palacios Carvajal

Riobamba, Ecuador, 2024

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotras, Anael Vanessa Pincha Tuabanda, con cédula de ciudadanía 065004688-1 y Gemma Yhael Valdivieso Pulgar, con cédula de ciudadanía 060503461-0, autores del trabajo de investigación titulado: “**CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ EN MORTERO PARA REDUCIR LAS PATOLOGÍAS POR HUMEDAD EN ENLUCIDOS**”, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad. Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 28 de noviembre de 2023.



Pincha Tuabanda Anael Vanessa
C.I. 065004688-1



Valdivieso Pulgar Gemma Yhael
C.I. 060503461-0

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Ing/ Mgs. Marco Javier Palacios Carvajal catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación Ceniza de cascarilla de arroz en mortero para reducir las patologías por humedad en enlucidos, bajo la autoría de Anael Vanessa Pincha Tuabanda y Gemma Yhael Valdivieso Pulgar; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 28 días del mes de noviembre de 2023

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large circular flourish on the left and several horizontal strokes on the right, positioned above a horizontal line.

Ing/Mgs. Marco Javier Palacios Carvajal

C.I:0501325476

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **Ceniza de cascarilla de arroz en mortero para reducir las patologías por humedad en enlucidos** por **Anael Vanessa Pincha Tuabanda, Gemma Yhael Valdivieso Pulgar**, con cédula de identidad número **065004688-1, 060503461-0**, bajo la tutoría de Mg. Marco Javier Palacios Carvajal; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 25 de enero de 2024.

Ing. Oscar Cevallos
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Andrés Marcillo
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Marcelo Guerra
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

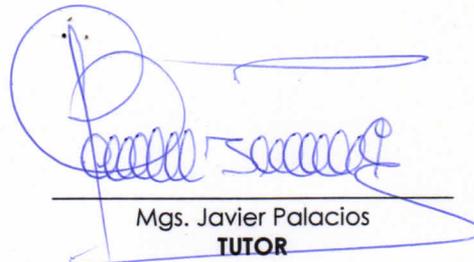




CERTIFICACIÓN

Que, **PINCHA TUABANDA ANAEL VANESSA Y VALDIVIESO PULGAR GEMMA YHAEL** con CC: **065004688-1 Y 060503461-0**, estudiante de la Carrera **INGENIERÍA CIVIL**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ EN MORTERO PARA REDUCIR LAS PATOLOGÍAS POR HUMEDAD EN ENLUCIDOS**", cumple con el **9 %**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **Original**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 16 de enero de 2024



Mgs. Javier Palacios
TUTOR

DEDICATORIA

De manera especial dedico este trabajo de investigación a Dios, por darme la fortuna de padres y hermanos que han velado por mí brindándome todo el amor que se puede brindar, por plantar sueños en mí y darme las capacidades para alcanzarlo.

A mis padres Ramón y Sara por darme la vida y mostrarme el camino.

A mis hermanos, especialmente, Fabián y Boris, no solo por creer en mí, sino por estar presentes en cada pequeño logro que ahora es una realidad.

Anael V. Pincha T.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por esta bendición y me permita alcanzar muchos éxitos más.

Agradezco a mi padre Ramón Pincha por guiarme con su experiencia y amor, y porque con el pasar de los años sigue esforzándose por mí cada día deseándome lo mejor. A mi madre Sara Tuabanda, cuyo recuerdo tendré siempre presente con la certeza de que estará orgullosa de mí y de que me cuidará a lo largo de mi vida.

A mis hermanos Fabián y Boris por llevar junto a mi cada día bueno y malo, gracias a ustedes, a su apoyo incondicional se cumple este preciado sueño para mí, a mis hermanos Edgar, Paty e Iván quienes me apoyaron y brindaron de cerca y a la distancia lo que en su momento necesité para seguir adelante y a Luis, quien, sin saberlo dio inicio a este amor por esta hermosa carrera.

Al Ing. Javier Palacios, por el valioso conocimiento brindado para el desarrollo de esta investigación y su forma única de guiarnos y motivarnos. De igual manera, gracias a los docentes de esta hermosa carrera con quienes tuve el privilegio de aprender.

A mis amigos y compañeros quienes han alegrado cada día de esta etapa universitaria. Y a todas las personas que estuvieron presentes en los momentos importantes para mí y haciéndome parte de los suyos.

Gracias de todo corazón.

Anael V. Pincha T.

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación y mis logros alcanzados a la fecha presente se los dedico a mi abuelito Miguel Valdiviezo quien ha sido uno de los pilares más importante de mi vida, así también, a mi abuelita +Lida Pulgar quien fue ese eje central en mi vida para mi desarrollo personal y por último a mi madre de corazón Silvia Valdivieso quien a través de su amor y servicio nunca me ha dejado sola.

Gemma Y. Valdivieso P.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios y a mi mamá + Patricia Valdivieso quien me dio la vida con valentía y coraje, segura estoy que desde el cielo Dios me bendice con cada día y ella está pendiente de mi bienestar desde el primer día que nos separamos terrenalmente.

A mis hermanas de alma, vida y corazón: Taty y Karen quienes han sido maestras, cómplices y amigas. A mis primos: Juanito, Daniela, Lucely y María Belén por estar también pendiente de mí a través de detalles materiales y oraciones que me hicieron sentir muy cómoda y segura para continuar con este proceso de formación.

A mis tíos de manera especial: Bertha y Jorge por su apoyo tanto moral como económico dentro de mi proceso de estudio para conseguir mi título profesional.

A mi Morzote quien ha sido ese apoyo incondicional en los momentos de caos con la carrera académica, así también como los momentos de caos personal por ello te digo muchas gracias por no dejarme tirar la toalla en aquellas ocasiones donde ya no creía que esto era para mí, gracias por brindarme confianza y ayudarme en las cosas que necesitaba.

Así también expreso mi sincero agradecimiento a todos esos maestros que supieron enseñarnos con el corazón, nombrarlos queda corto, pero para todos ustedes un Dios le pagué por su dedicación ante nuestra formación.

A mis compañeros y amigos de la universidad un Dios les pague por haber sido ese apoyo para continuar en este proceso formativo los quiero mucho.

Y, por último, pero no menos importante a nuestro tutor Ing. Marco Javier Palacios quien gustosamente fue nuestro tutor para este proyecto recomendándonos cómo es posible ejecutar esta idea de la mejor manera posible y teniendo nos paciencia a través de este proceso muchas gracias. Por ser nuestro apoyo.

Gemma Y. Valdivieso P

ÍNDICE GENERAL

PORTADA	
DERECHOS DE AUTORÍA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
INDICE GENERAL	
INDICE DE TABLAS	
INDICE DE FIGURAS	
INDICE DE ANEXOS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	17
1.1 Antecedentes.....	17
1.2 Planteamiento del problema.....	18
1.3 Justificación.....	18
1.4 Objetivos.....	19
1.4.1 Objetivo General.....	19
1.4.2 Objetivos Específicos.....	19
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	20
2.1 Estado de arte.....	20
2.2 Dosificación de las muestras.....	22
2.3 Cemento Portland Tipo HE.....	23
2.4 Árido Fino (Arena).....	24
2.5 Mortero para enlucidos.....	24
2.5.1 Resistencia normada mínima.....	25
2.5.2 Características del mortero de enlucido en estado plástico.....	25

2.5.3	Características del mortero de enlucido en estado endurecido.....	26
2.6	Detalle del análisis económico.....	26
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....		29
3.1	Metodología de la investigación.....	29
3.2	Diseño de investigación.....	29
3.3	Técnicas de recolección de datos.....	30
3.4	Instrumentos.....	31
3.5	Métodos de análisis y procesamiento de datos.....	32
3.6	Población de estudio y tamaño de muestra.....	33
3.7	Hipótesis.....	34
3.8	Fases del procedimiento.....	35
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		37
4.1	Determinación de las impurezas orgánicas.....	37
4.2	Análisis granulométrico.....	38
4.3	Contenido total de humedad.....	39
4.4	Determinación de la Densidad y Porcentaje de Absorción.....	39
4.5	Resumen de Resultados Árido Fino.....	39
4.6	Análisis Químico del Árido Fino y CCA.....	40
4.7	Ensayo a Compresión.....	44
4.8	Comparación del Ensayo a Compresión con Investigación Previamente Analizada	45
4.9	Ensayo de Fluidez / Trabajabilidad.....	47
4.10	Ensayo de Determinación de Tiempo de Fraguado.....	48
4.11	Tasa de absorción de Agua o Sorptividad.....	48
4.12	Intemperismo.....	50
4.13	Análisis Económico.....	56
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		59
5.1	Conclusiones.....	59

5.2 Recomendaciones	60
BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXOS	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Nivel de agresividad del clima en edificaciones.	21
Tabla 2. Patologías del mortero por efecto del ambiente.	21
Tabla 3. Dosificación utilizada para ensayo de compresión.	23
Tabla 4. Dosificación utilizada para ensayo de sorptividad.	23
Tabla 5. Dosificación utilizada para ensayo de intemperismo.	23
Tabla 6. Valores característicos del cemento portland tipo HE.	24
Tabla 7. Clasificación del mortero por propiedades.	25
Tabla 8. Guía de morteros para acabados o reparación.	25
Tabla 9. Indicadores para la recolección de datos.	30
Tabla 10. Instrumentos para desarrollo de los ensayos de laboratorio.	31
Tabla 11. Cantidad total de muestras.	33
Tabla 12. Datos de granulometría agregado fino.	38
Tabla 13. Contenido de humedad agregado fino de la "Hormigonera Moreno"	39
Tabla 14. Densidad y Porcentaje de absorción agregado fino.	39
Tabla 15. Resumen de las Propiedades Físicas del Agregado Fino.	40
Tabla 16. Resultados del porcentaje de sílice (SiO_2) y alúmina (Al_2O_3) en las muestras de ceniza de cáscara de arroz.	43
Tabla 17. Análisis estadístico del ensayo a compresión.	44
Tabla 18. Fluidez recomendada de mortero según tipo de estructura y sistema de colocación	47
Tabla 19. Fluidez de los morteros realizados con los porcentajes de CCA.	48
Tabla 20. Tiempo de fraguado inicial y final de los morteros con cada porcentaje de CCA.	48
Tabla 21. Sorptividad promedio de morteros de reemplazo porcentual de cemento por CCA.	49
Tabla 22. Costos generales.	56
Tabla 23. Detalle de obtención de CCA.	57
Tabla 24. Cantidades de material y su costo para el mortero convencional.	57

Tabla 25. Cantidades de material y su costo para el mortero con reemplazo de 5% de CCA.	57
Tabla 26. Cantidades de material y su costo para el mortero con reemplazo de 10% de CCA.	58
Tabla 27. Cantidades de material y su costo para el mortero con reemplazo de 15% de CCA.	58
Tabla 28. Cantidades de material y su costo para el mortero con reemplazo de 20% de CCA.	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Equipo "Horno crisol calefaccionado por GLP"	27
Figura 2. Contenedor para calcinación de cascarilla de arroz.	27
Figura 3. Esquema de secuencia de la metodología de la investigación.	29
Figura 4. Fases del procedimiento seguido durante la investigación.	35
Figura 5. Cuadro comparativo de colores de referencia.	37
Figura 6. Identificación de impurezas orgánicas en CCA y agregado fino.	37
Figura 7. Curva Granulométrica del agregado fino de la Hormigonera Moreno.	38
Figura 8. Observación química del árido fino de Hormigonera Moreno.	41
Figura 9. Observación química de la CCA.	42
Figura 10. Comparación de edades vs resistencia de los morteros con reemplazo porcentual de cemento por CCA.	45
Figura 11. Comparación de resistencia a compresión a 7 días con estudio previo.	46
Figura 12. Comparación de resistencia a compresión a los 14 días con estudio previo.	46
Figura 13. Comparación de la resistencia a compresión a los 28 días con estudio previo.	47
Figura 14. Absorción capilar de morteros de cemento reemplazo porcentual por CCA.	49
Figura 15. Absorción de morteros con reemplazo porcentual de cemento por CCA.	50
Figura 16. Climograma de las condiciones en Guano, Primer mes de ensayo.	51
Figura 17. Enlucidos en Guano correspondientes al Primer mes de ensayo.	51
Figura 18. Climograma de las condiciones en Guano, Segundo mes de ensayo.	51
Figura 19. Enlucidos en Guano correspondientes al Segundo mes de ensayo.	52
Figura 20. Climograma de las condiciones en Guano, Tercer mes de ensayo.	52
Figura 21. Enlucidos en Guano correspondientes al Tercer mes de ensayo.	52
Figura 22. Climograma de las condiciones en Guano, Cuarto mes de ensayo.	53

Figura 23. Enlucidos en Guano correspondientes al Cuarto mes de ensayo.	53
Figura 24. Climograma de las condiciones en Puyo, Primer mes de ensayo.	53
Figura 25. Enlucidos en Puyo correspondientes al Primer mes de ensayo.....	54
Figura 26. Climograma de las condiciones en Puyo, Segundo mes de ensayo.	54
Figura 27. Enlucidos en Puyo correspondientes al Segundo mes de ensayo.	54
Figura 28. Climograma de las condiciones en Puyo, Tercer mes de ensayo.....	55
Figura 29. Enlucidos en Puyo correspondientes al Tercer mes de ensayo.....	55
Figura 30. Climograma de las condiciones en Puyo, Cuarto mes de ensayo.	55
Figura 31. Enlucidos en Puyo correspondientes al Cuarto mes de ensayo.....	56

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Datos de comparación para el ensayo a compresión	63
Anexo 2. Lecturas del calibrador del ensayo de fluidez.....	63
Anexo 3. Registro de tiempos y condiciones ambientales durante ensayo de tiempo de fraguado.....	63
Anexo 4. Sorptividad bajo la norma ASTM C1585.	64
Anexo 5. Resumen de Absorción inicial y secundaria.	74
Anexo 6. Resultados de los ensayos a compresión del 20 de junio al 11 de julio.....	75
Anexo 7. Datos de las variaciones de temperatura y humedad para ensayo de intemperismo.	77
Anexo 8. Evidencias en fotografía del desarrollo del proyecto de investigación.....	84

RESUMEN

Los enlucidos tienden con el pasar del tiempo a presentar patologías como: eflorescencias, manchas, desprendimientos, entre otras, debido a la presencia de efectos climáticos como: precipitaciones, variaciones de temperatura, contenido de humedad en el ambiente, notando que la presencia excesiva del agua genera problemas de conservación en el enlucido haciendo que la misma tienda a separar sus materiales y desarrollarse las patologías antes mencionadas. Por ello, en el presente trabajo de investigación se propuso desarrollar un mortero que disponga de una menor absorción capilar mediante el reemplazo porcentual de Ceniza de Cascarilla de Arroz (CCA), para lograr este objetivo se realizaron probetas reemplazando cemento en 5%, 10%, 15% y 20% por CCA, sometiendo las mismas a ensayos de: resistencia a compresión, trabajabilidad, tiempo de fraguado, sorptividad e intemperismo. Encontramos que efectivamente la CCA reduce la capacidad de absorción del mortero y en consecuencia una menor presencia de humedad evitando que este se deteriore con el paso del tiempo, cabe señalar que la propuesta óptima es el mortero con reemplazo del 10% de CCA correspondiente a una dosificación de 4,20 kg de cemento, 37,50 kg de agregado fino, 0,47 kg de CCA y 3,25 L de agua para 1 m² de enlucido con espesor de 1,5 cm. Este mortero sustentable con adición de CCA podría ser útil para que se reduzcan los daños por humedad en los morteros para enlucidos.

Palabras claves:

Mortero, Ceniza de Cascarilla de Arroz (CCA), Patologías, Sorptividad, Intemperismo.

ABSTRACT

Over time, plasters tend to present pathologies such as: efflorescence, stains, detachments, among others, due to the climatic effects such as: precipitation, temperature variations, humidity content in the environment, noting that the excessive presence of water generates conservation problems in the plaster, causing it to separate its materials and the pathologies previously mentioned. Therefore, in this research work, it was proposed to develop a mortar that has less capillary absorption by replacing the percentage of Rice Husk Ash (RHA). To achieve this objective, test tubes were made replacing cement in 5%, 10%, 15% and 20% by RHA, subjecting them to different kinds of test like: compressive strength, workability, setting time, sorptivity and weathering. We found that RHA effectively reduces the absorption capacity of the mortar and consequently a lower presence of humidity, preventing it from deteriorating over time. It should be noted that the optimal proposal is the mortar with replacement of 10% of RHA corresponding to a dosage of 4,20 kg of cement, 37,50 kg of fine aggregate, 0,47 kg of RHA and 3,25 L of water for 1 m² of plaster with a thickness of 1,5 cm. This sustainable mortar with RHA addition could be useful in reducing moisture damage in plastering mortars.

Keywords:

Mortar, Rice Husk Ash (CCA), Pathologies, Sorptivity, Weathering.



Revised by

Mario N. Salazar

CCL English Teacher

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La humedad es uno de los problemas más frecuentes en las construcciones del Ecuador, principalmente en la Costa y Amazonía, la misma, conlleva la manifestación de patologías como aparición de moho (manchas negras), hongos (manchas blancas o verdes), sensación de frío, desprendimiento del recubrimiento de paredes exteriores y/o interiores y en general, un deterioro visible de la fachada y actualmente, la solución comercial en nuestro país es la aplicación de un impermeabilizante de protección contra ambientes salinos, sin embargo, esta solución podría no ser factible económicamente para todos los proyectos, es por esto que se busca mejorar las propiedades de durabilidad y resistencia al desgaste del mortero de enlucido para que no requiera un tratamiento posterior para la adecuada evolución de estas estructuras a lo largo del tiempo. En este sentido, tal es la relevancia de este material en el área de la construcción, que hoy en día, se han ido introducido nuevas tecnologías en el desarrollo de la obtención de productos cementantes con mayor eficiencia y una buena económica en su costo, tomando en cuenta también la preservación del medio ambiente (Burgos, 2016)., con esto presente, cabe la contextualización de las propiedades del mortero para enlucido, que dependen esencialmente de dos factores, por un lado de los tipos de áridos y por otro, de las adiciones usadas en su fabricación y de sus dosificaciones respectivas (Sandoval et al., 2007)., es así que, en la presente investigación se propone experimentar en el parámetro de las adiciones que pueden usarse en el diseño de la mezcla y específicamente en las puzolanas calcinadas (UPV, 2019)., de entre las cuales se ha considerado a la CCA que, posee propiedades ideales para elementos que exigen resistencia, durabilidad y elasticidad ya que, como lo muestra Jarre et al. (2021)., la cascarilla de arroz procedente de cuatro regiones arroceras y piladoras en el Ecuador, contiene entre un 87 y 97% de sílice y 1,05% de alúmina, estos componentes tienen la capacidad de reaccionar con el agua y el hidróxido de calcio del cemento, creando mejores propiedades cementantes y de durabilidad, además, su uso beneficiaría económica y ecológicamente por tratarse de un subproducto agrícola, y aunque no existen muchos estudios en que hayan abordado a este tipo de mortero ecológico para su uso contra el ataque de hongos y humedad en enlucidos, Fresneda & Mendez (2019)., en su publicación sobre la CCA como impermeabilizante, evidencia la factibilidad de esta propuesta mencionando que se puede reemplazar hasta un 30% del cemento por CCA, para ser aplicada en morteros.

Esta evidencia muestra una tendencia de mejora en el diseño de la mezcla, no obstante, ya que no se ha aplicado esta nueva tecnología de realizar morteros con materiales de Ecuador se desconoce si ¿La ceniza de cascarilla de arroz proveniente de la provincia de Los Ríos en el diseño de un mortero para enlucidos podrá aportar a su durabilidad y resistencia al desgaste en lugares de clima cálido-húmedo?, la presente investigación sugiere que la elaboración de mortero con reemplazo porcentual de ceniza de cascarilla de arroz reducirá las patologías de humedad en enlucidos, permitiendo su aplicabilidad en edificaciones sostenibles en el sector de la construcción.

La importancia de la presente investigación se basa en lograr mejorar las características del mortero con lo cual se reduciría el deterioro de los elementos constructivos en que se empleen,

se propone una nueva tecnología de elaborar morteros, y a su vez se aprovecharía la cascarilla de arroz que en Ecuador se produce a razón de 13,4 miles de toneladas anuales, de esta producción el 35% se destina a la industria florícola, criaderos, quema abierta y desecho en ríos y esteros (Allauca et al., 2022)., pero tomando en cuenta que cada tonelada de arroz produce aproximadamente 200 kg de cascarilla que posteriormente origina 40 kg de ceniza, entonces se tendrá una producción de 536 toneladas anuales de CCA que podrían emplearse como materia prima para la elaboración de mortero de mejor calidad (Jarre et al., 2021).

1.2 Planteamiento del problema

El mortero es el material más utilizado para enlucidos de tanques de reserva de agua potable y viviendas. Esta mezcla debe contar con materiales de calidad y las proporciones adecuadas para brindar la resistencia requerida y a la vez ser trabajable para facilitar su preparación y colocación, razón por la cual se aplican distintos tipos de dosificaciones de mortero, generalmente expresados en cantidades de cemento y arena, de acuerdo a como se le agregue más arena al mortero, el mortero tiende a perder propiedades mecánicas, haciéndolo más pobre en sus propiedades (Aliaga, 2017).

En cuanto a la aplicación de la CCA dentro de la fabricación de morteros se pensaría que, al tratarse de materia orgánica, disminuye la calidad, sin embargo, a través de estudios previos se ha registrado que posee propiedades cementantes como sílice y alúmina, que podrían ser aprovechadas brindando una opción sostenible en el sector de la construcción debido a que en la actualidad no es aprovechada. Además, se busca estudiar la propiedad de la sorptividad, la cual es la medida de absorción del agua a través de los poros libres del material, debido a que la humedad en el mortero es una de las principales causas de la presencia de patologías como: eflorescencias y microorganismos.

1.3 Justificación

La presente investigación busca mejorar las propiedades comunes del mortero para enlucido a través de la aplicación de CCA. Así, mediante el reemplazo porcentual del cemento por la CCA y de esta manera cumplir con la resistencia señalada por la norma INEN 2518 la cual nos dice de 5,2 MPa, buscando un buen comportamiento con relación a la propiedad de sorptividad para evitar la ascensión del agua a través de los poros libres del material que es la principal causa de la presencia de patologías en el mortero como: eflorescencias y ataque de microorganismos (Pazos, 2018); además, la cascarilla de arroz al poseer alúmina (Jarre et al., 2021)., permite evitar los efectos de desgaste del mortero dando lugar a nuevos morteros ecológicos y más rentables en términos de la construcción. Además, nuestro país en el 2020 registró un crecimiento de la producción de arroz del 21,6% respecto a la cifra del año anterior. El cultivo de arroz está localizado casi en su totalidad en la Región Costa, sin embargo, las provincias de Guayas y Los Ríos sumaron el 89,4% de la superficie total cosechada (NEC, 2021)., razón por la cual sería viable adquirir la cascarilla de arroz para someterla a elevadas temperaturas y así obtener su ceniza para emplearla según los porcentajes del 5, 10, 15 y 20% en reemplazo del cemento tipo HE que se empleará en los morteros y (dicho mortero sea utilizado en la zona), para con ello analizar sus efectos y de esta manera apoyar la idea del

reciclaje empleando una de sus R con respecto a la reutilización del material en diferente presentación.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Estudiar el comportamiento de morteros con la adición de CCA proveniente de la provincia de Los Ríos para contrarrestar las patologías en enlucidos por efectos de la presencia de humedad.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar las características físicas de la CCA.
- Delimitar los porcentajes de CCA que se implementarán en las probetas de mortero para evaluar la capacidad de sorptividad, e intemperismo.
- Elaborar las probetas de estudio y evaluar las propiedades antes mencionadas del mortero adicionado la CCA.
- Comparar la sorptividad, intemperismo y el costo del mortero convencional vs el mortero con CCA en sus diferentes porcentajes.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado de arte

Aplicabilidad de la CCA en morteros

La CCA es un material que al ser obtenida en rangos de temperatura entre 600 y 625 °C, y tiempos entre 60 y 90 min, esta posee una estructura mineralógica predominante amorfa, según Jarre et al. (2021), su utilización se avala como puzolana artificial que reemplaza al cemento Portland en morteros y hormigones.

Considerando que la resistencia a compresión es importante en el ámbito de los morteros, (Ramos, 2019)., en su estudio determinó que el mortero con CCA en reemplazos porcentuales del 5, 10 y 15% de cemento, presentan un incremento en su resistencia a la compresión para todas las edades respecto al mortero patrón, sin embargo, también existe la posibilidad de que esta disminuya, tal como lo muestra (Orrabalis et al., 2019) y (Erazo et al., 2019)., cuyos diseño de mezcla con sustituciones de cemento por CCA entre 10 y 25% presentan una tendencia general a la pérdida de resistencia en comparación a la patrón, bajo la posible justificación de que el contenido de sílice producto de la incineración no era homogéneo y de que esta puzolana de tipo ceniza posee una mayor capacidad de absorción de agua en estado plástico que le resta humedad al mortero y hace que su proceso de curado no sea tan eficiente.

En cuanto a la trabajabilidad, según (Orrabalis et al., 2019) y (Erazo et al., 2019)., el mortero con CCA puede alcanzar valores de 115% de fluidez que es el adecuado para el uso en acabados, pero al adicionarse CCA en altos porcentajes debido a su alta porosidad, incrementa la demanda de agua en la mezcla para que mantenga la fluidez establecida.

Además (Aliaga, 2017)., en su estudio de reemplazo de agregados (arena fina y arena gruesa) por CCA en 0%, 1%, 2%, 3% y 4% revela resultados del ensayo de sorptividad que indican como los valores de absorción capilar (I) con adición de ceniza superan a la probeta patrón en el caso de morteros de arena fina, siendo esto beneficioso para nuestro estudio, debido a que lo que se busca es evitar la penetración de agua por nuestro mortero.

En el documento de (Huamani & Solis, 2021), se identifica como se desarrolló el ensayo de intemperismo, el mismo que se ejecutó mediante 4 paneles con porcentajes de TiO₂ de 0%, 3%, 6% y 9%, los cuales se expusieron durante 4 meses a la intemperie, permitiendo evaluarlos de acuerdo con el ataque físico que fue producido debido al clima de Arequipa, obteniendo que los paneles con la puzolana tienen efectos de impermeabilidad.

Efecto del ambiental en el mortero para enlucidos

El efecto del clima en las edificaciones, se basa en el cambio climático presente en la actualidad, el cual, en esencia se trata de variaciones, en ocasiones drásticas, de temperatura, precipitaciones y humedad. Estas condiciones, pueden presentar efectos perjudiciales de manera inmediata o luego de periodos largos de tiempo, la agresividad de su impacto en las construcciones se presenta en la **Tabla 1**.

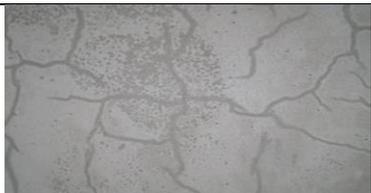
Tabla 1. Nivel de agresividad del clima en edificaciones.

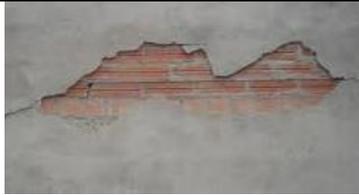
Agresividad	Descripción
Ligera / Débil	Ambientes secos Ambientes interiores de oficinas y viviendas Ambientes exteriores con humedad relativa menor al 60% Ambientes donde no exista fenómenos de humedecimiento y secado
Moderado	Ambientes húmedos con humedad relativa entre 60% y 98% Estructuras expuestas a ciclos de humedecimiento y secado Estructuras expuestas al agua dulce en movimiento Ambientes con moderadas precipitaciones Baja condensación de gases agresivos
Severo	Ambientes con humedad relativa entre 60% y 98% Gran condensación de gases agresivos Estructuras en contacto con suelos húmedos. Ambientes marinos Macroclima industrial
Muy Severo	Climas tropicales Ambiente donde las estructuras se encuentran saturadas de sal. Ambientes con exposición a aguas ácidas u oxigenadas Ambientes salinos Ambientes contaminados y con particular presencia de gases agresivos

Adaptado de (Pazos, 2018).

El grado de intensidad y frecuencia con que estas condiciones fomenten la aparición de patologías dependerá de la agresividad del ambiente climático, a continuación, en la **Tabla 2** se detallan las lesiones características que se pueden presentar a nivel del mortero de enlucido.

Tabla 2. Patologías del mortero por efecto del ambiente.

Patología	Definición	Ilustración
Eflorescencias	Cal libre que migra a la superficie del mortero por alta humedad en el ambiente	
Microfisuras	Fisuras menores de 1mm en forma de red, se producen por la retracción del mortero en temperaturas altas (se seca muy rápidamente).	

Grietas	Son fisuras mayores a 1mm, se desarrollan a lo ancho del espesor del mortero, y se producen por cambios térmicos, interacción entre materiales y por el espesor del mortero.	
Fisuración en tela de araña	Fisuras con abertura mayor a 2mm, formando un tipo de agujero, se produce por falta de adherencia, espesor excesivo, problemas del material y deficiencia estructural.	
Desprendimientos	Aberturas producidas en el mortero por una falta de adherencia notable, superficies lisas, una deshidratación del mortero o un gran espesor.	
Manchas	Diferencias de color producidas por las sales de la lluvia en zonas de alta contaminación que se impregnan en el mortero	
Microorganismos	Humedad alta e intemperie presentan ambiente favorable (lluvia y salpiqueo de agua) para crecimiento de líquenes y musgo	
Friabilidad	Superficie purulenta en el mortero, se debe a deshidratación del mortero por alta absorción de la superficie o por una alta temperatura.	

Adaptado de (Pazos, 2018).

2.2 Dosificación de las muestras

La dosificación elegida para el diseño de cubos a compresión se basa en la norma NTE INEN 488, adaptando los valores establecidos para obtener un número de 12 cubos de 5 cm de arista, para cada porcentaje, obteniendo de cada uno un volumen de 1500 cm³, esto, considerando una relación agua-cemento 0,485. Tal como se muestra en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Dosificación utilizada para ensayo de compresión.

Componente	Patrón	5%	10%	15%	20%
Agregado fino [g]	2750	2750	2750	2750	2750
Cemento HE [g]	1000	950	900	850	800
CCA [g]	0	50	100	150	200
Agua [g]	484	484	484	484	484

En cuanto a la dosificación para el ensayo de sorptividad, las proporciones y relación agua-cemento es la citada anteriormente, únicamente, las cantidades varían por la consideración de que el ensayo requería un número de dos cubos por cada porcentaje, cada uno de los cuales contiene un volumen de 250 cm³. En la **Tabla 4**, se detalla el peso de cada componente.

Tabla 4. Dosificación utilizada para ensayo de sorptividad.

Componente	Patrón	5%	10%	15%	20%
Agregado fino [g]	459	459	459	459	459
Cemento HE [g]	167	159	150	141	134
CCA [g]	0	8	17	25	33
Agua [g]	81	81	81	81	81

Para encontrar las proporciones del mortero de enlucido, se tomó como referencia la publicación de (Modense, 2018) que aplica una relación agua-cemento de 0,35; las cantidades de cada componente se adaptaron para cubrir una superficie de pared 50x50cm con espesor de 1,5cm. Tales valores se muestran en la **Tabla 5**, considerando que en las cifras se contempla la elaboración de 2 enlucidos, uno en la ciudad de Guano y otro en Puyo.

Tabla 5. Dosificación utilizada para ensayo de intemperismo.

Componente	Patrón	5%	10%	15%	20%
Agregado fino [kg]	18,75	18,75	18,75	18,75	18,75
Cemento HE [kg]	2,325	2,209	2,093	1,976	1,86
CCA [kg]	0	0,116	0,233	0,349	0,465
Agua [L]	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63

2.3 Cemento Portland Tipo HE

El cemento es el material conglomerante por excelencia debido a que es el componente principal en la elaboración de hormigón (y de algunos morteros). Este material permite la unión de los agregados ya que es el responsable de permitir su unificación en una sola mezcla consistente, y al entrar en contacto con el agua, se produce una reacción química llamada hidratación. Este fenómeno conlleva al proceso de fraguado. El cemento cuenta con una composición que ha sido repotenciada y afinada durante años, por ello, es una especie de cal hidráulica perfeccionada (BECOSAN, 2020).

Para nuestro proyecto de investigación utilizamos el cemento Portland Tipo HE del cemento Chimborazo esto debido a que el mismo ofrece una alta resistencia a edades tempranas y cuenta con las siguientes características técnicas:

Tabla 6. Valores característicos del cemento portland tipo HE.

Requisitos físicos	Cemento Chimborazo portland puzolánico tipo HE	
Peso específico (g/cm ³)	2,92	NTE INEN 856
Expansión en autoclave (%)	0,0013	NTE INEN 200
Fraguado Vicat inicial (min)	150	NTE INEN 158
Fraguado Vicat final (min)	240	NTE INEN 158
Resistencia a la compresión	kg/cm²	MPa INEN NTE 488
1 día	184	18
3 días	255	25
7 días	337	33
28 días	459	45
Resistencia a los sulfatos	Cemento IP	
% Expansión a los 14 días	0.04 máx. NTE INEN 2503	

Fuente: (UCEM, 2017).

2.4 Árido Fino (Arena)

Según el estudio de (Muciño-Vélez et al., 2022)., la arena empleada en la pasta de mortero tiene gran influencia en la resistencia que esta desarrolle, puesto que ocupa entre el 70 y 80% de su volumen, se menciona además que, para la elaboración de morteros, es recomendable la utilización de agregados cuya partícula sea irregular porque permite una mejor adherencia entre los componentes de la pasta, y que tanto su composición como la propiedad de irregularidad depende de la distancia de arrastre al cual se someta una arena natural, es decir, mientras más cerca se encuentre el banco de extracción de su depósito final, la arena conservará mejor sus propiedades.

Tal es el caso de la “Hormigonera Moreno”, cuyo banco es la arena de río de Penipe y el depósito final se encuentra en la ciudad Riobamba, además cuenta con la propiedad de lavado mediante un trommel con el fin de eliminar en la mayor medida posible la cantidad de materia orgánica, en suma, este agregado fino es considerado adecuado para su elaboración en mortero, por ello, se la ensayará para determinar sus propiedades físicas que comprueben su buen comportamiento para su uso en enlucidos.

2.5 Mortero para enlucidos

El mortero se encuentra compuesto de cal o cemento, arena y agua; en su uso como enlucido, puede destinarse al recubrimiento de superficies exteriores o interiores, y en ambos casos se caracteriza por endurecerse después de un periodo de tiempo y formar una masa monolítica con los elementos a los cuales se une (Pazos, 2018).

En el caso de enlucidos exteriores, que son el objeto de la presente investigación, el papel que desempeña es brindar una protección contra la intemperie, un aspecto estético, buena adherencia y propiedad de resistencia para no desmoronarse ni agrietarse por la retracción propia del cemento debido a los cambios de temperatura.

2.5.1 Resistencia normada mínima

La Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 2518), ha asignado una letra de acuerdo a las propiedades y usos de cada mortero para diferenciarlos entre sí, según la **Tabla 7** las nominaciones son M, S, N y O, sin embargo, la nominación con que la norma califica al mortero de acabado es la “N” tal como muestra la **Tabla 8**, es decir, que la resistencia mínima que debe alcanzar a los 28 días es de 5,2 MPa.

Tabla 7. Clasificación del mortero por propiedades.

Mortero	Tipo	Resistencia promedio a compresión a 28 días, min, [MPa]	Retención de agua, % min	Contenido de aire, %, max ^B	Relación de áridos (medidos en condición húmeda, suelta)
Cemento y cal	M	17,2	75	12	No menos que 2 1/4 y no más que 3 1/2 veces los volúmenes separados de materiales cementantes
	S	12,4	75	12	
	N	5,2	75	14 ^C	
	O	2,4	75	14 ^C	
Cemento para mortero	M	17,2	75	12	
	S	12,4	75	12	
	N	5,2	75	14 ^C	
	O	2,4	75	14 ^C	
Cemento para mampostería	M	17,2	75	18	
	S	12,4	75	18	
	N	5,2	75	20 ^D	
	O	2,4	75	20 ^D	

Fuente: (NTE INEN 2518, 2010).

Tabla 8. Guía de morteros para acabados o reparación.

Ubicación o servicio	Tipo de mortero	
	Recomendado	Alternativo
Interior	O	K, N
Exterior, por encima del nivel de terreno expuesto de un lado, poca probabilidad de que se congele al saturarse, no sujeto a fuertes vientos u otras cargas laterales significativas.	O	N, K
Exterior, diferente a lo antes indicado.	N	O

Fuente: (NTE INEN 2518, 2010)

2.5.2 Características del mortero de enlucido en estado plástico

- Trabajabilidad: se la puede evaluar como un rodamiento de las partículas de los áridos a lo largo de una superficie debido a la lubricación de la pasta de cemento. Esta propiedad está determinada principalmente por la relación agua-cemento, pero también se ve influenciada por las dosificaciones de cada material y el contenido de aire (NTE INEN 2518, 2010).

- b) Retención de agua: se mide por la capacidad de un mortero sometido a absorción para retener su agua de mezcla. Esta propiedad permite disponer de tiempo para colocarlo y darle acabado sin que se endurezca, esta capacidad aumenta a medida que se incrementa la proporción de árido y el contenido de aire o usando materiales retenedores de agua (NTE INEN 2518, 2010).
- c) Características de endurecimiento: el endurecimiento se relaciona con el fraguado del cemento que depende directamente de su grado de hidratación, puesto que este se torna rígido a medida que pierde agua. Esta transformación se acelera con el aumento de temperatura y se retarda con la disminución de la misma (NTE INEN 2518, 2010).

2.5.3 Características del mortero de enlucido en estado endurecido

- a) Adherencia: se basa en la capacidad de absorber, tensiones normales y tangenciales a la superficie que une el mortero y una estructura, o sea, a la capacidad de responder monolíticamente con las piezas que une ante solicitudes de carga. En el caso de la mampostería, se presenta como necesaria la rugosidad de la superficie del ladrillo o bloque, lo cual permitirá una unión mecánica entre esta superficie y el mortero (Pazos, 2018).
- b) Resistencia a la compresión: tal resistencia aumenta con el incremento del contenido de cemento y el aumento del tamaño de la partícula de árido (arena gruesa), por otra parte, disminuye con el incremento de la proporción de árido, disminución del tamaño de su partícula (arena fina), adición de agua, tiempo de mezclado y retemplado. Sin embargo, frecuentemente es una mejor alternativa reducir un poco la resistencia a favor de una mejor adherencia y trabajabilidad dentro de un límite razonable (NTE INEN 2518, 2010).
- c) Sorptividad / Absorción por capilaridad: es la succión capilar que ejercen los poros de las paredes de un mortero sobre las moléculas de agua, provocando con las mismas, el llenado de los espacios existentes en su masa. Una baja velocidad de succión indica, en general, un mortero con propiedades de transporte satisfactorias para asegurar una vida útil aceptable en la estructura (Pazos, 2018).

2.6 Detalle del análisis económico

Para desarrollar el análisis económico de nuestra propuesta empezamos definiendo los materiales a utilizar en nuestra elaboración de mortero y enfocamos nuestra atención en la obtención de la CCA.

Razón por la cual, para la adquisición de la misma iniciamos con la obtención de la cascarilla de arroz proveniente de la provincia de los Ríos para con ella buscar un horno adecuado para la calcinación de la misma a una temperatura de 625 °C por 90 minutos.

Alquilamos el horno mostrado en la **Figura 1** de los ingenieros Sefla Henry y Amaguaya Jonnathan, quienes poseen sus detalles en la tesis “Diseño y construcción de un horno crisol calefaccionado por GLP semiautomatizado para la obtención de bronce para el taller granito de mostaza de la ciudad de Riobamba” y es el que se presenta a continuación:



Figura 1. Equipo "Horno crisol calefaccionado por GLP".

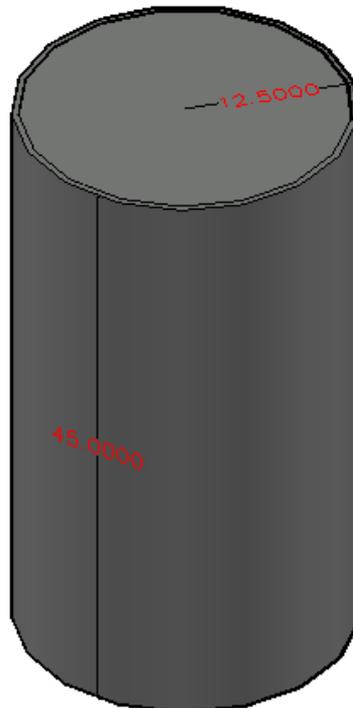


Figura 2. Contenedor para calcinación de cascarilla de arroz.

Para introducir la cascarilla de arroz en el horno usamos un recipiente de acero negro tal como se muestra en la **Figura 2**, para que pueda resistir la temperatura deseada sin que llegara a su punto de fusión con las siguientes características: radio = 12,5 cm y altura =45,00 cm. De esta manera, obtuvimos el volumen ($22089,323 \text{ cm}^3$) y la cantidad de cascarilla de arroz (22,089323 Kg) que se usaría en cada uso del horno para con ello identificar la cantidad de CCA que usaríamos para nuestra propuesta de investigación. Cabe destacar que, considerando a la cascarilla de arroz como un material liviano, se calculó el precio aproximado en función del peso aproximado que obtuvimos de CCA en cada incineración.

Con todos estos elementos, y el costo de los mismos se definió el precio por el que oscilaría 1 kg de CCA, para así, en base a la dosificación de morteros para enlucidos y con los reemplazos porcentuales de cemento por CCA identificar el costo que tendría nuestra propuesta de investigación con respecto al mortero convencional.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Metodología de la investigación

La metodología que se utilizará en el desarrollo de esta investigación será una metodología cuantitativa por cuanto se basa en una investigación sistémica de observación, recolección y análisis de datos obtenidos mediante ensayos para explicar el fenómeno observable correspondiente al comportamiento de la CCA en el mortero de enlucido.

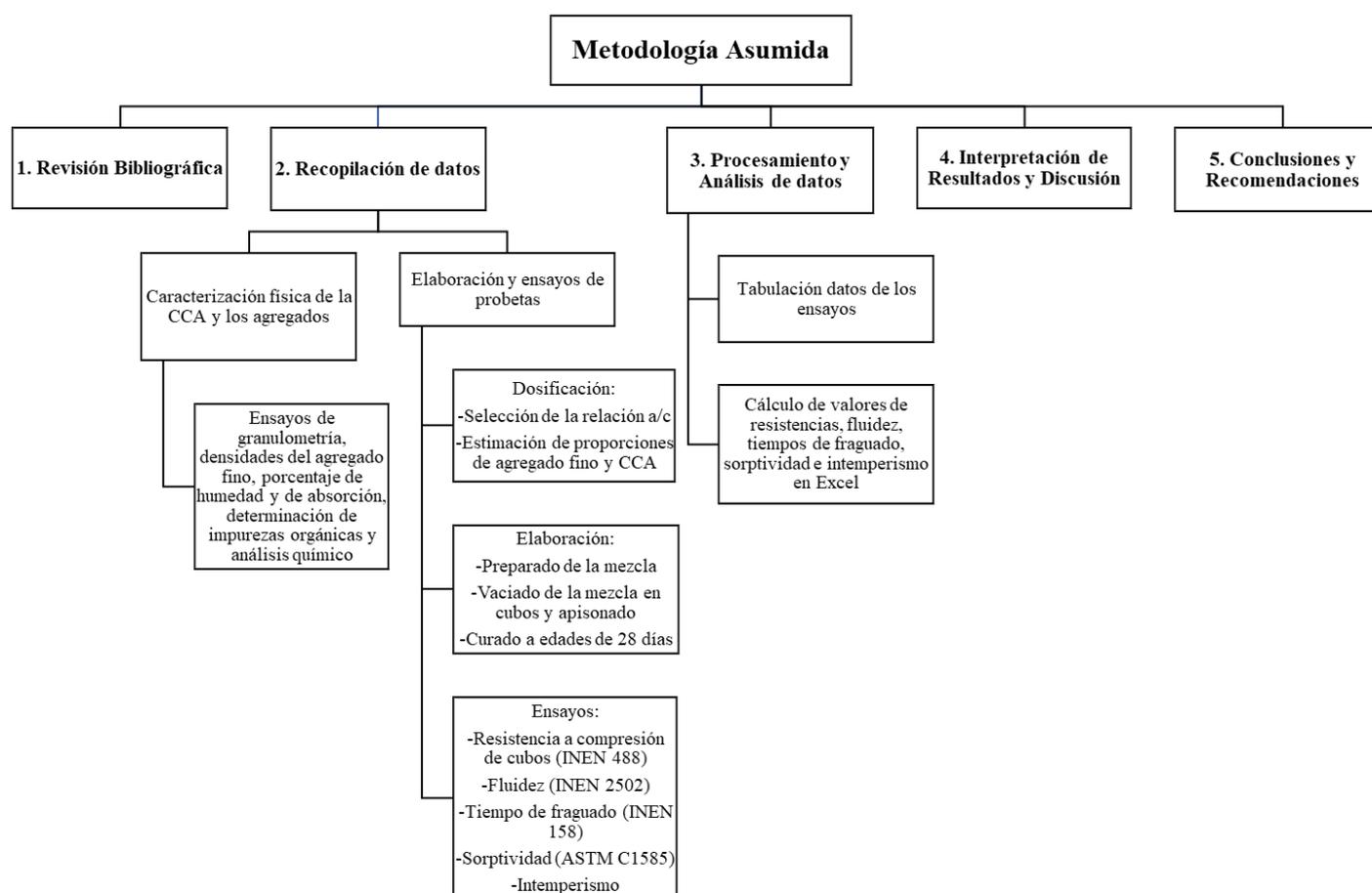


Figura 3. Esquema de secuencia de la metodología de la investigación.

La investigación se desarrollará en 3 etapas mostradas en la **Figura 3**: primero, la caracterización física de la ceniza de cascarilla de arroz CCA y de los agregados, después, la dosificación y elaboración de probetas de mortero y ensayos mecánicos de: resistencia a compresión en la prensa hidráulica, ensayo de sorptividad y finalmente el ensayo de intemperismo en el Cantón Guano Parroquia de San Isidro como representación de la Sierra y en la ciudad del Puyo como actor de la Amazonía.

3.2 Diseño de investigación

Se considera un estudio de diseño de investigación experimental, porque se obtienen los datos de una forma directa y a su vez no se manipula el análisis de las variables, además, el

fenómeno en su forma natural se realiza a través de la medición, observación y el registro de los datos en un cierto tiempo.

3.3 Técnicas de recolección de datos

El conjunto de herramientas que se empleará para recopilar los datos son ensayos normativos, que establecen los parámetros adecuados para la medición de las propiedades específicas que son el interés de la investigación.

Tabla 9. Indicadores para la recolección de datos.

Ensayos	Normas	Indicadores
Determinación de las impurezas orgánicas	NTE INEN 855	→ Porcentaje de impurezas → Comparador de color Gardner
Granulometría	NTE INEN 696 NTE INEN 872	→ Distribución granulométricas dentro del rango normado → Rango mínimo 2,3 y máximo 3,1.
Contenido total de humedad	NTE INEN 862	→ Contenido de agua en porcentaje
Medición de la densidad, densidad relativa y absorción	NTE INEN 856	→ Densidad y densidad relativa (SH, SSS y aparente) → Absorción en porcentaje
Medición de la resistencia a la compresión de mortero en cubos de 50mm de arista	NTE INEN 488	→ Resistencia a la compresión de cubos de mortero a edades 7, 14, 21 y 28 días
Fluidez / Trabajabilidad	NTE INEN 2502	→ Diámetro del mortero $110 \pm 5\%$
Tiempo de fraguado	NTE INEN 158	→ Tiempo de fraguado por penetración de aguja Vicat
Sorptividad	ASTM C1585	→ Peso de cubos de mortero expuestos a agua → Capacidad de absorción del mortero en $\text{mm/s}^{1/2}$
Intemperismo	Huamani y Solis – ISO 9001	→ Variación de color y anomalías que presente cada enlucido

En la **Tabla 9**, se muestran los ensayos que se desarrollan en la investigación, cada uno de los cuales se rige a una norma, y permite la obtención de datos a partir del registro de los indicadores respectivos.

3.4 Instrumentos

Para la medición de los parámetros tanto físicos como mecánicos de los materiales y probetas ensayadas en laboratorio, se utilizaron los instrumentos que se muestran en la **Tabla 10**.

Tabla 10. Instrumentos para desarrollo de los ensayos de laboratorio.

Ensayo	Instrumentos
Determinación de las impurezas orgánicas	→ Botellas graduadas de 240cm ³ a 470cm ³ → Comparador decolores nonnalizados.
Análisis granulométrico	→ Balanza precisión 0,1 g. → Tamices. → Horno temperatura 110±5 °C
Contenido total de humedad	→ Balanza sensibilidad 0,1%. → Horno temperatura 110±5 °C → Recipientes para las muestras.
Determinación de la densidad y porcentaje de absorción	→ Balanza capacidad de 1 kg o más, sensibilidad de 0,1 g. → Picnómetro. → Molde y compactador para la humedad superficial → Horno temperatura 110±5 °C
Ensayo de resistencia a la compresión, largo plazo	→ Moldes cúbicos de 50mm → Calibrador → Máquina de ensayo hidráulica, precisión de ± 1,0%. → Balanza precisión y desviación a una carga de 2000 g.
Ensayo de fluidez / trabajabilidad	→ Mesa de flujo y molde de flujo → Calibrador especificado en la NTE INEN 2500
Ensayo de determinación de tiempo de fraguado	→ Aparato de Vicat → Anillo cónico de Vicat → Aguja recta de diámetro 1,0 mm ± 0,05 mm. → Balanza para una carga total de 1000 g. → Vasos graduados, de 200 cm ³ o 250 cm ³ .
Tasa de absorción de Agua o Sorptividad	→ Moldes cúbicos de 50mm → Calibrador → Balanza para una carga total de 2000 g. → Vasos graduados, de 200 cm ³ o 250 cm ³ .
Intemperismo	→ Balanza para una carga total de 10 kg. → Flexómetro

Ensayo de la sorptividad en morteros.

Se inició por 10 probetas de estudio siendo los mismos cubos de mortero de 50 mm de arista y estos estarán distribuidos de la siguiente manera: para cada porcentaje de reemplazo de la CCA del 5, 10, 15, 20 y la muestra patrón de esta para comparar los resultados.

Siguiendo el procedimiento de ensayo de la normativa ASTM C1585, se considera las siguientes ecuaciones para los cálculos:

Para medir la absorción de la probeta:

$$I = \frac{m_t}{d}$$

Donde:

I= Absorción

m_t = Cambio de masa en función del tiempo (g).

a= Área expuesta de la probeta (mm²)

d= Densidad del agua (0,001 g/mm³)

Los tiempos de control son: 0, 60, 300, 600, 1200, 1800, 3600, 7200, 10800, 14400, 18000, 21600, 92220, 193200, 268500, 432000, 527580, 622200 segundos lo cual, es aproximadamente 6 horas considerando ésta la absorción inicial (Aliaga, 2017).

Los cálculos de la absorción inicial (Si) y de la absorción secundaria (Ss) se obtienen mediante:

$$I = S_i \sqrt{t} + b$$

$$I = S_s \sqrt{t} + b$$

Donde, se considerará los datos para la absorción inicial, registrados entre 1 min y 6 horas, y mientras que para la absorción secundaria mayor a 6 horas.

Ambos casos deberán seguir una relación lineal, es decir, debe tener un coeficiente de correlación (r) de 0,98 como mínimo para que su sorptividad pueda ser hallada por este método. El valor de b se obtendrá mediante la ecuación de la recta que forman los valores de la gráfica de tiempo (seg^{0.5}) sobre absorción (I), según el modelo del análisis granulométrico, siguiendo la ecuación de la recta (Aliaga, 2017).

$$f(x) = ax + b$$

Ensayo de Intemperismo

A partir de las 4 muestras por cada porcentaje de estudio considerando también la muestra inalterada se procede a enlucir paneles de dimensiones de 50cmx50cm y espesor de 1,5 cm tanto en la ciudad de Guano como del Puyo, y expuestas a la intemperie se van registrando los cambios que presenten a lo largo de 4 meses siguiendo el proceso realizado por Huamani y Solís.

3.5 Métodos de análisis y procesamiento de datos

A través de la experimentación manipularemos variables independientes (árido, CCA y cemento) para analizar las consecuencias que tienen estas variables dependientes (mortero) dentro de una situación de control (normas). Tratando metódicamente la hipótesis.

Se efectuó el estudio estadístico para conocer la tendencia central y la dispersión de los diferentes datos obtenidos a través de los ensayos desarrollados para una mejor comprensión de los resultados.

La media aritmética o también conocida como promedio es la operación que se obtiene sumando todos los valores de la variable y dividiéndolos para el número total de valores y de esta manera conocer de la ubicación media de los datos.

La desviación estándar es una medida de dispersión que nos permite identificar que tan alejados están los valores individuales de la media.

3.6 Población de estudio y tamaño de muestra

Para la creación de muestras se adquirió cascarilla de arroz (tamo) proveniente de la provincia de los Ríos, Cantón Ventanas de la piladora “Dos hermanos” (Coordenadas 1°26′25,26″S 79°28′00,83″), esta cascarilla fue adquirida y llevada a un horno de fundición para ser calcinada y trabajar con esta ceniza para reemplazarla porcentualmente por cemento.

Los ensayos que experimentaremos con este mortero de estudio son: Compresión, Sorptividad e Intemperismo por ello mencionaré a continuación los requisitos para ejecutar cada uno de estos ensayos.

Inicialmente se identificarían las propiedades de los materiales para proceder a ejecutar de la manera más óptima nuestra propuesta de mortero, de esta manera tenemos:

Trabajabilidad y fluidez: Se analizará una muestra por cada tipo de dosificación propuesta para la investigación.

Tiempo de fraguado inicial y final: Se analizará una muestra por cada tipo de dosificación propuesta para la investigación.

Resistencia a la compresión de morteros: las muestras a analizar en este ensayo son cubos de 50 mm de arista y los mismos serán ensayos en edades de 7, 14, 21 y 28 días. Para este ensayo emplearemos 3 cubos por cada dosificación siendo estas de 5 tipos, por ende, para cada edad contaríamos con 15 cubos.

Sorptividad: las muestras a analizar en este ensayo son cubos de 50 mm de arista y emplearíamos 2 muestras por cada dosificación de nuestra probeta a la edad de 28 días siendo estas en total 10.

Intemperismo: las muestras a analizar en este ensayo son paneles cuadrados de 50 cm de lado en la ciudad del Puyo y Guano siendo una muestra por cada dosificación planteada, siendo en cada ciudad 5 paneles.

Tabla 11. Cantidad total de muestras.

Ensayo	Normas	Muestras
Trabajabilidad y fluidez	INEN NTE 2502	5
Tiempo de fraguado inicial y final	INEN NTE 2502	5
Resistencia a la compresión de morteros	INEN NTE 488	60
Sorptividad	ASTM C1585	10
Intemperismo	Huamani y Solís – ISO 9001	10

3.7 Hipótesis

La elaboración de mortero con reemplazo porcentual de ceniza de cascarilla de arroz reducirá las patologías de humedad en enlucidos, permitiendo su aplicabilidad en edificaciones sostenibles en el sector de la construcción.

3.8 Fases del procedimiento

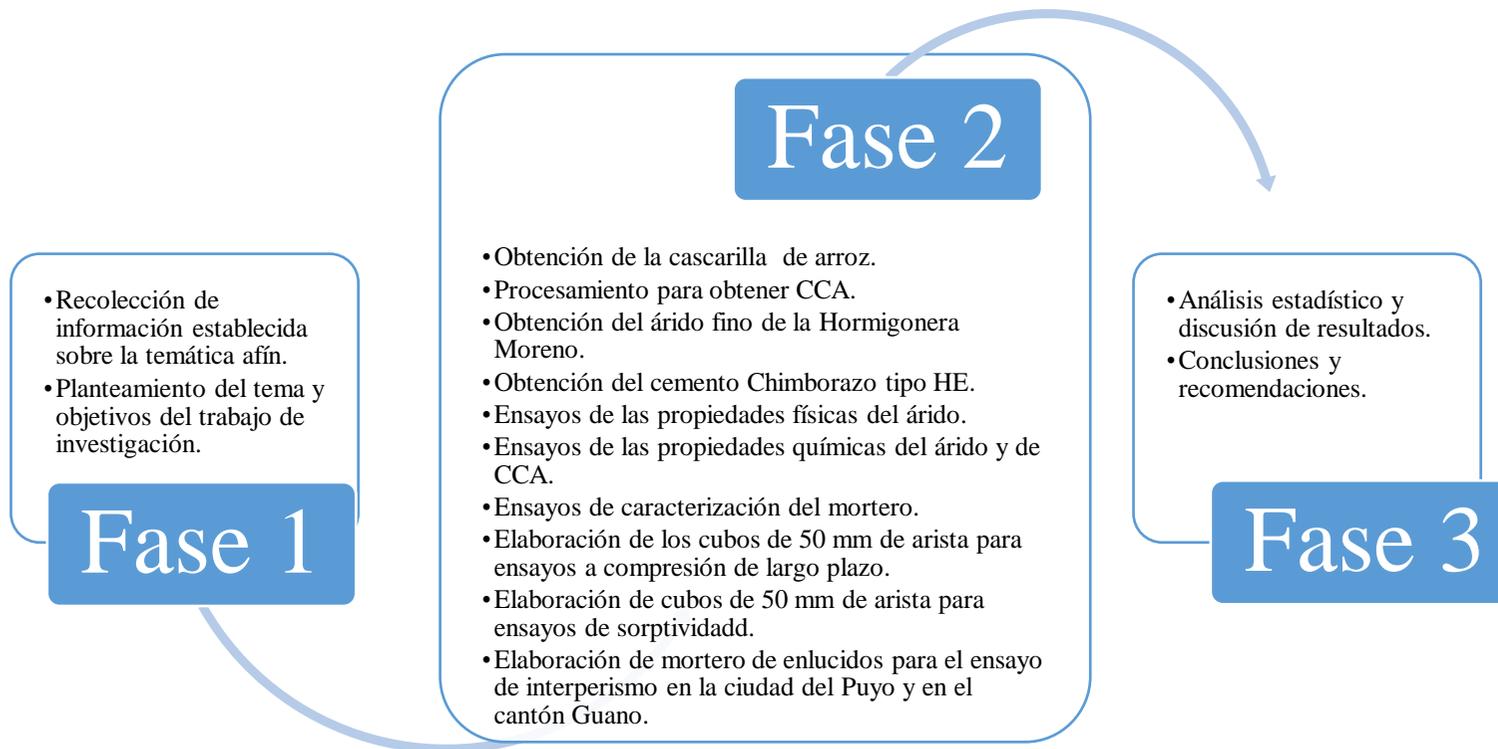


Figura 4. Fases del procedimiento seguido durante la investigación.

Fase 1: Identificación del problema de la investigación, se navegó en el repositorio de la UNACH, ProQuest y Google académico para adquirir información de nuestro interés en periodos de 5 a 10 años a la fecha actual, para disponer de información actualizada del tema obteniendo diversidad de documentos que nos facilitarán la comprensión de la implementación de la CCA en los morteros y sus beneficios para el sistema constructivo.

Fase 2: Trabajo de campo, se calcinó la cascarilla de arroz en un horno de temperatura de 625 °C durante 90 min como recomienda Jarre et al. (2021), para de esta manera continuar con la adquisición de la materia prima para la elaboración de morteros y continuar con los ensayos de caracterización del árido, tanto físicos como químicos, guiándonos en la normativa INEN NTE, para posteriormente fabricar nuestros cubos de mortero de 50 mm de arista con los diferentes reemplazos porcentuales de CCA por cemento para someterlos posteriormente al ensayo de compresión a edades de 7, 14, 21 y 28 días, así también se fabricó cubos de 50mm de arista para identificar la absorción de los mismos a través del ensayo de sorptividad, y finalmente elaboramos enlucidos de 50x50 cm de cada reemplazo porcentual de cemento por CCA en dos paredes, una en la ciudad del Puyo y otra en Guano para de esta manera identificar el comportamiento de nuestro mortero en dos diferentes regiones.

Cabe destacar que la mayor parte de nuestros ensayos fueron desarrollados en los laboratorios de ingeniería civil de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Fase 3: Resultados y Conclusiones, se plasmó los resultados obtenidos de los diferentes ensayos efectuados con el respectivo análisis estadístico, se comprobó que los resultados sean positivos conforme a la hipótesis planteada, obteniendo una conclusión y recomendaciones conforme a nuestra propuesta del reemplazo de CCA por Cemento en morteros para enlucidos.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Determinación de las impurezas orgánicas



Figura 5. Cuadro comparativo de colores de referencia.

En base a la **Figura 5** donde se aprecia la escala de Gardner la cual nos indica que los áridos con coloración igual e inferior a la numeración N° 3 se encuentra libre de impurezas orgánicas perjudiciales.



Figura 6. Identificación de impurezas orgánicas en CCA y agregado fino.

En la **Figura 6**, se identifica como el árido ensayado se encuentra apto para la construcción esto debido a que la coloración del mismo se encuentra en la numeración N° 2.

En el caso de la CCA se puede identificar como la coloración del mismo es translúcida, sin embargo, consideramos la numeración N° 1 esto debido a que es el valor más bajo que disponemos.

En caso de poseer un color de numeración superior a 3 la norma INEN NTE 872 (2011) nos indica que se debería de rechazar el árido excepto en:

- a) Se debe realizar un análisis químico para identificar presencia de carbón, lignito o partículas discretas similares, lo cual produce que su decoloración sea más oscura.

- b) El árido debe cumplir con una resistencia mayor al 95% en los 7 días, determinada de acuerdo con la norma INEN NTE 866 (2011).

4.2 Análisis granulométrico

Este ensayo se realizó de acuerdo a la norma INEN NTE 696, la arena ensayada proveniente del cantón Penipe y adquirida en la hormigonera Moreno posee un módulo de finura de 2,48 situándose dentro del rango establecido, por la norma INEN NTE 872, la cual indica que el módulo de finura no debe ser inferior a 2,3 ni superior 3,1.

Tabla 12. Datos de granulometría agregado fino.

Tamiz [']	Masa inicial (g)		Masa retenida (g)	% retenido parcial	% Pasa	Límites de gradación según NTE INEN 872	
	Tamiz [mm]	2568				100	95
4	4,75		0	0,00	100,00	100	95
10	2		0,1	0,00	100,00	100	80
40	0,45		1517,4	59,09	40,91	60	25
100	0,15		819,2	31,90	9,01	10	0
200	0,075		187,3	7,29	1,71	0	0
Bandeja	Bandeja		43,5	1,69	0,02		
Σ	Σ		2567,5				
Módulo de finura			2,4837				

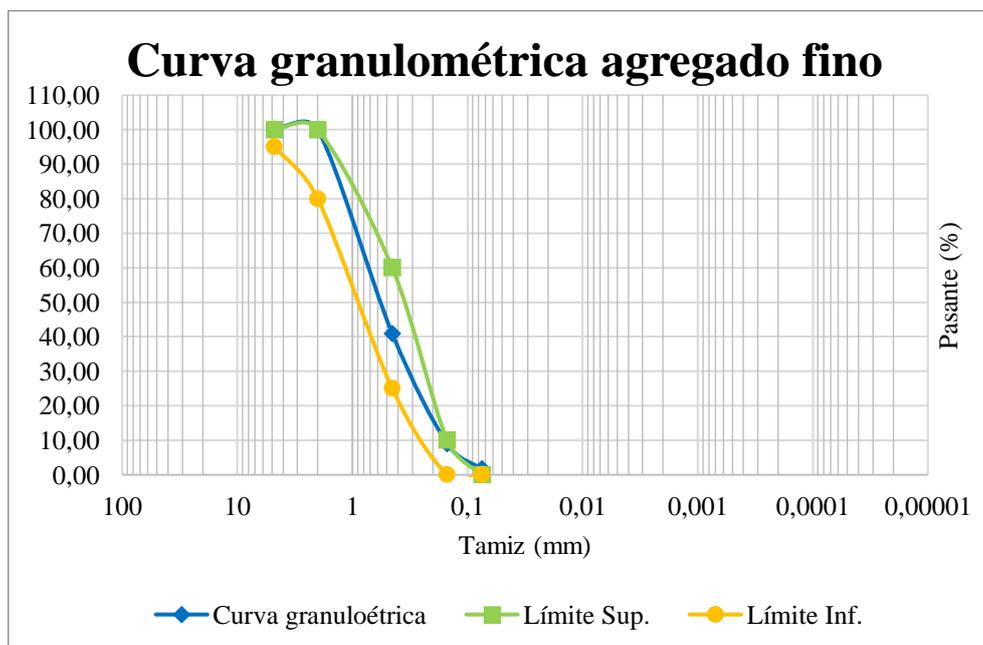


Figura 7. Curva Granulométrica del agregado fino de la Hormigonera Moreno.

Tal como se aprecia en la **Figura 7**, el agregado fino usado de la Hormigonera Moreno se encuentra graduado dentro de los límites normados por la INEN 872, es decir, que los tamaños

de partículas que componen este árido cumplen los requisitos y pueden usarse en la elaboración de mortero.

4.3 Contenido total de humedad

Para determinar el contenido total de humedad se siguió el procedimiento dictado en la norma INEN NTE 862, como resultado del ensayo realizado en cuatro muestras de agregado fino se obtuvieron diferentes valores de contenido de humedad que se presentan en la **Tabla 13**. En general, se aprecia que el porcentaje de humedad del agregado fino de la Hormigonera Moreno es de 1,10

Tabla 13. Contenido de humedad agregado fino de la "Hormigonera Moreno"

Tara	Masa de la tara [g]	Tara + árido húmedo [g]	Tara + árido seco [g]	Masa árido húmedo [g]	Masa árido seco [g]	Contenido Humedad [%]
Tara 1	14,5	100,8	99,8	86,3	85,3	1,17
Tara 2	14,3	103,2	102,3	88,9	88,	1,02
Tara 3	14,6	102,9	101,9	88,3	87,3	1,15
Tara 4	14,8	101,6	100,7	86,8	85,9	1,05
% Humedad Promedio						1,10

4.4 Determinación de la Densidad y Porcentaje de Absorción

Este ensayo se llevó a cabo bajo la norma INEN NTE 856 siguiendo el procedimiento gravimétrico. En la **Tabla 14** se muestra el resumen de los resultados de esta prueba, los cuales revelan que la densidad del agregado fino en condición saturado superficialmente seco (SSS) fue mayor que en condición seco al horno (SH), por otra parte, tiene capacidad de absorción de 4,49%.

Tabla 14. Densidad y Porcentaje de absorción agregado fino

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad relativa (gravedad específica) SH	2,87	-
Densidad relativa (gravedad específica) SSS	3,00	-
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	3,29	-
Densidad SH	2859,82	kg/cm ³
Densidad SSS	2988,32	kg/cm ³
Densidad aparente	3282,69	kg/cm ³
Absorción	4,49	%

4.5 Resumen de Resultados Árido Fino

Los resultados de los ensayos de caracterización de las propiedades físicas de agregado fino se muestran en la **Tabla 15**. Tales valores se encuentran dentro de los límites normados, lo cual

indica que el agregado fino de la Hormigonera Moreno es adecuado para ser utilizados en la elaboración de morteros.

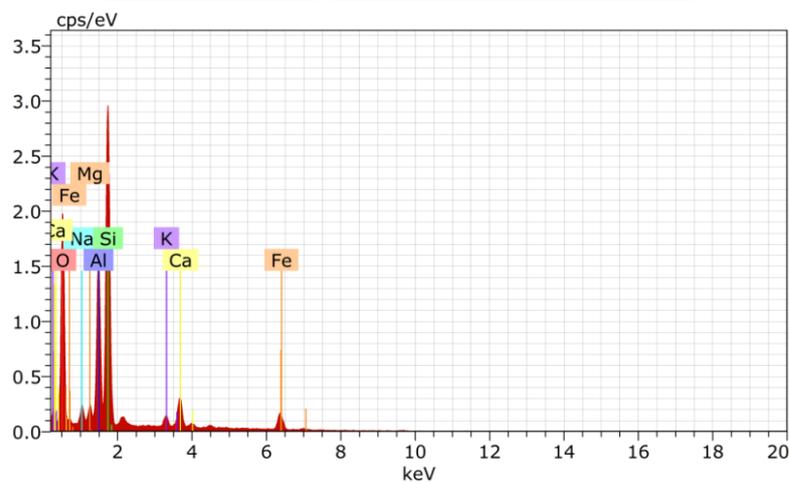
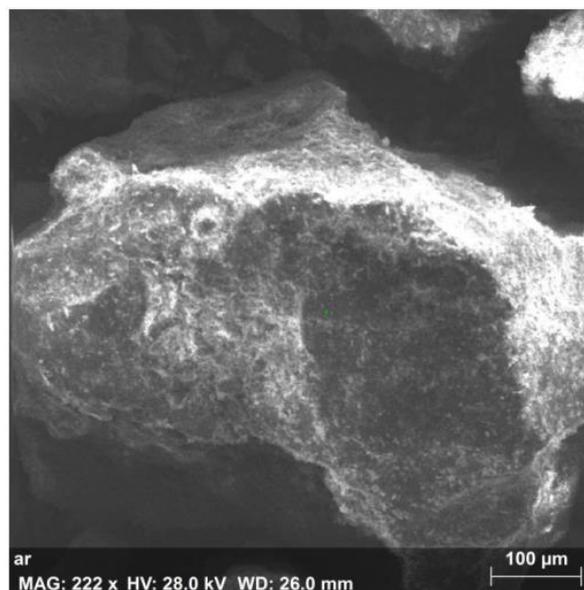
Tabla 15. Resumen de las Propiedades Físicas del Agregado Fino.

Propiedad Física	Valor	Unidad
Impurezas Orgánicas		-
Módulo de Finura	2,4837	-
Contenido de Humedad	1,1000	%
Densidad SSS	3282,6943	kg/cm ³
% Absorción	4,4932	%

4.6 Análisis Químico del Árido Fino y CCA

El análisis químico del agregado fino y de la CCA fue realizado en el laboratorio de Microscopia Electrónica de la Universidad Nacional de Chimborazo, por el Ing. Jonathan Orozco, quien nos proporcionó las micrografías y el análisis de espectroscopía de fotoelectrones de rayos X dispersado.

Árido Fino



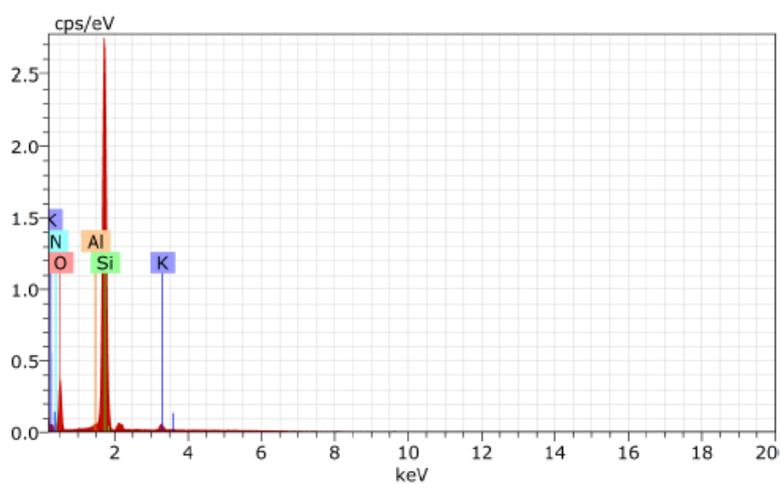
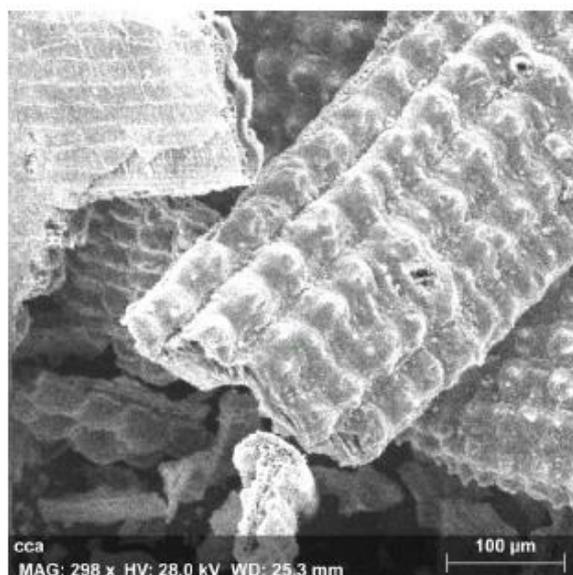
Spectrum: 120919 542

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	70.14	57.95	71.15	8.77
Si	14	K-series	24.71	20.42	14.28	1.13
Al	13	K-series	13.04	10.78	7.84	0.69
Na	11	K-series	3.91	3.23	2.76	0.32
Fe	26	K-series	3.31	2.74	0.96	0.13
Ca	20	K-series	2.73	2.26	1.11	0.12
Mg	12	K-series	2.27	1.88	1.52	0.17
K	19	K-series	0.91	0.75	0.38	0.06
Total:			121.03	100.00	100.00	

Figura 8. Observación química del árido fino de Hormigonera Moreno.

Fuente: Laboratorio de microscopía UNACH.

Ceniza de Cascarilla de Arroz (CCA)



Spectrum: 120919 551

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	42.79	48.39	58.57	6.22
Si	14	K-series	36.49	41.27	28.45	1.65
N	7	K-series	7.70	8.71	12.04	1.98
K	19	K-series	0.91	1.03	0.51	0.07
Al	13	K-series	0.53	0.60	0.43	0.06
Total:			88.42	100.00	100.00	

Figura 9. Observación química de la CCA.

Fuente: Laboratorio de microscopía UNACH.

Determinación del porcentaje molecular del Sílice.

Se inicia con el peso molecular del sílice (SiO₂):

Si	28,05 g x 1	28,05 g
O	16 g x 2	32 g
		60,05 g/mol

Composición porcentual

$$\%Si = \frac{28,05}{60,05} \times 100 = 46,71 \%$$

$$\%O = \frac{32 \text{ g}}{60,05 \text{ g}} \times 100 = 53,29 \%$$

$$46,71 \% + 53,29\% = 100 \%$$

Porcentaje de Sílice en la CCA analizada.

$$41,27 \% Si \times \frac{100 \% SiO_2}{46,71 \% Si} = 88,35 \% SiO_2$$

88,35 % (SiO₂)

Determinación del porcentaje molecular de Alúmina.

Se inicia con el peso molecular de la alúmina (Al₂O₃):

Al	26,98 g x 2	53,96 g
O	16 g x 3	48 g
		101,96 g/mol

Composición porcentual

$$\%Al = \frac{53,96}{101,96} \times 100 = 52,92 \%$$

$$\%O = \frac{48 \text{ g}}{101,96 \text{ g}} \times 100 = 47,08 \%$$

$$52,92 \% + 47,08\% = 100 \%$$

Porcentaje de Alúmina en la CCA analizada.

$$0,60 \% Al \times \frac{100 \% Al_2O_3}{52,92\% Al} = 1,13 \% Al_2O_3$$

1,13 % (Al₂O₃)

Tabla 16. Resultados del porcentaje de sílice (SiO₂) y alúmina (Al₂O₃) en las muestras de ceniza de cáscara de arroz.

Muestras									
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
SiO₂/ Si	85	88,85	87,21	88,76	88,59	89,31	90,05	90,62	90,26
Concentración media			88,74	Concentración máxima			90,6		
Concentración mínima			85	DST			1,74		
Al₂O₃/ Al	1,05	0,86	0,89	0,87	0,99	0,92	0,84	0,84	0,85
Concentración media			0,9	Concentración máxima			1,05		
Concentración mínima			0,84	DST			0,07		

Fuente: (Jarre et al., 2021).

Tal como muestra la **Figura 8**, el árido contiene un porcentaje de 20,42% de silicio (Si), al ser un valor alto, este elemento en contacto con el agua promoverá la aparición de macromoléculas que, a su vez, permiten el comportamiento de adherencia del cemento a nivel molecular, es decir, que las características del árido propiciarán una buena combinación con el cemento y agua, dando lugar a un mortero con buena consistencia.

En este mismo sentido, en la **Figura 9**, se observa como la CCA también presenta porcentajes altos de silicio, beneficiando significativamente a la resistencia de los morteros, debido al comportamiento cementante descrito en el párrafo anterior, que se refiere al desarrollo de pequeñas partículas originadas por el silicio que permiten las moléculas de cemento se adhieran entre sí, aportando adherencia y compacidad, adicionalmente, se realizó un análisis molecular para definir la cantidad porcentual de Sílice y Alúmina que dispone la CCA cuyos porcentajes son 88,35 % de Sílice y 1,13 de Alúmina, lo cual en contraste con la **Tabla 16**, que presenta un estudio de CCA obtenido bajo diferentes condiciones de incineración de las cuales la muestra M6 coincide con los parámetros en que se obtuvo la CCA de la presente investigación, y al realizar el análisis respectivo, se evidencia como el Sílice obtenido en la muestra M6, es superior al nuestro en un 0,96% aproximadamente, sin embargo, la Alúmina obtenida es mayor a la que ellos determinaron por un 0,21% , lo cual indica que la calidad de cascarilla de arroz obtenida en la provincia de los Ríos es similar a la proveniente de Manabí.

4.7 Ensayo a Compresión

A continuación, en la **Tabla 17** se presentan los datos obtenidos a través de los ensayos a compresión de las probetas ensayadas en las edades de 7, 14, 21 y 28 días, se determinó la resistencia promedio y la desviación estándar de los datos obtenidos.

Tabla 17. Análisis estadístico del ensayo a compresión.

Dosificación con reemplazo porcentual de cemento por CCA.						
Días	Medida	0% (Patrón)	5%	10%	15%	20%
7	Media (MPa)	18,8002	11,7820	9,0821	6,0230	5,1196
	Desviación	0,4291	0,8388	0,5478	0,8582	0,4394
14	Media (MPa)	20,1906	11,7820	10,5131	8,6740	6,1380
	Desviación	3,2686	1,6852	0,4963	0,1866	0,2930
21	Media (MPa)	22,6221	15,5553	10,5131	8,6720	6,9022
	Desviación	2,3958	3,3755	0,0469	0,0878	0,2413
28	Media (MPa)	23,2287	19,6848	14,6599	10,5531	8,0943
	Desviación	2,1579	3,2489	1,4347	0,0521	0,7719

Al analizar la **Figura 10** se puede identificar como el mortero convencional presenta un mejor comportamiento a nivel de resistencia con respecto a los morteros con reemplazo porcentual de CCA, esto debido a que los tiempos de fraguado analizados de la misma manera muestran como el mortero convencional obtiene una consistencia más sólida en menor tiempo con respecto a los analizados con reemplazo porcentual de CCA.

Se puede interpretar, además, como la resistencia en el tiempo inicial si decae con mayor impacto en los morteros con reemplazo porcentual de CCA frente a la resistencia de los tiempos finales.

En el **Anexo 6** podemos identificar a detalle los valores obtenidos en el ensayo a compresión los cuales fueron estudiados en las edades previamente señaladas.

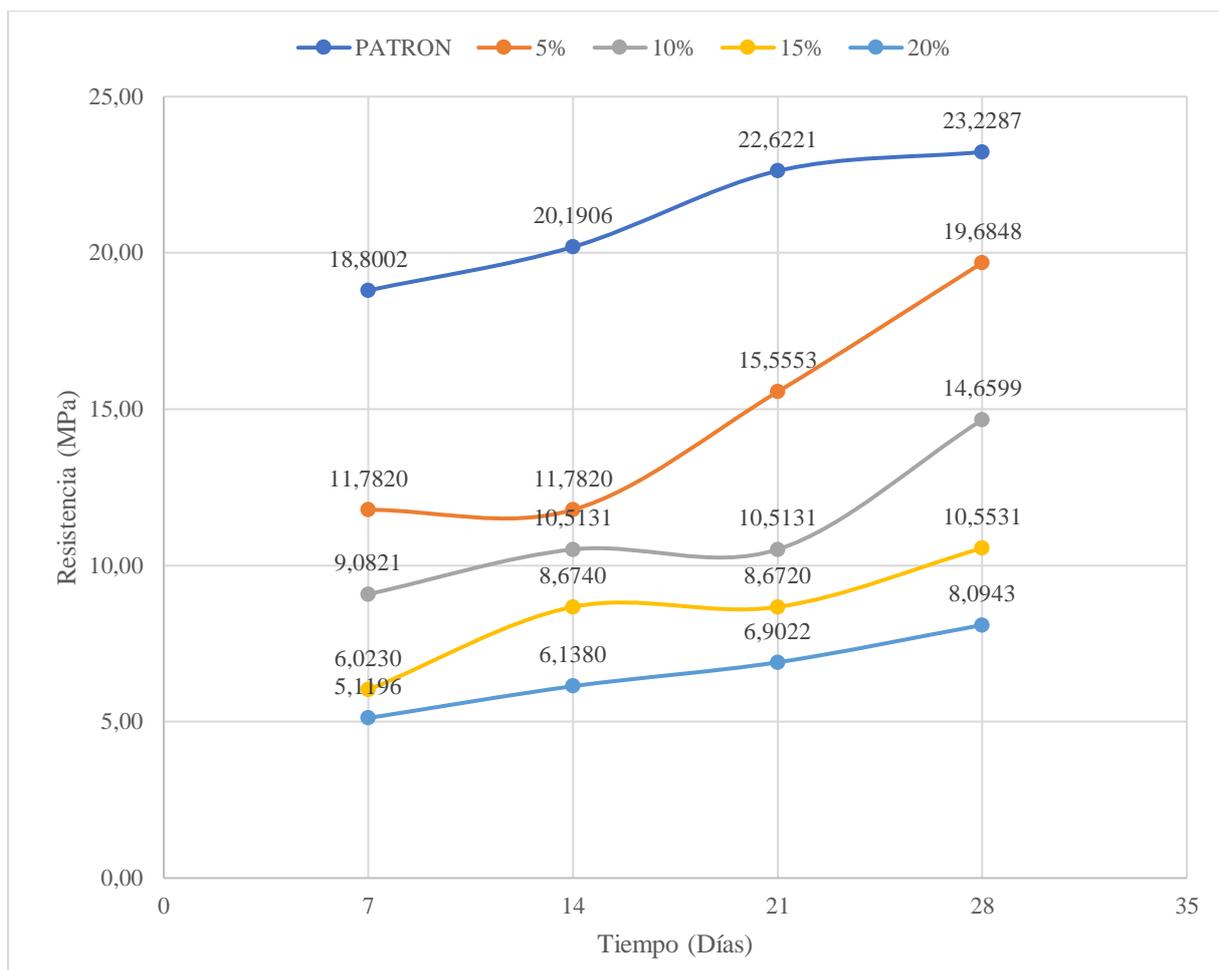


Figura 10. Comparación de edades vs resistencia de los morteros con reemplazo porcentual de cemento por CCA.

4.8 Comparación del Ensayo a Compresión con Investigación Previamente Analizada

Se presenta una comparación de los valores de resistencia con los resultados obtenidos en Perú por (Ramos, 2019)., el cual, desarrolló reemplazos de CCA en porcentajes de 5, 10 y 15, los cuales se ensayaron a las edades de 7, 14 y 28 días, de igual manera se contrasta con (Orrabalis et al., 2019) que realizó reemplazos de 5, 10, 15 y 20% llevado a cabo en Argentina y se ensayó a la edad de 28 días únicamente, y por último se compara con (Erazo et al., 2019) cuyo estudio de Colombia realizó reemplazos de 10, 15, 20 y 25%, ensayados a la edad de 28 días; debido a la variación de edades de ensayo se realizará el contraste en las mismas edades de las que se tienen valores disponibles.

A continuación, de la **Figura 11** a la **Figura 13**, se puede evidenciar en el gráfico de barras la comparación de los resultados obtenidos en el presente estudio y los autores previamente mencionados, dando a notar que los morteros que presentaron mejor resistencia a la compresión en todas las edades fueron los de la investigación de Perú y se puede constatar los valores más precisos en el **Anexo 1**.

La posible justificación de que los valores reportados en Ecuador sean menores con una tendencia de pérdida de resistencia a comparación de los de Perú, es que tal como es el caso de (Orrabalis et al., 2019) y (Erazo et al., 2019), en que a pesar de que se mantiene un control de

la temperatura de incineración, es posible que el contenido de sílice no sea homogéneo, es decir, su tamaño y forma variaban entre las paredes del contenedor de quemado y en su centro, y no daban lugar al comportamiento esperado en conjunto con el cemento, por otra parte, también destacan que la CCA al ser una ceniza posee una naturaleza porosa, la cual, incrementa su capacidad de absorción de agua mientras el mortero se encuentra en estado plástico, esto posiblemente resta la disponibilidad de agua con que el mortero puede curarse y fraguar, lo que a largo plazo conlleva a la disminución de su resistencia.

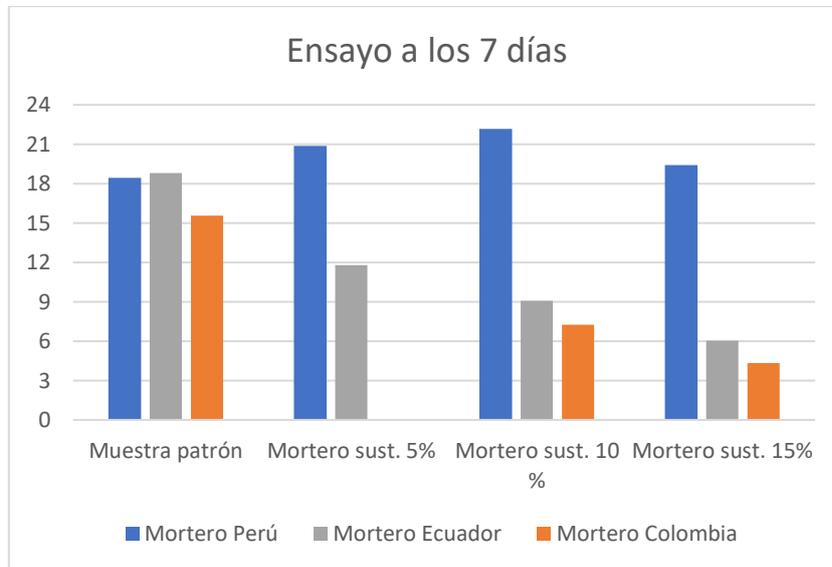


Figura 11. Comparación de resistencia a compresión a 7 días con estudio previo.

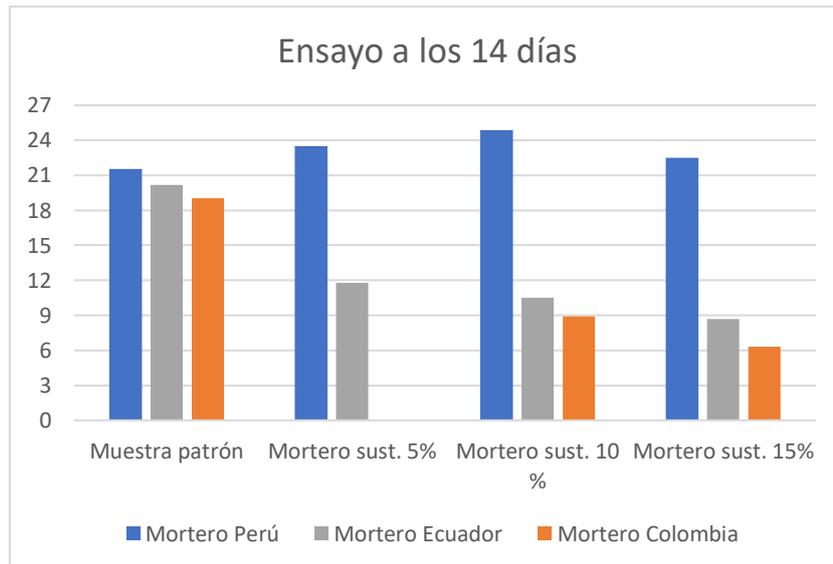


Figura 12. Comparación de resistencia a compresión a los 14 días con estudio previo.

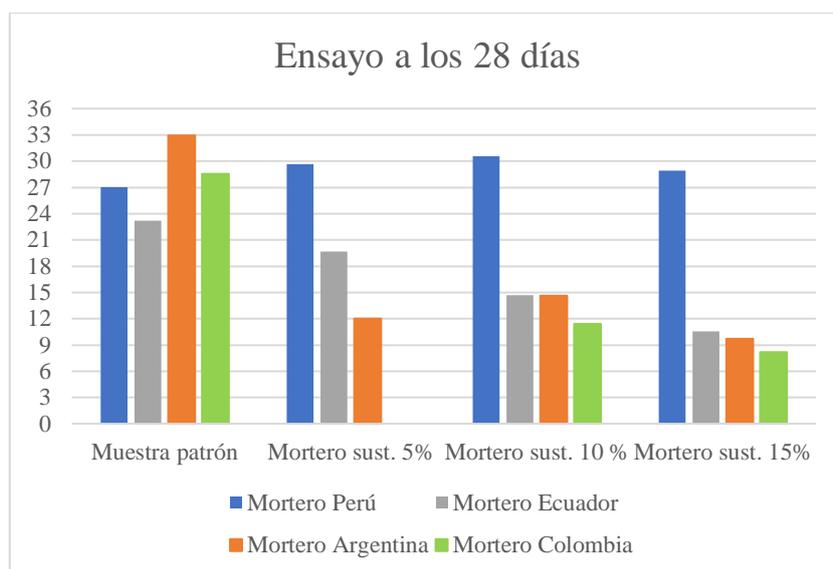


Figura 13. Comparación de la resistencia a compresión a los 28 días con estudio previo.

4.9 Ensayo de Fluides / Trabajabilidad

Este ensayo se realizó bajo normativa INEN NTE 2502 para medir el tiempo en el cual el mortero de mezcla se mantiene en condición plástica, que es la ideal para su utilización en enlucidos que es el objeto de la presente investigación, tal como se indica en la **Tabla 18**.

Tabla 18. Fluides recomendada de mortero según tipo de estructura y sistema de colocación

Consistencia	Fluides [%]	Condición de colocación	Ejemplos de Tipo de Estructura	Ejemplo de Sistema de Colocación
Dura (seca)	80 – 100	Selecciones sujetas a vibración	Reparaciones, recubrimientos de túneles, galerías, pantallas de cimentación, pisos	Vibraciones de formaleta
Media (plástica)	100 – 120	Sin vibración	Pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos	Manual con palas y lustres
Fluida (húmeda)	120 - 150	Sin vibración	Pañetes, rellenos de mampostería estructural, morteros autonivelantes para pisos.	Manual, bombeo o inyección

Adaptado de (Llerena, 2020).

Las temperaturas y humedades relativas exactas en que se elaboró el mortero con la sustitución de cada porcentaje de CCA se muestran en el **Anexo 3**. En cuanto a los resultados de ensayo, se presentan en la **Tabla 19**, los cuales evidencian que desde la muestra patrón hasta una sustitución del 15% tienen una fluides tal que su consistencia es plástica, a diferencia de la sustitución del 20% que presenta una condición seca, estos valores muestran que a medida que aumenta el porcentaje de CCA, se reduce la fluides del mortero, este comportamiento es

el mismo que el presentado en el estudio de (Erazo et al., 2019), que debió aumentar la cantidad de agua cada vez que aumentaba el porcentaje de CCA para alcanzar la misma fluidez establecida de 100%, este fenómeno puede explicarse ya que tal como menciona (Aliaga, 2017), la CCA por su tamaño fino ocupa los espacios vacíos en un mismo volumen del mortero por lo cual, podrían existir mayor número de partículas que deben mantenerse hidratadas, esto sumado a la naturaleza porosa de la ceniza, harían que la fluidez del mortero se reduzca porque se reduce el contenido de agua en la pasta mientras más CCA se adiciona.

Tabla 19. Fluidez de los morteros realizados con los porcentajes de CCA.

Porcentaje CCA [%]	Fluidez [%]
0 (Patrón)	116,00
5	109,00
10	105,00
15	102,50
20	95,50

4.10 Ensayo de Determinación de Tiempo de Fraguado

En base a la norma NTE INEN 158, se determinaron los tiempos de fraguado inicial por el método Vicat con una muestra por cada porcentaje de CCA, tal información se encuentra en la **Tabla 20**, y de la cual se aprecia que la muestra patrón es la que alcanza la condición de fraguado tanto inicial como final en un menor tiempo, mientras que a la muestra con 20% de CCA le toma más que a las dosificaciones restantes, cabe destacar que a medida que se aumenta el porcentaje de CCA, el tiempo de fraguado del mortero aumenta; este comportamiento podría explicarse con el hecho de que al ir reduciendo la cantidad de cemento, se va perdiendo ese comportamiento conglomerante y de endurecimiento propio del cemento y por lo tanto, esto podría hacer que se prolongue cada vez más el tiempo que le toma endurecerse.

Tabla 20. Tiempo de fraguado inicial y final de los morteros con cada porcentaje de CCA.

Porcentaje CCA [%]	Tiempo fraguado inicial [min]	Tiempo fraguado final [min]
0 (Patrón)	195,00	390,00
5	205,00	400,00
10	240,00	420,00
15	228,00	440,00
20	246,00	440,00

4.11 Tasa de absorción de Agua o Sorptividad

A continuación, en la **Tabla 21** se puede evidenciar como fue el comportamiento de las probetas de estudio.

Tabla 21. Sorptividad promedio de morteros de reemplazo porcentual de cemento por CCA.

CCA [%]	Absorción inicial [mm/s ^{1/2}]	Absorción secundaria [mm/s ^{1/2}]
0 (Patrón)	5,38	4,94
5	4,44	3,98
10	3,63	3,49
15	3,32	2,40
20	2,81	1,74

En la **Figura 14**, se puede identificar de forma gráfica como es el comportamiento de absorción de las probetas a través del tiempo en cada uno de los porcentajes de CCA.

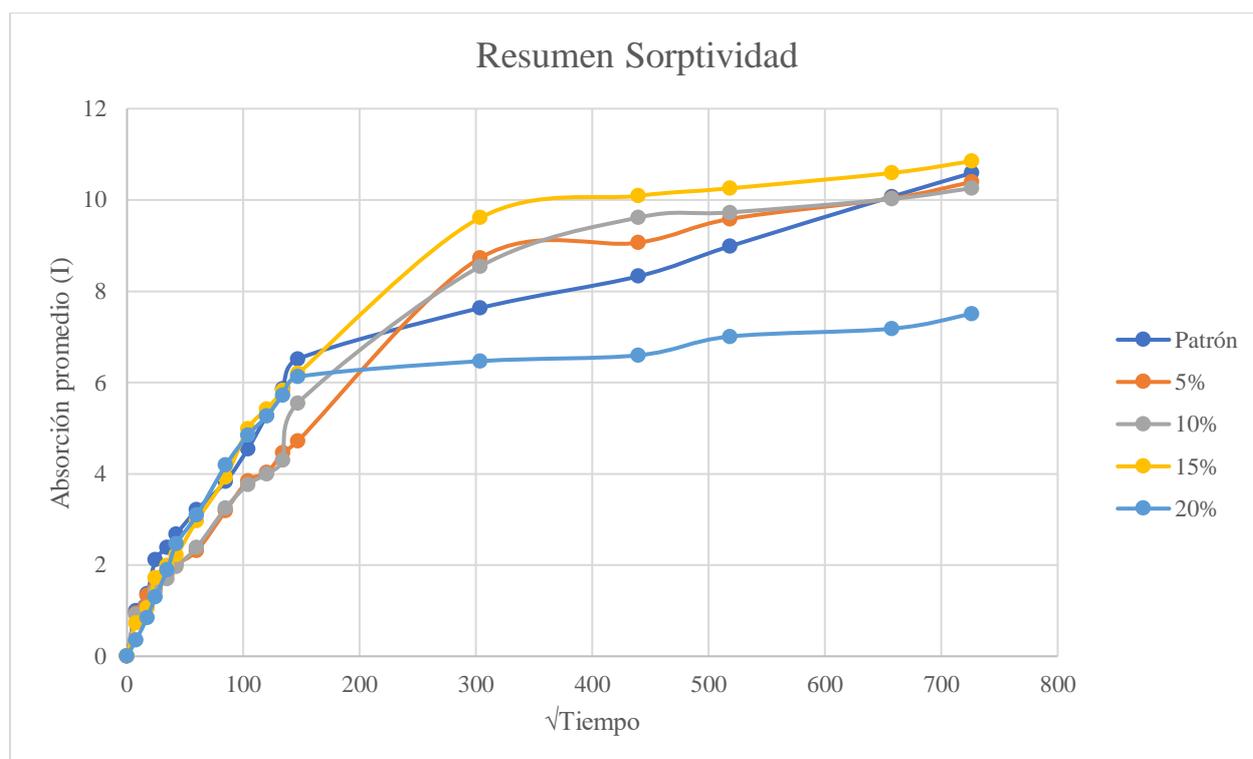


Figura 14. Absorción capilar de morteros de cemento reemplazo porcentual por CCA.

En la **Figura 15**, se puede apreciar la absorción inicial (de 1 min a 6 horas) de color azul y la absorción secundaria (de 1 a 6 días) de color naranja, en los morteros se observa como las mismas disminuyen la capacidad de absorción de agua proporcionalmente a la cantidad del reemplazo porcentual de cemento por CCA, tomando en cuenta que este fenómeno se presenta en la etapa de la absorción inicial así también como en la absorción secundaria esto se podría identificar como beneficio para nuestro análisis debido a que se buscó evitar la penetración de agua en el mortero, nos muestran los datos presentes que conforme se añada mayor cantidad de CCA, los morteros disminuyen el índice de absorción, impidiendo el paso del agua (como se puede apreciar en los detalles del

Anexo 4 los valores de I no sufren variaciones en ganancias de peso de agua considerable en los morteros con mayor contenido de CCA).

Este fenómeno se podría explicar considerando que, según (Aliaga, 2017)., la CCA podría cerrar los poros del mortero ocupando gran parte de los espacios vacíos, razón por la cual posiblemente se evita el paso de agua y por ende existe una especie de impermeabilidad.

Se tomó en cuenta para este ensayo, la corroboración de que los valores de I sigan una tendencia lineal por medio de su coeficiente de correlación que sea mayor o igual que 0,98; esto con la finalidad de asegurar que los morteros guarden semejanza en sus propiedades y sigan un mismo patrón, tal como se visualiza en el

Anexo 5.

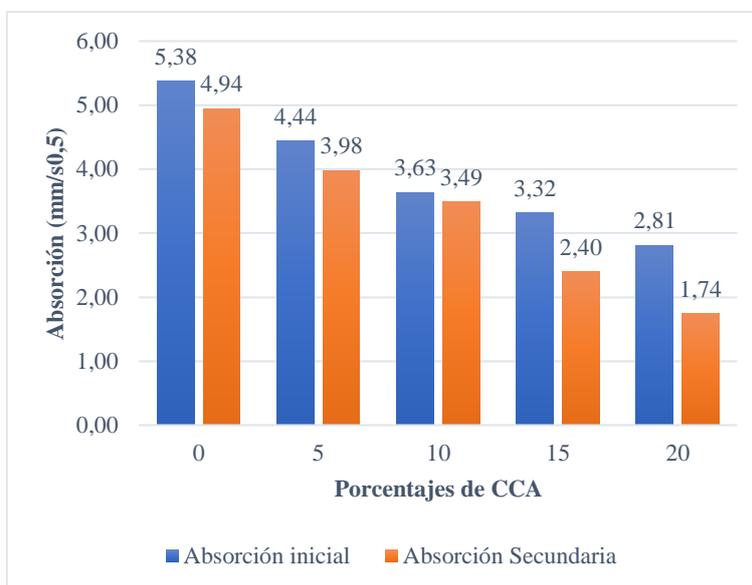


Figura 15. Absorción de morteros con reemplazo porcentual de cemento por CCA.

4.12 Intemperismo

Esta prueba sigue el proceso realizado por (Huamani & Solis, 2021). Obteniendo que desde la **Figura 16** a la **Figura 23**, se muestran los cambios que se han ido presentando en los enlucidos de Guano en la Parroquia San Isidro (9824573,25 m S; 756593,70 m E) durante 4 meses (del 16 de junio - 16 de octubre) en contacto con los efectos climáticos y bajas temperaturas propias de la ciudad detalladas en los climogramas, por otra parte de la **Figura 24** a la **Figura 31**, se observan los cambios en los enlucidos en la ciudad de Puyo (9834396,42 m S; 166186,04 m E) bajo la alta tasa de precipitación y humedad que se precisan en los climogramas respectivos.

Cabe mencionar que los datos de las temperaturas y humedades que representan los climogramas fueron registrados directamente del INAMHI, este compendio de información está completo en el **Anexo 7**.

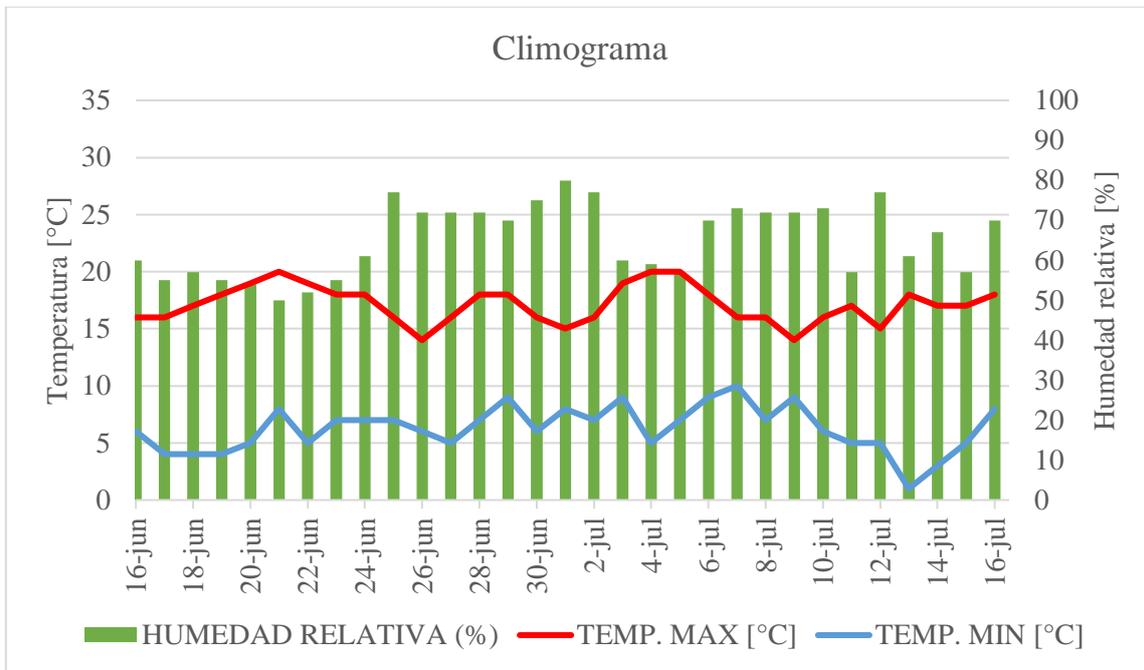


Figura 16. Climograma de las condiciones en Guano, Primer mes de ensayo.

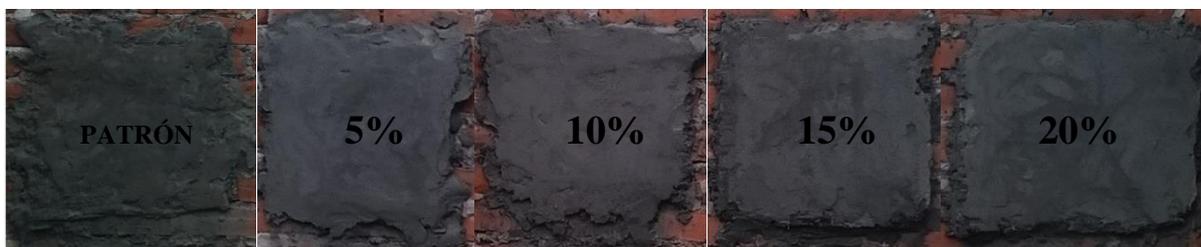


Figura 17. Enlucidos en Guano correspondientes al Primer mes de ensayo.

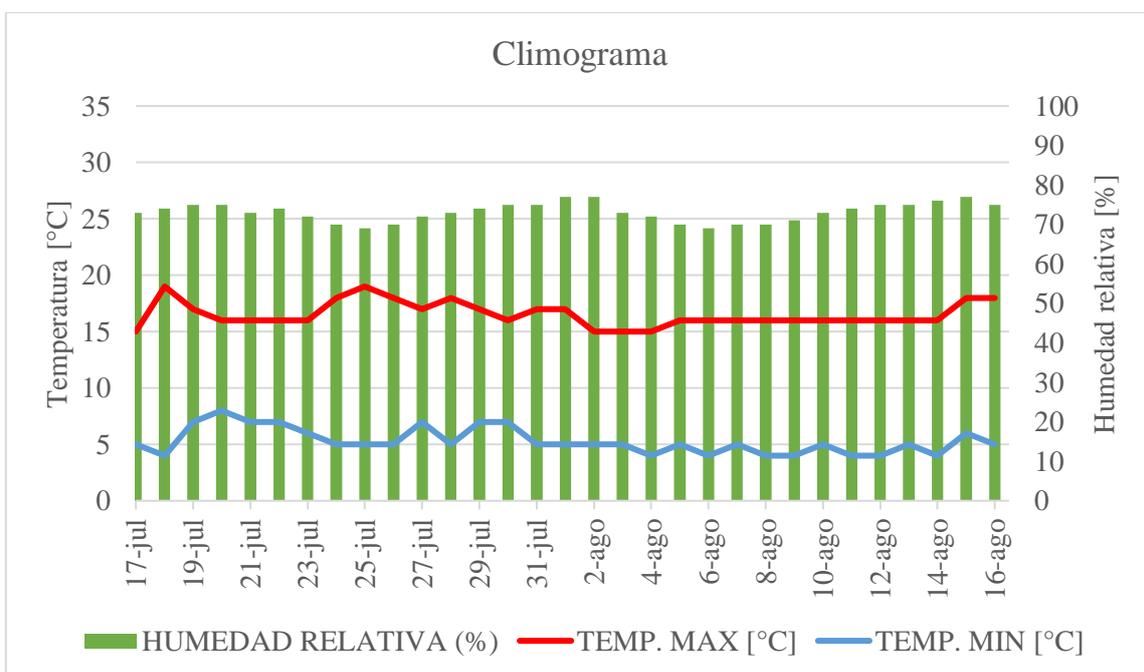


Figura 18. Climograma de las condiciones en Guano, Segundo mes de ensayo.



Figura 19. Enlucidos en Guano correspondientes al Segundo mes de ensayo.

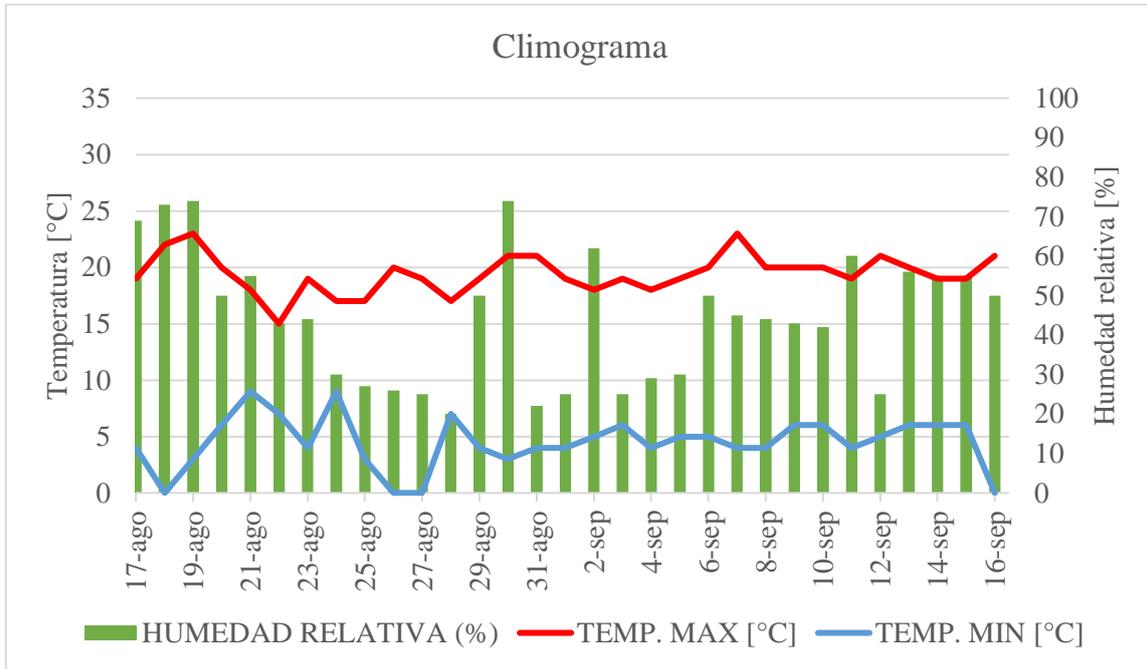


Figura 20. Climograma de las condiciones en Guano, Tercer mes de ensayo.



Figura 21. Enlucidos en Guano correspondientes al Tercer mes de ensayo.

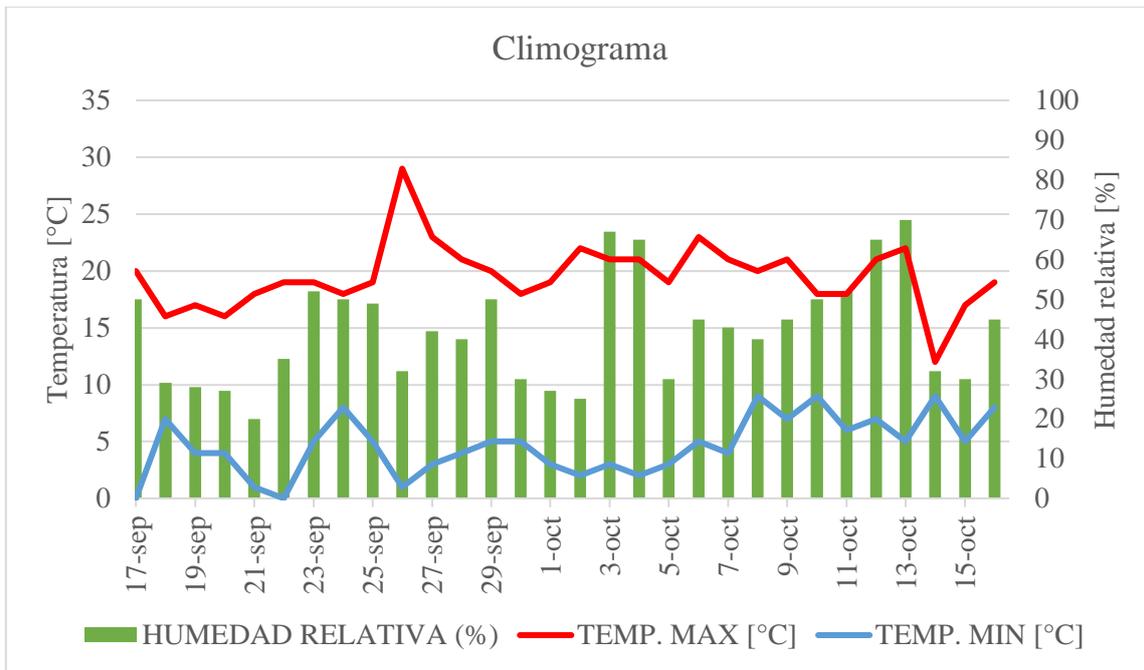


Figura 22. Climograma de las condiciones en Guano, Cuarto mes de ensayo.

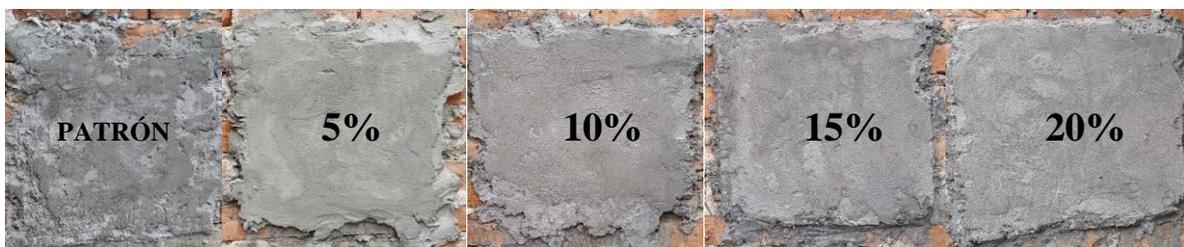


Figura 23. Enlucidos en Guano correspondientes al Cuarto mes de ensayo.

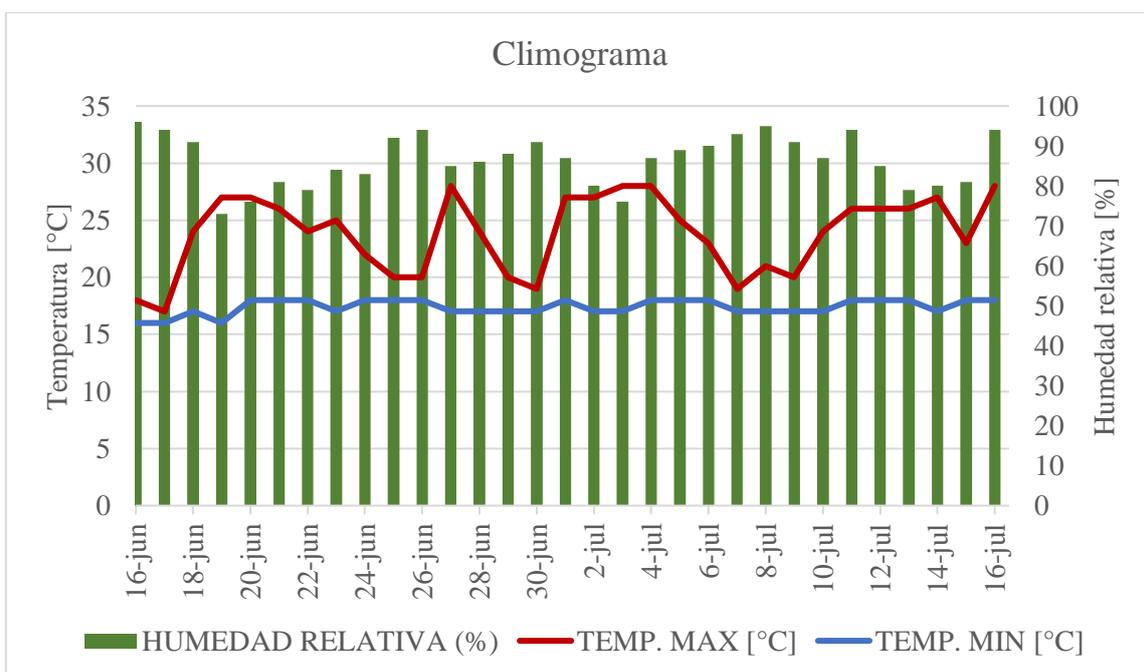


Figura 24. Climograma de las condiciones en Puyo, Primer mes de ensayo.

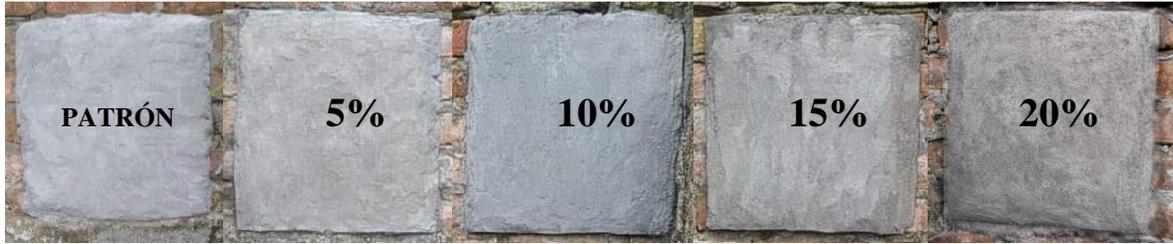


Figura 25. Enlucidos en Puyo correspondientes al Primer mes de ensayo.

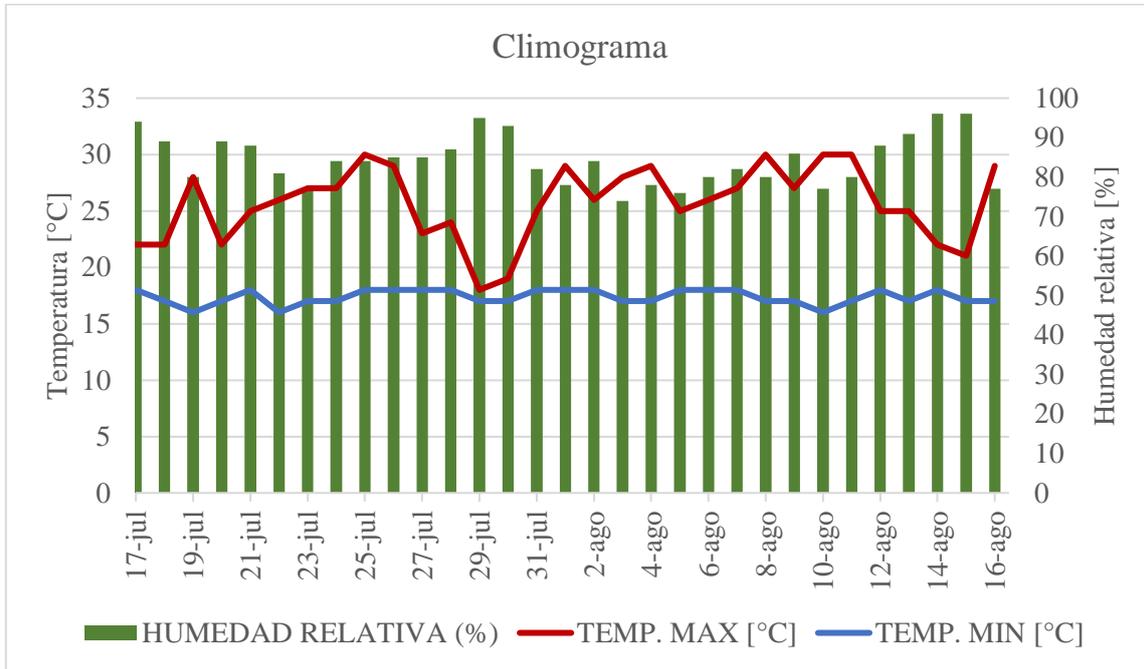


Figura 26. Climograma de las condiciones en Puyo, Segundo mes de ensayo.



Figura 27. Enlucidos en Puyo correspondientes al Segundo mes de ensayo.

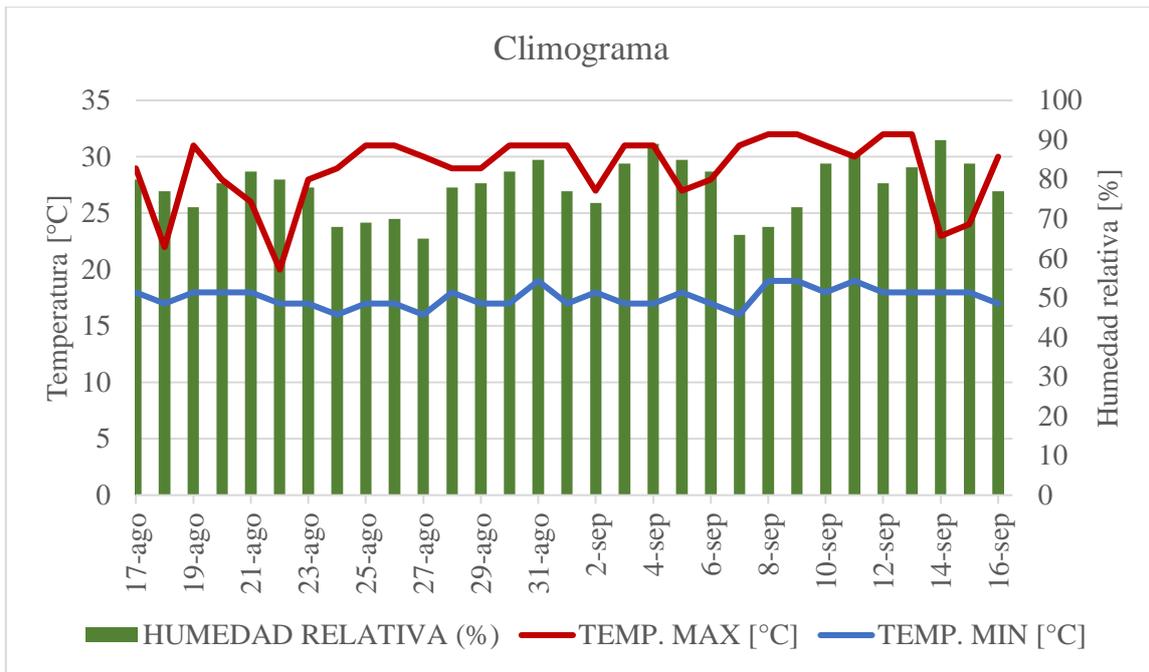


Figura 28. Climograma de las condiciones en Puyo, Tercer mes de ensayo.



Figura 29. Enlucidos en Puyo correspondientes al Tercer mes de ensayo.

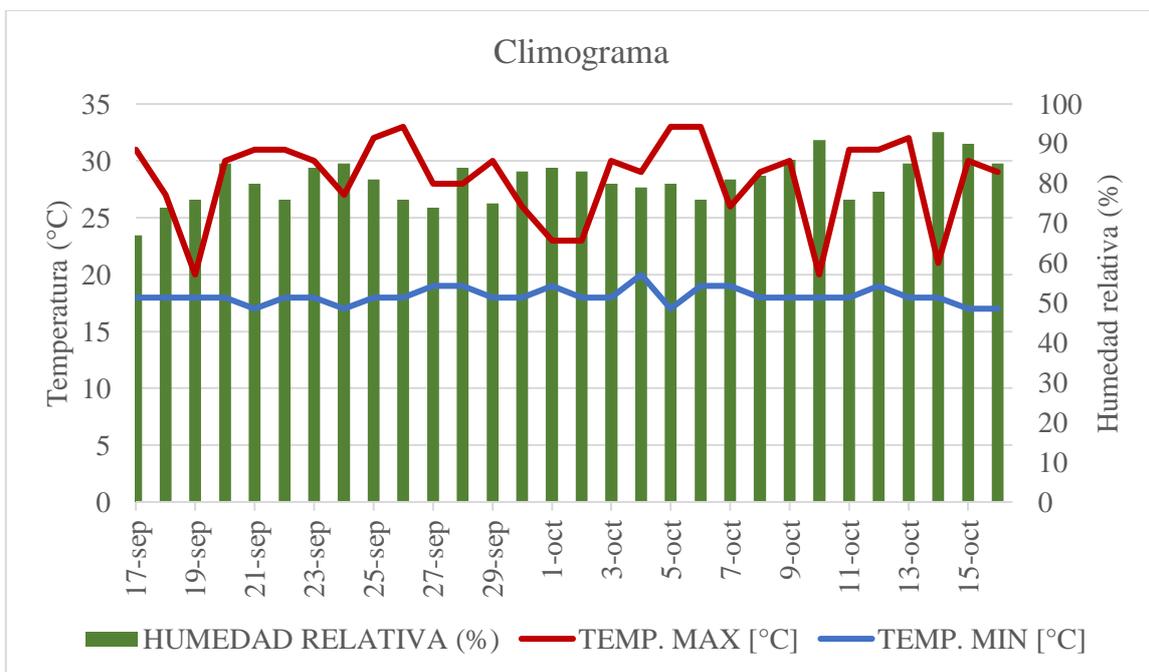


Figura 30. Climograma de las condiciones en Puyo, Cuarto mes de ensayo.



Figura 31. Enlucidos en Puyo correspondientes al Cuarto mes de ensayo.

Gracias a todas las figuras se evidencia que los enlucidos de ambas ciudades se notan un tanto poroso al principio, pero a partir del segundo mes tienen un aspecto más liso en comparación a la muestra patrón, esto implicaría que la CCA ayuda a cerrar los poros del mortero evitando la absorción de agua. Una evidencia más de que los respectivos enlucidos no absorbieron el agua es que mantuvieron su color blanquecino en todo el proceso de observación a pesar de las lluvias, aunque en el caso de la ciudad del Puyo se notan ciertas porciones húmedas en los enlucidos pero se debe tomar en cuenta que la tasa de precipitación es muy alta en la ciudad, sin embargo, en ningún caso hubo la presencia de musgo que según (Huamani & Solis, 2021) solo tarda alrededor de 3 semanas en aparecer en ambientes húmedos y soleados, tampoco apareció salitre, decoloraciones ni fisuras, todo esto debido a la menor presencia de humedad gracias al efecto de impermeabilización que muestran el ensayo de sorptividad.

4.13 Análisis Económico

En el presente trabajo de investigación se ha adquirido los siguientes materiales en los costos descritos a continuación:

Tabla 22. Costos generales.

Costos de materia prima para mortero		
	Cantidad	Precio (\$)
Cemento (kg)	50	8
Árido (kg)	40	3
Agua (m ³)	1	0,25
CCA (kg)	1	4,84

El cemento fue adquirido de la marca Cemento Chimborazo a ese costo en una ferretería, el árido fue proveniente de la hormigonera Moreno y para la obtención de la CCA se dispone de los siguientes gastos descritos a continuación:

Tabla 23. Detalle de obtención de CCA.

Obtención de CCA	
Volumen del recipiente (cm ³)	22089,323
kg CCA	2,1
Insumos	\$
Cascarilla de arroz	4,4178647
Horno	5
Tanque de gas	0,75
Total	\$10,167865

A continuación, se presenta el análisis de costos al desarrollar mortero para enlucido de 1,5 cm de espesor para 1 m² de cobertura, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 24. Cantidades de material y su costo para el mortero convencional.

Dosificación para mortero convencional (1 m²)		
	Cantidades	Precio
Cemento (kg)	4,65	\$0,94
Arena (kg)	37	\$2,81
Agua (m ³)	0,003255	\$0,001
Total		\$3,56

Tabla 25. Cantidades de material y su costo para el mortero con reemplazo de 5% de CCA.

Dosificación para mortero con 5% CCA (1 m²)		
	Cantidades	Precio
Cemento (kg)	4,4175	\$0,71
Árido (kg)	37,5	\$2,81
Agua (m ³)	0,003255	\$0,001
CCA (kg)	0,2325	\$1,13
Total		\$4,65

Tabla 26. Cantidades de material y su costo para el mortero con reemplazo de 10% de CCA.

Dosificación para mortero con 10% CCA (1 m²)		
	Cantidades	Precio
Cemento (kg)	4,185	\$0,67
Árido (kg)	37,5	\$2,81
Agua (m ³)	0,003255	\$0,001
CCA (kg)	0,465	\$2,25
Total		\$5,73

Tabla 27. Cantidades de material y su costo para el mortero con reemplazo de 15% de CCA.

Dosificación para mortero convencional 15 % CCA (1 m²)		
	Cantidades	Precio
Cemento (kg)	3,9525	\$0,63
Árido (kg)	37,5	\$2,81
Agua (m ³)	0,003255	\$0,001
CCA (kg)	0,6975	\$3,38
Total		\$6,82

Tabla 28. Cantidades de material y su costo para el mortero con reemplazo de 20% de CCA.

Dosificación para mortero con 20 % CCA (1 m²)		
	Cantidades	Precio
Cemento (kg)	3,72	\$0,60
Árido (kg)	37,5	\$2,81
Agua (m ³)	0,003255	\$0,001
CCA (kg)	0,93	\$4,50
Total		\$7,91

Al analizar los costos en el desarrollo de mortero con reemplazos de CCA que se consideran de la **Tabla 22** a la **Tabla 28**, se ha identificado que el costo es un poco superior en comparación con el mortero convencional denotando que el costo adicional en el mortero con 20% de CCA es de 4,35 \$, el mortero con 15 % de CCA la diferencia es de 3,27 \$, el mortero con 10 % de CCA la diferencia es de 2,18 \$, el mortero con 5 % de CCA la diferencia es de 1,09 \$.

Estos valores permiten identificar que la propuesta con CCA genera un costo adicional al dar un valor agregado al mortero, sin embargo, el mismo no es exagerado y permitiría evitar las patologías que los enlucidos presentan con el pasar del tiempo.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La ceniza de cascarilla de arroz proveniente de la provincia de Los Ríos, en el diseño de mortero para enlucidos aporta durabilidad debido a su capacidad para reducir los coeficientes de absorción de agua por capilaridad cuando se aumentaron los porcentajes de CCA, es decir, evita la penetración del agua a través de los poros, lo cual a largo plazo permite obtener menor deterioro, corroborando esto con el ensayo de intemperismo realizado en la ciudad del Puyo lugar que mantiene clima cálido-húmedo.
- Se concluye a partir de todos los ensayos realizados, que el reemplazo porcentual óptimo para nuestra propuesta de morteros para enlucidos es del 10% de CCA debido a su capacidad de trabajabilidad, impermeabilidad, hidrofobicidad y resistencia normada para enlucidos.
- En cuanto a la resistencia a compresión, el mortero patrón obtuvo un valor de 23,23 MPa a la edad de 28 días, obteniendo en comparación con los porcentajes de reemplazo una disminución de: 15,26% al sustituir 5% de CCA, 36,89% al sustituir 10%, 54,57% al sustituir 15% de CCA y 65,15% al sustituir 20% de CCA, pese a la pérdida de resistencia con respecto al mortero patrón podemos darnos cuenta que los mismos cumplen con la resistencia mínima para enlucidos es 5,2 MPa, razón por la cual proponemos a la muestra del 10% de CCA como óptima.
- Con respecto al ensayo de fluidez, el mortero patrón dispone un resultado de 116% mientras que el mortero del 10% de CCA presenta un valor de 105% manteniendo la consistencia plástica requerida para enlucidos, únicamente el reemplazo del 20% de CCA no era apta para enlucidos por presentar una condición seca correspondiente a una fluidez del 95,5%.
- En el ensayo de tiempo de fraguado el mortero patrón obtuvo un tiempo de fraguado inicial y final de: 195 y 390 minutos, respectivamente, por su parte el mortero con reemplazo del 10% de CCA tiene un tiempo de fraguado inicial y final de: 240 y 420 minutos, respectivamente, lo cual, indica que este puede ser manejable por un mayor periodo de tiempo en comparación con el mortero patrón.
- Con respecto al ensayo de sorptividad, se identifica que las probetas con reemplazos porcentuales de CCA presentaron una disminución de absorción de agua tanto en la etapa inicial como secundaria, con respecto al comportamiento del mortero patrón, lo cual, es beneficioso para prevenir la aparición de patologías en el mortero que se proliferan con la presencia de humedad.
- Observando el comportamiento tanto de los enlucidos realizados en Guano y en el Puyo se notó un aspecto más liso en aquellos que contenían CCA en comparación con el mortero patrón, cabe mencionar que empíricamente se notó menor adherencia en los enlucidos del 15 y 20 % de CCA por lo cual, el mortero óptimo de 10% brinda los beneficios de menor absorción, buena adherencia y correcta manejabilidad.

- Al hablar de costo y beneficio en nuestra propuesta, el mortero óptimo del 10% de CCA añade un costo adicional de 2,18 \$ con respecto al mortero patrón haciendo el análisis en 1 m² esto se puede identificar esta inversión a largo plazo.

5.2 Recomendaciones

- Los resultados obtenidos acerca del porcentaje de sílice de la CCA proveniente de la provincia de Los Ríos, justifican la alternativa de utilizar cascarilla de arroz de la provincia de Manabí, debido a los ensayos precedentes mencionados en la sección de Resultados.
- Evaluar el comportamiento del mortero con reemplazos porcentuales de arena y no de cemento, puesto que la disminución de su cantidad en la pasta de mortero provocó una pérdida de resistencia, trabajabilidad y prolongación del tiempo de fraguado, cabe destacar que estos efectos tuvieron lugar en altos reemplazos de porcentajes de CCA.
- Se propone el monitoreo de los paneles de enlucidos realizados en esta investigación y que se encuentran ubicados en Guano y el Puyo.
- En esta investigación se realizó el ensayo de resistencia a compresión en base a la dosificación que propone la norma INEN 488 aplicando rigurosamente el procedimiento de ensayo, que cuenta con la dosificación para 6 y 9 cubos de 50 mm de arista, pero, para el ensayo de intemperismo aplicamos la dosificación para enlucidos que propone la UCEM porque era necesario ver la evolución del mortero expuesto a condiciones climáticas tal como se utiliza en la práctica, sin embargo, se recomienda evaluar el comportamiento del mortero usando una dosificación uniforme para todos los ensayos, que en este caso, sería la proporcionada por la UCEM.

BIBLIOGRAFÍA

- Aliaga, A. (2017). "Evaluación de ceniza de cascarilla de arroz y tipos de agregados finos sobre la compresión, sorptividad y densidad de morteros de cemento Portland tipo I, Trujillo 2017". *Ucv*, 358.
- Allauca, L., Amen, H., & Lung, J. (2022). *Uso de Sílice en Hormigones de Alto Desempeño*. [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/7684/1/Uso de sílice en hormigones de alto desempeño.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/7684/1/Uso%20de%20sílice%20en%20hormigones%20de%20alto%20desempeño.pdf)
- BECOSAN. (2020, January 28). *¿Qué es el cemento? | Cemento en la construcción | BECOSAN®*. <https://www.becosan.com/es/que-es-el-cemento-en-la-construccion/>
- Erazo, W., Lara, J., & Prado, L. (2019). *Evaluación de las Propiedades Fisicomecánicas de Cubos de Mortero Utilizando Cenizas de Cascarilla de Arroz como Sustituto Parcial del Cemento*. <https://journalusco.edu.co/index.php/erasmus/article/download/2542/3780?inline=1>
- Fresneda, S., & Mendez, J. (2019). *Impermeabilizante natural a partir de la ceniza cascarilla de arroz para muros en adobe*. [https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5567/MONOGRAFIA MENDEZ Y FRESNEDA G11 PTCA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5567/MONOGRAFIA_MENDEZ_Y_FRESNEDA_G11_PTCA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Huamani, M., & Solis, S. (2021). *Efecto de las propiedades físico-mecánicas y químicas del mortero convencional adicionado con dióxido de titanio para el sector construcción en la provincia y región de Arequipa, julio - diciembre 2020*.
- Jarre, C., Puig, R., Zamora, C., & Zamora, E. (2021). Caracterización preliminar de la ceniza de cáscara de arroz de la provincia Manabí, Ecuador, para su empleo en hormigones. *Revista Técnica De La Facultad De Ingeniería Universidad Del Zulia*, 44(1), 44–50. <https://doi.org/10.22209/RT.V44N1A06>
- Llerena, A. (2020). Diseño de un mortero con arena de río de la Provincia de Cotopaxi, utilizando cemento portland tipo I y HE incluido cal hidráulica para el uso de impresoras 3D. *Universidad Nacional de Chimborazo*, 92. <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/1381/1/UNACH-EC-AGR-2016-0002.pdf>
- Modense, P. (2018). *Mortero de cemento: dosificación y rendimiento — manual de Obra*.
- Muciño-Vélez, A., Guillén Guillén, C. A., Tahuiton-Mora, A., & Orozco-Mendoza, E. (2022). Influencia de la arena en la resistencia mecánica del mortero empleando diferentes marcas de cemento. *CIENCIA Ergo-Sum*, 29(1). <https://doi.org/10.30878/ces.v29n1a9>
- NTE INEN 2518. (2010). Morteros para unidades de mampostería. Requisitos. *Instituto*

Ecuatoriano de Normalización, 21.

- Orrabalis, C., Ledezma, A., Villalba, R., & Martínez, R. (2019). Cuantificación de la resistencia mecánica de morteros de cemento al añadir cenizas de cáscara de arroz ricas en nanopartículas de sílice. *Avances En Ciencias e Ingeniería*, 10(2). https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/121089/CONICET_Digital_Nro.660e34a8-cbb5-4a0b-8bab-35b708334166_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Pazos, C. (2018). Determinación del grado de deterioro producido por la acción del clima en diferentes materiales de construcción utilizada en edificaciones de la ciudad de QUITO. *Photosynthetica*, 2(1), 1–13.
- Ramos, C. (2019). *Diseño de un mortero empleando cenizas de cáscaras de arroz*. 397. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/6055>
- Sandoval, A. Á., Preixens, J. B., Cemarska, W., & Sarabia, S. A. J. (2007). *Prevención de fallos en revestimientos con morteros monocapa*.
- UCEM. (2017). Cemento Chimborazo. *Características de Los Productos de La Empresa Cemento Chimborazo*, 1–5. <https://www.ucem.com.ec/categoria-producto/cemento-chimborazo/>
- UPV. (2019). *Conglomerantes y Adiciones. Tema 4 : Aditivos y Adiciones*.

ANEXOS

Anexo 1. Datos de comparación para el ensayo a compresión

	Mortero Ecuador			Mortero Argentina	Mortero Perú			Mortero Colombia		
	MPa			MPa	MPa			MPa		
	7 días	14 días	28 días	28 días	7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días
Muestra patrón	18,80	20,19	23,23	32,90	18,42	21,52	27,05	15,57	19,05	28,57
Mortero sust. 5%	11,78	11,78	19,68	12,00	20,88	23,51	29,63			
Mortero sust. 10 %	9,08	10,51	14,66	14,60	22,19	24,86	30,54	7,26	8,93	11,38
Mortero sust. 15%	6,02	8,67	10,55	9,70	19,43	22,51	28,91	4,35	6,32	8,16

Anexo 2. Lecturas del calibrador del ensayo de fluidez.

# Caídas	CCA (%)	Diámetro 1 (mm)	Diámetro 2 (mm)	Diámetro 3 (mm)	Diámetro 4 (mm)	Flujo (%)
25	0	28.5	28.5	30	29	116.00
	5	28	27	27.5	26.5	109.00
	10	26.5	25.5	26	27	105.00
	15	26	25	25.5	26	102.50
	20	24	23.5	23.5	24.5	95.50

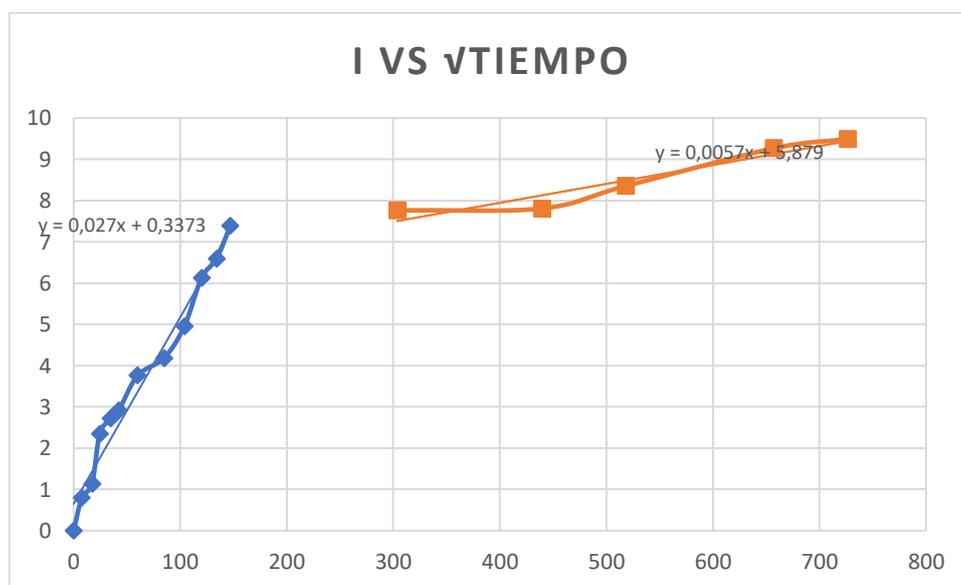
Anexo 3. Registro de tiempos y condiciones ambientales durante ensayo de tiempo de fraguado.

CCA (%)	Hora elabor. mortero	Temp. inicial ambiente (°C)	Humed. relativa inicial ambiente (%)	Hora fraguado inicial	Temp. ambiente fraguado inicial (°C)	Humed. relativa ambiente fraguado inicial (%)	Hora fraguado final	Temp. ambiente fraguado final (°C)	Humed. relativa ambiente fraguado final (%)	Tiempo fraguado inicial (min)	Tiempo fraguado final (min)
0	10h30	15.5	88	13h45	18.7	68.1	17h00	20.2	55.6	195	390
5	11h00	16.1	82.4	14h25	19.1	68	17h40	15.4	88.1	205	400
10	11h30	16.5	75.5	15h30	19.4	64.1	18h30	12.2	88.2	240	420
15	12h10	17.3	68.0	15h58	20	56.2	19h30	9.4	92.2	228	440
20	12h40	17.4	77.1	16h46	19.9	55.8	20h00	8.8	93.7	246	440

Anexo 4. Sorptividad bajo la norma ASTM C1585.

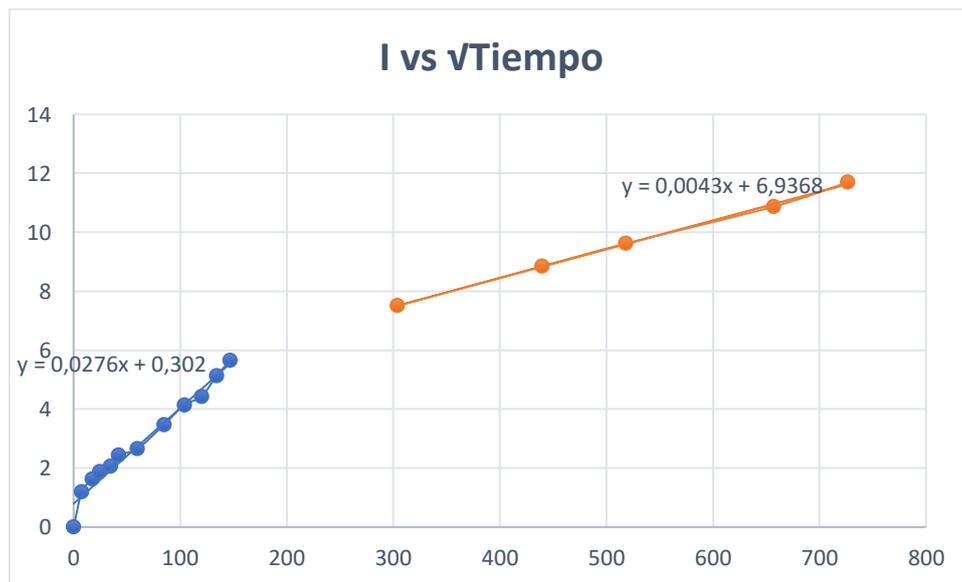
Muestra 1 – 0% CCA.

Dimensiones cubos		a	50	2660	
		b	53,2		
Tiempo de ensayo		√Tiempo	Masa	Masa	Masa/área/densidad
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	del agua = I (mm)
	0	0	263,32	0	0
	60	8	265,43	2,11	0,79
	300	17	266,33	3,01	1,13
	600	24	269,57	6,25	2,35
	1200	35	270,55	7,23	2,72
	1800	42	271,07	7,75	2,91
	3600	60	273,32	10	3,76
	7200	85	274,45	11,13	4,18
	10800	104	276,49	13,17	4,95
	14400	120	279,61	16,29	6,12
	18000	134	280,85	17,53	6,59
	21600	147	282,96	19,64	7,38
1	92220	304	283,97	20,65	7,76
2	193200	440	284,09	20,77	7,81
3	268500	518	285,54	22,22	8,35
5	432000	657	287,97	24,65	9,27
6	527580	726	288,57	25,25	9,49



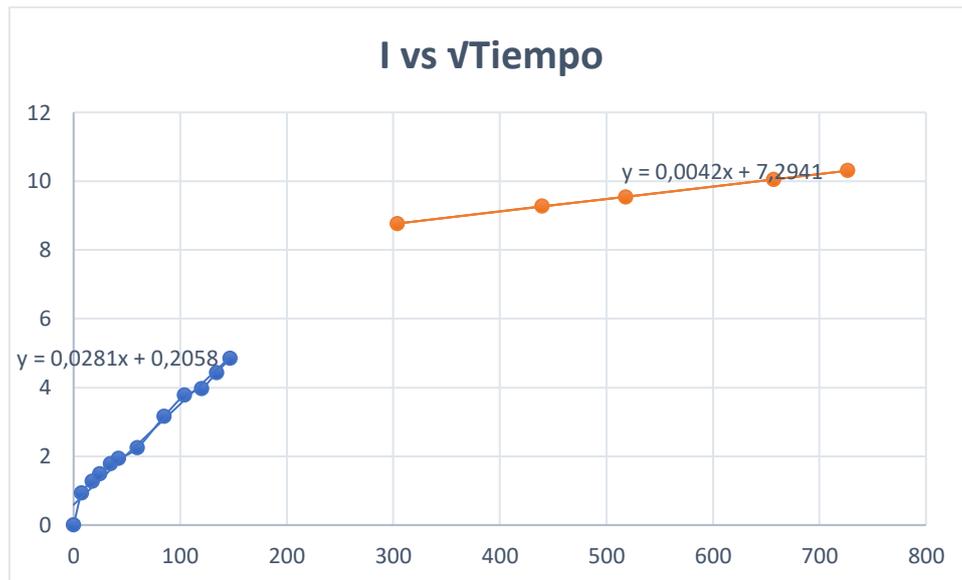
Muestra 2 – 0% CCA.

Dimensiones cubos		a	49,7	2604,28	
		b	52,4		
Tiempo de ensayo		√Tiempo	Masa	Masa	Masa/área/densidad
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	del agua = I (mm)
	0	0	260,53	0	0
	60	8	263,64	3,11	1,19
	300	17	264,75	4,22	1,62
	600	24	265,43	4,9	1,88
	1200	35	265,87	5,34	2,05
	1800	42	266,89	6,36	2,44
	3600	60	267,45	6,92	2,66
	7200	85	269,58	9,05	3,48
	10800	104	271,32	10,79	4,14
	14400	120	272,05	11,52	4,42
	18000	134	273,89	13,36	5,13
	21600	147	275,24	14,71	5,65
1	92220	304	280,07	19,54	7,50
2	193200	440	283,57	23,04	8,85
3	268500	518	285,58	25,05	9,62
5	432000	657	288,85	28,32	10,87
6	527580	726	290,98	30,45	11,69



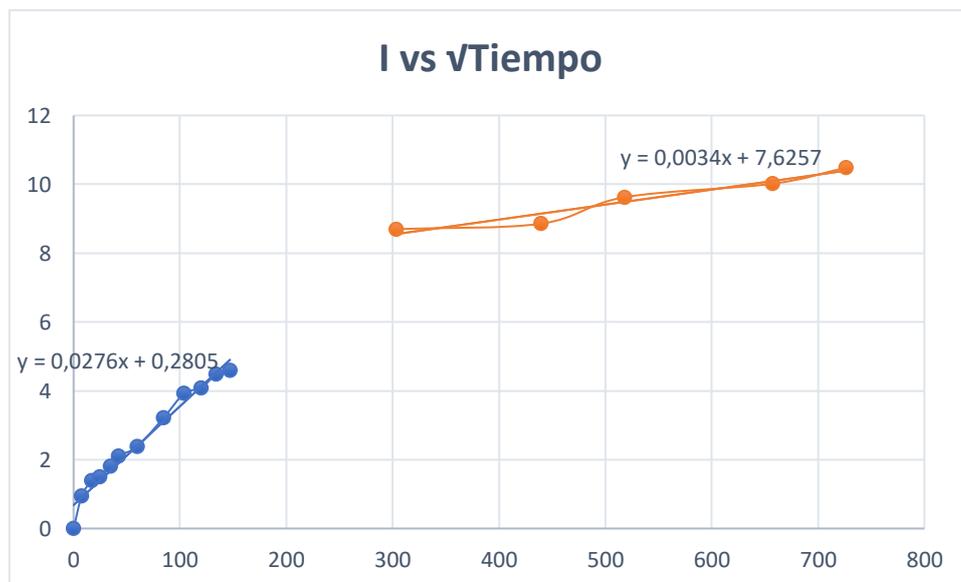
Muestra 1 – 5% CCA.

Dimensiones cubos		a	49,9	2604,78	Masa/área/densidad del agua = I (mm)
		b	52,2		
Tiempo de ensayo		√Tiempo	Masa	Masa	
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	250,22	0	0
	60	8	252,65	2,43	0,93
	300	17	253,53	3,31	1,27
	600	24	254,07	3,85	1,48
	1200	35	254,87	4,65	1,79
	1800	42	255,25	5,03	1,93
	3600	60	256,06	5,84	2,24
	7200	85	258,44	8,22	3,16
	10800	104	260,04	9,82	3,77
	14400	120	260,54	10,32	3,96
	18000	134	261,76	11,54	4,43
	21600	147	262,85	12,63	4,85
1	92220	304	273,05	22,83	8,76
2	193200	440	274,37	24,15	9,27
3	268500	518	275,07	24,85	9,54
5	432000	657	276,4	26,18	10,05
6	527580	726	277,06	26,84	10,30



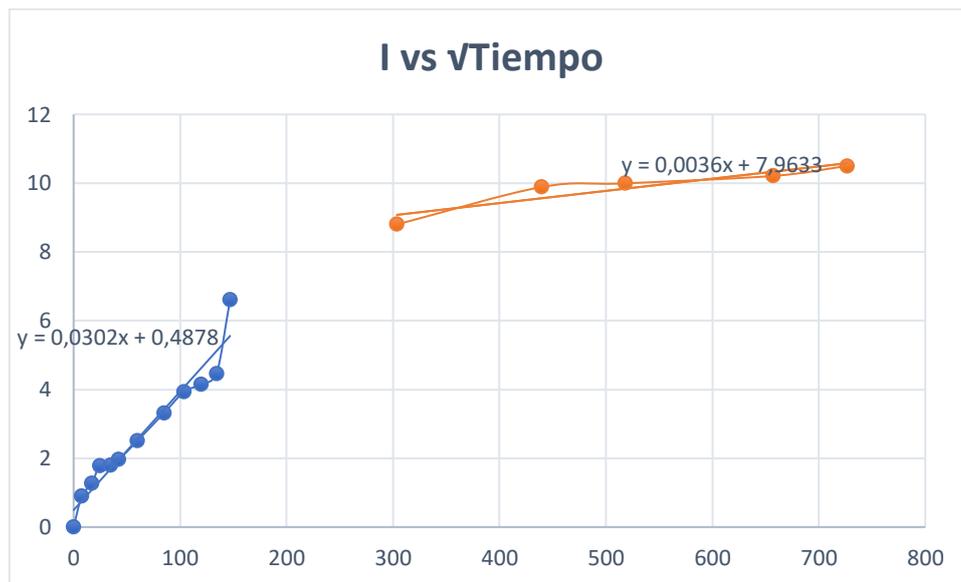
Muestra 2 – 5% CCA.

Dimensiones cubos		a	49,8	2584,62	
		b	51,9		
Tiempo de ensayo		$\sqrt{\text{Tiempo}}$	Masa	Masa	Masa/área/densidad
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	del agua = I (mm)
	0	0	245,19	0	0
	60	8	247,65	2,46	0,95
	300	17	248,78	3,59	1,39
	600	24	249,07	3,88	1,50
	1200	35	249,87	4,68	1,81
	1800	42	250,65	5,46	2,11
	3600	60	251,35	6,16	2,38
	7200	85	253,53	8,34	3,23
	10800	104	255,33	10,14	3,92
	14400	120	255,75	10,56	4,09
	18000	134	256,78	11,59	4,48
	21600	147	257,07	11,88	4,60
1	92220	304	267,67	22,48	8,70
2	193200	440	268,08	22,89	8,86
3	268500	518	270,07	24,88	9,63
5	432000	657	271,08	25,89	10,02
6	527580	726	272,29	27,1	10,49



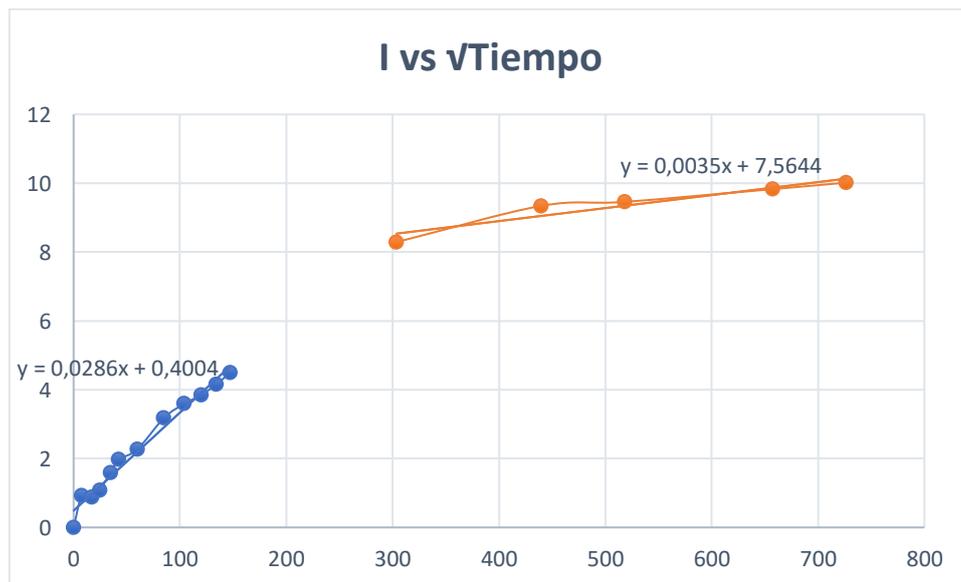
Muestra 1 – 10% CCA.

Dimensiones cubos		a	50,2	2630,48	Masa/área/densidad del agua = I (mm)
		b	52,4		
Tiempo de ensayo		√Tiempo	Masa	Masa	
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	242,18	0	0
	60	8	244,55	2,37	0,90
	300	17	245,53	3,35	1,27
	600	24	246,88	4,7	1,79
	1200	35	246,89	4,71	1,79
	1800	42	247,34	5,16	1,96
	3600	60	248,78	6,6	2,51
	7200	85	250,9	8,72	3,31
	10800	104	252,53	10,35	3,93
	14400	120	253,07	10,89	4,14
	18000	134	253,89	11,71	4,45
	21600	147	259,57	17,39	6,61
1	92220	304	265,33	23,15	8,80
2	193200	440	268,19	26,01	9,89
3	268500	518	268,47	26,29	9,99
5	432000	657	269,04	26,86	10,21
6	527580	726	269,8	27,62	10,50



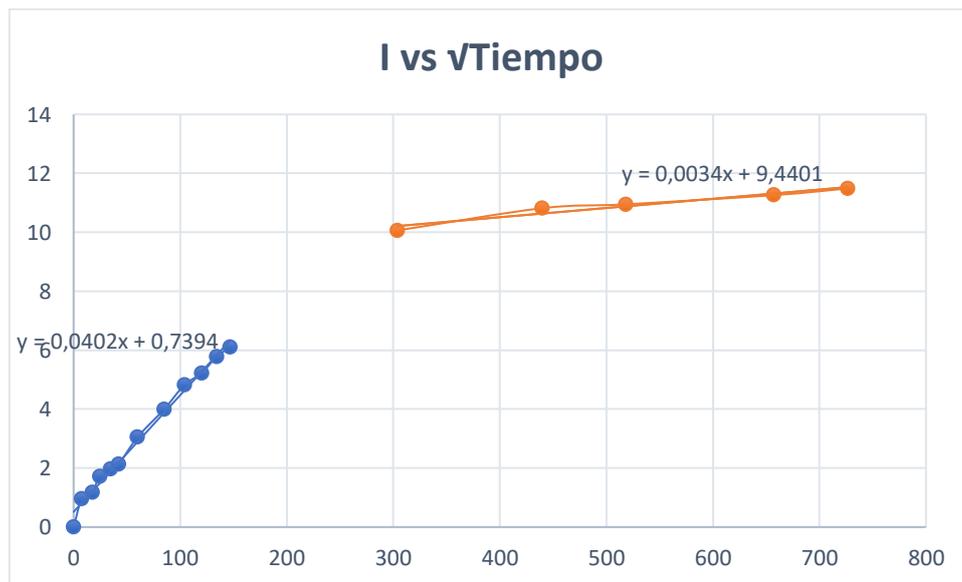
Muestra 2 – 10% CCA.

Dimensiones cubos		a	50,1	2645,28	Masa/área/densidad del agua = I (mm)
		b	52,8		
Tiempo de ensayo		√Tiempo	Masa	Masa	
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	240,35	0	0
	60	8	242,8	2,45	0,93
	300	17	242,67	2,32	0,88
	600	24	243,2	2,85	1,08
	1200	35	244,57	4,22	1,60
	1800	42	245,56	5,21	1,97
	3600	60	246,35	6	2,27
	7200	85	248,76	8,41	3,18
	10800	104	249,85	9,5	3,59
	14400	120	250,53	10,18	3,85
	18000	134	251,34	10,99	4,15
	21600	147	252,23	11,88	4,49
1	92220	304	262,28	21,93	8,29
2	193200	440	265,06	24,71	9,34
3	268500	518	265,37	25,02	9,46
5	432000	657	266,35	26	9,83
6	527580	726	266,85	26,5	10,02



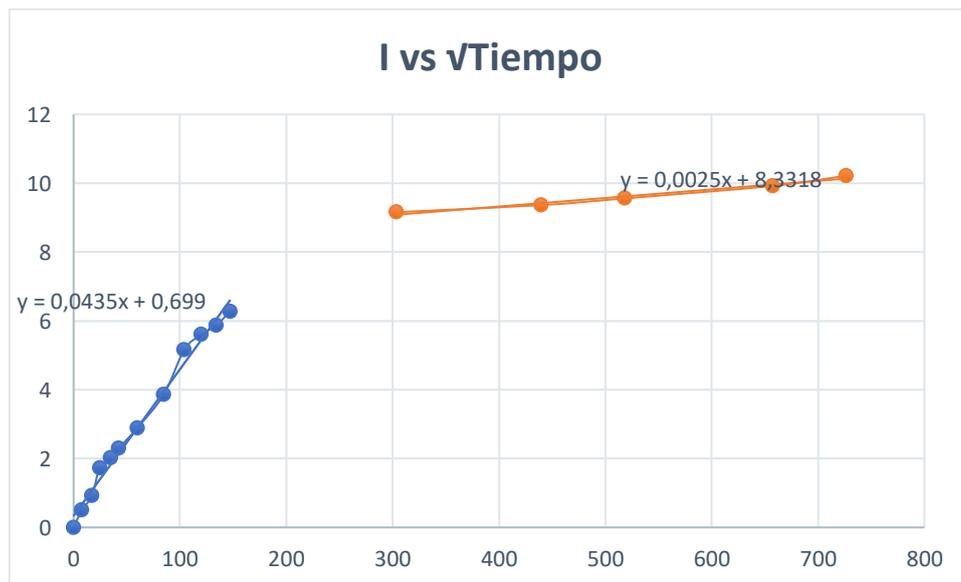
Muestra 1 – 15% CCA.

Dimensiones cubos		a	50,1	2570,13	Masa/área/densidad del agua = I (mm)
		b	51,3		
Tiempo de ensayo		√Tiempo	Masa	Masa	
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	234,05	0	0
	60	8	236,53	2,48	0,96
	300	17	237,07	3,02	1,18
	600	24	238,46	4,41	1,72
	1200	35	239,09	5,04	1,96
	1800	42	239,54	5,49	2,14
	3600	60	241,89	7,84	3,05
	7200	85	244,32	10,27	4,00
	10800	104	246,43	12,38	4,82
	14400	120	247,46	13,41	5,22
	18000	134	248,89	14,84	5,77
	21600	147	249,75	15,7	6,11
1	92220	304	259,91	25,86	10,06
2	193200	440	261,85	27,8	10,82
3	268500	518	262,19	28,14	10,95
5	432000	657	262,99	28,94	11,26
6	527580	726	263,57	29,52	11,49



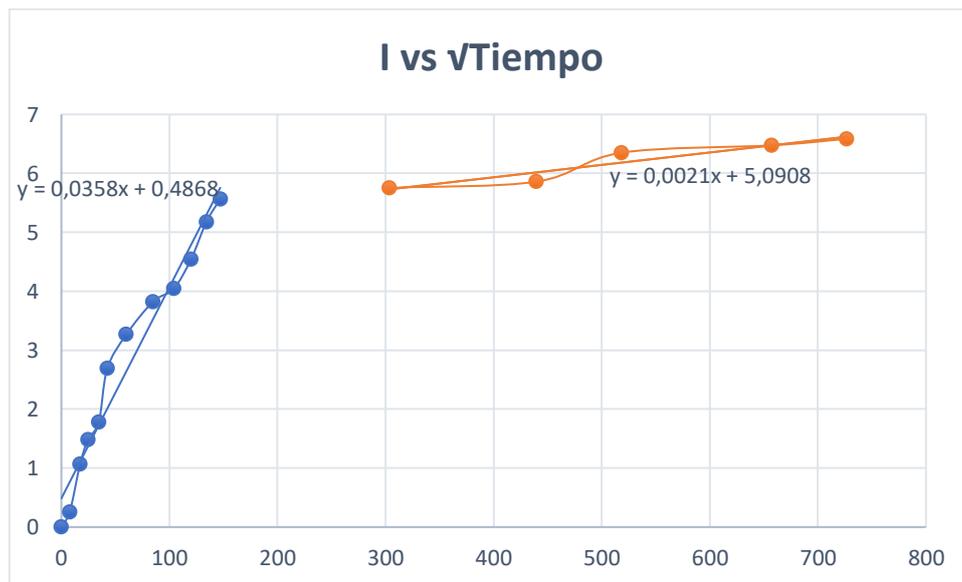
Muestra 2 – 15% CCA.

Dimensiones cubos		a	50,2	2650,56	Masa/área/densidad del agua = I (mm)
		b	52,8		
Tiempo de ensayo		√Tiempo	Masa	Masa	
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	231,79	0	0
	60	8	233,12	1,33	0,50
	300	17	234,25	2,46	0,93
	600	24	236,37	4,58	1,73
	1200	35	237,13	5,34	2,01
	1800	42	237,89	6,1	2,30
	3600	60	239,46	7,67	2,89
	7200	85	242,02	10,23	3,86
	10800	104	245,46	13,67	5,16
	14400	120	246,65	14,86	5,61
	18000	134	247,35	15,56	5,87
	21600	147	248,43	16,64	6,28
1	92220	304	256,07	24,28	9,16
2	193200	440	256,61	24,82	9,36
3	268500	518	257,13	25,34	9,56
5	432000	657	258,09	26,3	9,92
6	527580	726	258,87	27,08	10,22



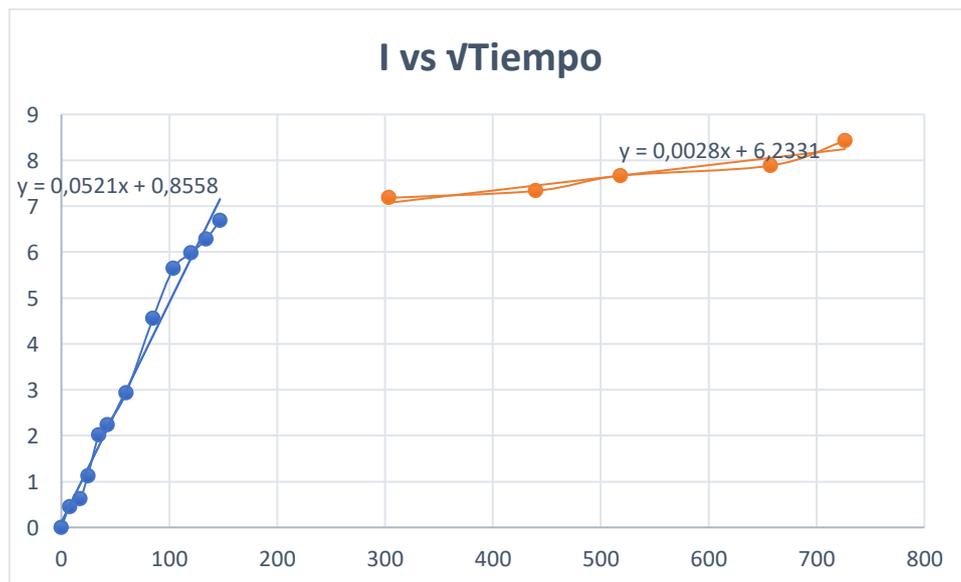
Muestra 1 – 20% CCA.

Dimensiones cubos		a	50,2	2647,046	Masa/área/densidad del agua = I (mm)
		b	52,73		
Tiempo de ensayo		√Tiempo	Masa	Masa	
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	226,64	0	0
	60	8	227,32	0,68	0,26
	300	17	229,46	2,82	1,07
	600	24	230,56	3,92	1,48
	1200	35	231,34	4,7	1,78
	1800	42	233,75	7,11	2,69
	3600	60	235,28	8,64	3,26
	7200	85	236,76	10,12	3,82
	10800	104	237,34	10,7	4,04
	14400	120	238,67	12,03	4,54
	18000	134	240,34	13,7	5,18
	21600	147	241,37	14,73	5,56
1	92220	304	241,87	15,23	5,75
2	193200	440	242,15	15,51	5,86
3	268500	518	243,45	16,81	6,35
5	432000	657	243,78	17,14	6,48
6	527580	726	244,07	17,43	6,58



Muestra 2 – 20% CCA.

Dimensiones cubos		a	50,2	2695,74	Masa/área/densidad del agua = I (mm)
		b	53,7		
Tiempo de ensayo		√Tiempo	Masa	Masa	
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	227,32	0	0
	60	8	228,54	1,22	0,45
	300	17	229,01	1,69	0,63
	600	24	230,35	3,03	1,12
	1200	35	232,75	5,43	2,01
	1800	42	233,35	6,03	2,24
	3600	60	235,21	7,89	2,93
	7200	85	239,59	12,27	4,55
	10800	104	242,53	15,21	5,64
	14400	120	243,43	16,11	5,98
	18000	134	244,24	16,92	6,28
	21600	147	245,35	18,03	6,69
1	92220	304	246,68	19,36	7,18
2	193200	440	247,09	19,77	7,33
3	268500	518	247,98	20,66	7,66
5	432000	657	248,57	21,25	7,88
6	527580	726	250,03	22,71	8,42



Anexo 5. Resumen de Absorción inicial y secundaria.

Adición de ceniza	Muestra	Absorción inicial (mm/√s)	r	Absorción Secundaria (mm/√s)	r
0%	Muestra 1	5,51	0,99	5,10	0,98
	Muestra 2	5,25	0,98	4,78	0,99
	Promedio	5,38		4,94	
5%	Muestra 1	4,46	0,99	4,40	0,98
	Muestra 2	4,41	0,99	3,55	0,98
	Promedio	4,44		3,98	
10%	Muestra 1	3,87	0,98	3,59	0,98
	Muestra 2	3,40	0,98	3,38	0,98
	Promedio	3,63		3,49	
15%	Muestra 1	3,54	0,98	2,74	0,98
	Muestra 2	3,09	0,98	2,06	0,98
	Promedio	3,32		2,40	
20%	Muestra 1	3,26	0,98	1,97	0,98
	Muestra 2	2,35	0,98	1,52	0,98
	Promedio	2,81		1,74	

Anexo 6. Resultados de los ensayos a compresión del 20 de junio al 11 de julio.

7	DIAS						
Contenido de CCA	Dimensiones (mm)		Área	Máxima Fuerza (kN)	Resistencia (N/mm ² "MPa")	Resistencia Promedio	Desviación Estándar
0%	49,9	52,7	2629,73	49,2706	18,7360	18,8002	0,429177377
0%	50,2	53,3	2675,66	49,25	18,4067		
0%	49,6	54	2678,4	51,5801	19,2578		
5%	50,4	52,5	2646	43,1589	16,3110	15,3488	0,838843179
5%	50,4	53,5	2696,4	39,8296	14,7714		
5%	50,4	51,7	2605,68	38,9913	14,9640		
10%	50,8	53,3	2707,64	24,3778	9,0033	9,0821	0,547764578
10%	49,79	52,57	2617,4603	22,4524	8,5779		
10%	49,81	53,73	2676,2913	25,8662	9,6649		
15%	50,8	54,96	2791,968	16,58	5,9385	6,0230	0,858227478
15%	50,68	53,75	2724,05	14,1926	5,2101		
15%	50,63	53,53	2710,2239	18,7556	6,9203		
20%	50,13	54,08	2711,0304	12,5074	4,6135	5,1196	0,439353936
20%	49,67	53,33	2648,9011	14,15	5,3418		
20%	50,93	53,63	2731,3759	14,7588	5,4034		
14	DIAS						
Contenido de CCA	Dimensiones (mm)		Área	Máxima Fuerza (kN)	Resistencia (N/mm ² "MPa")	Resistencia Promedio	Desviación Estándar
0%	50,9	50,3	2560,27	61,2669	23,9299	20,1906	3,268641962
0%	49,9	52,7	2629,73	49,3472	18,7651		
0%	50	52	2600	46,4795	17,8767		
5%	50,6	52,7	2666,62	27,339	10,2523	11,7820	1,685201743
5%	49,9	51,6	2574,84	34,9881	13,5885		
5%	50,4	52,1	2625,84	30,2111	11,5053		
10%	49,9	53	2644,7	25,8923	9,7903	10,2622	0,496282777

10%	49,7	51,8	2574,46	27,7519	10,7797		
10%	50,5	53,8	2716,9	27,758	10,2168		
15%	50,4	53,9	2716,56	24,1486	8,8894	8,6740	0,186610513
15%	49,9	54,7	2729,53	23,3653	8,5602		
15%	49,9	54,2	2704,58	23,1851	8,5725		
20%	50	52,7	2635	16,6861	6,3325	6,1380	0,293010272
20%	50,3	53,5	2691,05	16,901	6,2804		
20%	50,1	53,8	2695,38	15,6358	5,8010		
21	DIAS						
Contenido de CCA	Dimensiones (mm)		Área	Máxima Fuerza (kN)	Resistencia (N/mm² "MPa")	Resistencia Promedio	Desviación Estándar
0%	49,8	53,4	2659,32	62,4822	23,4956	22,6221	2,395843485
0%	49,3	50,2	2474,86	60,532	24,4588		
0%	50,1	52	2605,2	51,8751	19,9121		
5%	50,5	52,5	2651,25	45,5945	17,1974	15,5553	3,375519715
5%	50,2	52,2	2620,44	46,6325	17,7957		
5%	50,4	52,4	2640,96	30,8278	11,6730		
10%	50,3	53,9	2711,17	28,5632	10,5354	10,5131	0,046886855
10%	50,7	53,6	2717,52	28,4231	10,4592		
10%	49,6	53,4	2648,64	27,929	10,5447		
15%	49,8	52,4	2609,52	22,4056	8,5861	8,6720	0,087802639
15%	50,8	53,1	2697,48	23,6342	8,7616		
15%	51,1	53,2	2718,52	23,5647	8,6682		
20%	50,6	53	2681,8	17,9208	6,6824	6,9022	0,241283026
20%	50,2	52,3	2625,46	18,0208	6,8639		
20%	49,6	52,1	2584,16	18,5035	7,1604		
28	DIAS						
Contenido de CCA	Dimensiones (mm)		Área	Máxima Fuerza (kN)	Resistencia (N/mm² "MPa")	Resistencia Promedio	Desviación Estándar

0%	49,7	52	2584,4	64,1715	24,8303	23,2287	2,157986511
0%	50,1	52,1	2610,21	62,8567	24,0811		
0%	50,2	52,2	2620,44	54,4389	20,7747		
5%	49,7	53,1	2639,07	58,0381	21,9919	19,6848	3,24896297
5%	49,5	52,7	2608,65	55,0248	21,0932		
5%	49,3	52,1	2568,53	41,0175	15,9693		
10%	50,6	54,1	2737,46	35,6188	13,0116	14,6599	1,434694751
10%	50,1	54,1	2710,41	41,5783	15,3402		
10%	49,8	54,1	2694,18	42,1044	15,6279		
15%	50,1	53	2655,3	28,0488	10,5633	10,5531	0,052140512
15%	50,1	52,7	2640,27	27,9854	10,5994		
15%	50	52,8	2640	27,7112	10,4967		
20%	49,8	53,6	2669,28	23,5713	8,8306	8,0943	0,771944906
20%	50,1	53,4	2675,34	21,8343	8,1613		
20%	50,2	53,3	2675,66	19,5084	7,2911		

Anexo 7. Datos de las variaciones de temperatura y humedad para ensayo de intemperismo.

Primer Mes Guano			
Día/Mes / Año	Temperatura (°C)		Humedad Relativa (%)
	Máxima	Mínima	
16/6/2023	16	6	60
17/6/2023	16	4	55
18/6/2023	17	4	57
19/6/2023	18	4	55
20/6/2023	19	5	54
21/6/2023	20	8	50
22/6/2023	19	5	52
23/6/2023	18	7	55
24/6/2023	18	7	61
25/6/2023	16	7	77
26/6/2023	14	6	72
27/6/2023	16	5	72
28/6/2023	18	7	72
29/6/2023	18	9	70

30/6/2023	16	6	75
1/7/2023	15	8	80
2/7/2023	16	7	77
3/7/2023	19	9	60
4/7/2023	20	5	59
5/7/2023	20	7	57
6/7/2023	18	9	70
7/7/2023	16	10	73
8/7/2023	16	7	72
9/7/2023	14	9	72
10/7/2023	16	6	73
11/7/2023	17	5	57
12/7/2023	15	5	77
13/7/2023	18	1	61
14/7/2023	17	3	67
15/7/2023	17	5	57
16/7/2023	18	8	70

Segundo Mes Guano

Día/Mes / Año	Temperatura (°C)		Humedad Relativa (%)
	Máxima	Mínima	
17/7/2023	15	5	73
18/7/2023	19	4	74
19/7/2023	17	7	75
20/7/2023	16	8	75
21/7/2023	16	7	73
22/7/2023	16	7	74
23/7/2023	16	6	72
24/7/2023	18	5	70
25/7/2023	19	5	69
26/7/2023	18	5	70
27/7/2023	17	7	72
28/7/2023	18	5	73
29/7/2023	17	7	74
30/7/2023	16	7	75
31/7/2023	17	5	75
1/8/2023	17	5	77
2/8/2023	15	5	77
3/8/2023	15	5	73
4/8/2023	15	4	72
5/8/2023	16	5	70
6/8/2023	16	4	69
7/8/2023	16	5	70
8/8/2023	16	4	70
9/8/2023	16	4	71
10/8/2023	16	5	73

11/8/2023	16	4	74
12/8/2023	16	4	75
13/8/2023	16	5	75
14/8/2023	16	4	76
15/8/2023	18	6	77
16/8/2023	18	5	75

Tercer Mes Guano

Día/Mes / Año	Temperatura (°C)		Humedad Relativa (%)
	Máxima	Mínima	
17/8/2023	19	4	69
18/8/2023	22	0	73
19/8/2023	23	3	74
20/8/2023	20	6	50
21/8/2023	18	9	55
22/8/2023	15	7	43
23/8/2023	19	4	44
24/8/2023	17	9	30
25/8/2023	17	3	27
26/8/2023	20	0	26
27/8/2023	19	0	25
28/8/2023	17	7	20
29/8/2023	19	4	50
30/8/2023	21	3	74
31/8/2023	21	4	22
1/9/2023	19	4	25
2/9/2023	18	5	62
3/9/2023	19	6	25
4/9/2023	18	4	29
5/9/2023	19	5	30
6/9/2023	20	5	50
7/9/2023	23	4	45
8/9/2023	20	4	44
9/9/2023	20	6	43
10/9/2023	20	6	42
11/9/2023	19	4	60
12/9/2023	21	5	25
13/9/2023	20	6	56
14/9/2023	19	6	55
15/9/2023	19	6	55
16/9/2023	21	0	50

Cuarto Mes Guano

Día/Mes / Año	Temperatura (°C)		Humedad Relativa(%)
	Máxima	Máxima	
17/9/2023	20	0	50
18/9/2023	16	7	29

19/9/2023	17	4	28
20/9/2023	16	4	27
21/9/2023	18	1	20
22/9/2023	19	0	35
23/9/2023	19	5	52
24/9/2023	18	8	50
25/9/2023	19	5	49
26/9/2023	29	1	32
27/9/2023	23	3	42
28/9/2023	21	4	40
29/9/2023	20	5	50
30/9/2023	18	5	30
1/10/2023	19	3	27
2/10/2023	22	2	25
3/10/2023	21	3	67
4/10/2023	21	2	65
5/10/2023	19	3	30
6/10/2023	23	5	45
7/10/2023	21	4	43
8/10/2023	20	9	40
9/10/2023	21	7	45
10/10/2023	18	9	50
11/10/2023	18	6	52
12/10/2023	21	7	65
13/10/2023	22	5	70
14/10/2023	12	9	32
15/10/2023	17	5	30
16/10/2023	19	8	45

Primer Mes Puyo

Día/Mes / Año	Temperatura (°C)		Humedad Relativa (%)
	Máxima	Mínima	
16/6/2023	18	16	96
17/6/2023	17	16	94
18/6/2023	24	17	91
19/6/2023	27	16	73
20/6/2023	27	18	76
21/6/2023	26	18	81
22/6/2023	24	18	79
23/6/2023	25	17	84
24/6/2023	22	18	83
25/6/2023	20	18	92
26/6/2023	20	18	94
27/6/2023	28	17	85
28/6/2023	24	17	86
29/6/2023	20	17	88

30/6/2023	19	17	91
1/7/2023	27	18	87
2/7/2023	27	17	80
3/7/2023	28	17	76
4/7/2023	28	18	87
5/7/2023	25	18	89
6/7/2023	23	18	90
7/7/2023	19	17	93
8/7/2023	21	17	95
9/7/2023	20	17	91
10/7/2023	24	17	87
11/7/2023	26	18	94
12/7/2023	26	18	85
13/7/2023	26	18	79
14/7/2023	27	17	80
15/7/2023	23	18	81
16/7/2023	28	18	94

Segundo Mes Puyo

Día/Mes / Año	Temperatura (°C)		Humedad Relativa (%)
	Máxima	Mínima	
17/7/2023	22	18	94
18/7/2023	22	17	89
19/7/2023	28	16	80
20/7/2023	22	17	89
21/7/2023	25	18	88
22/7/2023	26	16	81
23/7/2023	27	17	77
24/7/2023	27	17	84
25/7/2023	30	18	84
26/7/2023	29	18	85
27/7/2023	23	18	85
28/7/2023	24	18	87
29/7/2023	18	17	95
30/7/2023	19	17	93
31/7/2023	25	18	82
1/8/2023	29	18	78
2/8/2023	26	18	84
3/8/2023	28	17	74
4/8/2023	29	17	78
5/8/2023	25	18	76
6/8/2023	26	18	80
7/8/2023	27	18	82
8/8/2023	30	17	80
9/8/2023	27	17	86
10/8/2023	30	16	77

11/8/2023	30	17	80
12/8/2023	25	18	88
13/8/2023	25	17	91
14/8/2023	22	18	96
15/8/2023	21	17	96
16/8/2023	29	17	77

Tercer Mes Puyo

Día/Mes / Año	Temperatura (°C)		Humedad Relativa (%)
	Máxima	Mínima	
17/8/2023	29	18	80
18/8/2023	22	17	77
19/8/2023	31	18	73
20/8/2023	28	18	79
21/8/2023	26	18	82
22/8/2023	20	17	80
23/8/2023	28	17	78
24/8/2023	29	16	68
25/8/2023	31	17	69
26/8/2023	31	17	70
27/8/2023	30	16	65
28/8/2023	29	18	78
29/8/2023	29	17	79
30/8/2023	31	17	82
31/8/2023	31	19	85
1/9/2023	31	17	77
2/9/2023	27	18	74
3/9/2023	31	17	84
4/9/2023	31	17	89
5/9/2023	27	18	85
6/9/2023	28	17	82
7/9/2023	31	16	66
8/9/2023	32	19	68
9/9/2023	32	19	73
10/9/2023	31	18	84
11/9/2023	30	19	86
12/9/2023	32	18	79
13/9/2023	32	18	83
14/9/2023	23	18	90
15/9/2023	24	18	84
16/9/2023	30	17	77

Cuarto Mes Puyo

Día/Mes / Año	Temperatura (°C)		Humedad Relativa (%)
	Máxima	Mínima	
17/9/2023	31	18	67

18/9/2023	27	18	74
19/9/2023	20	18	76
20/9/2023	30	18	85
21/9/2023	31	17	80
22/9/2023	31	18	76
23/9/2023	30	18	84
24/9/2023	27	17	85
25/9/2023	32	18	81
26/9/2023	33	18	76
27/9/2023	28	19	74
28/9/2023	28	19	84
29/9/2023	30	18	75
30/9/2023	26	18	83
1/10/2023	23	19	84
2/10/2023	23	18	83
3/10/2023	30	18	80
4/10/2023	29	20	79
5/10/2023	33	17	80
6/10/2023	33	19	76
7/10/2023	26	19	81
8/10/2023	29	18	82
9/10/2023	30	18	86
10/10/2023	20	18	91
11/10/2023	31	18	76
12/10/2023	31	19	78
13/10/2023	32	18	85
14/10/2023	21	18	93
15/10/2023	30	17	90
16/10/2023	29	17	85

Anexo 8. Evidencias en fotografía del desarrollo del proyecto de investigación

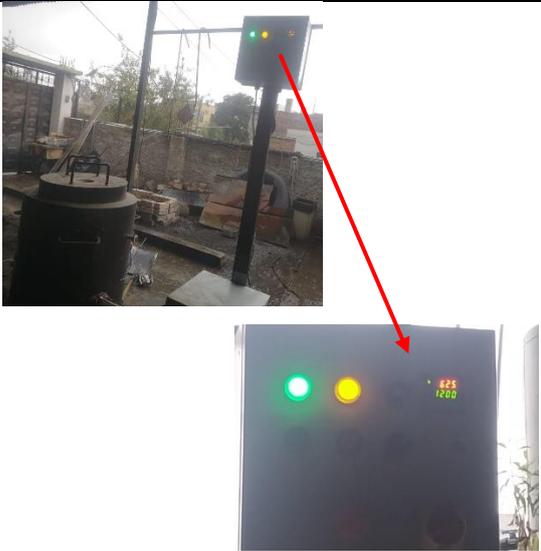
Descripción	Fotografía / Captura de pantalla
<p>Foto 1. Obtención de la cascarilla de arroz proveniente de la provincia de los Ríos, piladora dos hermanos en el cantón Ventanas.</p>	 <p>17 M 670562.83 m E 9840719.18 m S elev. 20 m alt. ojo 1.02 km</p>
<p>Foto 2. Incineración de la cascarilla de arroz en horno de fundición a 625°C.</p>	 <p>The image shows a furnace with a control panel. A red arrow points from the furnace to the control panel, which displays a temperature of 625°C and a time of 12:00. The control panel has three indicator lights: a green one on the left, a yellow one in the middle, and a red one on the right.</p>
<p>Foto 3. Colocación de agregado fino en tamices.</p>	 <p>A person is shown using a sieve to separate fine aggregate. The person is wearing a white shirt and blue jeans. The sieve is placed over a yellow bucket, and the person is pouring material from a metal bowl into it.</p>

Foto 4. Tamizado mecánico del agregado fino.



Foto 5. Peso de muestra de agregado fino en estado húmedo.



Foto 6. Peso del picnómetro para ensayo de densidad y porcentaje de absorción



Foto 7. Toma de datos a través del aparato de Vicat en el ensayo de tiempo de fraguado.



Foto 8. Muestras finalmente ensayadas.



Foto 9. Medición del diámetro de mortero en mesa de fluidez



Foto 10. Colocación de agregado en frascos de vidrio para el ensayo: determinación de contenido de materia orgánica en áridos.



Foto 11. Elaboración de los cubos de hormigón para ensayos de resistencia.



Foto 12. Desencofrado de cubos de mortero



Foto 13. Curado de cubos de mortero



Foto 14. Cubos dispuestos para el ensayo de sorptividad



Foto 15. Cubos cubiertos de parafina para el ensayo de sorptividad.



Foto 16. Colocación de agua en cubos para determinación de sorptividad.



Foto 17. Identificación de cubos de mortero para ensayo de compresión.



Foto 18. Colocación de cubos en prensa hidráulica Shimadzu.



Foto 19. Cubos ensayados presentando fallas unos de tipo trapezoidal y otros de tipo piramidal.



Foto 20. Pesaje de material para los enlucidos.



Foto 21. Elaboración de los enlucidos para el ensayo de intemperismo.

