



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

Diseño de morteros con cemento GU, sustituyendo parcialmente por flujos
piroclásticos del volcán Tungurahua y Sangay

Trabajo de Titulación para optar al título de
Ingeniero Civil

Autor:

Mesache Alulema, Dayana Mishell

Tutor:

Msc. Marco Javier Palacios Carvajal

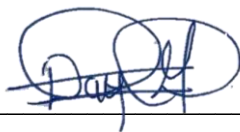
Riobamba, Ecuador. 2026

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, Dayana Mishell Mesache Alulema, con cédula de ciudadanía 060552119-4, autor (a) del trabajo de investigación titulado: **“Diseño de morteros con cemento GU, sustituyendo parcialmente por flujos piroclásticos del volcán Tungurahua y Sangay”**, 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, a los 16 días del mes de junio de 2026



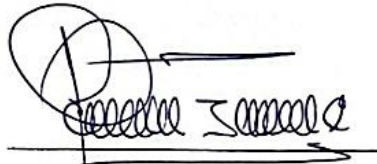
Dayana Mishell Mesache Alulema

C.I: 060552119 - 4

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 Diseño de morteros con cemento GU, sustituyendo parcialmente por flujos piroclásticos del volcán Tungurahua y Sangay, bajo la autoría de Dayana Mishell Mesache Alulema; 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 16 días del mes de junio de 2026

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'M' followed by 'J. Palacios Carvajal'.

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 **Diseño de morteros con cemento GU, sustituyendo parcialmente por flujos piroclásticos del volcán Tungurahua y Sangay por Dayana Mishell Mesache Alulema**, con cédula de identidad número **060552119-4**, bajo la tutoría de Dr./ Mgs. 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 1 de julio del 2026.

Andrés Marcillo, Mgs.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Oscar Cevallos, PhD.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Vladimir Pazmiño, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO

en movimiento

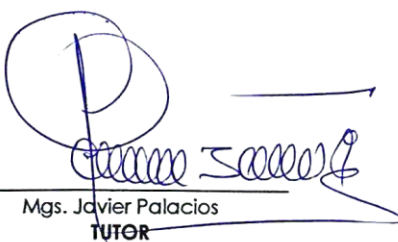


UNACH-RGF-01-04-08.15
VERSIÓN 01: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, **MESACHE ALULEMA DAYANA MISHILL** con CC: **060552119-4**, estudiante de la Carrera **INGENIERÍA CIVIL**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **"DISEÑO DE MORTEROS CON CEMENTO GU, SUSTITUYENDO PARCIALMENTE POR FLUJOS PIROCLÁSTICOS DEL VOLCÁN TUNGURAHUA Y SANGAY"**, cumple con el **7 %**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **Compilatio**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 16 de junio de 2026



Mgs. Javier Palacios
TUTOR

DEDICATORIA

Con todo mi amor, dedico este trabajo a mis padres Guido Mesache y María Elena Alulema, quienes han sido indispensables en cada etapa de este camino. Gracias por ser los pilares fundamentales de mi vida, por su apoyo incondicional, sus sabios consejos, su incansable esfuerzo y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles. Este logro les pertenece.

A mi hermano Alexander Mesache, la razón de mi existir y mi mayor inspiración. Gracias por acompañarme siempre, por tu amor infinito y por motivarme a seguir adelante en cada paso que doy.

Y a mi ángel en el cielo, mi querida Lulú, quien con su amor y consejos dejó una huella imborrable en mi corazón. Su recuerdo, su ejemplo y sus enseñanzas me acompañan cada día. Este logro también es para ti.

Con mucho amor, respeto y eterna gratitud, Dayana.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por su infinito amor y por ser la guía constante en cada paso de mi vida.

A toda mi familia, por su apoyo incondicional, sus sabios consejos y ese cariño invaluable que ha sido el verdadero motor de mis días y el impulso para no rendirme.

Al Ing. Javier Palacios, por su valiosa guía y acompañamiento brindado durante el desarrollo de esta investigación.

A mis amigos que han estado presentes a lo largo de este proceso, y a cada una de las personas que la vida me presentó en el camino, quienes con su aliento dejaron una huella imborrable en mí.

A todos ustedes, mi agradecimiento eterno.

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
RESUMEN	
ABSTRACT	

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	15
1.1 Antecedentes.....	15
1.2 Planteamiento del problema	16
1.3 Justificación.....	16
1.4 Objetivos	17
1.4.1 Objetivo General	17
1.4.2 Objetivos Específicos	17
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	19
2.1 Estado de arte	19
2.1.1 Aplicabilidad de flujos piroclásticos en morteros.....	19
2.1.2 Impacto ambiental de los morteros para enlucido.....	19
2.2 Dosificación para enlucidos	20
2.3 Cemento Portland tipo GU	20
2.4 Árido Fino (Arena)	21
2.5 Mortero para enlucidos	22
2.5.1 Resistencia mínima (Norma)	22
2.5.2 Densidad	25
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.	26

3.1	Tipo de Investigación.....	26
3.2	Diseño de la investigación.....	27
3.3	Técnicas de recolección de Datos.....	27
3.4	Instrumentos	28
3.4.1	Determinación de las impurezas orgánicas.....	28
3.4.2	Granulometría	28
3.4.3	Contenido de humedad	28
3.4.4	Medición de la densidad y porcentaje de absorción (agregado fino)	28
3.4.5	Fluidez / Trabajabilidad.....	29
3.4.6	Tiempo de fraguado.....	29
3.4.7	Elaboración de morteros.....	29
3.4.8	Resistencia a la compresión (plazo largo)	29
3.4.9	Medición de densidad (morteros).....	29
3.4.10	Sorptividad.....	30
3.4.11	Intemperismo	30
3.5	Método de análisis y procesamiento de datos	30
3.6	Población de estudio y tamaño de muestra	31
3.6.1	Recolección de flujos piroclásticos.....	31
3.6.2	Ensayos preliminares.....	31
3.6.3	Ensayos y tamaño de la muestra definitiva.....	33
3.6.4	Densidad de morteros	35
3.7	Hipótesis.....	38
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		39
4.1.	Determinación del contenido orgánico.....	39
4.2	Análisis granulométrico del agregado fino	40
4.3	Contenido de humedad.....	41
4.4	Cálculo de la densidad y porcentaje de absorción.....	41

4.5	Análisis químico de los flujos piroclásticos	42
4.6	Dosificación de las muestras	42
4.7	Ensayo de fluidez.....	44
4.8	Ensayo del tiempo de fraguado	44
4.9	Ensayo a compresión	45
4.10	Densidad.....	46
4.11	Sorptividad	48
4.12	Intemperismo	49
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		52
5.1.	Conclusiones.....	52
5.2.	Recomendaciones	53
BIBLIOGRAFÍA		54
ANEXOS.....		57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Clasificación según la agresividad del clima para las edificaciones	20
Tabla 2	Información técnica del cemento portland tipo GU	21
Tabla 3	Clasificación por propiedades del mortero	23
Tabla 4	Guía para la selección de morteros.....	23
Tabla 5	Características de morteros en su estado plástico	24
Tabla 6	Rango de fluidez del mortero en función del tipo de estructura y método de aplicación.....	24
Tabla 7	Características de morteros en su estado endurecido	25
Tabla 8	Indicadores según el ensayo.....	27
Tabla 9	Resumen de la cantidad de muestras a ensayar.....	37
Tabla 10	Granulometría del agregado fino.....	40
Tabla 11	Contenido de humedad de la Hormigonera Moreno (agregado fino).....	41
Tabla 12	Densidad y porcentaje de absorción del agregado fino	41
Tabla 13	Resultado del análisis químico	42
Tabla 14	Dosificación para el ensayo de compresión.....	43
Tabla 15	Dosificación para el ensayo de sorptividad	43
Tabla 16	Dosificación para el ensayo de intemperismo.....	43
Tabla 17	Resultado del ensayo de fluidez	44
Tabla 18	Resultado del ensayo de fluidez	45
Tabla 19	Resultado de los ensayos a compresión.....	45
Tabla 20	Resultado del ensayo de densidad	47
Tabla 21	Promedio de la absorción inicial y final de morteros con sustitución parcial de cemento por F.P.	48
Tabla 22	Datos y evidencia del mortero ante el intemperismo (Elaboración)	50
Tabla 23	Datos y evidencia del mortero ante el intemperismo (Edad de 1 a 7 días).....	50
Tabla 24	Datos y evidencia del mortero ante el intemperismo (Edad de 7 a 14 días)	50

Tabla 25 Datos y evidencia del mortero ante el intemperismo (Edad de 14 a 21 días)50

Tabla 26 Datos y evidencia del mortero ante el intemperismo (Edad de 21 a 28 días)51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de la metodología propuesta para la realización del trabajo de investigación.....	26
Figura 2 Escala de Gardner.....	39
Figura 3 Resultado de la determinación del contenido orgánico.....	39
Figura 4 Curva Granulométrica del agregado fino (Hormigonera Moreno).....	40
Figura 5 Comparación de resistencias vs tiempo de los morteros con la sustitución parcial de flujos piroclásticos.....	46
Figura 6 Comparación de densidades vs tiempo de los morteros con la sustitución parcial de flujos piroclásticos.....	47
Figura 7 Absorción de los distintos morteros con la sustitución parcial de F.P...	48
Figura 8 Absorción inicial y secundaria de los distintos morteros.....	49

RESUMEN

Esta investigación evaluó la viabilidad técnica de emplear partículas de flujos piroclásticos (F.P.) de los volcanes Tungurahua (V.T. Negro y Rojo) y Sangay como sustitución parcial del cemento tipo GU en morteros para enlucidos, analizando su influencia en propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad.

La metodología consistió en un enfoque experimental y descriptivo regido por normativas técnicas con una limitación en análisis de datos en tendencias numéricas a través de la media aritmética y la desviación estándar, prescindiendo de estadística inferencial (ANOVA). Se evaluaron ensayos de fluidez, tiempos de fraguado, resistencia a la compresión, densidad, sorptividad e intemperismo.

El ensayo químico de F.P. reveló contenidos de sílice (53,38% - 55,64%) y aluminio (>18%), demostrando un potencial puzolánico. Los resultados demostraron que los F.P. incrementan la fluidez hasta 110,88% (V.T. Rojo) y retardan el fraguado dentro de rangos óptimos para obra. Mecánicamente, aunque el mortero patrón obtuvo la mayor resistencia a los 28 días (14,197 MPa), las mezclas modificadas superaron ampliamente el mínimo normativo de 5,2 MPa [22]; el V.T. (Negro) destacó con 13,221 MPa y mostró un posible efecto de micro-relleno favorable a los 7 días.

Físicamente, la adición de F.P. redujo la densidad, registrando el V.T. (Negro) el comportamiento más estable, menor sorptividad inicial ($2,57E-02$ mm/ $\sqrt{s}$) y una superficie más compacta sin patologías tras 28 días de intemperismo [2]. Se concluye que, el aprovechamiento de estos materiales volcánicos es técnicamente viable para morteros promoviendo la reducción del consumo de cemento Portland y podría contribuir a disminuir el impacto ambiental de la construcción.

Palabras clave:

Mortero, Flujos piroclásticos (F.P.), Resistencia, Sorptividad, Intemperismo.

ABSTRACT

This research evaluated the technical feasibility of using pyroclastic flow particles (FP) from the Tungurahua (Black and Red VT) and Sangay volcanoes as a partial replacement for GU-type cement in plaster mortars and analyzed their influence on physical, mechanical, and durability properties. The methodology consisted of an experimental and descriptive approach governed by technical standards, with a limitation in data analysis of numerical trends using the arithmetic mean and standard deviation, without inferential statistics (ANOVA). Flowability, setting times, compressive strength, density, sorptivity, and weathering tests were evaluated. The chemical analysis of the modified mortars (FP) revealed silica content (53,38%–55,64%) and aluminum content (>18%), demonstrating pozzolanic potential. The results showed that the modified mortars increased fluidity by up to 110,88% (VT Red) and retarded setting within optimal ranges for construction. Mechanically, although the control mortar achieved the highest strength at 28 days (14,197 MPa), the modified mixes significantly exceeded the minimum regulatory requirement of 5,2 MPa [22]; the VT (Black) mortar stood out at 13,221 MPa and showed a potentially favorable micro-filling effect at 7 days. Physically, the addition of FP reduced the density, with VT (Black) exhibiting the most stable behavior, lower initial sorptivity (2,57E-02 mm/ $\sqrt{s}$), and a more compact surface without pathologies after 28 days of weathering [2]. It is concluded that the use of these volcanic materials in mortars is technically feasible, thereby reducing Portland cement consumption and potentially decreasing the environmental impact of construction.

Keywords: Mortar, Pyroclastic flows (FP), Resistance, Surprise, Weathering.



Validar únicamente en FICHAUC.
Escaneo electrónicamente por:
**HUGO HERNAN ROMERO
ROJAS**

Reviewed by:
Mgs. Hugo Romero
ENGLISH PROFESSOR
C.C. 0603156258

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Durante las últimas décadas, la investigación sobre materiales de construcción ha comenzado a cambiar su dirección hacia la búsqueda más sostenible, con la motivación principal de reducir el daño ambiental causado por el uso masivo de cemento Portland. Como resultado, se han acumulado numerosos estudios en el campo del uso de materiales suplementarios que pueden reemplazar parcialmente el cemento, pero no reducir su rendimiento técnico en morteros y hormigón.

Varios autores coinciden en que los materiales volcánicos son adecuados ya que, tienen muchos más óxidos de silicio y aluminio por lo que, estos componentes pueden reaccionar con el hidróxido de calcio producido durante la hidratación del cemento tal como lo señalan [1].

Por ello, un problema muy común es la presencia de humedad en la mampostería de las edificaciones, donde [2] explica que esta humedad que emana del suelo, se eleva por acción capilar entre muros y paredes afectando a la textura de poros de los diferentes materiales de construcción. De esta manera, la presencia ascendente de humedad en la mampostería hace que busque una salida para evaporarse, pero si este proceso no se lleva a cabo puede haber consecuencias muy negativas y pueden manifestarse como patologías constructivas que abarcan desde el agrietamiento y la pérdida de firmeza del soporte, hasta la fractura o desprendimiento de partes de la obra, sumado a la presencia de manchas y acumulaciones de sales [3].

Los efectos sobre las construcciones que dan lugar a estas afecciones es la mala ventilación y las goteras que provocan la humedad en el interior de las casas, mientras que en las paredes exteriores la deficiencia de impermeabilización afecta de manera directa. Ante esta situación, se hace necesario buscar soluciones efectivas para prevenir y contrarrestar los daños ocasionados por la humedad en materiales de construcción como la mampostería, por lo tanto, una de las opciones es la utilización de flujos piroclásticos en la elaboración de morteros por el hecho de que, se demostró en estudio de rayos X, un 76% de sílice (SiO_2), lo que justifica su viabilidad para sustituir el cemento portland en proporciones de hasta un 67% y generar un mortero con una resistencia mecánica de 13 MPa [4]. De la misma forma, se indica que una alta presencia de sílice optimiza la densidad de la mezcla al reducir sus poros, actuando como una barrera que previene problemas de humedad en las construcciones [4].

Así pues, como objetivo se pretende evaluar la factibilidad técnica para la aplicación de flujos piroclásticos de los volcanes Tungurahua y Sangay como reemplazo parcial del cemento Chimborazo tipo GU en la mezcla de morteros por un lapso de 28 días para la mejora de sus propiedades físicas y mecánicas. Además, se visualizará el desempeño en sitio bajo condiciones de intemperie, con la finalidad de establecer si esta sustitución aporta en la porosidad de los morteros.

1.2 Planteamiento del problema

[5] explica que la humedad de capilaridad es una humedad ascendente, es decir, el agua del subsuelo sube por los poros capilares de los materiales de construcción. Este fenómeno se suele presentar en plantas bajas y sótanos alcanzando generalmente una altura máxima entre 1m y 1,5m.

En edificaciones con mampostería, es común que la humedad se manifieste debido a la absorción de agua del suelo, este es un problema grave en el enlucido de las paredes puesto que, afecta los acabados y les resta vida útil. Asimismo, [6] menciona que el agua en la mampostería busca de una forma salir al exterior y evaporarse, es decir, la humedad sube por los materiales constructivos y cuando intenta evaporarse, ocasiona daños visibles en la superficie como desprendimientos del enlucido y la pintura, así como el desarrollo de moho y hongos [3].

Entonces, este problema puede originarse tanto en el interior o en el exterior con causas y efectos distintos por ello, en el interior suele deberse a ventilación insuficiente, condensación o filtraciones, por lo tanto [7] explica que la condensación ocurre cuando el aire húmedo se transforma en líquido al tocar zonas frías, un problema que se agrava en habitaciones cerradas, sin ventilación ni fuentes de calor, generando manchas y moho. Sin embargo, en el exterior, la humedad se debe a la intemperie, la absorción de agua o fallas en la impermeabilización ya que, [8] explica que cuando la impermeabilización falla, el agua se filtra por grietas de la fachada, creando zonas húmedas.

1.3 Justificación

Los flujos piroclásticos son originados de eventos volcánicos de gran explosividad, se componen de una mezcla acelerada de gases y material rocoso incandescente que se desplaza cubriendo la superficie del terreno [9] es decir, que son fluidos de gas que contienen ceniza y rocas de todo tipo de tamaños. Debido a su composición, estos flujos tienen propiedades aprovechables en la industria de materiales para construcción; como sería el caso de morteros pues, [10] explica que está integrado principalmente por minerales tales como el

silicio, aluminio y óxidos de hierro donde el silicio en la edificación hace que las estructuras se vuelvan resistentes y duraderas es decir, estos compuestos tiene potencial para que el mortero tenga mejor resistencia mecánica y durabilidad.

El trabajo de [11] resaltó las ventajas de utilizar flujos piroclásticos en mortero puesto que, al sustituir un porcentaje del cemento con estos flujos, se obtiene el máximo aprovechamiento al aumentar la resistencia de una manera significativa. Demostrando así que, al incorporar flujos piroclásticos ayuda a mejorar la dureza del mortero, y se cumpla con lo establecido de la norma NEC-SE-HM, la cual establece una resistencia mínima a compresión para garantizar la seguridad y estabilidad de las construcciones.

Por otro lado, un estudio realizado por [2] acerca de los flujos piroclásticos del volcán Tungurahua mostró que las porosidades medias ponderadas para todas las muestras varían entre el 45% y el 55% en la cual, esta porosidad es clave en la mejora de la transferencia de humedad dentro del mortero dado que, la alta porosidad permite que el material no retenga excesivamente la humedad, sino que la filtre y la disipe hacia el exterior para así evitar que la humedad atrapada en un material de construcción puede reducir su resistencia, provocar la aparición de moho o afectar la integridad estructural y esto se puede evidenciar con [11] donde recalcaron que el mortero con flujos piroclásticos cumplió con el objetivo planteado: garantizar una adecuada transferencia y disipación de la humedad.

Por lo cual, se tiene como fin evaluar el desempeño de los morteros con sustitución de flujos piroclásticos durante período de 28 días ante las condiciones de intemperie, analizando sus propiedades físico-mecánica para así responder a la siguiente pregunta: ¿Cómo influye la sustitución del cemento Chimborazo tipo GU por flujos piroclásticos en la resistencia, densidad, sorptividad e intemperismo en los morteros?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Evaluar la factibilidad técnica de emplear partículas de flujos piroclásticos de los volcanes Tungurahua y Sangay como sustituto parcial del Cemento Chimborazo tipo GU en la dosificación de morteros, analizando su efecto en las propiedades físicas, mecánicas, sorptividad e intemperismo.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Realizar un análisis químico de las partículas de flujos piroclásticos procedentes de los volcanes Sangay y Tungurahua.

- Estudiar y comparar las propiedades físico-mecánicas (resistencia, densidad y deterioro al intemperismo) de los morteros elaborados con partículas de flujos piroclásticos.
- Examinar su rendimiento en la mampostería y su comportamiento frente a condiciones de intemperie.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado de arte

2.1.1 Aplicabilidad de flujos piroclásticos en morteros

Los flujos piroclásticos son depósitos volcánicos que se forman por la ceniza y fragmentos de roca, la cual contiene sílice y aluminio en fases parcialmente amorfas teniendo así un potencial de comportamiento puzolánico [1]. Esta propiedad hace posible usarlo como reemplazo parcial del cemento portland en morteros y concretos.

En el caso de los morteros la resistencia a la compresión es una propiedad muy importante para determinar la capacidad de los materiales suplementarios. De modo que, un trabajo realizado en vinculación bajo la tutoría del Ing. Javier Palacios ha informado que los morteros con sustitución parcial de cemento por materiales volcánicos presentan resistencias similares o mayores que el mortero control, en especial a edades de 28 días.

Para la trabajabilidad, se ha señalado que la mezcla con materiales piroclásticos puede cambiar por motivos de que, a medida que se incrementa el contenido de material volcánico, la textura porosa y angula de las partículas demanda mayor cantidad de agua para compensar la pérdida de fluidez [12].

Respecto a la absorción de agua, otros autores indican que los morteros con material volcánico pueden presentar un comportamiento de absorción capilar inicial mayor; sin embargo, a edades avanzadas, la producción de productos cementantes secundarios resultan en una disminución de su porosidad conectada, mejorando así el comportamiento frente a la penetración de agua [13]. En resumen, el estado del arte muestra que los flujos piroclásticos tienen potencial para su uso como sustituto parcial del cemento en morteros, sobre todo en aplicaciones de enlucido, siempre que se gestione adecuadamente su finura, composición y porcentaje de sustitución.

2.1.2 Impacto ambiental de los morteros para enlucido

La influencia ambiental de los morteros está muy relacionada con la cantidad de cemento Portland que se utiliza en su composición por ello, [14] menciona que la disminución del contenido de cemento en los materiales es una de las opciones más eficientes para reducir las emisiones de CO₂ en el sector.

En este sentido, la sustitución parcial del cemento por materiales volcánicos es una opción factible para minimizar el impacto ambiental en los morteros de enlucido y a su vez ayudar en los diversos cambios climáticos que se presenten.

En la **Tabla 1** se evidencia la adaptación de [15] donde explica la clasificación de agresividad según el clima.

Tabla 1 Clasificación según la agresividad del clima para las edificaciones

Agresividad	Descripción
Ligero o débil	• Entornos secos, interiores (oficinas/viviendas). • Exteriores con humedad relativa < 60%. • Sin ciclos de humedecimiento y secado.
Moderado	• Humedad relativa entre 60% y 98% con lluvias moderadas. • Estructuras expuestas a ciclos de humedecimiento/secado. • Contacto con agua dulce en movimiento. • Baja condensación de gases agresivos.
Severo	• Humedad relativa entre 60% y 98% con alta condensación de gases. • Estructuras en contacto con terrenos húmedos. • Entornos marinos o microclimas industriales.
Muy severo	• Climas tropicales o entornos salinos/saturados de sal. • Exposición a aguas ácidas u oxigenadas. • Atmósferas altamente contaminadas con presencia de gases agresivos.

Adaptado de [16]

2.2 Dosificación para enlucidos

[17] menciona que, por lo general los morteros destinados al enlucido de paredes se preparan utilizando relaciones cemento-arena de 1:4 o 1:5, esta dosificación se ajusta en función de si el muro se localiza en interiores o exteriores, así como de las características y rugosidad de la superficie a intervenir. Con base en este criterio técnico, se seleccionó la dosificación 1:4, la cual fue respaldada por un trabajo de vinculación realizado por el Ing. Javier Palacios en conjunto con estudiantes de la UNACH, donde se demostró la viabilidad técnica de dicha dosificación [11].

2.3 Cemento Portland tipo GU

El cemento Portland tipo GU (Uso General) es un cemento hidráulico de uso general que puede ser aplicado en morteros y hormigones para usos sin requerimientos especiales. En Ecuador, la norma tiene vigencia para este tipo de cemento y establece las características físicas, químicas y mecánicas para su aplicación en la construcción de obras civiles [18]

Técnicamente, el cemento GU presenta un desarrollo apropiado de resistencia mecánica tanto temprana como tardía, lo que lo hace apto para mortero de enlucido, mampostería y elementos no estructurales. [12] indica que los cementos para uso general tienen una

hidratación equilibrada, lo que da como resultado una buena trabajabilidad en el estado fresco y un buen desempeño en el estado endurecido.

La selección del tipo de cemento Portland GU de la fábrica “Cemento Chimborazo” para este trabajo se fundamenta en la oferta que es usual en el mercado nacional y que ofrece una mayor resistencia a compresión e impermeabilidad [1] por ello, sus características técnicas se presentan en la **Tabla 2**.

Tabla 2 Información técnica del cemento portland tipo GU

Requisitos físicos	Rango Típico	Norma NTE INEN 2380
Peso específico (g/cm ³)	2,91	-
Expansión en autoclave (%)	0,418	0,80 máx.
Fraguado Vicat Inicial (minuto)	140 - 160	45 min
Fraguado Vicat Final (minuto)	200 - 240	420 máx.
Resistencia a la Compresión	Rango Típico (MPa)	Norma NTE INEN 2380
3 días	13 - 16	13 min
7 días	20 - 25	20 min
28 días	28 - 30	28 min

Fuente: [19]

Cabe señalar que el peso específico se tomó el valor mencionado en la tesis elaborada por [20] debido a que, UCEM no nos proporcionaba dicha información.

2.4 Árido Fino (Arena)

El árido fino tiene un papel crucial en el comportamiento del mortero, puesto que representa la mayor parte en volumen de la mezcla y afecta tanto la trabajabilidad en estado fresco como la resistencia en estado endurecido. La arena puede constituir entre el 70 % y el 80 % del volumen total de mortero según algunos estudios, por lo que la elección de la misma repercute directamente en el rendimiento material [21].

Desde el punto de vista de su morfología, se recomiendan las arenas naturales con un porcentaje de irregularidad superficial, ésta favorece la adherencia entre a los granos de agregado y matriz cementante. Además, la forma y composición de los granos de arena dependen de la fuente del material y el proceso de transporte natural, donde las arenas obtenidas de depósitos próximos a su banco de origen serán las que conserven sus mejores propiedades físicas [12].

En este trabajo se utilizó arena de “Hormigonera Moreno”, cuyo banco de extracción está ubicado en el sector de Penipe y su depósito se halla en la ciudad de Riobamba. Tales materiales se lavan por trommel para eliminar la mayor cantidad posible de impurezas y materia orgánica.

2.5 Mortero para enlucidos

El mortero es la composición de cemento o cal, agua y arena; al usarlo en recubrir las superficies de mampostería para proporcionar protección, hacer que la superficie con el tiempo se convertirá en una capa dura de mortero y actuar como una barrera contra los agentes del entorno, ayudando además a estabilizar el elemento constructivo [15].

Para el uso de enlucidos al exterior, que es el objeto de estudio de la presente investigación, el mortero adquiere una particular importancia, pues está directamente expuesto a la intemperie. Y éste debe tener buena adherencia a la mampostería, ser mecánicamente fuerte y tener un buen desempeño durante los ciclos térmicos y la humedad.

Además, debe certificar una apariencia geométrica regular (estética) y prevenir el desarrollo de deterioros superficiales crónicos, específicamente el fisuramiento, despegue de capas o derrocamiento de los componentes.

2.5.1 Resistencia mínima (Norma)

La norma NTE INEN 2518 establece la clasificación de los morteros de acuerdo con sus propiedades y usos, para las cuales se les asignan las denominaciones M, S, N y O. Esta clasificación posibilita la elección del tipo de mortero que mejor se adapte a una determinada aplicación.

Para morteros de enlucido, la norma considera al mortero Tipo N como el más adecuado, exigiendo una resistencia mínima a la compresión de 5,2 MPa a los 28 días [22]. Este valor constituye una referencia esencial para determinar la viabilidad de los morteros formulados en esta tesis, puesto que permite evaluar si estas satisfacen las exigencias de la normativa ecuatoriana vigente. Dicha clasificación se evidencia en la **Tabla 3**, donde se presentan las propiedades requeridas:

Tabla 3 Clasificación por propiedades del mortero

Mortero	Tipo	Resistencia promedio a la compresión a 28 días, min (MPa)	Retención de agua, % min	Contenido de aire, % máx ^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 de 3 1/2 veces los volúmenes separados de materiales cementales
	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	

Adaptado de [16]

La **Tabla 4** detalla los criterios para la elección del mortero en función de las condiciones de exposición ambiental y estructural. Esta guía busca optimizar la aplicación en obra al sintetizar las alternativas recomendadas para mampostería, tanto en interiores como en exteriores.

Tabla 4 Guía para la selección de morteros

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 fuentes vientos u otras cargas laterales significativas	O	N, K
Exterior, diferente a lo antes indicado	N	O

Adaptado de [16]

2.5.1.1 Morteros en estado plástico

Para comprender cómo influyen los parámetros mecánicos y físicos en la etapa previa al endurecimiento del material, es necesario clasificar sus componentes. Por lo tanto, en la **Tabla 5** se presenta de manera estructurada una guía conceptual sobre los factores del mortero en su estado plástico.

Tabla 5 Características de morteros en su estado plástico

Característica	Descripción
Trabajabilidad	Es la capacidad del mortero para ser extendido con facilidad y adherirse a las superficies, sin sufrir deformaciones bajo el peso de las piezas. Esta es una cualidad que depende de la cohesión y plasticidad de la mezcla, y que permite que la mampostería se alinee más fácilmente, su ajuste final en obra se realiza regulando el contenido de agua en función de la absorción del material.
Flujo	Esta propiedad mide qué tan líquida o manejable es la mezcla cuando se agita o vibra según su dosificación. Lograr una consistencia correcta suele ser más fluida en la construcción que en los ensayos de laboratorio para asegurar que el mortero entre bien en los huecos de los bloques o ladrillos. Esto mejora la manejabilidad y hace que la estructura final quede bien firme.
Retención de agua y capacidad de retención de agua	Es la capacidad de una mezcla para retener su propia humedad contra la absorción de las unidades de mampostería. La alta retención de agua impide un secado rápido, disponiendo de tiempo para la colocación de las piezas y acabado, se mejora esto con el uso de cal o algún agente retenedor.
Características de endurecimiento	Este concepto describe cómo la mezcla pasa de ser una pasta blanda a convertirse en una piedra dura debido a la reacción química entre el agua y el cemento. El tiempo que tarda este cambio es clave: el calor hace que ocurra más rápido y el frío lo retrasa. Por eso, hay que controlar la temperatura para que el mortero no se endurezca antes de tiempo

Fuente: [22]

Adicionalmente, se muestra en la **Tabla 6** que el mortero debe tener una fluidez entre el 100% y 120% para poder usarse en enlucidos/revestimientos. Este rango es la condición mínima para asegurar que la mezcla mantenga la trabajabilidad (estado plástico) adecuada durante su aplicación.

Tabla 6 Rango de fluidez del mortero en función del tipo de estructura y método de aplicación

Consistencia	Fluidez [%]	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 [16]

2.5.1.2 Morteros en estado endurecido

Con el fin de garantizar el desempeño estructural y la estabilidad de la mampostería, es importante evaluar las propiedades del mortero en estado endurecido. Los parámetros y características de diseño considerados en este estado se presentan en la **Tabla 7**.

Tabla 7 Características de morteros en su estado endurecido

Característica	Descripción
Adherencia	Representa la fuerza y la distancia de unión entre el mortero y la unidad de mampostería. Es la propiedad más crítica de la integridad del muro y la evitación de filtraciones de agua. Está influenciado por la presión al pegar la unidad de mampostería, la textura de la superficie y las condiciones de curado.
Extensibilidad y flujo plástico	Capacidad de un mortero para deformarse levemente sin fisurarse. El flujo plástico añade flexibilidad a la estructura para que pueda resistir pequeños movimientos, por lo tanto, deben ser evitados morteros demasiado rígidos que se puedan fracturar por esfuerzos de tracción.
Resistencia a la compresión	Parámetro típico para clasificación el mortero, influyendo mayormente el agua-cemento en la proporción. Aunque es una fácil determinación, en ocasiones se antepone la adherencia a una máxima resistencia, permitiendo el reemplado para mejorar la unión entre el mortero y la mampostería.
Durabilidad	Capacidad de la mezcla para soportar el clima, como las lluvias constantes y los cambios de temperatura que congelan el agua. Tener la cantidad justa de burbujas de aire en el interior actúa como un escudo protector. En cambio, si se le pone demasiada arena o muy poco cemento, el mortero se debilitará rápido y durará mucho menos en la mampostería.

Fuente: [22]

2.5.2 Densidad

[23] explica que en la densidad del mortero dependerá directamente de la relación agua/cemento dado que, cuanto más líquido más poroso se hace. Además, menciona que tiene como influencia la forma, tamaño y cantidad de los agregados (dosificación). Por estas diferencias, explica que se divide en tres rangos la densidad: baja (1400 – 1600 kg/m³), media (1600 - 1850 kg/m³) y alta (1850 - 2200 kg/m³).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.

3.1 Tipo de Investigación.

La presente investigación es de tipo cuantitativa debido a que, se realizó la recolección de flujos piroclásticos, medición, registro y análisis de datos obtenidos por medio de ensayos de laboratorio, para poder sustentar con objetividad los impactos de la adición de estos materiales volcánicos a nivel de variables medibles.

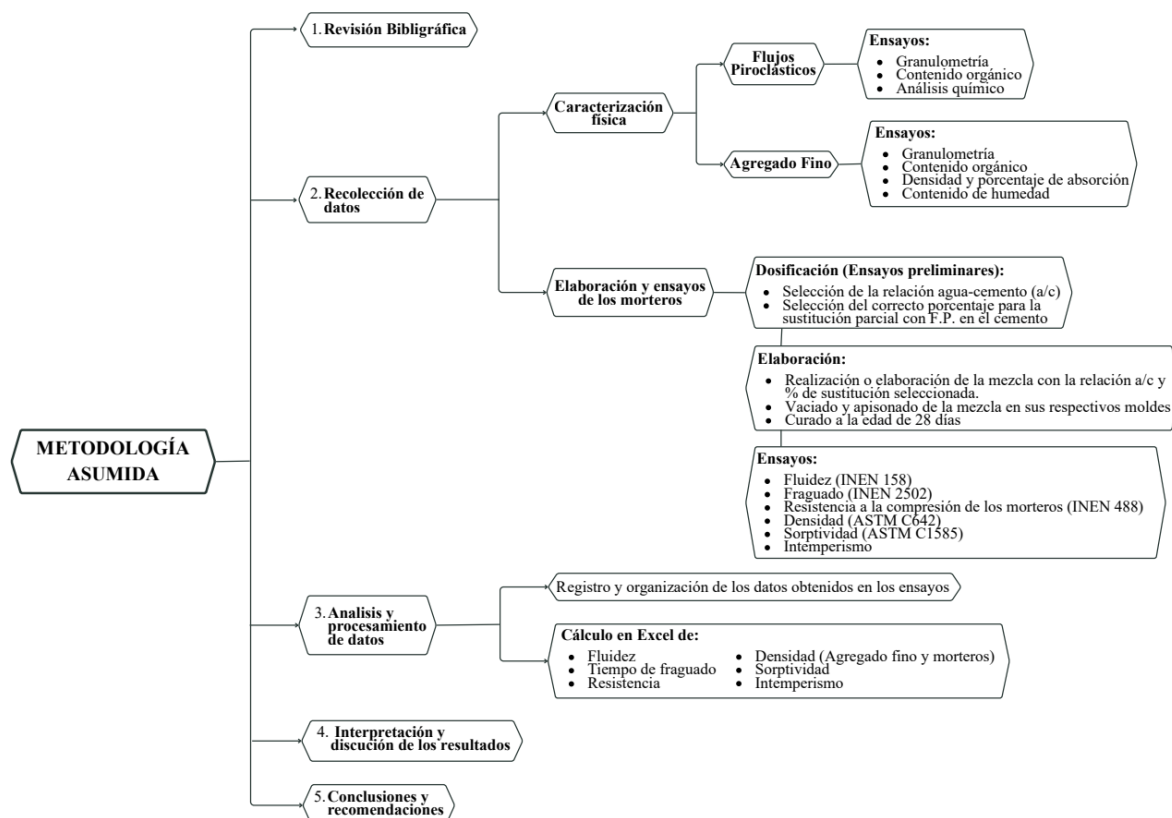


Figura 1 Esquema de la metodología propuesta para la realización del trabajo de investigación

Como se muestra en la **Figura 1** el método de investigación está compuesto por cinco fases básicas que se distribuyen en una revisión normativa bibliográfica, posteriormente la obtención de datos y caracterización física de los flujos piroclásticos junto con el material fino de la “Hormigonera Moreno”. Para continuar con la realización de los ensayos preliminares con la finalidad de encontrar el valor óptimo de relación agua-cemento y el porcentaje de sustitución parcial de F.P.

Luego, se elaborarán los morteros con la dosificados seleccionado para efectuar los ensayos de fluidez, tiempo de fraguado, resistencia a compresión, densidad y sorptividad. Para cerrar la fase experimental, se midió el desgaste de los morteros únicamente en el cantón Guano, valorando el desempeño de los enlucidos frente a una humedad relativa.

Se finaliza, con el análisis y procesamiento de los datos en el software Excel e interpretación de resultados, conclusiones y recomendaciones del estudio.

3.2 Diseño de la investigación

La investigación llega a tener un diseño experimental ya que, se realiza una manipulación controlada en el laboratorio puesto que, se realiza muestras de forma estandarizada, conservándose constantes parámetros tales como la dosificación, la relación agua-cemento, y el proceso de curado. Este diseño permite hacer comparaciones entre un mortero patrón y morteros alterados, sin alterar el comportamiento natural de los materiales durante el ensayo.

3.3 Técnicas de recolección de Datos

La obtención de datos se llevó a cabo aplicando ensayos normativos, los cuales fueron seleccionados según las características que se desea en el mortero preparado, cada prueba fue llevada a cabo bajo las normas ecuatorianas técnicas vigentes, para ello se tiene como guía [16].

Los indicadores y las normas técnicas requeridas para el registro y procesamiento de datos se detallan en la **Tabla 8**, organizados en función de cada tipo de ensayo [16].

Tabla 8 Indicadores según el ensayo

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	✓ Curva granulométrica conforma a los límites de la norma. ✓ Rango permitido entre 2,3 y 3,1.
Contenido de humedad	NTE INEN 862	✓ Contenido de agua en porcentaje
Medición de la densidad, densidad relativa y absorción (agregado fino)	NTE INEN 488	✓ Densidad y densidad relativa (SH, SSS y aparente) ✓ Absorción en porcentaje
Fluidez / Trabajabilidad	NTE INEN 2502	✓ Diámetro del mortero de $110 \pm 5\%$
Tiempo de fraguado	NTE INEN 158	✓ Tiempo de fraguado por penetración de aguja Vicat

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.
Medición de densidad (morteros)	ASTM C642	✓ Densidad de cada uno de los morteros en unidades kg/m ³
Sorptividad	ASTM C1585	✓ Peso de cubos de mortero expuestos a agua ✓ Capacidad de absorción del mortero en mm/s ^{1/2}
Intemperismo	Método de Huamani Mollo y Solis Guerra	✓ Variación de color y anomalías que presente cada enlucido

Fuente: Adaptado de [16]

3.4 Instrumentos

Dentro de esta sección se detallan los equipos y herramientas complementarias que hicieron posible la ejecución de cada ensayo y elaboración de los morteros planificados en el estudio.

3.4.1 Determinación de las impurezas orgánicas

- ✓ Conjunto de frascos de vidrio de graduación volumétrica (240 – 470 cm³)
- ✓ Escala colorimétrica (comparación de colores)

3.4.2 Granulometría

- ✓ Gama de tamices con medidas estandarizados.
- ✓ Horno con control de temperatura de 110 ± 5 °C.
- ✓ Balanza con una precisión granulométrica de 0,1 g

3.4.3 Contenido de humedad

- ✓ Recipientes de muestreo (taras)
- ✓ Balanza con la sensibilidad de 0,1g
- ✓ Horno para secar con una temperatura estable de 110 ± 5 °C

3.4.4 Medición de la densidad y porcentaje de absorción (agregado fino)

- | | |
|--------------------------------|------------|
| ✓ Picnómetro | ✓ Espátula |
| ✓ Molde cónico | ✓ Estufa |
| ✓ Pisón metálico | ✓ Cucharón |
| ✓ Bandeja rectangular metálica | |

- ✓ Vaso plástico de precipitación.
- ✓ Balanza con un peso mínimo de 1 kg.
- ✓ Horno para secar con una temperatura estable en 110 ± 5 °C.

3.4.5 Fluidez / Trabajabilidad

- ✓ Mesa de flujo
- ✓ Molde cónico.
- ✓ Calibrador estandarizado por la norma NTE INEN 2500
- ✓ Pisón.
- ✓ Espátula.

3.4.6 Tiempo de fraguado

- ✓ Espátula.
- ✓ Cronómetro.
- ✓ Pisón.

Juego completo de Vicat, que consiste en:

- ✓ Aguja recta (diámetro 1,0 mm).
- ✓ Anillo cónico

3.4.7 Elaboración de morteros

Para la preparación de las mezclas se tomaron como base los lineamientos de la norma ASTM C305, cuyo propósito es asegurar la homogeneidad de los morteros. Sin embargo, se tiene como limitación el mezclado mecánico ya que, se efectuó con una batidora doméstica en lugar del equipo estandarizado (mezcladora mecánica) por la norma.

Este equipo alternativo permitió alcanzar la consistencia plástica visual requerida para la integración de los materiales; teniendo en cuenta esto, se tiene como equipos y herramientas complementarias los siguientes:

- ✓ Batidora doméstica
- ✓ Espátula
- ✓ Balanza con un peso mínimo de 1 kg.
- ✓ Temporizador
- ✓ Tazón de acero inoxidable

3.4.8 Resistencia a la compresión (plazo largo)

- ✓ Prensa hidráulica de ensayo (un margen de error del 1,0%)
- ✓ Placas cuadradas de madera (trípex) con dimensiones de 5cm x 5cm para cubrir los morteros en la parte superior e inferior.
- ✓ Brocha
- ✓ Calibrador pie de rey

3.4.9 Medición de densidad (morteros)

- ✓ Calibrador pie de rey

- ✓ Balanza con un peso mínimo de 1 kg.

3.4.10 Sorptividad

- ✓ Bandeja plástica.
- ✓ Cronómetro
- ✓ Papel tipo film
- ✓ Balanza con un peso mínimo de 1 kg.
- ✓ Cinta plástica de uso impermeable
- ✓ Varillas para soporte de morteros

3.4.11 Intemperismo

- ✓ Balanza de hasta 10 kg
- ✓ Metro de cinta o flexómetro
- ✓ Carretilla
- ✓ Paleta de madera
- ✓ Bailejo

3.5 Método de análisis y procesamiento de datos

A través de la experimentación se manipulará las variables independientes (cemento, agregado fino y flujos piroclásticos) con la finalidad de analizar su efecto directo en las propiedades finales del mortero (variables dependientes), manteniendo el proceso establecido en las normativas para asegurar la validez de los mismos.

Cabe mencionar que, el análisis de los resultados es de carácter estrictamente descriptivo porque las comparaciones realizadas entre los distintos morteros se basan en tendencias, promedios y la dispersión de los datos, mas no en pruebas estadísticas inferenciales. En este caso no se optó por la aplicación de un análisis de varianza (ANOVA) debido a que el enfoque de la investigación se centró en la verificación del cumplimiento de los límites físico-mecánicos exigidos por las normas.

Entonces, los parámetros analizados son:

- ✓ **Media Aritmética:** Utilizada para determinar el valor promedio de los resultados obtenidos, sirviendo como punto de referencia del desempeño mecánico y físico de cada dosificación.
- ✓ **Desviación Estándar:** Empleada para medir la variación de los datos individuales respecto al valor central, permitiendo evaluar la regularidad y el control de calidad en el preparado de las muestras.

Con esta delimitación, se establece que las diferencias observadas entre los morteros corresponden a comportamientos numéricos y tendencias experimentales dentro del laboratorio, y no a diferencias estadísticamente significativas con validez inferencial.

3.6 Población de estudio y tamaño de muestra

3.6.1 Recolección de flujos piroclásticos

Para la elaboración de los morteros se recolectaron los flujos piroclásticos que han sido arrastrados por ríos hasta un lugar seguro para su recolección, estos son provenientes de los volcanes Tungurahua y Sangay, sus coordenadas UTM son:

- ✓ **V. Tungurahua:** 17S 779415,79E 9831585,58N
- ✓ **V. Sangay:** 17S 821688,59E 9765436,23N

En cuanto a lo F.P, se tienen tres tipos puesto que, dos son provenientes del volcán Tungurahua con tonalidad negro y rojo.

3.6.1.1 Método de molienda de los flujos piroclásticos

El material piroclástico en estado natural presentó sobretamaño, por lo tanto, se requirió un proceso de adecuación física previo a su incorporación en las mezclas. Este proceso se ejecutó en dos etapas consecutivas:

1. **Reducción de tamaño (Pre-triturado):** Los bloques piroclásticos de mayor tamaño fueron fragmentados mecánicamente mediante el uso de herramientas manuales (combo de acero y martillo), hasta reducir los fragmentos a diámetros menores a 5 cm, facilitando así la siguiente fase.
2. **Molienda:** El material pre-triturado se sometió a un proceso de molienda utilizando un molino manual de discos. Para cumplir con la finura requerida para materiales cementantes, el material molido fue tamizado en su totalidad a través del tamiz N.º 200 (75 μ m). Únicamente la fracción pasante de dicho tamiz fue utilizada para la sustitución parcial del cemento, garantizando así una finura homogénea y controlada.

3.6.2 Ensayos preliminares

Previo a la determinación de la muestra definitiva de la tesis, se desarrolló una fase exploratoria en el laboratorio con el fin de encontrar el valor de relación agua-cemento (a/c) y el porcentaje de sustitución parcial por flujos piroclásticos en el cemento.

Es importante aclarar que el término "Diseño de morteros" utilizado en el título de esta investigación no implica un proceso de optimización estadística completa de múltiples porcentajes de reemplazo (como 5%, 15% o 20%). En su lugar, el alcance de este diseño se enfoca en la selección de una dosificación específica, definida a partir de los ensayos preliminares que se detallan a continuación:

3.6.2.1 Selección de la relación a/c

Para determinar el valor óptimo que permita mantener el mortero en estado plástico conforme a los rangos de la **Tabla 6**, se elaboraron tres probetas cúbicas de 5 cm de arista utilizando la dosificación de 1:4 seleccionada (sin incorporar la sustitución parcial de flujos piroclásticos). Las cantidades empleadas para estas tres muestras, así como las lecturas y los porcentajes de fluidez obtenidas durante el ensayo, se detallan en el **Anexo 1**.

Los resultados demostraron que la relación a/c de 0,60 garantiza que el mortero se encuentre en su estado plástico, debido a que registra un porcentaje de fluidez de 105,71%; el cual se sitúa dentro del rango normativo de 100% y 120%. Las demás dosificaciones tentativas fueron descartadas por incumplimiento ya que, la relación a/c de 0,50 produjo apenas un 80,25% y la de 0,65 excedió el límite con un 125,36%. Con base en este criterio, se procedió a estandarizar el uso de la relación a/c de **0,60** para todos los ensayos del estudio.

3.6.2.2 Selección del porcentaje de sustitución por F.P. en el cemento

En esta fase se evaluaron sustituciones iniciales de cemento GU por flujos piroclásticos tomando como referencia los antecedentes del documento [11], donde se utilizó un reemplazo del 12,5% únicamente para el volcán Tungurahua Negro. Con base en este antecedente, se planteó una sustitución más alta, del 25%, para el material del volcán Tungurahua (Negro y Rojo) con el fin de observar si mantendría una resistencia adecuada conforme a la norma. Asimismo, se propuso un 12,5% para el volcán Sangay, debido a que este material no fue evaluado en el documento guía. Con el propósito de identificar la tendencia inicial de la resistencia mecánica, se elaboraron tres réplicas cúbicas de 5 cm de arista por cada tipo de flujo piroclástico (9 probetas en total), destinadas a ser ensayadas a la edad de 7 días.

Los resultados de esta caracterización mecánica preliminar se detallan en el **Anexo 2**, donde la revisión de los promedios obtenidos reveló el siguiente comportamiento:

- ✓ **Flujos piroclásticos del Volcán Tungurahua:** Las mezclas con el 25% de sustitución demostraron una tendencia decreciente severa en su desempeño mecánico. El mortero Tungurahua (Negro) registró un promedio de resistencia de

3,00 MPa, mientras que el Tungurahua (Rojo) obtuvo un promedio de 2,54 MPa, estos valores se descartaron en las tutorías debido a que sus bajos promedios, resultando no factible para el diseño.

- ✓ **Flujos piroclásticos del Volcán Sangay:** El mortero con el 12,5% de sustitución exhibió un comportamiento favorable, alcanzando un valor promedio de resistencia del 6,44 MPa a la edad de 7 días. Este resultado es altamente positivo, puesto que superó el requisito normativo mínimo de 5,2 MPa a la edad de 28 días.

Con base en los hallazgos de esta fase exploratoria, se adoptó una sustitución parcial del **10%** de flujos piroclásticos en el cemento como la dosificación definitiva, con el objetivo de evaluar la viabilidad técnica de dicha mezcla bajo condiciones controladas de laboratorio y exposición en mampostería.

Del mismo modo, esta disminución técnica se alinea con lo expuesto por [23], confirmando que la sustitución del 10% en el mortero es la proporción ideal, dado que optimiza las propiedades de manejabilidad, mejora la adherencia y disminuye la capacidad de absorción

Nota: Al tratarse de una fase exploratoria de descarte basada en un análisis de tendencias iniciales, las probetas utilizadas en estos ensayos previos no se contabilizan dentro de la población ni el tamaño de la muestra definitiva del estudio.

3.6.3 Ensayos y tamaño de la muestra definitiva

Tras establecer experimentalmente el valor de la relación a/c y el porcentaje definitivo para la sustitución parcial de los flujos piroclásticos, se procedió con la ejecución de los ensayos programados para validar el desempeño físico, mecánico y de durabilidad de la propuesta de mortero.

Es importante mencionar que el volumen de agua en las mezclas fue constante en todas las dosificaciones, aplicando la relación $a/c = 0,60$ previamente estandarizada; y no se realizaron correcciones posteriores por humedad o absorción del agregado fino en las mezclas. De hecho, se aseguró que cualquier variación en las propiedades finales del mortero tanto en estado fresco como endurecido sea atribuible exclusivamente al efecto de la sustitución parcial del cemento por el F.P. [25].

Entonces, los ensayos destinados a evaluar cada uno de los morteros son: fluidez, tiempo de fraguado, resistencia a la compresión, densidad, sorptividad e intemperismo. Estos se describen a continuación:

3.6.3.1 Ensayo de fluidez

El ensayo se realizó bajo los lineamientos de la norma ecuatoriana INEN NTE 2502, se elaboró una muestra representativa para cada tipo de mortero (Patrón y las 3 sustituciones volcánicas). El mortero se colocó en el molde cónico sobre la mesa de flujo en tres capas, apisonando cada una 25 veces. Tras retirar el molde, se aplicaron las caídas normadas y se midió el diámetro de la base expandida para determinar el porcentaje de fluidez y comprobar la trabajabilidad de la mezcla.

3.6.3.2 Tiempo de fraguado inicial y final

La determinación de los tiempos de fraguado se efectuó mediante el método de resistencia a la penetración de agujas (Aparato de Vicat), siguiendo la norma INEN NTE 2502. Se preparó una muestra de mortero para cada una de las cuatro tipologías evaluadas (Patrón y las 3 sustituciones volcánicas).

Las muestras se colocaron en los moldes y se realizaron lecturas periódicas de penetración utilizando la aguja de 1,0 mm de diámetro hasta registrar técnicamente el fraguado inicial y el fraguado final.

3.6.3.3 Resistencia a la compresión en morteros

3.6.3.3.1 Preparación de las muestras

Debido a limitaciones en el laboratorio, se reemplazó el mezclador mecánico estándar (ASTM C305) por una batidora doméstica, con una duración total de 4 minutos y ejecutado rigurosamente de la siguiente manera:

- ✓ Se vertió la totalidad del agua y el cemento (o la combinación con flujo piroclástico tamizado por la Malla No. 200) en el tazón de acero inoxidable, homogeneizando a velocidad baja constante durante 30 segundos.
- ✓ Luego, se incorporó la arena de forma gradual dividida en tres partes iguales. Cada fracción introducida se batió durante 30 segundos a velocidad media para una correcta incorporación del agregado.
- ✓ Se procedió a un batido vigoroso a velocidad alta durante 90 segundos y se detuvo por un momento el batido para raspar con una espátula el mortero adherido a las paredes del recipiente, reincorporándolo a la masa central.
- ✓ Se finalizó con un mezclado manual durante los últimos 30 segundos para maximizar la cohesión y liberar el aire atrapado.

Inmediatamente después de concluido el mezclado, el mortero en estado fresco se colocó en moldes de madera con 5 cm de arista, dispuestos en tres capas y aplicando el apisonado correspondiente. Las paredes internas de los moldes fueron previamente cubiertas con una fina de aceite quemado para facilitar el desencofrado sin comprometer las probetas.

Para cada tipo de morteros se elaboraron 3 réplicas por edad a ensayar (edades de 7, 14, 21 y 28 días), sumando 12 cubos por edad y un total general de 48 probetas para todo el ensayo, es decir:

$$4 \text{ mezclas} \cdot 4 \text{ edades} \cdot 3 \text{ réplicas} = \mathbf{48 \text{ probetas}}$$

3.6.3.3.2 Desmolde y curado de las muestras

Transcurridas las 24 horas de haber colocado las mezclas en los moldes, se procedió a un desmolde cuidadoso de los cubos para evitar la generación de microfisuras o desprendimientos en las aristas.

Una vez desmoldadas, las probetas se identificaron de acuerdo al tipo de mezcla y se sumergieron por completo en recipientes plásticos (baldes) que contenían agua más cal. Para garantizar la homogeneidad en el proceso físico de hidratación del cemento, los recipientes de curado se sectorizaron por edades de ensayo (7, 14, 21 y 28 días) y se mantuvieron en un lugar protegido de la radiación solar directa.

3.6.3.3.3 Ensayo a compresión

Al cumplir la edad de control correspondiente, las 12 probetas fueron retiradas de sus respectivos contenedores de curado para continuar con el uso de un calibrador pie de rey y medir las dimensiones del mortero (base y altura).

Posteriormente, los cubos se colocaron en la prensa hidráulica, registrando así el valor de la carga máxima de ruptura para continuar con el cálculo de la resistencia para cada mortero, que se obtiene con la siguiente fórmula:

$$Resistencia = \frac{Fuerza \text{ Máxima}}{\text{Área}}$$

3.6.4 Densidad de morteros

Se determinó la densidad de los morteros en estado endurecido siguiendo los principios de la norma ASTM C642. Se utilizan cubos con aristas de 5cm, los cuales son pesados en una balanza y medidos con un calibrador pie de rey a las edades de 7, 14, 21 y 28 días. Cabe mencionar que, para optimizar tiempo en el laboratorio, se utilizaron exactamente las

mismas 48 probetas del ensayo a compresión, registrando sus pesos antes de la rotura mecánica.

3.6.4.1 Sorptividad

La tasa de absorción de agua por capilaridad se determinó en cumplimiento con la norma ASTM C1585. Se utilizarán 3 cubos para cada tipo de flujo piroclástico y el original con aristas de 5cm, siendo un total de 12 probetas. Estas muestras se utilizarán estrictamente al cumplir la edad de 28 días de curado normalizado.

Como etapa inicial, los 12 cubos curados se introdujeron en un horno de secado a una temperatura controlada de $50\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas. A continuación, se recubrieron únicamente las cuatro caras laterales de las probetas utilizando papel film y cinta plástica impermeable [26].

Finalmente, estas se colocaron dentro de una bandeja plástica sobre varillas de apoyo para evitar el contacto directo con el fondo; finalmente, se vertió agua controlando rigurosamente que el nivel del fluido cubriera únicamente entre 1 mm y 3 mm de la base.

Entonces, siguiendo el procedimiento de la norma mencionada anteriormente, tenemos como ecuaciones para los cálculos:

✓ Absorción de la probeta

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

Donde

m_t = El cambio en la masa de las probetas

d = Densidad del agua ($0,001\text{ g/mm}^3$)

a = Área expuesta de la probeta mm^2

Para conocer el valor de la absorción inicial, se utilizan los puntos medidos hasta las 6h y para la absorción secundaria los puntos medidos después del primer día.

Sin embargo, la norma menciona que el ritmo de absorción tanto inicial como secundaria, se emplea el valor de la pendiente de la línea que relaciona la absorción (I) en función de la raíz del tiempo dicha pendiente se calcula ajustando por mínimos cuadrados una regresión lineal. No obstante, cuando los puntos no muestren un patrón lineal muy fuerte (coeficiente de correlación menor a 0,98) o presenten una curvatura sistemática, no será posible obtener dicha tasa.

[23] explica que valor de b será evaluado a partir de la ecuación de la línea obtenida de la relación entre tiempo ($\text{seg}^{0,5}$) y absorción (I), teniendo así:

✓ **Absorción inicial**

$$I = Si \cdot \sqrt{t + b} \quad ; \quad Si = \frac{I}{\sqrt{t + b}}$$

Donde

I = Absorción de la probeta a las 6h (mm)

t = Tiempo (s)

Si = Absorción inicial

✓ **Absorción secundaria**

$$I = Ss \cdot \sqrt{t} + b \quad ; \quad Ss = \frac{I - b}{\sqrt{t}}$$

Donde

I = Absorción de la probeta a los 7 días (mm)

t = Tiempo (s)

Ss = Absorción secundaria

3.6.4.2 Intemperismo

Para este ensayo se adoptaron los lineamientos del Método de Huamani Mollo y Solis Guerra. Se realizarán dos cuadros o paneles de 50 cm por cada por cada tipo de flujo piroclástico y el original, teniendo un total de 8 paneles cuadrados. Estos morteros se aplicarán como capas de enlucido sobre mampostería de ladrillo y serán expuestos a condiciones reales de intemperie durante 28 días en la ciudad de Guano.

Se resalta que la evaluación del comportamiento frente al intemperismo realizada en esta tesis es de carácter principalmente cualitativo y visual. El análisis se limita a observar y registrar las alteraciones superficiales del enlucido expuesto al ambiente, considerando aspectos como cambios de color, aparición de fisuras, desprendimientos o cualquier tipo de deterioro visible.

A continuación, la **Tabla 9** se presenta un cuadro resumen de la cantidad de muestras a utilizarse en cada ensayo.

Tabla 9 Resumen de la cantidad de muestras a ensayar

Ensayo	Norma	Muestras
Fluidez	INEN NTE 2502	4
Tiempo de fraguado inicial y final	INEN NTE 2502	4

Resistencia a la compresión de morteros	INEN NTE 488	48
Densidad de morteros	ASTM C642	48
Sorptividad	ASTM C1585	12
Intemperismo	Método de Huamani Mollo y Solis Guerra	8

3.7 Hipótesis

El reemplazo parcial del cemento Portland tipo GU con flujos piroclásticos obtenidos de los volcanes Tungurahua y Sangay permite obtener morteros para enlucidos que satisface el requerimiento de resistencia mínima, trabajabilidad adecuada y tengan una buena respuesta a la absorción de agua y la exposición a ambiente.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación del contenido orgánico



Figura 2 Escala de Gardner

En la **Figura 2** se observa la escala de Gardner donde se identifica que la coloración es inferior a la enumeración N° 3 por lo que, está libre de contenido orgánico que podrían perjudicar ensayos posteriores.



Figura 3 Resultado de la determinación del contenido orgánico

En la **Figura 3**, se presentan los resultados del contenido orgánico del agregado fino y los flujos piroclásticos del volcán Tungurahua y Sangay. La evaluación fue realizada al comparar el color de las muestras con la escala patrón, de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana [24].

Según el patrón, el color del agregado fino correspondió a la numeración inferior al N°1 al igual que las muestras de flujo piroclástico, con lo que ambos tipos de materiales se encontraban dentro de los límites permisibles. Por lo demás, se puede considerar que las muestras están libres de contenido orgánico perjudicial y son empleables en la fabricación de morteros.

4.2 Análisis granulométrico del agregado fino

El presente ensayo se realizó tomando en cuenta la norma [25], lo cual se ensayó el agregado fino (arena) adquirida en la “Hormigones Moreno”, teniendo como módulo de finura el valor de 2,506. Es decir, que se encuentran en el rango aceptable determinado en la norma [24] que explica que no puede ser menor a 2,3 ni mayor a 3,1.

A continuación, en la **Tabla 10** se muestra los valores obtenidos en el ensayo de granulometría y el módulo de finura calculado.

Tabla 10 Granulometría del agregado fino

Tamiz (pulg)	Tamiz (mm)	Masa retenida (kg)	% retenido parcial	% acumulado retenido parcial	%pasa	Límites de gradación según NTE INEN 872	
4	4,75	0,000	0,00	0,00	100,00	95	100
8	2,36	0,000	0,00	0,00	100,00	80	100
16	1,18	0,184	18,68	18,68	81,32	50	85
30	0,60	0,356	36,14	54,82	45,18	25	60
50	0,30	0,275	27,92	82,74	17,26	5	30
100	0,15	0,114	11,57	94,31	5,69	0	10
200	0,075	0,054	5,48	99,80	0,20	0	0
base	base	0,002	0,20	100,00	0,00		
Σ		0,985					

✓ **Módulo de finura:** 2,506

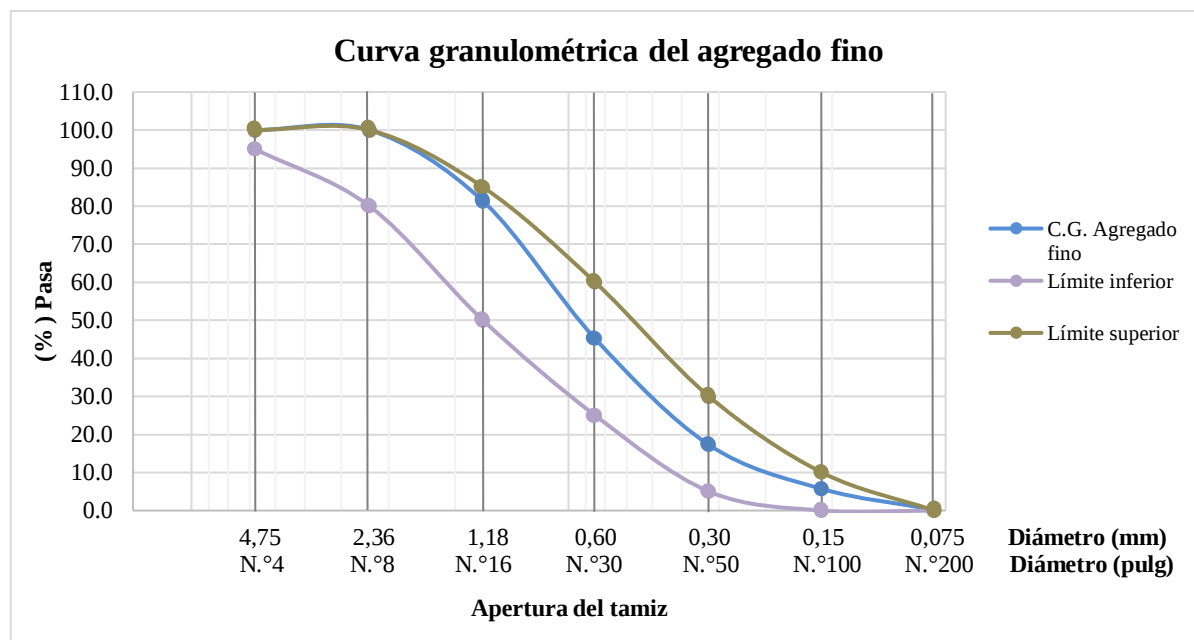


Figura 4 Curva Granulométrica del agregado fino (Hormigonera Moreno)

De acuerdo con la **Figura 4** se corrobora que la arena de la Hormigonera Moreno satisface los requisitos del INEN 872. Esto indica que la distribución de tamaño de partículas es la correcta y valida que puede ser utilizada como materia para elaboración de morteros.

4.3 Contenido de humedad

El contenido total de humedad fue determinado mediante la aplicación del método descrito en la norma INEN NTE 862. Se realizaron dos muestras de agregado fino, obteniendo así sus respectivos valores por el cual, realizando un promedio el contenido de humedad se obtuvo el valor de 1,77%. Tal como se muestra en la **Tabla 11**

Tabla 11 Contenido de humedad de la Hormigonera Moreno (agregado fino)

N° de tara	Peso de la tara [g]	Tara + agregado húmedo [g]	Tara + agregado seco [g]	Peso del agregado húmedo [g]	Peso del agregado seco [g]	Contenido de humedad [%]
1	18,6	63,9	63,1	45,30	44,50	1,80
2	16,2	51,4	50,8	35,20	34,60	1,73
Promedio [%]						1,77

4.4 Cálculo de la densidad y porcentaje de absorción

La determinación de estas propiedades se llevó a cabo de acuerdo con las especificaciones de la norma NTE INEN 856. Se muestran los resultados de la **Tabla 12** y se nota que la densidad del agregado fino es máxima en el estado de saturación superficial seca (SSS) que la obtenida en la condición de secado en horno (SH). También, los resultados del ensayo mostraron que el material tiene un potencial de absorción de 4,17%

Tabla 12 Densidad y porcentaje de absorción del agregado fino

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad relativa (gravedad específica) SH	2,71	-
Densidad relativa (gravedad específica) SSS	2,82	-
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	3,06	-
Densidad SH	2705,08	kg/m ³
Densidad SSS	2817,80	kg/m ³
Densidad aparente	3049,68	kg/m ³
Absorción	4,17	%

Una vez realizado los respectivos ensayos para el agregado fino, se comprueba que es adecuado para ser utilizado en la elaboración de los morteros.

4.5 Análisis químico de los flujos piroclásticos

El análisis químico de los flujos piroclásticos fue estudiado en el “Laboratorio Interfacultades de Fluorescencia de Rayos X” de la Universidad Nacional de Colombia, quien proporcionó los resultados obtenidos con el espectrómetro de fluorescencia de rayos X - MagixPro PW, estos se muestran en la **Tabla 13**.

Tabla 13 Resultado del análisis químico

Nombre	Elemento y/o Compuesto	Contenido (% en peso)		
		Volcán Tungurahua (Negro)	Volcán Tungurahua (Rojo)	Volcán Sangay
Silicio	SiO ₂	55,64%	53,38%	53,65%
Aluminio	Al ₂ O ₃	18,30%	18,08%	18,52%
Hierro	Fe ₂ O ₃	7,29%	8,47%	8,27%
Calcio	CaO	7,21%	8,37%	8,23%
Sodio	Na ₂ O	4,81%	4,54%	4,58%
Magnesio	MgO	2,69%	3,23%	2,87%
Potasio	K ₂ O	2,15%	1,84%	1,80%
Titanio	TiO ₂	0,91%	1,07%	1,03%
Fósforo	P ₂ O ₅	0,23%	0,30%	0,31%
Bario	Ba	0,16%	0,11%	0,14%
Manganeso	MnO	0,13%	0,13%	0,13%
Estroncio	Sr	0,10%	0,11%	0,12%
Cloro	Cl	0,10%	0,07%	0,12%
Azufre	S	0,08%	0,10%	0,07%
Vanadio	V	0,02%	0,02%	0,01%
Zirconio	Zr	0,02%	0,02%	0,02%
Estaño	Sn	0,02%	0,06%	0,06%
Zinc	Zn	0,02%	0,02%	0,02%
Cromo	Cr	0,01%	0,02%	0,02%

Se evidencia en la **Tabla 13**, que los flujos piroclásticos analizados presentan altos contenidos de sílice (SiO₂), que varían entre 53,38 y 55,64 %, encontrándose el volcán Tungurahua (Negro) el que tiene el mayor porcentaje. Por otra parte, el aluminio (Al₂O₃) alcanza valores próximos al 18 % en las tres muestras analizadas. Así que, sugieren una posible contribución puzolánica, es decir, exhiben potencial para favorecer el desarrollo de la resistencia y durabilidad de los morteros, lo que las posiciona como candidatas viables para ser utilizadas en la preparación de los mismos.

4.6 Dosificación de las muestras

En la **Tabla 14** se detallan los pesos correspondientes para cada mortero con su dosificación, porcentaje de sustitución parcial de F.P. en el cemento y la relación a/c seleccionada a partir de los ensayos preliminares descritos en la metodología.

Dicha dosificación se calculó para una cantidad de 12 cubos con dimensiones de 5cm x 5cm por cada tipo de flujo piroclástico y patrón, lo que representa un volumen total de 1500 cm³.

Tabla 14 Dosificación para el ensayo de compresión

Dosificación con el remplazo del 10% de F.P. por cada tipo de volcán				
Componente	Patrón	Tungurahua (Negro)	Tungurahua (Rojo)	Sangay
Agregado fino [kg]	1,920	1,920	1,920	1,920
Cemento GU [kg]	0,873	0,655	0,655	0,655
F. Piroclástico[kg]	0,000	0,218	0,218	0,218
Agua [kg]	0,524	0,524	0,524	0,524

Para los ensayos de sorptividad e intemperismo se empleó la misma dosificación citada anteriormente. Sin embargo, para el ensayo de sorptividad se elaboraron únicamente 3 cubos por cada tipo de flujo piroclástico y patrón, con un volumen de 375 cm³ cuyos pesos correspondientes se presentan en la **Tabla 15**.

Tabla 15 Dosificación para el ensayo de sorptividad

Dosificación con el remplazo del 10% de F.P. por cada tipo de volcán				
Componente	Patrón	Tungurahua (Negro)	Tungurahua (Rojo)	Sangay
Agregado fino [kg]	0,480	0,480	0,480	0,480
Cemento GU [kg]	0,219	0,198	0,198	0,198
F. Piroclástico[kg]	0,000	0,022	0,022	0,022
Agua [kg]	0,131	0,131	0,131	0,131

Por otra parte, para el ensayo de intemperismo, las cantidades se ajustaron para la elaboración de dos muestras por cada tipo de mortero. Estas fueron aplicadas sobre mampostería con un área de 50x50 cm y un espesor de 1,5 cm; lo que corresponde a un volumen de 3750 cm³ por muestra. Dichas cantidades se observan en la **Tabla 16**, y su aplicación es en un cerramiento ubicado en la ciudad de Guano.

Tabla 16 Dosificación para el ensayo de intemperismo

Dosificación con el remplazo del 10% de F.P. por cada tipo de volcán				
Componente	Patrón	Tungurahua (Negro)	Tungurahua (Rojo)	Sangay
Agregado fino [kg]	9,600	9,600	9,600	9,600
Cemento GU [kg]	4,366	3,929	3,929	3,929
F. Piroclástico [kg]	0,000	0,437	0,437	0,437
Agua [kg]	2,620	2,620	2,620	2,620

4.7 Ensayo de fluidez

El ensayo se realizó conforme a la norma [26] para determinar el porcentaje en el que el mortero mantiene su estado plástico ya que, esta propiedad es fundamental para su aplicación en enlucidos. A continuación, se detallan los porcentajes de fluidez obtenidos para cada muestra:

Tabla 17 Resultado del ensayo de fluidez

Tipo de F. Piroclástico	Porcentaje [%]	Fluidez [%]
Ninguno (Patrón)	0	105,71
V. T. (Rojo)	10	110,88
V. T. (Negro)	10	108,91
V. Sangay	10	106,20

En la **Tabla 17** se evidencia que todas las muestras conservan su estado plástico, al situarse dentro del rango del 100% al 120% (**Tabla 6**). El mortero de referencia (patrón), sin sustitución, alcanzó una fluidez del 105,71%; mientras que, las mezclas con un 10% de material volcánico presentaron ligeras variaciones en función del tipo de flujo piroclástico utilizado.

El mayor valor de fluidez se obtuvo con el flujo del V. T. (Rojo), alcanzando un 110,88%, seguido por el V. T. (Negro) con un 108,91% y el V. Sangay con un 106,20%. Se cree que estas variaciones podrían deberse a una porosidad diferente en cada flujo piroclástico. En consecuencia, los resultados señalan que la incorporación del 10% de flujos piroclásticos conserva e incluso optimiza ligeramente la trabajabilidad del mortero respecto al patrón, garantizando así su empleo en enlucidos.

4.8 Ensayo del tiempo de fraguado

En la **Tabla 18** se muestran los tiempos de fraguado inicial y final de los morteros con un 10 % de sustitución por flujos piroclásticos de los volcanes Tungurahua y Sangay. La mezcla patrón registró los tiempos más cortos, con un inicio de fraguado a los 100,00 min y una finalización a los 300,00 min.

Por el contrario, la incorporación de material volcánico generó un incremento en los tiempos de fraguado en todas las dosificaciones. Los flujos del volcán Tungurahua retrasaron el inicio a 102,00 min (Negro) y 127,00 min (Rojo), mientras que el flujo del volcán Sangay presentó los valores máximos, postergando el fraguado inicial hasta los 155,00 min y el final hasta los 360,00 min.

Entonces, [27] señala que este incremento en los tiempos de fraguado puede atribuirse a la reducción del contenido de cemento activo y a la participación del material piroclástico en las reacciones de hidratación, sin limitar su uso en enlucidos.

Tabla 18 Resultado del ensayo de fluidez

Tipo de F. Piroclástico	Porcentaje [%]	Tiempo fraguado inicial [min]	Tiempo fraguado final [min]
Ninguno (Patrón)	0	100,00	300,00
V. T. (Rojo)	10	127,00	300,00
V. T. (Negro)	10	102,00	330,00
V. Sangay	10	155,00	360,00

4.9 Ensayo a compresión

En la **Tabla 19** se presenta los resultados de los morteros a edades de 7, 14, 21 y 28 días del ensayo de resistencia a compresión para la obtención de la resistencia.

Tabla 19 Resultado de los ensayos a compresión

Días	Promedio	Patrón	Dosificación con el remplazo del 10% de F.P. por cada tipo de volcán		
			V. T. (Rojo)	V. T. (Negro)	V. Sangay
7	Resistencia (MPa)	7,162	8,963	8,191	8,011
	Desviación	1,961	0,392	2,574	1,210
14	Resistencia (MPa)	10,173	10,157	8,597	7,979
	Desviación	0,568	0,073	0,528	0,059
21	Resistencia (MPa)	12,385	10,842	10,463	8,008
	Desviación	2,405	1,930	0,633	1,657
28	Resistencia (MPa)	14,197	13,221	12,373	12,309
	Desviación	0,213	1,023	1,654	1,158

En el **Anexo 8** se tiene a detalle los valores obtenidos del ensayo a compresión para cada edad mencionada.

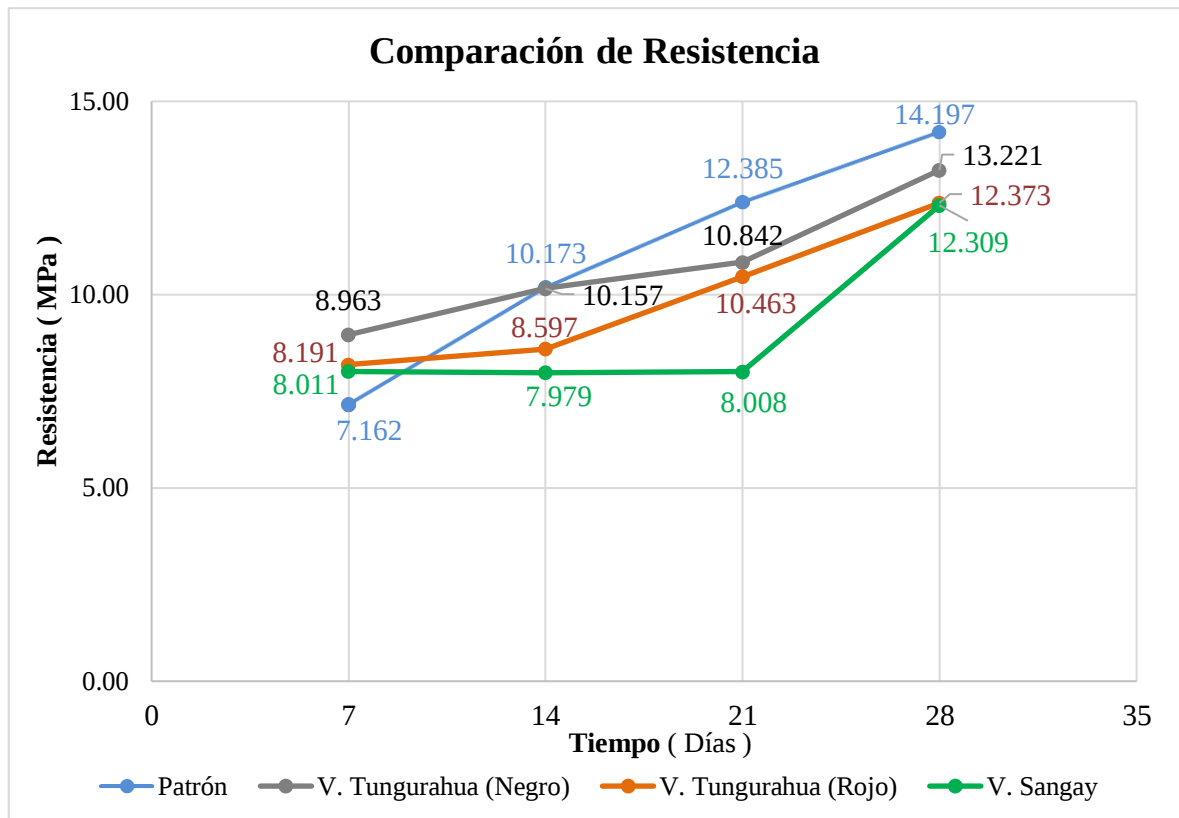


Figura 5 Comparación de resistencias vs tiempo de los morteros con la sustitución parcial de flujos piroclásticos

Analizando la **Figura 5**, se observa que a la edad de 28 días el mortero tradicional presenta un desempeño superior frente a los morteros con sustitución parcial de flujos piroclásticos. Mientras que, a las edades de 14 y 21 días, las mezclas con un 10 % (**Sección 3.6.2.2**) de sustitución en el cemento tipo GU alcanzaron un desarrollo de resistencia más lento.

No obstante, estos morteros presentan una mayor resistencia a la edad temprana de 7 días respecto al mortero tradicional. El flujo del V. T. (Negro) registró el valor más alto con 8,963 MPa, seguido por el V. T. (Rojo) con 8,191 MPa y el V. Sangay con 8,011 MPa, superando todos al patrón (7,162 MPa). Este incremento inicial puede atribuirse al efecto micro-relleno de las partículas (F.P.), lo cual reduce la porosidad inicial en los morteros [12].

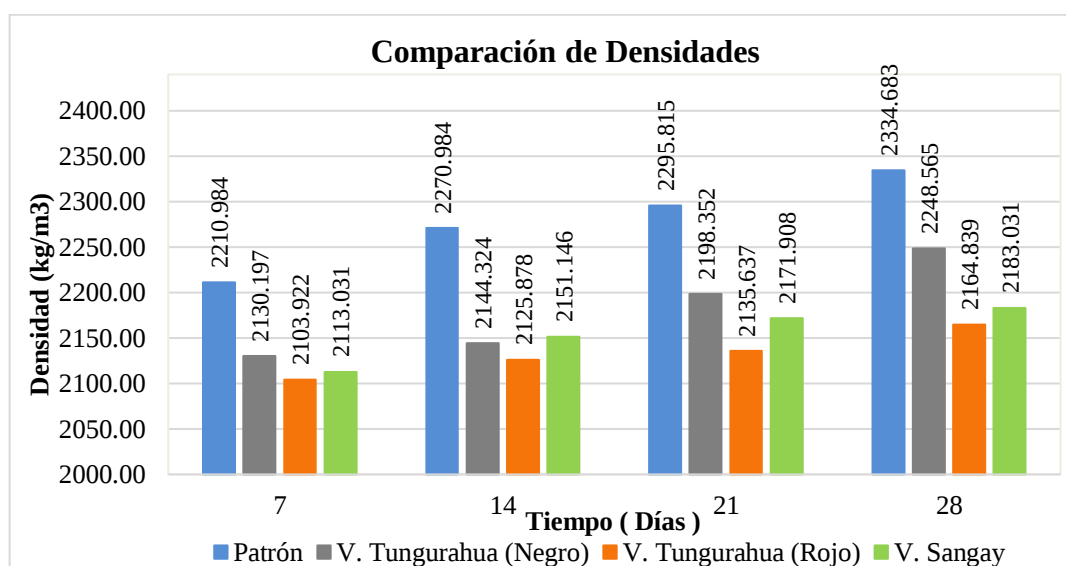
4.10 Densidad

En la **Tabla 20** se presenta sus respectivos resultados de densidad de los morteros a las edades de 7, 14, 21 y 28 días. Estas muestras han sido los utilizados en el ensayo de compresión (dimensiones).

Tabla 20 Resultado del ensayo de densidad

Días	Promedio	Patrón	Dosificación con la sustitución del 10% de F.P. por cada tipo de volcán		
			V. T. (Negro)	V. T. (Rojo)	V. Sangay
7	Densidad (kg/m ³)	2210,984	2130,197	2103,922	2113,031
14	Densidad (kg/m ³)	2270,984	2144,324	2125,878	2151,146
21	Densidad (kg/m ³)	2295,815	2198,352	2135,637	2171,908
28	Densidad (kg/m ³)	2334,683	2248,565	2164,839	2183,031

En el **Anexo 9** se tiene a detalle los valores obtenidos del ensayo de densidad para cada edad mencionada.

**Figura 6** Comparación de densidades vs tiempo de los morteros con la sustitución parcial de flujos piroclásticos

En la **Figura 6** se evidencia que el mortero patrón presenta los mayores valores de densidad en todas las edades evaluadas, mostrando una evolución constante que llega a los 2334,683 kg/m³ a los 28 días. Por el contrario, las mezclas que incorporan un 10% de flujos piroclásticos registraron una disminución en su densidad con respecto al patrón.

Sin embargo, entre las sustituciones, el mortero con flujo piroclástico del V.T. (Negro) exhibió el mejor rendimiento, manteniendo los valores de densidad más cercanos a los de la muestra patrón con 2248,565 kg/m³ a los 28 días.

4.11 Sorptividad

En la **Tabla 21** se presenta cómo ha sido el comportamiento de los morteros de estudio para dicho ensayo en sus etapas inicial y secundaria. En ella se verifica la presencia de una tendencia lineal mediante un coeficiente de correlación (r) mayor o igual a 0,98 (**Anexo 11**); cumpliendo así con los requisitos establecidos en la normativa ASTM C1585.

Tabla 21 Promedio de la absorción inicial y final de morteros con sustitución parcial de cemento por F.P.

Tipo de F.P.	Absorción inicial (mm/ $\sqrt{s}$)	r	Absorción Secundaria (mm/ $\sqrt{s}$)	r
Ninguno (Patrón)	3,09E-02	0,983	2,10E-03	0,990
V. T. (Negro)	2,57E-02	0,984	3,11E-03	0,991
V. T. (Rojo)	3,05E-02	0,980	4,05E-03	0,981
V. Sangay	3,18E-02	0,980	4,50E-03	0,980

La **Figura 7** permite distinguir la absorción inicial y secundaria en los morteros evaluados. En el primer tramo se aprecia la sorptividad inicial, caracterizada por una pendiente pronunciada debido al rápido llenado de los poros capilares al entrar en contacto directo con el agua; en esta fase, el mortero con flujo piroclástico del V.T. (Negro) exhibió la menor ganancia de agua respecto al patrón. A partir de este punto, da paso a la sorptividad secundaria que refleja un incremento en la absorción de las mezclas del V.T. (Rojo) y V. Sangay con respecto al mortero patrón.

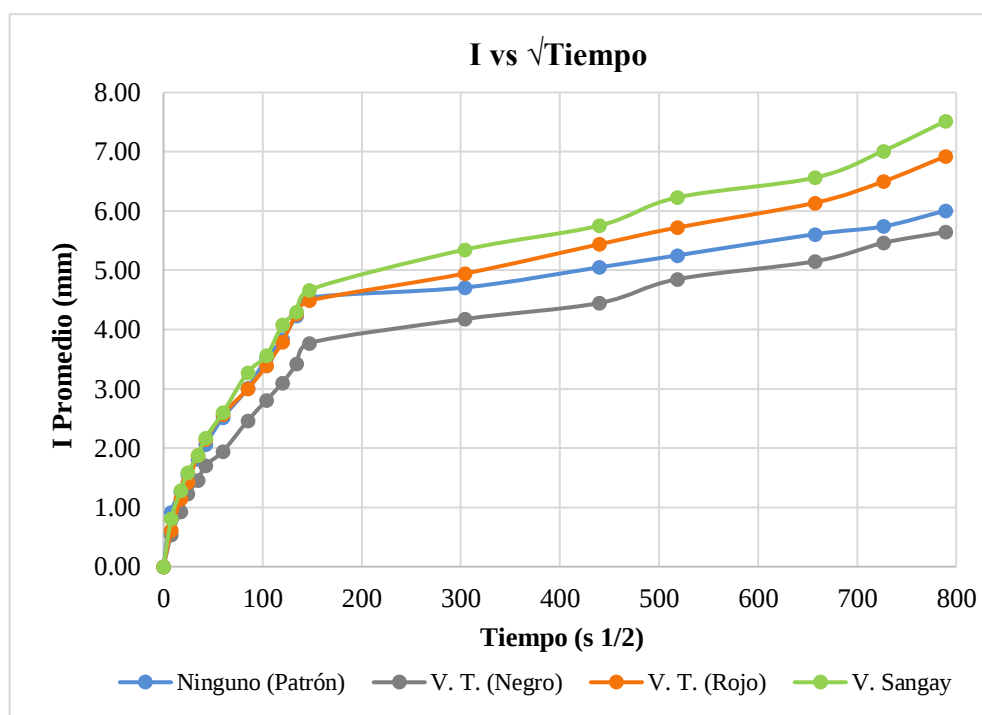


Figura 7 Absorción de los distintos morteros con la sustitución parcial de F.P.

Por otra parte, en la **Figura 8** se observa la evolución de la absorción del mortero, diferenciándose en dos etapas: la **absorción inicial** (de 1 minuto a 6 horas), representada en color morado, y la **absorción secundaria** (de 1 a 6 días), indicada en color rosado. Se evidencia que la menor absorción inicial corresponde al mortero con flujo piroclástico del V.T. (Negro), lo que demuestra que dicha adición actúa eficazmente en las primeras horas como una barrera que limita el ingreso rápido de agua por capilaridad superficial.

No obstante, al evaluar la absorción secundaria se observa un comportamiento variado en las mezclas, en donde el menor valor de absorción corresponde al mortero patrón (sin sustitución) registrando una velocidad de penetración de agua inferior a la de todos los morteros con F.P.

Por consiguiente, aunque el flujo piroclástico del V.T. (Negro) no presenta el desempeño óptimo absoluto en ambas fases al compararlo con el mortero tradicional, sí exhibe el comportamiento más favorable y equilibrado frente a la sorptividad dentro del grupo de morteros sustituidos, lo cual puede verificarse en el **Anexo 10**.

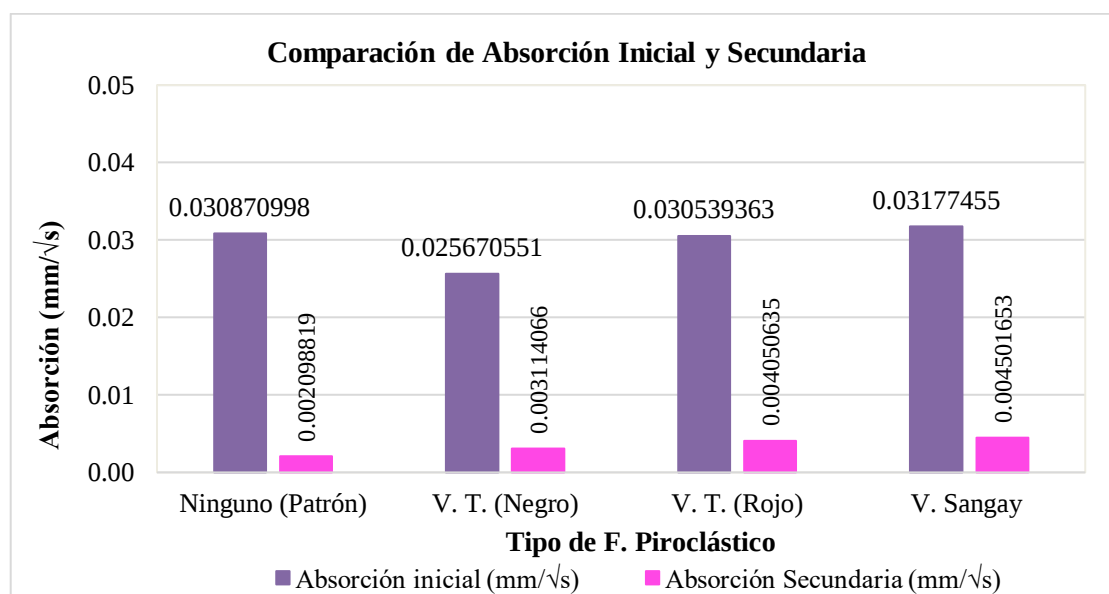


Figura 8 Absorción inicial y secundaria de los distintos morteros

4.12 Intemperismo

La metodología utilizada en esta etapa está basada en el método de [28]. Donde desde la **Tabla 22** a la **Tabla 26** muestran los cambios de los enlucidos colocados en el Cantón Guano (coordenadas: 17S 762098,35E 9821520,74N) este mismo ha estado expuestos durante los 28 días (curado) a las condiciones térmicas y climáticas extremas de la región. Es importante mencionar, que los datos de temperatura han sido tomados por un termómetro ambiental y la humedad relativa han sido tomados del INAMHI.

Tabla 22 Datos y evidencia del mortero ante el intemperismo (Elaboración)

Día	Fecha	Temperatura [°C]	Humedad Relativa [%]	Evidencia fotográfica
Elaboración	25/2/2026	14	91,69	

Tabla 23 Datos y evidencia del mortero ante el intemperismo (Edad de 1 a 7 días)

Día	Fecha	Temperatura [°C]	Humedad Relativa [%]	Evidencia fotográfica
1	26/2/2026	14	88,71	
2	27/2/2026	16	86,58	
3	28/2/2026	14	89,29	
4	1/3/2026	16	86,79	
5	2/3/2026	16	87,85	
6	3/3/2026	18	85,53	
7	4/3/2026	16	88,49	

Tabla 24 Datos y evidencia del mortero ante el intemperismo (Edad de 7 a 14 días)

Día	Fecha	Temperatura [°C]	Humedad Relativa [%]	Evidencia fotográfica
8	5/3/2026	14	90,19	
9	6/3/2026	16	90,13	
10	7/3/2026	16	89,74	
11	8/3/2026	16	89,17	
12	9/3/2026	14	92,51	
13	10/3/2026	16	89,00	
14	11/3/2026	14	90,29	

Tabla 25 Datos y evidencia del mortero ante el intemperismo (Edad de 14 a 21 días)

Día	Fecha	Temperatura [°C]	Humedad Relativa [%]	Evidencia fotográfica
15	12/3/2026	14	91,52	
16	13/3/2026	16	89,43	
17	14/3/2026	12	93,15	
18	15/3/2026	17	89,57	
19	16/3/2026	18	88,72	
20	17/3/2026	14	91,53	
21	18/3/2026	18	85,96	

Tabla 26 Datos y evidencia del mortero ante el intemperismo (Edad de 21 a 28 días)

Día	Fecha	Temperatura [°C]	Humedad Relativa [%]	Evidencia fotográfica
22	19/3/2026	18	88,05	
23	20/3/2026	16	87,29	
24	21/3/2026	16	88,56	
25	22/3/2026	14	87,97	
26	23/3/2026	14	92,62	
27	24/3/2026	14	90,92	
28	25/3/2026	16	88,28	

Durante la fase de aplicación de las mezclas en la mampostería de ladrillo, el mortero exhibió propiedades óptimas, caracterizadas por una adecuada consistencia y trabajabilidad.

Esto permitió que la colocación del mortero fuera más rápida y manejable para el operario. Según las imágenes capturadas en la zona de Guano, se observó que los enlucidos presentaron inicialmente una coloración oscura y una textura superficial porosa.

Tras un período de curado de 28 días, los paneles superiores evidenciaron un acabado liso y homogéneo. Sin embargo, los paneles inferiores al estar expuestos a una humedad constante, debido a la instalación de un reservorio y un sistema de desagüe que se direcciona hacia la mampostería mantuvieron su coloración oscura a excepción del V.T. (Negro). Por ello, este flujo piroclástico destacó al visualizarse más compacto, con un acabado seco y liso.

De acuerdo con [28], las matrices cementantes expuestas a ambientes húmedos tienden a presentar fisuras, desprendimientos, salitre o moho a partir de la tercera semana; no obstante, se descartó la presencia de estas patologías en las muestras evaluadas, debido a que mantuvieron su integridad estructural sin manifestar ningún daño visual.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El análisis químico de rayos X determinó que las partículas de flujos piroclásticos poseen una composición rica en sílice (SiO_2), con valores de 55,64% para el V.T. (Negro); 53,38% para el V.T. (Rojo) y 53,65% para el V. Sangay, acompañados de contenidos de aluminio (Al_2O_3) superior al 18%. Esta composición química fundamenta el potencial de contribución puzolánica de los materiales evaluados, favoreciendo el desarrollo de resistencia y durabilidad [1].
- La sustitución parcial de flujos piroclásticos incrementó la fluidez frente al patrón (105,71%), manteniéndose en el rango óptimo (**Tabla 6**) requerido para enlucidos. El mayor valor se registró en el V.T. (Rojo) con 110,88%, seguido del V.T. (Negro) con 108,91% y el V. Sangay con 106,20%, demostrando numéricamente que la incorporación de estos materiales optimiza la trabajabilidad.
- El ensayo de tiempos de fraguado evidenció que la adición de F.P. retarda el endurecimiento respecto al patrón (100,00 min inicial y 300,00 min final). Los máximos retardos ocurrieron con el V. Sangay (155,00 min inicial y 360,00 min final); no obstante, los tiempos obtenidos son todavía adecuado para la aplicación y manipulación de enlucidos en obra.
- El ensayo de resistencia a compresión, a los 28 días de curado el mortero patrón obtuvo la mayor resistencia con 14,197 MPa. Entre las mezclas modificadas, el V.T. (Negro) exhibió el mejor desempeño mecánico con 13,221 MPa, seguido del V.T. (Rojo) con 12,373 MPa y el V. Sangay con 12,309 MPa superando la resistencia mínima de 5,2 MPa exigida por la normativa, destacando además que a los 7 días las tres mezclas modificadas superaron al patrón, comportamiento que puede atribuirse al efecto de micro-relleno de los F.P. [12].
- Los resultados de densidad muestran que la incorporación del 10% de flujos piroclásticos reduce la densidad del mortero en todas las edades frente al patrón, el cual alcanzó su máximo a los 28 días con 2334,683 kg/m³. Dentro de las mezclas sustituidas, el mortero con V.T. (Negro) demostró el rendimiento más estable y cercano al patrón con una densidad de 2248,565 kg/m³.
- El análisis de sorptividad reflejó un comportamiento lineal en ambas etapas con coeficientes de correlación (r) superiores o iguales a 0,98. En la absorción inicial, el mortero V.T. (Negro) logró el desempeño más favorable con la menor ganancia de

agua ($2,57\text{E-}02 \text{ mm}/\sqrt{\text{s}}$) frente al patrón ($3,09 \text{ E-}02 \text{ mm}/\sqrt{\text{s}}$). En la absorción secundaria, el patrón mantuvo el valor menor ($2,10\text{E-}03 \text{ mm}/\sqrt{\text{s}}$). Sin embargo, el flujo piroclástico V.T. (Negro) se posicionó como la alternativa modificada más equilibrada.

- La evaluación cualitativa y el registro fotográfico en la zona de exposición (Guano) confirmó la viabilidad técnica de los paneles de enlucido tras 28 días de intemperismo. A pesar de verse sometidos a condiciones de humedad constante, los morteros modificados conservaron su integridad estructural sin manifestar fisuras, desprendimientos, salitre o moho a partir de la tercera semana. El mortero con V.T. (Negro) destacó visualmente por una superficie más compacta y homogénea.
- Se concluye que los flujos piroclásticos de los volcanes Tungurahua y Sangay pueden utilizarse en morteros con el 10% de sustitución parcial del cemento tipo GU, obteniéndose propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad satisfactorias. Además, esta sustitución podría contribuir a la reducción en el consumo de cemento Portland, sugiriendo una disminución de la huella ecológica y del impacto ambiental.

5.2. Recomendaciones

- Se sugiere realizar un monitoreo de los enlucidos colocados en la ciudad de Guano para ir comprobando su comportamiento real a la intemperie, humedad y eventuales patologías en largos períodos de la exposición.
- Realizar un análisis químico del Cemento Chimborazo tipo GU para conocer a mayor profundidad su comportamiento al ser sustituido parcialmente por flujos piroclásticos en la elaboración de morteros.
- Para futuras investigaciones realizar la preparación y mezclado de los morteros de forma mecánica tal como lo estipula la norma ASTM C305 con el propósito de obtener mezclas con un mayor grado de homogeneidad y disminuir la dispersión de los datos en los resultados experimentales.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. J. Monteiro y P. K. Mehta, CONCRETO Estructura, propiedades y materiales, México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C., 2014.
- [2] D. F. Narvaez Rivadeneira, Caracterización de los dinamismos eruptivos de los períodos de actividad de marzo y julio 2013 del volcán Tungurahua, con base en el estudio morfo-granulométrico, geoquímico y modal de los productos de caída, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2014.
- [3] G. S. Puente Cárdenas, Patología de la construcción en mampostería y hormigones, Sangolquí, 2007.
- [4] O. Mena, N. Rojero y L. Lara, ALTERNATIVAS SUSTENTABLES PARA USO DE RESIDUOS DE EXPLOTACIÓN DE TOBAS VOLCÁNICAS EN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, 2018.
- [5] C. Hall y W. D. Hoff, Water transport in brick, stone and concrete, CRC Press, 2011.
- [6] A. RÍO BUENO, PATOLOGÍA, REPARACIÓN Y REFUERZO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO DE EDIFICACIÓN, Departamento de Estructuras de Edificación , 2023.
- [7] H. Hens, Física de la construcción: calor, aire y humedad : fundamentos y métodos de ingeniería con ejemplos y ejercicios., Ernst & Sohn, 2017.
- [8] T. Millán, CÁLCULO DE LA EXPOSICIÓN A LA LLUVIA BATIENTE EN FACHADAS DEL ESTE DE ESPAÑA APLICANDO EL ESTÁNDAR ISO 15927-3, Zaragoza, 2024.
- [9] S. R. McNutt, «Parte A: Manual internacional de sismología sísmica y de ingeniería, Parte A,» *ScienceDirect*, vol. 81, pp. 383-406, 2 septiembre 2007.
- [10] S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese y J. Tanesi, «Diseño y Control de Mezclas de Concreto,» de *Capítulo 3 Ceniza Volante, Escoria, Humo de Sílice y Puzolanas Naturales*, Portland Cement Association, 2023, pp. 77-92.
- [11] J. D. Avila Sánchez, O. R. Calero Hernández y J. R. Saltos Moreno , Conocer y comparar la resistencias de los morteros contruidos a partir de flujo piroclásticos, Riobamba, 2024.

- [12] A. M. Neville, Properties of concrete (5th ed.), England: Longman Scientific & Technical, 2011.
- [13] C. Shi, R. Day y P. E. Grattan-Bellew, Pozzolan and cementitious materials, 2001.
- [14] K. L. Scrivener, J. Vanderley M. y G. Ellis M. , «Cementos ecoeficientes: Posibles soluciones económicamente viables para una industria de materiales cementicios con bajas emisiones de CO₂,» *ScienceDirect*, vol. 114, pp. 2-26, 2018.
- [15] C. A. Pazos Castillo, «DETERMINACIÓN DEL GRADO DE DETERIORO PRODUCIDO POR LA ACCIÓN DEL CLIMA EN DIFERENTES MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN UTILIZADOS EN EDIFICACIONES DE LA CIUDAD DE QUITO,» Quito, 2018.
- [16] A. V. Pincha Tuabanda y G. Y. Valdivieso Pulgar , «Ceniza de cascarilla de arroz en mortero para reducir las patologías por humedad en enlucidos.,» 23 enero 2024. [En línea]. Available: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/12267>. [Último acceso: 10 octubre 2025].
- [17] S. Somayaji, Civil Engineering Materials, Prentice Hall, 2001.
- [18] NTE INEN 2380, CEMENTO HIDRÁULICO. REQUISITOS DE DESEMPEÑO PARA CEMENTO HIDRÁULICOS, Quito, 2011.
- [19] UCEM, «CEMENTO HIDRÁULICO TIPO GU,» 2017.
- [20] C. D. Pilicita Parra y V. F. Puluche Haro, Estudio Del Módulo De Rotura En Mezclas De Hormigón Con Fibra De Abacá Para Pavimento Rígido Considerando Tránsito De Riobamba, Riobamba, 2022.
- [21] E. Muciño Vélez, E. Hernández Monte y R. Valdés Vázquez, Influencia de la arena en la resistencia mecánica del mortero empleando diferentes marcas de cemento, Quito, 2022.
- [22] NTE INEN 2518, MORTERO PARA UNIDADES DE MAMPOSTERÍA. REQUISITOS., Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010.
- [23] A. J. Aliaga Angulo, 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, Perú, 2018.

- [24] NTE INEN 872, ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. REQUISITOS., Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011.
- [25] INEN NTE 696, ÁRIDO ANÁLISIS GRANULOMETRICO EN LOS ÁRIDOS, FINO Y GRUESO, Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011.
- [26] INEN NTE 2502, CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DEL FLUJO EN MORTEROS, Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009.
- [27] Md. Shahjalal, Rishath Sabrin, Hasiba Afrin Eema Bachu, Mirza Md Lutful Habib, Nahreeen Mobasharah y AHM Muntasir Billah, Repurposing waste pozzolans for cleaner mortar production: mechanical and durability properties with microstructural behavior, 2025.
- [28] M. A. Huamaní Mollo y S. Solís Guerra, 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, 2021.
- [29] ASTM C305, PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA MEZCLA MECÁNICA DE PASTAS Y MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO DE CONSISTENCIA PLÁSTICA, 2020.
- [30] ASTM C642, MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA DENSIDAD, ABSORCIÓN Y VACÍOS EN CONCRETO ENDURECIDO, 2006.

ANEXOS

Anexo 1. Dosificación y lecturas del calibrados para la selección del valor en la relación a/c.

- ✓ Dosificación del mortero para los distintos valores de relación a/c

Componente	Relación a/c		
	0,50%	0,60%	0,65%
Agregado fino [g]	400	400	400
Cemento GU [g]	182	182	182
Agua [g]	91	109	118

- ✓ Lecturas y porcentaje de fluidez obtenidos en los ensayos preliminares

# Caídas	Tipo de F.P.	Porcentaje de a/c	Diámetro 1 (mm)	Diámetro 2 (mm)	Diámetro 3 (mm)	Diámetro 4 (mm)	Flujo [%]
25	Ninguno (Patrón)	0,5	18,00	18,50	18,50	18,30	80,25
		0,6	21,00	21,60	20,00	21,00	105,71
		0,65	22,20	23,10	23,50	22,80	125,36

- ✓ Registro fotográfico de los resultados en el laboratorio

Selección de la relación agua-cemento (a/c) con ayuda del ensayo de fluidez		
a/c: 0,50	a/c: 0,60	a/c: 0,65
		
Fluidez: 80,25%	Fluidez: 105,71%	Fluidez: 125,36%

Una vez realizado los respectivos cálculos se evidencia que el mejor resultado en cuanto al ensayo de fluidez es aquella que tiene la relación a/c de 0,6 por ello, se toma este mismo para todas las probetas.

Anexo 2. Ensayo a compresión con el 12,5% y 25,0% de sustitución parcial de F.P. en el cemento.

- ✓ Dosificación para los distintos morteros con el 12,5% y 25,0% de sustitución parcial de F.P. en el cemento.

Dosificación con el remplazo del 10% de F.P. por cada tipo de volcán

Componente	Patrón	Tungurahua (Negro)	Tungurahua (Rojo)	Sangay
Agregado fino [g]	480	480	480	480
Cemento GU [g]	219	192	192	164
F. Piroclástico [g]	-	27	27	55
Agua [g]	131	131	131	131

- ✓ Resultado de cada muestra de los ensayos de compresión (ensayos preliminares) a la edad de 7 días

Contenido de FP	Tipo	Dimensiones (mm)			Área (mm ²)	Máxima Fuerza (KN)	Resistencia (MPa)	Resistencia Promedio
		b	x	h				
10,0%	T. Negro	50,21	x	51,77	2599,37	6,719	2,58	3,00
	T. Negro	50,80	x	51,06	2593,85	10,934	3,81	
	T. Negro	49,92	x	51,20	2555,90	6,633	2,60	
	T. Rojo	49,92	x	51,31	2561,40	8,615	3,36	2,54
	T. Rojo	51,06	x	51,06	2607,12	4,123	1,58	
	T. Rojo	51,11	x	51,41	2627,57	8,534	2,68	
	Sangay	52,09	x	51,40	2677,43	14,017	5,24	6,44
	Sangay	49,91	x	51,67	2578,85	18,907	7,23	
	Sangay	50,99	x	51,56	2629,04	20,902	7,15	

- ✓ Registro fotográfico de los resultados obtenidos en el laboratorio

Selección del porcentaje para la sustitución parcial de F.P. en el cemento tipo GU					
Resultados con un 25% en el V.T.				Resultados con un 12,5% en el V. Sangay	
Negro		Rojo			
Nombre	Max_Fuerza	Nombre	Max_Fuerza		
Parametros	Calc. at Entire Areas	Parametros	Calc. at Entire Areas	Parametros	Calc. at Entire Areas
Unidad	kN	Unidad	kN	Unidad	kN
M6	6.71927	M6	6.71927	M1	11.6113
M7	10.9336	M7	10.9336	M2	20.1244
M8	6.63312	M8	6.63312	M3	14.0165
M9	8.61454	M9	8.61454	M4	18.9069
M10	4.12273	M10	4.12273	M5	20.9017
M11	8.53411	M11	8.53411		
Resistencia a compresión a la edad de 7 días					
3,00 MPa		2,54 MPa		6,44 MPa	

Observando que tiene un mejor desempeño el V. Sangay con el 12,5% se decidió para fines comparativos tomar un valor del 10% para la sustitución parcial en todas las probetas y así tener mejores resultados en cuanto a la resistencia.

Anexo 3. Lecturas del calibrador (Ensayo de fluidez).

# Caídas	Tipo de F. Piroclástico	Porcentaje [%]	Diámetro 1 (mm)	Diámetro 2 (mm)	Diámetro 3 (mm)	Diámetro 4 (mm)	Flujo [%]
25	Ninguno (Patrón)	0	21,00	21,60	20,00	21,00	105,71
	V. Tungurahua (Rojo)	10	22,00	21,20	21,50	21,00	110,88
	V. Tungurahua (Negro)	10	21,80	21,00	21,20	20,90	108,91
	V. Sangay	10	21,00	21,00	21,00	20,80	106,20

Anexo 4. Registro de tiempos para el mortero patrón (Ensayo de fraguado).

# Muestra	Hora			Tiempo [min]	Tiempo Trascurrido [min]	Penetración [mm]
1	10	H	0	0	0	42
2	10	H	30	30	30	42
3	11	H	0	30	60	42
4	11	H	30	30	90	42
5	12	H	0	30	120	41
6	12	H	30	30	150	35
7	13	H	0	30	180	29
8	14	H	0	60	240	7
9	15	H	0	60	300	1

Anexo 5. Registro de los tiempos de fraguado del mortero con flujo piroclástico V.

Tungurahua (Rojo)

# Muestra	Hora			Tiempo [min]	Tiempo Trascurrido [min]	Penetración [mm]
1	9	H	25	0	0	42
2	9	H	55	30	30	42
3	10	H	25	30	60	42
4	10	H	55	30	90	41
5	11	H	25	30	120	34
6	11	H	55	30	150	32
7	12	H	25	30	180	23
8	12	H	55	30	210	11
9	13	H	25	30	240	6
10	14	H	25	60	300	1

Anexo 6. Registro de los tiempos de fraguado del mortero con flujo piroclástico V.

Tungurahua (Negro)

# Muestra	Hora			Tiempo [min]	Tiempo Trascurrido [min]	Penetración [mm]
1	9	H	30	0	0	42
2	10	H	0	30	30	42
3	10	H	30	30	60	42
4	11	H	0	30	90	42
5	11	H	30	30	120	38
6	12	H	0	30	150	33
7	12	H	30	30	180	28
8	13	H	0	30	210	24
9	14	H	0	60	270	6
10	15	H	0	60	330	1

Anexo 7. Registro de los tiempos de fraguado del mortero con flujo piroclástico V.
Sangay

# Muestra	Hora			Tiempo [min]	Tiempo Trascurrido [min]	Penetración [mm]
1	8	H	40	0	0	41
2	9	H	10	30	30	41
3	9	H	40	30	60	41
4	10	H	10	30	90	41
5	10	H	40	30	120	39
6	11	H	10	30	150	35
7	11	H	40	30	180	30
8	12	H	10	30	210	24
9	12	H	40	30	240	20
10	13	H	10	30	270	11
11	14	H	10	60	330	4
12	14	H	40	30	360	1

Anexo 8. Resultado de cada muestra de los ensayos de compresión

7 DIAS	Ensayo del 19/03/2026								
Contenido de FP	Tipo	Dimensiones (mm)			Área (mm2)	Máxima Fuerza (KN)	Resistencia (MPa)	Resistencia Promedio	Desviación Estándar
		b	x	h					
0,0%	Patrón	50,24	x	52,67	2646,14	14,618	5,52	7,16	1,961
	Patrón	50,42	x	52,64	2654,11	17,589	6,63		
	Patrón	50,25	x	51,91	2608,48	24,352	9,34		
10,0%	T. Negro	50,2	x	51,20	2570,24	22,899	8,91	8,96	0,392
	T. Negro	51,76	x	50,93	2636,14	24,7243	9,38		
	T. Negro	50,56	x	51,21	2589,18	22,2677	8,60		
	T. Rojo	51,04	x	51,7	2638,77	22,6173	8,57	8,19	2,574
	T. Rojo	50,09	x	50,9	2549,58	13,8903	5,45		
	T. Rojo	50,73	x	50,71	2572,52	27,1505	10,55		
	Sangay	51,00	x	51,02	2602,02	22,5379	8,66	8,01	1,210
	Sangay	49,26	x	51,52	2537,88	22,2225	8,76		
	Sangay	50,48	x	51,29	2589,12	17,1288	6,62		
14 DIAS	Ensayo del 26/03/2026								
Contenido de FP	Tipo	Dimensiones (mm)			Área (mm2)	Máxima Fuerza (KN)	Resistencia (MPa)	Resistencia Promedio	Desviación Estándar
		b	x	h					
0,0%	Patrón	50,94	x	51,29	2612,71	25,229	9,66	10,43	0,568
	Patrón	50,89	x	51,72	2632,03		10,08		
	Patrón	51,16	x	51,41	2630,14		28,357		
10,0%	T. Negro	51,71	x	52,00	2688,92	27,5307	10,24	10,16	0,073
	T. Negro	49,96	x	51,49	2572,44	26,0655	10,13		
	T. Negro	50,59	x	51,83	2622,08	26,4791	10,10		
	T. Rojo	49,25	x	51,23	2523,08	23,0935	9,15	8,60	0,528
	T. Rojo	51,62	x	51,94	2681,14	21,7241	8,10		
	T. Rojo	50,53	x	50,47	2550,25	21,7644	8,53		
	Sangay	50,53	x	51,49	2601,79	20,9271	8,04	7,98	0,059
	Sangay	51,28	x	50,75	2602,46	20,6318	7,93		
	Sangay	50,84	x	51,3	2608,09	20,7739	7,97		

21 DIAS	Ensayo del 02/04/2026								
Contenido de FP	Tipo	Dimensiones (mm)			Área (mm2)	Máxima Fuerza (KN)	Resistencia (MPa)	Resistencia Promedio	Desviación Estándar
		b	x	h					
0,0%	Patrón	50,91	x	51,88	2641,21	31,678	11,99	12,39	2,405
	Patrón	51,15	x	52,59	2689,98	27,438	10,20		
	Patrón	49,82	x	51,38	2559,75	38,297	14,96		
10,0%	T. Negro	51,51	x	52,10	2683,67	26,038	9,70	10,84	1,930
	T. Negro	50,66	x	50,92	2579,61	25,158	9,75		
	T. Negro	52,00	x	52,05	2706,60	35,376	13,07		
	T. Rojo	50,81	x	51,01	2591,82	28,828	11,12	10,46	0,633
	T. Rojo	49,79	x	50,17	2497,96	25,996	10,41		
	T. Rojo	51,61	x	51,65	2665,66	26,286	9,86		
	Sangay	50,20	x	50,97	2558,69	18,828	7,36	8,01	1,657
	Sangay	49,13	x	51,05	2508,09	16,990	6,77		
	Sangay	49,83	x	51,51	2566,74	25,389	9,89		
28 DIAS	Ensayo del 09/04/2026								
Contenido de FP	Tipo	Dimensiones (mm)			Área (mm2)	Máxima Fuerza (KN)	Resistencia (MPa)	Resistencia Promedio	Desviación Estándar
		b	x	h					
0,0%	Patrón	51,74	x	50,65	2620,63	37,438	14,29	14,20	0,213
	Patrón	50,81	x	50,42	2561,84	36,764	14,35		
	Patrón	50,31	x	51,41	2586,44	36,089	13,95		
10,0%	T. Negro	50,21	x	51,77	2599,37	35,249	13,56	13,22	1,023
	T. Negro	50,80	x	51,06	2593,85	31,311	12,07		
	T. Negro	49,92	x	51,20	2555,90	35,861	14,03		
	T. Rojo	49,92	x	51,31	2561,40	36,155	14,12	12,37	1,654
	T. Rojo	51,06	x	51,06	2607,12	28,221	10,82		
	T. Rojo	51,11	x	51,41	2627,57	31,999	12,18		
	Sangay	52,09	x	51,40	2677,43	29,659	11,08	12,31	1,158
	Sangay	49,91	x	51,67	2578,85	32,166	12,47		
	Sangay	50,99	x	51,56	2629,04	35,166	13,38		

Anexo 9. Resultado de cada muestra de los pesos y para el cálculo de densidad en los morteros

7 DIAS										
Contenido de FP	Tipo	Dimensiones s (mm)					Volumen (m3)	Masa (kg)	Densidad (kg/m3)	Densidad Promedio
		b	x	h	x	e				
0,0%	Patrón	50,24	x	52,67	x	51,13	0,0001353	0,300	2217,34	2210,98
	Patrón	50,42	x	52,64	x	51,10	0,0001356	0,298	2197,24	
	Patrón	50,25	x	51,91	x	50,98	0,0001330	0,295	2218,38	
10,0%	T. Negro	50,2	x	51,20	x	51,30	0,0001319	0,281	2131,16	2130,20
	T. Negro	51,76	x	50,93	x	52,38	0,0001381	0,294	2129,19	
	T. Negro	50,56	x	51,21	x	50,04	0,0001296	0,276	2130,25	
	T. Rojo	51,04	x	51,7	x	51,83	0,0001368	0,288	2105,77	2103,92
	T. Rojo	50,09	x	50,9	x	51,75	0,0001319	0,277	2099,43	
	T. Rojo	50,73	x	50,71	x	50,93	0,0001310	0,276	2106,58	
	Sangay	51	x	51,02	x	51,81	0,0001348	0,285	2114,08	2113,03
	Sangay	49,26	x	51,52	x	49,21	0,0001249	0,264	2113,88	
	Sangay	50,48	x	51,29	x	50,86	0,0001317	0,278	2111,14	
14 DIAS										
Contenido de FP	Tipo	Dimensiones s (mm)					Volumen (mm3)	Masa (kg)	Densidad (kg/m3)	Densidad Promedio
		b	x	h	x	e				
0,0%	Patrón	50,94	x	51,29	x	50,60	0,0001322	0,301	2276,80	2270,98
	Patrón	50,89	x	51,72	x	50,62	0,0001332	0,302	2266,70	
	Patrón	51,16	x	51,41	x	50,93	0,0001340	0,304	2269,46	
10,0%	T. Negro	51,71	x	52,00	x	51,81	0,0001393	0,299	2146,25	2144,32
	T. Negro	49,96	x	51,49	x	51,92	0,0001336	0,286	2141,34	
	T. Negro	50,59	x	51,83	x	51,73	0,0001356	0,291	2145,38	
	T. Rojo	49,25	x	51,23	x	51,69	0,0001304	0,277	2123,94	2125,88
	T. Rojo	51,62	x	51,94	x	51,61	0,0001384	0,294	2124,68	
	T. Rojo	50,53	x	50,47	x	51,57	0,0001315	0,280	2129,01	
	Sangay	50,53	x	51,49	x	50,22	0,0001307	0,281	2150,59	2151,15
	Sangay	51,28	x	50,75	x	50,37	0,0001311	0,282	2151,26	
	Sangay	50,84	x	51,3	x	50,61	0,0001320	0,284	2151,59	

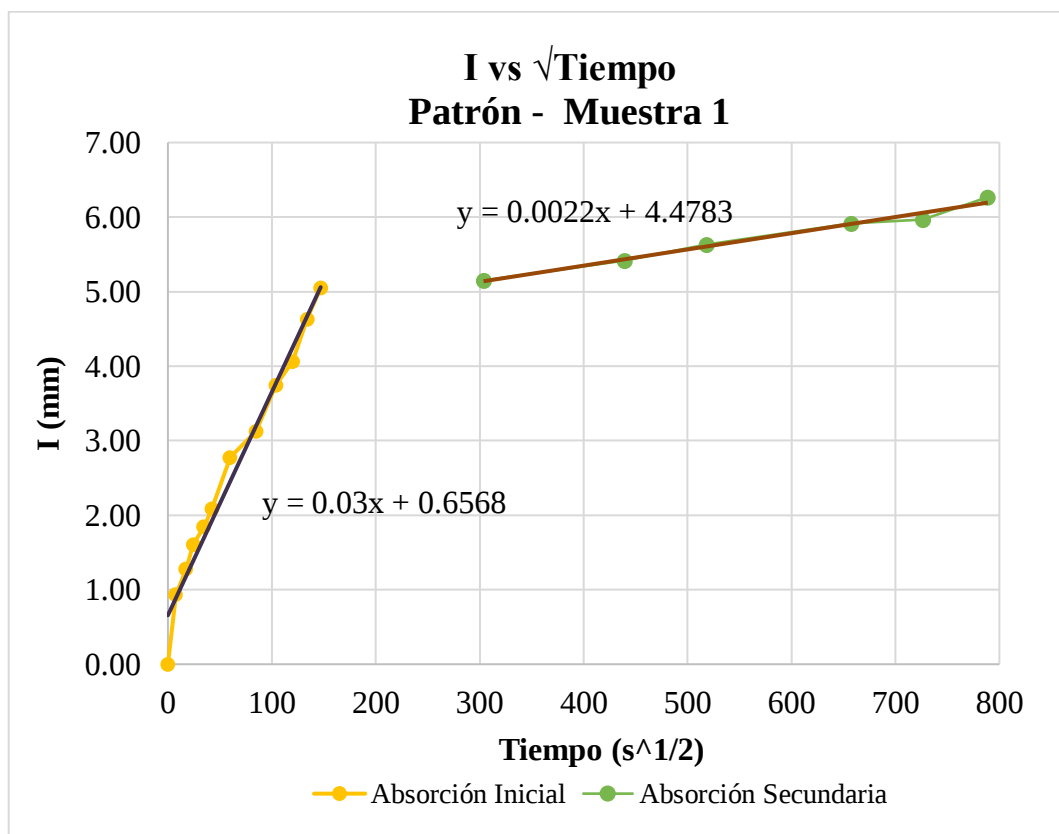
21 DIAS										
Contenido de FP	Tipo	Dimensiones s (mm)					Volumen (mm3)	Masa (kg)	Densidad (kg/m3)	Densidad Promedio
		b	x	h	x	e				
0,0%	Patrón	50,91	x	51,88	x	51,40	0,0001358	0,311	2290,84	2295,81
	Patrón	51,15	x	52,59	x	51,41	0,0001383	0,318	2299,49	
	Patrón	49,82	x	51,38	x	51,36	0,0001315	0,302	2297,12	
10,0%	T. Negro	51,51	x	52,10	x	51,26	0,0001376	0,302	2195,33	2198,35
	T. Negro	50,66	x	50,92	x	51,30	0,0001323	0,291	2198,98	
	T. Negro	52,00	x	52,05	x	51,54	0,0001395	0,307	2200,75	
	T. Rojo	50,81	x	51,01	x	51,38	0,0001332	0,284	2132,65	2135,64
	T. Rojo	49,79	x	50,17	x	51,15	0,0001278	0,273	2136,64	
	T. Rojo	51,61	x	51,65	x	51,42	0,0001371	0,293	2137,62	
	Sangay	50,20	x	50,97	x	50,05	0,0001281	0,271	2116,15	2171,91
	Sangay	49,13	x	51,05	x	50,15	0,0001258	0,285	2265,85	
	Sangay	49,83	x	51,51	x	50,03	0,0001284	0,274	2133,72	
28 DIAS										
Contenido de FP	Tipo	Dimensiones s (mm)					Volumen (mm3)	Masa (kg)	Densidad (kg/m3)	Densidad Promedio
		b	x	h	x	e				
0,0%	Patrón	51,74	x	50,65	x	51,08	0,0001339	0,313	2338,23	2334,68
	Patrón	50,81	x	50,42	x	50,97	0,0001306	0,305	2335,79	
	Patrón	50,31	x	51,41	x	50,61	0,0001309	0,305	2330,03	
10,0%	T. Negro	50,21	x	51,77	x	51,21	0,0001331	0,299	2246,20	2248,57
	T. Negro	50,80	x	51,06	x	51,03	0,0001324	0,298	2251,37	
	T. Negro	49,92	x	51,20	x	51,34	0,0001312	0,295	2248,13	
	T. Rojo	49,92	x	51,31	x	51,33	0,0001315	0,284	2160,08	2164,84
	T. Rojo	51,06	x	51,06	x	51,43	0,0001341	0,291	2170,28	
	T. Rojo	51,11	x	51,41	x	51,35	0,0001349	0,292	2164,16	
	Sangay	52,09	x	51,40	x	49,67	0,0001330	0,290	2180,65	2183,03
	Sangay	49,91	x	51,67	x	49,85	0,0001286	0,281	2185,82	
	Sangay	50,99	x	51,56	x	50,19	0,0001320	0,288	2182,62	

Anexo 10. Resultados del ensayo de sorptividad (ASTM C1585)

Patrón - Muestra 1

$$\text{Dimensión del cubo} = 50,10 \text{ mm} \cdot 51,05 \text{ mm} = 2557,61 \text{ mm}^2$$

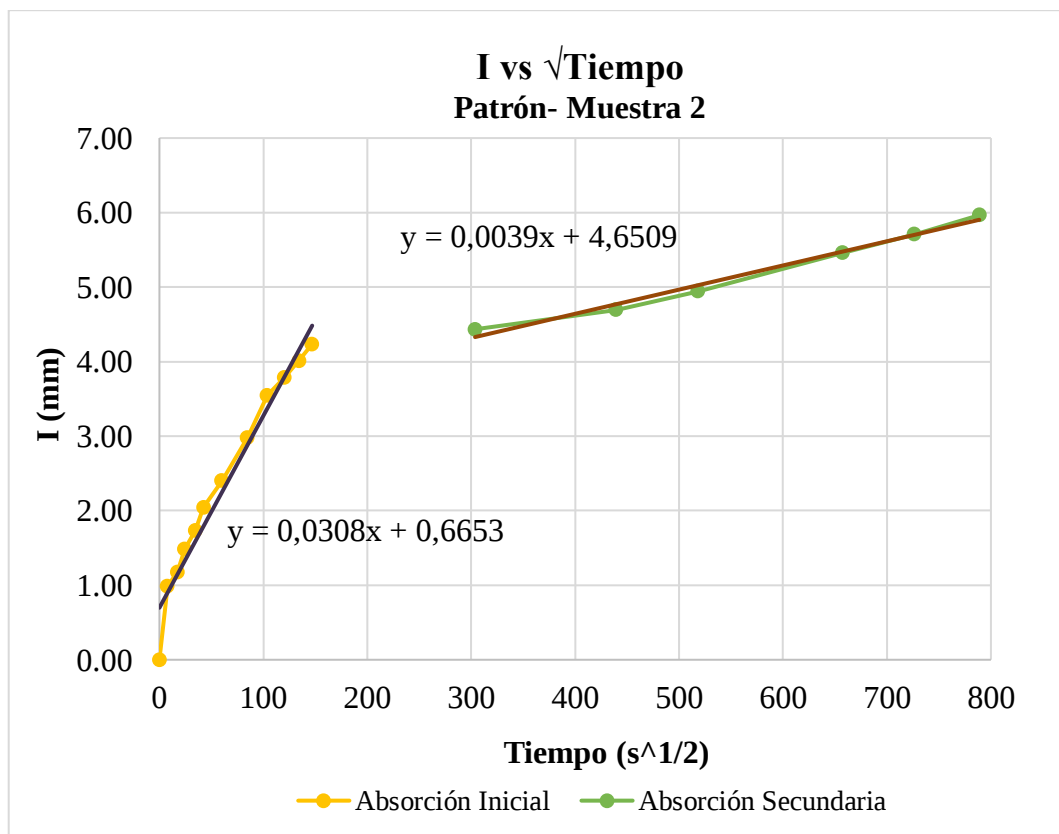
	Tiempo de ensayo				$\sqrt{\text{Tiempo}}$ (s ^{1/2})	Masa (g)	Cambio en la masa (g)	Absorción (mm)
	Día	s	min	hora				
Absorción Inicial		0	0	0,0	0	260,86	0	0,00
		60	1	0,0	8	263,25	2,39	0,93
		300	5	0,1	17	264,13	3,27	1,28
		600	10	0,2	24	264,98	4,12	1,61
		1200	20	0,3	35	265,58	4,72	1,85
		1800	30	0,5	42	266,19	5,33	2,08
		3600	60	1,0	60	267,96	7,1	2,78
		7200	120	2,0	85	268,85	7,99	3,12
		10800	180	3,0	104	270,43	9,57	3,74
		14400	240	4,0	120	271,25	10,39	4,06
Absorción Secundaria	1	92220	1537	25,6	304	274,03	13,17	5,15
	2	193200	3220	53,7	440	274,71	13,85	5,42
	3	268500	4475	74,6	518	275,26	14,4	5,63
	5	432000	7200	120,0	657	275,98	15,12	5,91
	6	527580	8793	146,6	726	276,11	15,25	5,96
	7	622200	10370	172,8	789	276,89	16,03	6,27



Patrón - Muestra 2

$$\text{Dimensión del cubo} = 49,98 \text{ mm} \cdot 51,12 \text{ mm} = 2554,98 \text{ mm}^2$$

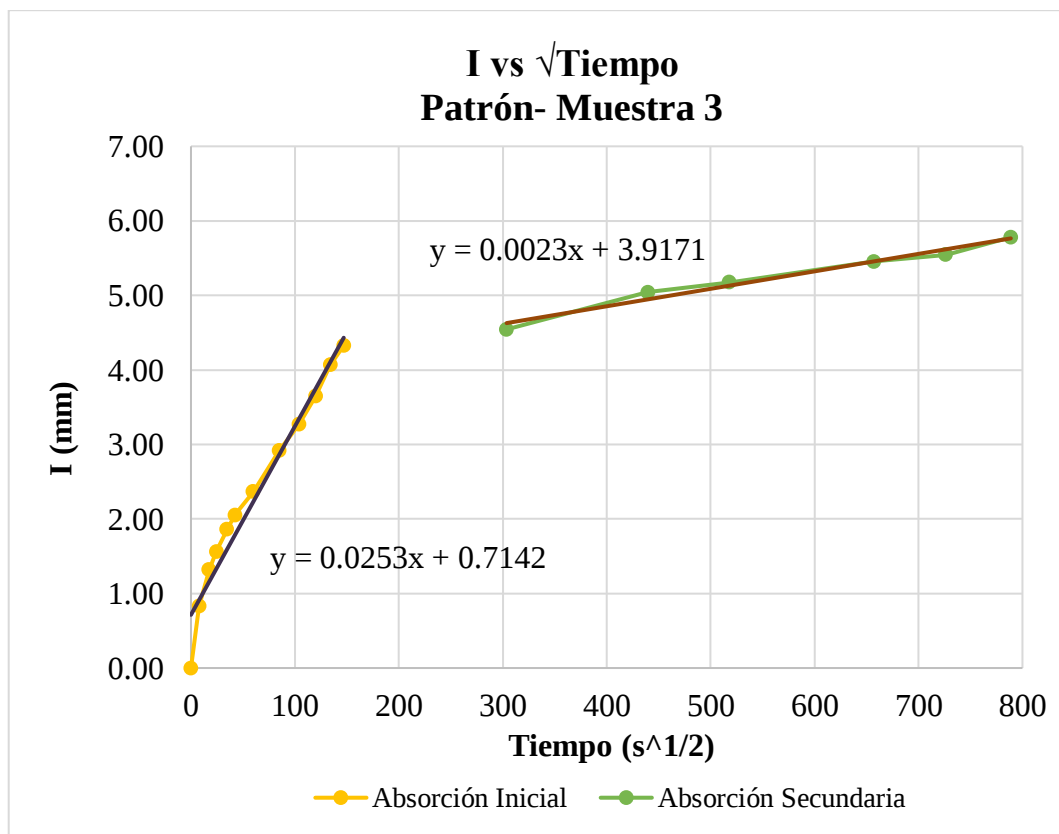
	Tiempo de ensayo				$\sqrt{\text{Tiempo}}$ (s ^{1/2})	Masa (g)	Cambio en la masa (g)	Absorción (mm)
	Día	s	min	hora				
Absorción Inicial		0	0	0,0	0	257,92	0	0,00
		60	1	0,0	8	260,44	2,52	0,99
		300	5	0,1	17	260,92	3	1,17
		600	10	0,2	24	261,72	3,8	1,49
		1200	20	0,3	35	262,34	4,42	1,73
		1800	30	0,5	42	263,14	5,22	2,04
		3600	60	1,0	60	264,05	6,13	2,40
		7200	120	2,0	85	265,54	7,62	2,98
		10800	180	3,0	104	266,98	9,06	3,55
		14400	240	4,0	120	267,59	9,67	3,78
Absorción Secundaria	1	92220	1537	25,6	304	269,25	11,33	4,43
	2	193200	3220	53,7	440	269,91	11,99	4,69
	3	268500	4475	74,6	518	270,55	12,63	4,94
	5	432000	7200	120,0	657	271,87	13,95	5,46
	6	527580	8793	146,6	726	272,51	14,59	5,71
	7	622200	10370	172,8	789	273,16	15,24	5,96



Patrón - Muestra 3

$$\text{Dimensión del cubo} = 50,18 \text{ mm} \cdot 52,85 \text{ mm} = 2652,01 \text{ mm}^2$$

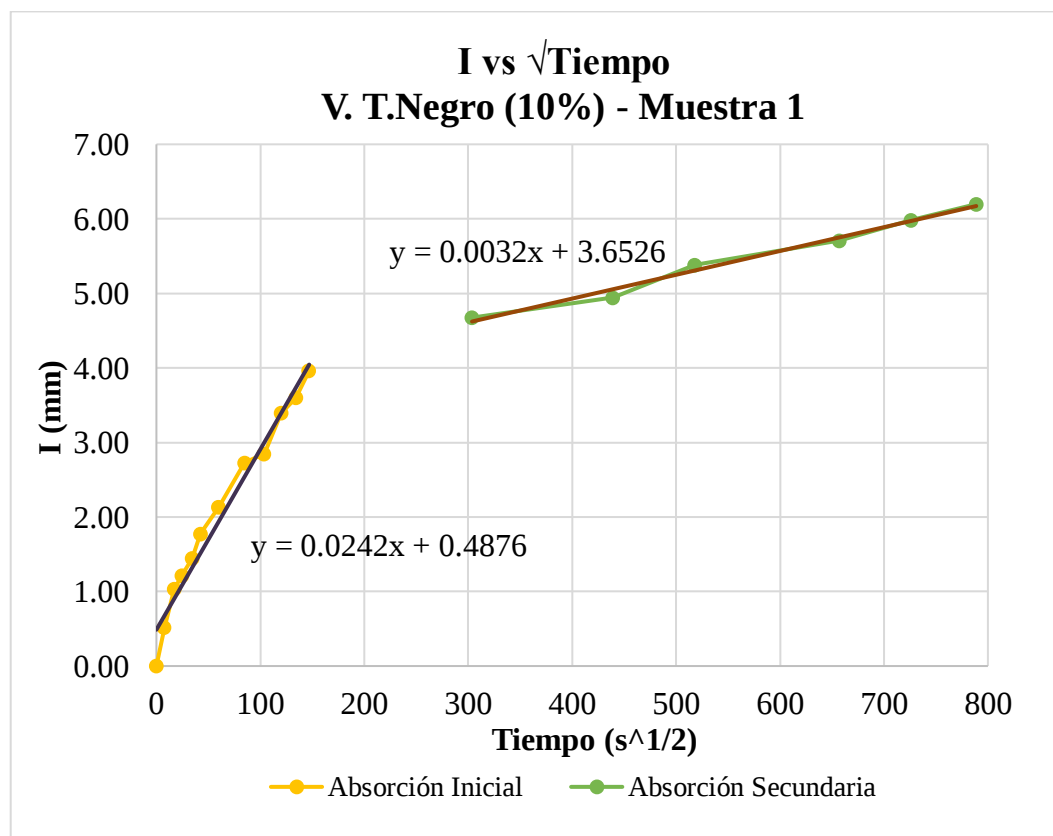
	Tiempo de ensayo				$\sqrt{\text{Tiempo}}$ (s ^{1/2})	Masa (g)	Cambio en la masa (g)	Absorción (mm)
	Día	s	min	hora				
Absorción Inicial		0	0	0,0	0	265,98	0	0,00
		60	1	0,0	8	268,18	2,2	0,83
		300	5	0,1	17	269,48	3,5	1,32
		600	10	0,2	24	270,13	4,15	1,56
		1200	20	0,3	35	270,91	4,93	1,86
		1800	30	0,5	42	271,42	5,44	2,05
		3600	60	1,0	60	272,25	6,27	2,36
		7200	120	2,0	85	273,71	7,73	2,91
		10800	180	3,0	104	274,65	8,67	3,27
		14400	240	4,0	120	275,65	9,67	3,65
Absorción Secundaria	1	92220	1537	25,6	304	278,03	12,05	4,54
	2	193200	3220	53,7	440	279,35	13,37	5,04
	3	268500	4475	74,6	518	279,71	13,73	5,18
	5	432000	7200	120,0	657	280,45	14,47	5,46
	6	527580	8793	146,6	726	280,69	14,71	5,55
	7	622200	10370	172,8	789	281,31	15,33	5,78



V. Tungurahua (Negro – 10%) - Muestra 1

$$\text{Dimensión del cubo} = 50,55 \text{ mm} \cdot 51,20 \text{ mm} = 2588,16 \text{ mm}^2$$

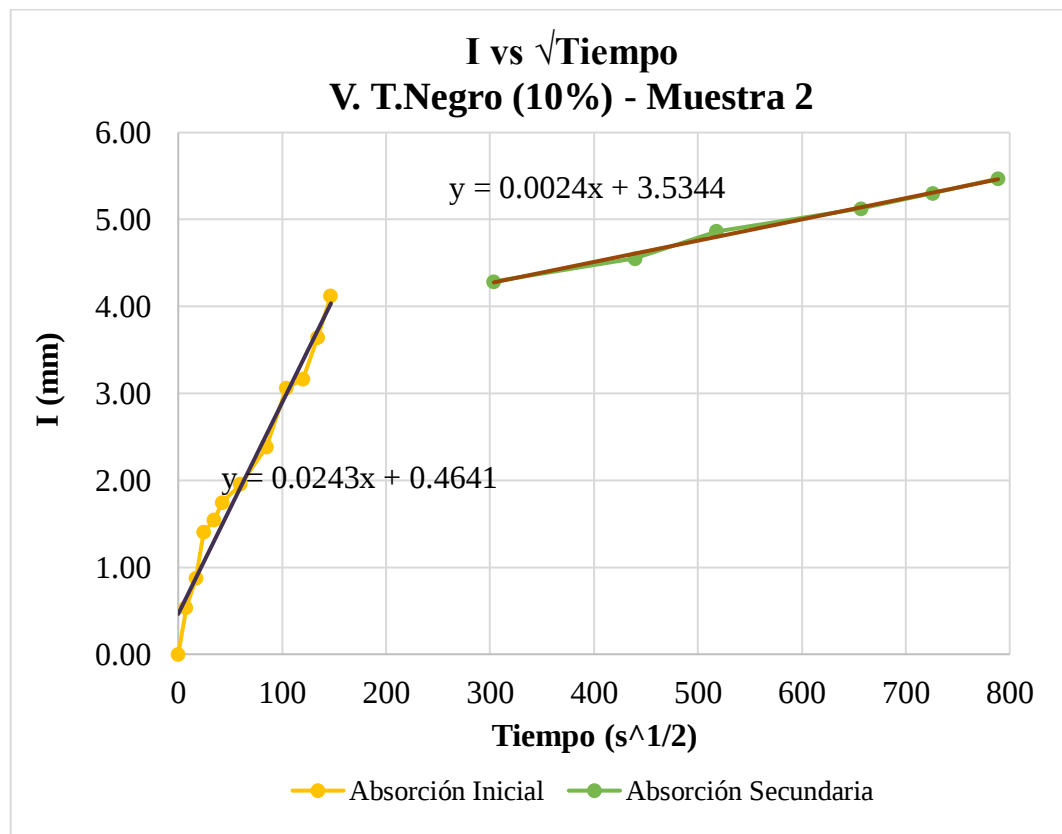
	Tiempo de ensayo				$\sqrt{\text{Tiempo}}$ (s ^{1/2})	Masa (g)	Cambio en la masa (g)	Absorción (mm)
	Día	s	min	hora				
Absorción Inicial		0	0	0,0	0	265,78	0	0,00
		60	1	0,0	8	267,12	1,34	0,52
		300	5	0,1	17	268,45	2,67	1,03
		600	10	0,2	24	268,93	3,15	1,22
		1200	20	0,3	35	269,52	3,74	1,45
		1800	30	0,5	42	270,37	4,59	1,77
		3600	60	1,0	60	271,31	5,53	2,14
		7200	120	2,0	85	272,84	7,06	2,73
		10800	180	3,0	104	273,15	7,37	2,85
		14400	240	4,0	120	274,56	8,78	3,39
		18000	300	5,0	134	275,09	9,31	3,60
		21600	360	6,0	147	276,03	10,25	3,96
Absorción Secundaria	1	92220	1537	25,6	304	277,88	12,1	4,68
	2	193200	3220	53,7	440	278,57	12,79	4,94
	3	268500	4475	74,6	518	279,71	13,93	5,38
	5	432000	7200	120,0	657	280,55	14,77	5,71
	6	527580	8793	146,6	726	281,26	15,48	5,98
	7	622200	10370	172,8	789	281,82	16,04	6,20



V. Tungurahua (Negro – 10%) - Muestra 2

$$\text{Dimensión del cubo} = 51,02 \text{ mm} \cdot 51,06 \text{ mm} = 2605,08 \text{ mm}^2$$

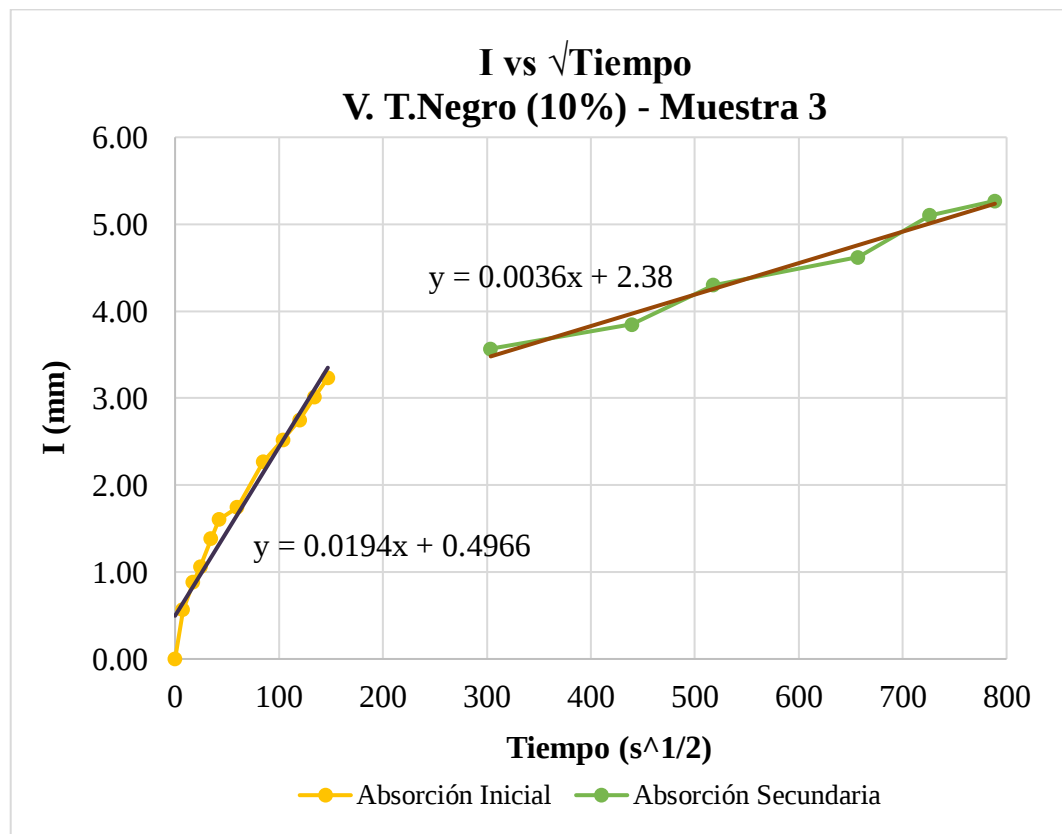
	Tiempo de ensayo				$\sqrt{\text{Tiempo}}$ (s ^{1/2})	Masa (g)	Cambio en la masa (g)	Absorción (mm)
	Día	s	min	hora				
Absorción Inicial		0	0	0,0	0	274,98	0	0,00
		60	1	0,0	8	276,37	1,39	0,53
		300	5	0,1	17	277,26	2,28	0,88
		600	10	0,2	24	278,64	3,66	1,40
		1200	20	0,3	35	279,01	4,03	1,55
		1800	30	0,5	42	279,53	4,55	1,75
		3600	60	1,0	60	280,08	5,1	1,96
		7200	120	2,0	85	281,19	6,21	2,38
		10800	180	3,0	104	282,95	7,97	3,06
		14400	240	4,0	120	283,22	8,24	3,16
		18000	300	5,0	134	284,47	9,49	3,64
		21600	360	6,0	147	285,73	10,75	4,13
Absorción Secundaria	1	92220	1537	25,6	304	286,15	11,17	4,29
	2	193200	3220	53,7	440	286,84	11,86	4,55
	3	268500	4475	74,6	518	287,65	12,67	4,86
	5	432000	7200	120,0	657	288,33	13,35	5,12
	6	527580	8793	146,6	726	288,79	13,81	5,30
	7	622200	10370	172,8	789	289,23	14,25	5,47



V. Tungurahua (Negro – 10%) - Muestra 3

$$\text{Dimensión del cubo} = 51,06 \text{ mm} \cdot 51,15 \text{ mm} = 2611,72 \text{ mm}^2$$

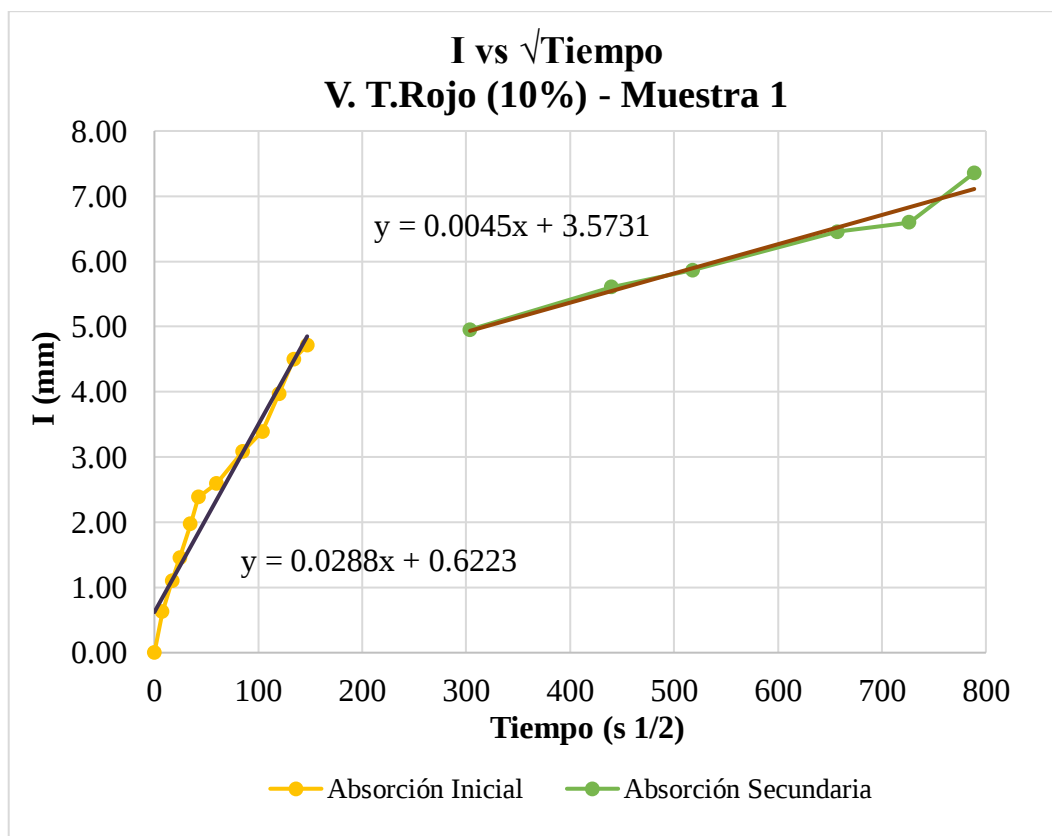
	Tiempo de ensayo				$\sqrt{\text{Tiempo}}$ (s ^{1/2})	Masa (g)	Cambio en la masa (g)	Absorción (mm)
	Día	s	min	hora				
Absorción Inicial		0	0	0,0	0	266,47	0	0,00
		60	1	0,0	8	267,95	1,48	0,57
		300	5	0,1	17	268,78	2,31	0,88
		600	10	0,2	24	269,25	2,78	1,06
		1200	20	0,3	35	270,09	3,62	1,39
		1800	30	0,5	42	270,66	4,19	1,60
		3600	60	1,0	60	271,03	4,56	1,75
		7200	120	2,0	85	272,39	5,92	2,27
		10800	180	3,0	104	273,06	6,59	2,52
		14400	240	4,0	120	273,65	7,18	2,75
		18000	300	5,0	134	274,34	7,87	3,01
		21600	360	6,0	147	274,91	8,44	3,23
Absorción Secundaria	1	92220	1537	25,6	304	275,79	9,32	3,57
	2	193200	3220	53,7	440	276,52	10,05	3,85
	3	268500	4475	74,6	518	277,70	11,23	4,30
	5	432000	7200	120,0	657	278,54	12,07	4,62
	6	527580	8793	146,6	726	279,80	13,33	5,10
	7	622200	10370	172,8	789	280,23	13,76	5,27



V. Tungurahua (Rojo – 10%) - Muestra 1

$$\text{Dimensión del cubo} = 49,54 \text{ mm} \cdot 50,65 \text{ mm} = 2509,201 \text{ mm}^2$$

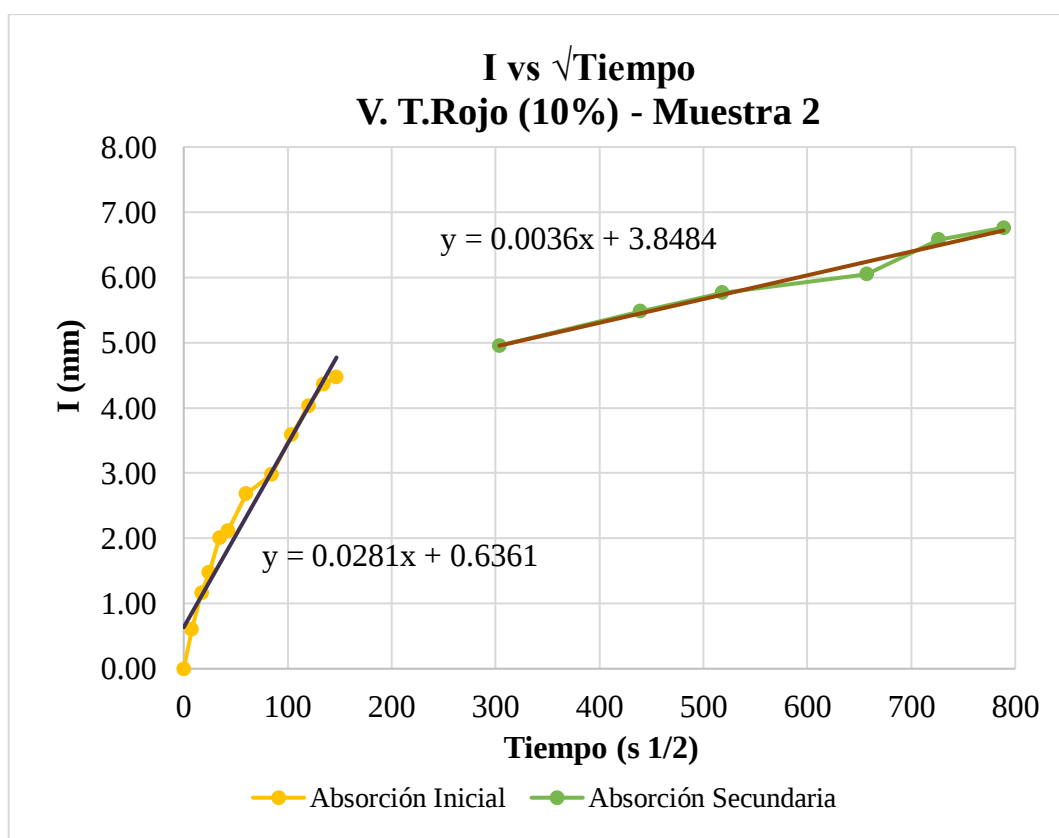
	Tiempo de ensayo				$\sqrt{\text{Tiempo}}$ (s ^{1/2})	Masa (g)	Cambio en la masa (g)	Absorción (mm)
	Día	s	min	hora				
Absorción Inicial		0	0	0,0	0	263,59	0	0,00
		60	1	0,0	8	265,17	1,58	0,63
		300	5	0,1	17	266,36	2,77	1,10
		600	10	0,2	24	267,25	3,66	1,46
		1200	20	0,3	35	268,54	4,95	1,97
		1800	30	0,5	42	269,58	5,99	2,39
		3600	60	1,0	60	270,11	6,52	2,60
		7200	120	2,0	85	271,33	7,74	3,08
		10800	180	3,0	104	272,10	8,51	3,39
		14400	240	4,0	120	273,55	9,96	3,97
Absorción Secundaria	1	92220	1537	25,6	304	276,02	12,43	4,95
	2	193200	3220	53,7	440	277,66	14,07	5,61
	3	268500	4475	74,6	518	278,31	14,72	5,87
	5	432000	7200	120,0	657	279,79	16,2	6,46
	6	527580	8793	146,6	726	280,14	16,55	6,60
	7	622200	10370	172,8	789	282,05	18,46	7,36



V. Tungurahua (Rojo – 10%) - Muestra 2

$$\text{Dimensión del cubo} = 50,80 \text{ mm} \cdot 50,74 \text{ mm} = 2577,59 \text{ mm}^2$$

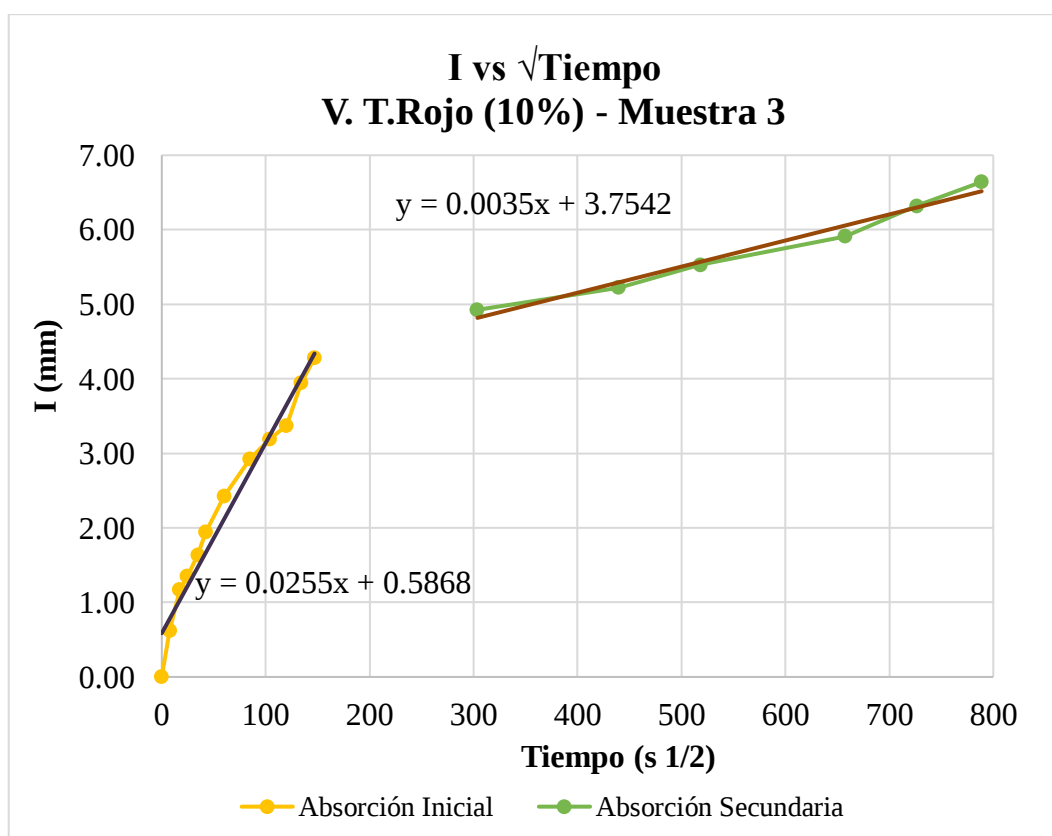
	Tiempo de ensayo				$\sqrt{\text{Tiempo}}$ (s ^{1/2})	Masa (g)	Cambio en la masa (g)	Absorción (mm)
	Día	s	min	hora				
Absorción Inicial		0	0	0,0	0	268,67	0	0,00
		60	1	0,0	8	270,23	1,56	0,61
		300	5	0,1	17	271,68	3,01	1,17
		600	10	0,2	24	272,47	3,8	1,47
		1200	20	0,3	35	273,85	5,18	2,01
		1800	30	0,5	42	274,12	5,45	2,11
		3600	60	1,0	60	275,59	6,92	2,68
		7200	120	2,0	85	276,36	7,69	2,98
		10800	180	3,0	104	277,91	9,24	3,58
		14400	240	4,0	120	279,07	10,4	4,03
Absorción Secundaria	1	92220	1537	25,6	304	281,44	12,77	4,95
	2	193200	3220	53,7	440	282,8	14,13	5,48
	3	268500	4475	74,6	518	283,53	14,86	5,77
	5	432000	7200	120,0	657	284,26	15,59	6,05
	6	527580	8793	146,6	726	285,63	16,96	6,58
	7	622200	10370	172,8	789	286,1	17,43	6,76



V. Tungurahua (Rojo – 10%) - Muestra 3

$$\text{Dimensión del cubo} = 49,48 \text{ mm} \cdot 50,51 \text{ mm} = 2499,24 \text{ mm}^2$$

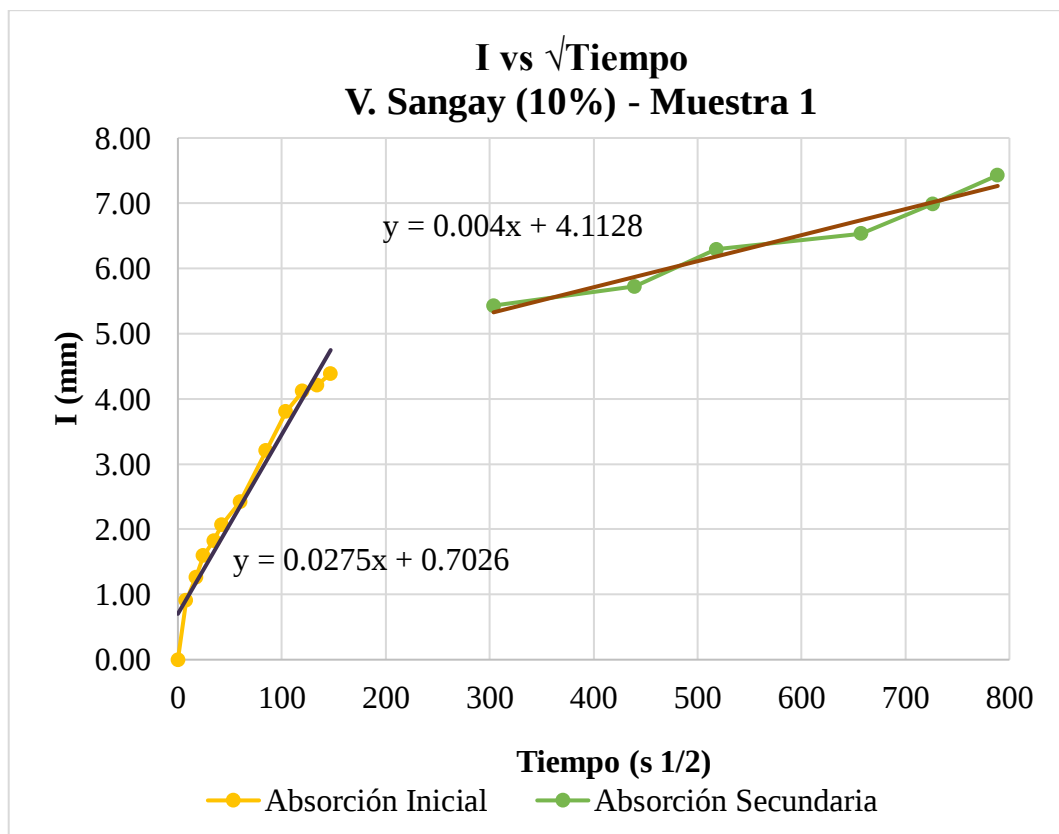
	Tiempo de ensayo				$\sqrt{\text{Tiempo}}$ (s ^{1/2})	Masa (g)	Cambio en la masa (g)	Absorción (mm)
	Día	s	min	hora				
Absorción Inicial		0	0	0,0	0	266,78	0	0,00
		60	1	0,0	8	268,33	1,55	0,62
		300	5	0,1	17	269,7	2,92	1,17
		600	10	0,2	24	270,15	3,37	1,35
		1200	20	0,3	35	270,87	4,09	1,64
		1800	30	0,5	42	271,64	4,86	1,94
		3600	60	1,0	60	272,84	6,06	2,42
		7200	120	2,0	85	274,09	7,31	2,92
		10800	180	3,0	104	274,76	7,98	3,19
		14400	240	4,0	120	275,21	8,43	3,37
Absorción Secundaria	1	92220	1537	25,6	304	279,09	12,31	4,93
	2	193200	3220	53,7	440	279,84	13,06	5,23
	3	268500	4475	74,6	518	280,6	13,82	5,53
	5	432000	7200	120,0	657	281,55	14,77	5,91
	6	527580	8793	146,6	726	282,57	15,79	6,32
	7	622200	10370	172,8	789	283,38	16,6	6,64



V. Sangay (10%) - Muestra 1

$$\text{Dimensión del cubo} = 49,85 \text{ mm} \cdot 51,06 \text{ mm} = 2545,34 \text{ mm}^2$$

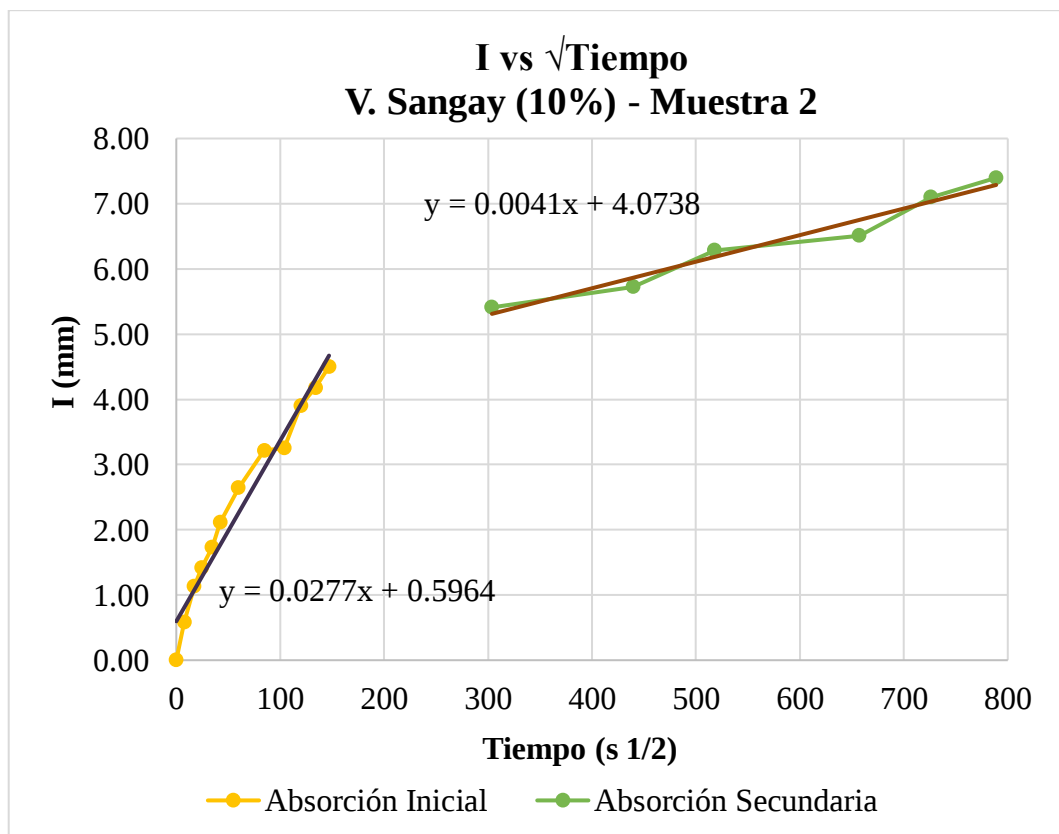
	Tiempo de ensayo				$\sqrt{\text{Tiempo}}$ (s ^{1/2})	Masa (g)	Cambio en la masa (g)	Absorción (mm)
	Día	s	min	hora				
Absorción Inicial		0	0	0,0	0	257,86	0	0,00
		60	1	0,0	8	260,17	2,31	0,91
		300	5	0,1	17	261,07	3,21	1,26
		600	10	0,2	24	261,92	4,06	1,60
		1200	20	0,3	35	262,51	4,65	1,83
		1800	30	0,5	42	263,13	5,27	2,07
		3600	60	1,0	60	264,02	6,16	2,42
		7200	120	2,0	85	266,01	8,15	3,20
		10800	180	3,0	104	267,54	9,68	3,80
		14400	240	4,0	120	268,34	10,48	4,12
		18000	300	5,0	134	268,58	10,72	4,21
		21600	360	6,0	147	269,03	11,17	4,39
Absorción Secundaria	1	92220	1537	25,6	304	271,68	13,82	5,43
	2	193200	3220	53,7	440	272,43	14,57	5,72
	3	268500	4475	74,6	518	273,87	16,01	6,29
	5	432000	7200	120,0	657	274,49	16,63	6,53
	6	527580	8793	146,6	726	275,65	17,79	6,99
	7	622200	10370	172,8	789	276,77	18,91	7,43



V. Sangay (10%) - Muestra 2

$$\text{Dimensión del cubo} = 50,27 \text{ mm} \cdot 51,07 \text{ mm} = 2567,29 \text{ mm}^2$$

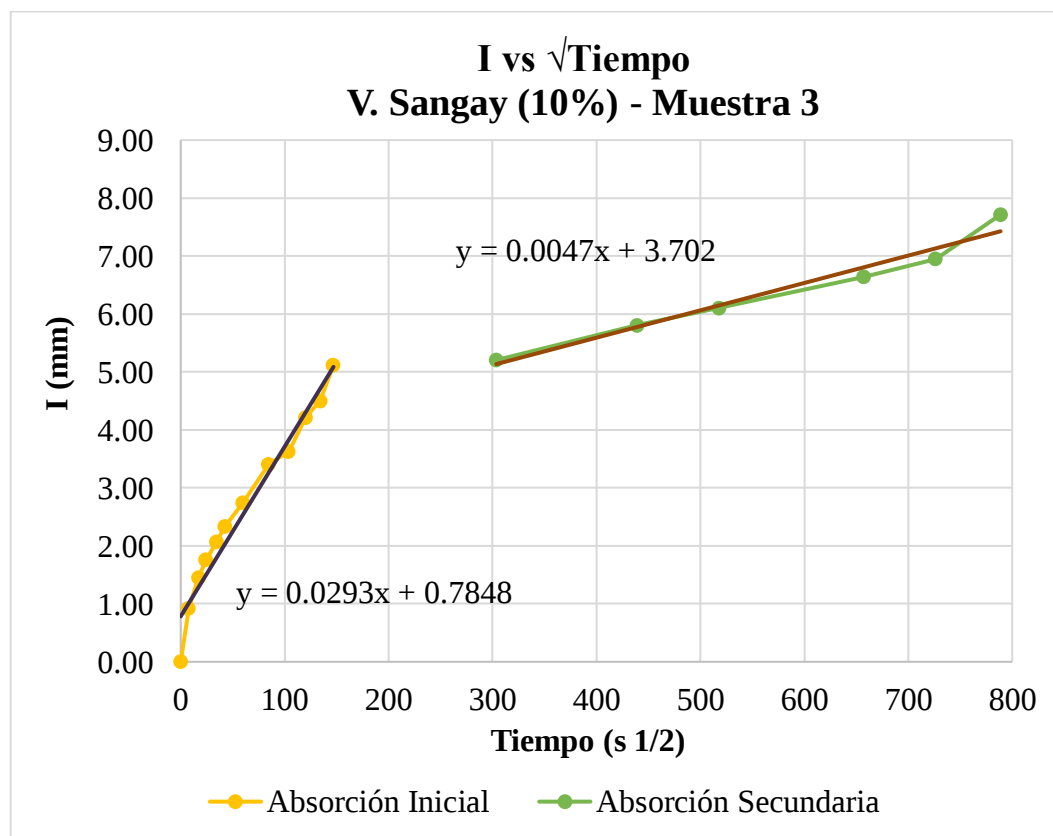
	Tiempo de ensayo				$\sqrt{\text{Tiempo}}$ (s ^{1/2})	Masa (g)	Cambio en la masa (g)	Absorción (mm)
	Día	s	min	hora				
Absorción Inicial		0	0	0,0	0	258,73	0	0,00
		60	1	0,0	8	260,24	1,51	0,59
		300	5	0,1	17	261,65	2,92	1,14
		600	10	0,2	24	262,37	3,64	1,42
		1200	20	0,3	35	263,18	4,45	1,73
		1800	30	0,5	42	264,16	5,43	2,12
		3600	60	1,0	60	265,51	6,78	2,64
		7200	120	2,0	85	266,99	8,26	3,22
		10800	180	3,0	104	267,08	8,35	3,25
		14400	240	4,0	120	268,75	10,02	3,90
Absorción Secundaria	1	92220	1537	25,6	304	272,62	13,89	5,41
	2	193200	3220	53,7	440	273,43	14,7	5,73
	3	268500	4475	74,6	518	274,87	16,14	6,29
	5	432000	7200	120,0	657	275,45	16,72	6,51
	6	527580	8793	146,6	726	276,96	18,23	7,10
	7	622200	10370	172,8	789	277,72	18,99	7,40



V. Sangay (10%) - Muestra 3

$$\text{Dimensión del cubo} = 50,10 \text{ mm} \cdot 51,01 \text{ mm} = 2561,21 \text{ mm}^2$$

	Tiempo de ensayo				$\sqrt{\text{Tiempo}}$ (s ^{1/2})	Masa (g)	Cambio en la masa (g)	Absorción (mm)
	Día	s	min	hora				
Absorción Inicial		0	0	0,0	0	264,81	0	0,00
		60	1	0,0	8	267,18	2,37	0,93
		300	5	0,1	17	268,54	3,73	1,46
		600	10	0,2	24	269,32	4,51	1,76
		1200	20	0,3	35	270,1	5,29	2,07
		1800	30	0,5	42	270,78	5,97	2,33
		3600	60	1,0	60	271,84	7,03	2,74
		7200	120	2,0	85	273,54	8,73	3,41
		10800	180	3,0	104	274,09	9,28	3,62
		14400	240	4,0	120	275,6	10,79	4,21
Absorción Secundaria	1	92220	1537	25,6	304	278,14	13,33	5,20
	2	193200	3220	53,7	440	279,69	14,88	5,81
	3	268500	4475	74,6	518	280,45	15,64	6,11
	5	432000	7200	120,0	657	281,82	17,01	6,64
	6	527580	8793	146,6	726	282,61	17,8	6,95
	7	622200	10370	172,8	789	284,57	19,76	7,72



Anexo 11. Resumen de la absorción inicial y secundaria (Ensayo de sorptividad)

Patrón				
Muestras	Absorción inicial (mm/√s)	r	Absorción Secundaria (mm/√s)	r
1	3,44E-02	0,987	2,27E-03	0,990
2	2,88E-02	0,981	1,67E-03	0,992
3	2,94E-02	0,980	2,36E-03	0,988
Promedio	3,09E-02	0,983	2,10E-03	0,990
V.T. Negro (10%)				
Muestras	Absorción inicial (mm/√s)	r	Absorción Secundaria (mm/√s)	r
1	2,69E-02	0,986	3,23E-03	0,993
2	2,81E-02	0,984	2,45E-03	0,993
3	2,20E-02	0,981	3,66E-03	0,988
Promedio	2,57E-02	0,984	3,11E-03	0,991
V.T. Rojo (10%)				
Muestras	Absorción inicial (mm/√s)	r	Absorción Secundaria (mm/√s)	r
1	3,21E-02	0,980	4,80E-03	0,982
2	3,04E-02	0,980	3,69E-03	0,981
3	2,91E-02	0,982	3,66E-03	0,981
Promedio	3,05E-02	0,980	4,05E-03	0,981
V. Sangay				
Muestras	Absorción inicial (mm/√s)	r	Absorción Secundaria (mm/√s)	r
1	2,99E-02	0,981	4,20E-03	0,980
2	3,06E-02	0,981	4,21E-03	0,981
3	3,48E-02	0,980	5,09E-03	0,981
Promedio	3,18E-02	0,980	4,50E-03	0,980

Anexo 12. Evidencias fotográficas de la ejecución del proyecto de investigación

Descripción	Evidencia
Foto 1: Obtención de los flujos piroclásticos tanto del Volcán Tungurahua y Sangay.	 Extracción de flujo piroclástico volcán Tungurahua UTM: 17S 779415.79E 9831585.58N Longitud: 78°29.3320'O Latitud: 1°31.1020'S Fecha: 17 de abril 2025 Extracción de flujo piroclástico volcán Sangay UTM: 17S 821688.59E 9765436.23N Longitud: 78°6.8730'O Latitud: 2°7.6610'S Fecha: 19 de abril 2025
Foto 2: Trituración de los flujos piroclásticos con ayuda de un molino manual	
Foto 3: Tamización del agregado fino y flujos piroclásticos (colocación del material en los tamices y tamización mecánica)	

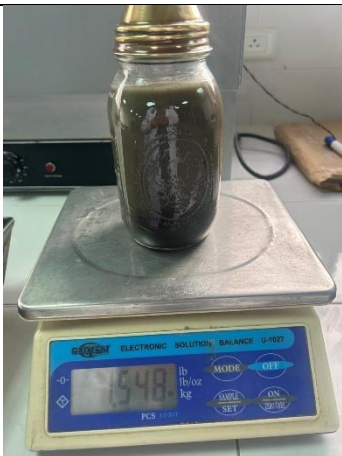
Foto 4: Colocación del agregado fino y flujos piroclásticos en sus respectivos frascos de vidrios para conocer su contenido orgánico.	
Foto 5: Peso del picnómetro con el material y agua para el respectivo ensayo de densidad y porcentaje de absorción	
Foto 6: Colocación de las taras con su respectiva muestra del agregado húmedo y su peso de la tara con su agregado seco (siguiente día)	
Foto 7: Elaboración de morteros con sus respectivas cantidades y relación agua cemento	

Foto 8: Ensayo de fluidez con la ayuda de la mesa de fluidez y toma de medidas (diámetros)	
Foto 9: Con ayuda del equipo Vicat se obtiene sus respectivos datos de penetración para conocer su tiempo de fraguado y resultado final del ensayo	 
Foto 10: Elaboración del mortero para la colocación en sus respectivos cubos y desencofrado (siguiente día).	
Foto 11: Curado de los cubos de morteros con su respectiva señalización	

Foto 12: Colocación de los morteros en la prensa hidráulica Shimadzu para conocer el valor de su resistencia	
Foto 13: Cubos realizados y curación a 28 días para la utilización en el ensayo de sorptividad	
Foto 14: Secado de cubos, a 50°C y el recubrimiento de sus 5 caras para realizar el ensayo de sorptividad	
Foto 15: Ensayo de sorptividad, con el límite de agua mencionado en la norma ASTM C 1585	

Foto 16: Toma de medidas para el ensayo de densidad en cada uno de los morteros



Foto 17: Pesaje del material para la realización de los enlucidos



Foto 18: Elaboración del enlucido con la ayuda de un albañil para el ensayo de intemperismo

