

Efecto complementario de la Ignimbrita y Fibra de Polipropileno en la resistencia del concreto como sustituto al agregado grueso, Arequipa 2023

Complementary effect of Ignimbrite and Polypropylene Fiber on the resistance of concrete as a substitute for coarse aggregate, Arequipa 2023

 Lazo Quispe, Rossmel¹

DOI: <https://doi.org/10.26495/71489312>

Resumen

La presente investigación se realizó con el objetivo de conocer el efecto complementario del a Ignimbrita y Fibra de Polipropileno en la resistencia del concreto como sustituto al agregado grueso, Arequipa 2023. Para dicho fin, la metodología fue de tipo aplicada, se corrobora que existen diferencias significativas entre dosificaciones de mezclas de concreto experimental y el concreto patrón, de diseño experimental puro, enfoque cuantitativo, teniendo como población y muestra las probetas de hormigón con agregado de ignimbrita al 1%, 3% y 5% y fibra de polipropileno en 3kg/cm³ y 5kg/cm³ cuyo diseño de mezcla fue en base al Método del Comité 2011 del ACI. Concluyendo que, la sustitución del agregado grueso por ignimbrita y fibra de polipropileno mejora el comportamiento de la resistencia del concreto.

Palabras clave: Ignimbrita, Fibra de Polipropileno, Resistencia, Compresión.

Abstract

The present investigation was carried out with the objective of knowing the complementary effect of Ignimbrite and Polypropylene Fiber on the resistance of concrete as a substitute for coarse aggregate, Arequipa 2023. For this purpose, the methodology was of the applied type, It is confirmed that there are significant differences between dosages of experimental concrete mixtures and the standard concrete, of pure experimental design, quantitative approach, taking as population and sample the concrete test tubes with ignimbrite aggregate at 1%, 3% and 5% and polypropylene fiber at 3kg/cm³ and 5kg/cm³ whose mix design was based on the 2011 Committee Method of the ICA. Concluding that the substitution of the coarse aggregate by ignimbrite and polypropylene fiber improves the behavior of the concrete resistance.

Keywords: Ignimbrite, Polypropylene Fiber, Resistance, Compression.

¹ Universidad César Vallejo, Los Olivos, Perú. rlazoq@ucvvirtual.edu.pe

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, se ha observado un aumento progresivo en el agotamiento de los recursos naturales debido al rápido desarrollo urbano (Dong et al., 2018; Pittau et al., 2018). Por ello, como resultado de las investigaciones realizadas en los últimos años, considerando que se ha notado un crecimiento significativo en la producción de concreto, se ha suscitado una demanda considerable de materiales, debido a que, se estima que cada año se utilizan entre 2500 y 3000*10⁶ toneladas de cemento (Fuentes et al., 2021).

Bajo dicho contexto, el concreto se concibe como el material más utilizado en la industria de la construcción, considerando que fue empleado en aproximadamente 20 mil millones de toneladas solo en el año 2015, al hallarse compuesto mayormente de agregados convencionales, que representan entre un 55% y un 80% de su volumen total, por lo que, se proyecta que para el año 2023, la producción de concreto aumentará significativamente a un total de 48.3 mil millones de toneladas, lo que podría conducir a una sobreexplotación de canteras de agregados (Pokorný et al., 2021). Ante esta situación, ha surgido un interés en investigar nuevos materiales en ingeniería que puedan absorber la demanda energética asociada a la producción de concreto y un ejemplo de ello es el hormigón liviano, el cual, se vislumbra como un gran avance para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y aprovechar materiales más eficientes, especialmente en el refuerzo ante desastres naturales como terremotos y huracanes (Palanisamy et al., 2020).

En el ámbito nacional, el concreto se considera un material fundamental para la construcción de edificaciones debido a su facilidad de manejo, versatilidad y durabilidad. Por ello, con el objetivo de mejorar sus propiedades mecánicas y físicas, se han promovido tecnologías innovadoras. Sin embargo, sustituir los agregados gruesos con opciones económicamente viables es un desafío, por lo que, se busca utilizar recursos autóctonos renovables para desarrollar concretos más ligeros y resistentes, lo cual, se vuelve especialmente relevante para la construcción de edificaciones a gran escala y estructuras específicas en áreas altamente sísmicas (Jara y Serrano, 2020).

En esta perspectiva, se observa que los nuevos materiales y tecnologías constructivas se están utilizando cada vez más en la búsqueda de avances en calidad, siempre teniendo en cuenta aspectos económicos y ecológicos en la construcción (Camargo et al., 2020). En consecuencia, el uso de materiales naturales en la preparación del concreto se presenta como una opción viable para reducir y optimizar los recursos de manera significativa (Praveenkumar y Sankarasubramanian, 2021), especialmente en el proceso de fabricación de materiales ampliamente empleados como el cemento (Grădinaru et al., 2019; Ashour et al., 2021).

Por este motivo, la Fibra de Polipropileno, que forma parte de las fibras sintéticas fabricadas por el ser humano gracias a la investigación y desarrollo de las industrias petroquímicas y textiles, se encuentra dentro de un grupo que incluye fibras acrílicas, aramida, carbón, nylon, poliéster, polietileno y polipropileno (Linares et al., 2021), por lo que, actúa como aditivo de refuerzo en el concreto, mejorando la calidad de las construcciones, ya que, al ser permeable, ayuda a proteger el concreto del daño causado por el agua y evita que se formen fisuras debido a la humedad, lo que reduce el riesgo de agrietamiento y fractura en grandes estructuras (Kolli, 2013). Asimismo, la ignimbrita se presenta como otra opción para sustituir como agregado ligero, ya que, puede reducir indirectamente la carga muerta en edificaciones y proporcionar una mayor resistencia en sus componentes, gracias a su capacidad para disminuir el peso del concreto y ofrecer una alta resistencia mecánica frente a cargas sísmicas (Alave y Mendoza, 2019).

En consecuencia, dado que Arequipa es una ciudad altamente sísmica a nivel local, mejorar la resistencia de las edificaciones se ha convertido en una necesidad prioritaria, especialmente en estructuras de gran tamaño. En esta búsqueda por aligerar las edificaciones, la sustitución de los

agregados gruesos en el concreto es un tema de investigación que aún presenta vacíos en la ciudad. Es por esto que, dada la abundante disponibilidad de fibra de polipropileno e ignimbrita, se pretende utilizarlos como sustitutos del agregado grueso actual en el concreto para verificar si es posible mejorar la resistencia sísmica y lograr edificaciones más livianas sin comprometer sus propiedades. Por lo tanto, el objetivo general de este estudio es conocer el efecto complementario del a Ignimbrita y Fibra de Polipropileno en la resistencia del concreto como sustituto al agregado grueso, Arequipa 2023.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio, fue de tipo aplicada, ya que, se basó esencialmente en hallazgos de carácter tecnológico en base a la indagación básica, mediante un proceso de enlace entre producto y teoría (Brushan y Alok, 2018). Asimismo, fue de diseño experimental, al realizar alteraciones en las variables, siendo de tipo experimental puro, puesto que, las alteraciones realizadas se desarrollaron de manera intencional en la variable independiente para calcular su resultado en la variable dependiente, consignando en ello un grupo de control y experimental (Carlessi y Reyes, 2015), considerándose de enfoque cuantitativo, porque, se recogió la data de forma secuencial, concisa y precisa para esclarecer las hipótesis por medio del uso de la estadística tanto inferencial como descriptiva (Ñaupas et al., 2018).

La población del estudio estuvo conformada por las probetas de concreto que contenían agregado de ignimbrita y fibra de polipropileno. Para la investigación, se seleccionó una muestra específica de estas probetas (tabla 1) que incluía diferentes proporciones de agregado de ignimbrita y fibra de polipropileno. El método de muestreo utilizado fue por conveniencia y no probabilístico, lo que significa que el investigador utilizó su criterio para seleccionar las muestras que serían sometidas a ensayos para evaluar su comportamiento y resistencia.

En tal sentido, para realizar la investigación, se tomó en consideración las siguientes acciones:

- **Obtención de agregados:** Los materiales fueron recolectados de las canteras de “Añashuayco” en la localidad de Arequipa, por ello, estos agregados se centraron en el cumplimiento de la Norma Técnica Peruana 400.011 y los requerimientos de granulometría acordes a la Norma Técnica Peruana 400.037.
- **Obtención de cemento:** Se utilizó cemento Portland tipo I, al no poseer exigencias especiales y ser de uso general, lo cual, se adecuó a la Norma Técnica Peruana 334.009.
- **Análisis de composición de ignimbrita:** Se conoció la composición de ignimbrita mediante un análisis de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).
- **Análisis de propiedades físico-mecánicas en materiales para agregado:** Se analizaron las propiedades físico-mecánicas acorde al peso unitario, específico y absorción de volumen de humedad en ignimbrita, según las NTP y ASTM, mediante un laboratorio certificado.
- **Diseño de mezcla:** Se realizó el diseño de mezcla en base al Método del Comité 211 del ACI con el objeto de establecer las proporciones más óptimas en cada uno de los materiales a emplear como agregados, por ello, para determinar la cantidad de diseños a considerar, se estableció los días de análisis a considerar, el tipo de mezcla a realizar con 3 repeticiones, considerando en ello una codificación.

Tabla 1. Diseño de mezclas y codificación

Diseño	Ítem	Probeta		Fecha	Fecha De Rotura		
		Elemento	Cod.	Vaciado	7 días	14 días	28 días

Diseño Patrón	1	Concreto Patrón	CP - 01	18/05/2023	25/05/2023	1/06/2023	15/06/2023
	2	Concreto Patrón	CP - 02	18/05/2023	25/05/2023	1/06/2023	15/06/2023
	3	Concreto Patrón	CP - 03	18/05/2023	25/05/2023	1/06/2023	15/06/2023
	4	Concreto Patrón	CP - 04	18/05/2023	25/05/2023	1/06/2023	15/06/2023
	5	Concreto Patrón	CP - 05	18/05/2023	25/05/2023	1/06/2023	15/06/2023
	6	Concreto Patrón	CP - 06	18/05/2023	25/05/2023	1/06/2023	15/06/2023
	7	Concreto Patrón	CP - 07	18/05/2023	25/05/2023	1/06/2023	15/06/2023
	8	Concreto Patrón	CP - 08	18/05/2023	25/05/2023	1/06/2023	15/06/2023
	9	Concreto Patrón	CP - 09	18/05/2023	25/05/2023	1/06/2023	15/06/2023
Diseño De Mezcla Con Ignimbrita 1% Y (3kg/Cm3 Y 5kg/Cm3) De Fibra Polipropileno	10	Concreto Experimental 1% Ignimbrita Y 3kg/Cm3	CE - 011319	19/05/2023	26/05/2023	2/06/2023	16/06/2023
	11	Concreto Experimental 1% Ignimbrita Y 3kg/Cm3	CE - 021319	19/05/2023	26/05/2023	2/06/2023	16/06/2023
	12	Concreto Experimental 1% Ignimbrita Y 3kg/Cm3	CE - 031319	19/05/2023	26/05/2023	2/06/2023	16/06/2023
	13	Concreto Experimental 1% Ignimbrita Y 3kg/Cm3	CE - 041319	19/05/2023	26/05/2023	2/06/2023	16/06/2023
	14	Concreto Experimental 1% Ignimbrita Y 3kg/Cm3	CE - 051319	19/05/2023	26/05/2023	2/06/2023	16/06/2023
	15	Concreto Experimental 1% Ignimbrita Y 3kg/Cm3	CE - 061319	19/05/2023	26/05/2023	2/06/2023	16/06/2023
	16	Concreto Experimental 1% Ignimbrita Y 3kg/Cm3	CE - 071319	19/05/2023	26/05/2023	2/06/2023	16/06/2023
	17	Concreto Experimental	CE - 081319	19/05/2023	26/05/2023	2/06/2023	16/06/2023

		1%					
		Ignimbrita Y					
		3kg/Cm3					
		Concreto					
		Experimental					
18		1%	CE - 091319	19/05/2023	26/05/2023	2/06/2023	16/06/2023
		Ignimbrita Y					
		3kg/Cm3					
		Concreto					
		Experimental					
19		1%	CE - 011522	22/05/2023	29/05/2023	5/06/2023	19/06/2023
		Ignimbrita Y					
		5kg/Cm3					
		Concreto					
		Experimental					
20		1%	CE - 021522	22/05/2023	29/05/2023	5/06/2023	19/06/2023
		Ignimbrita Y					
		5kg/Cm3					
		Concreto					
		Experimental					
21		1%	CE - 031522	22/05/2023	29/05/2023	5/06/2023	19/06/2023
		Ignimbrita Y					
		5kg/Cm3					
		Concreto					
		Experimental					
22		1%	CE - 041522	22/05/2023	29/05/2023	5/06/2023	19/06/2023
		Ignimbrita Y					
		5kg/Cm3					
		Concreto					
		Experimental					
23		1%	CE - 051522	22/05/2023	29/05/2023	5/06/2023	19/06/2023
		Ignimbrita Y					
		5kg/Cm3					
		Concreto					
		Experimental					
24		1%	CE - 061522	22/05/2023	29/05/2023	5/06/2023	19/06/2023
		Ignimbrita Y					
		5kg/Cm3					
		Concreto					
		Experimental					
25		1%	CE - 071522	22/05/2023	29/05/2023	5/06/2023	19/06/2023
		Ignimbrita Y					
		5kg/Cm3					
		Concreto					
		Experimental					
26		1%	CE - 081522	22/05/2023	29/05/2023	5/06/2023	19/06/2023
		Ignimbrita Y					
		5kg/Cm3					
		Concreto					
		Experimental					
27		1%	CE - 091522	22/05/2023	29/05/2023	5/06/2023	19/06/2023
		Ignimbrita Y					
		5kg/Cm3					
		Concreto					
		Experimental					
Diseño De	28	Concreto	CE - 013323	23/05/2023	30/05/2023	6/06/2023	20/06/2023
		Experimental					

	3%					
	Ignimbrita Y					
	3kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
29	3%	CE - 023323	23/05/2023	30/05/2023	6/06/2023	20/06/2023
	Ignimbrita Y					
	3kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
30	3%	CE - 033323	23/05/2023	30/05/2023	6/06/2023	20/06/2023
	Ignimbrita Y					
	3kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
31	3%	CE - 043323	23/05/2023	30/05/2023	6/06/2023	20/06/2023
	Ignimbrita Y					
	3kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
32	3%	CE - 053323	23/05/2023	30/05/2023	6/06/2023	20/06/2023
	Ignimbrita Y					
	3kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
33	3%	CE - 063323	23/05/2023	30/05/2023	6/06/2023	20/06/2023
	Ignimbrita Y					
	3kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
34	3%	CE - 073323	23/05/2023	30/05/2023	6/06/2023	20/06/2023
	Ignimbrita Y					
	3kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
35	3%	CE - 083323	23/05/2023	30/05/2023	6/06/2023	20/06/2023
	Ignimbrita Y					
	3kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
36	3%	CE - 093323	23/05/2023	30/05/2023	6/06/2023	20/06/2023
	Ignimbrita Y					
	3kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
37	3%	CE - 013525	25/05/2023	1/06/2023	8/06/2023	22/06/2023
	Ignimbrita Y					
	5kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
38	3%	CE - 023525	25/05/2023	1/06/2023	8/06/2023	22/06/2023
	Ignimbrita Y					
	5kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
39	3%	CE - 033525	25/05/2023	1/06/2023	8/06/2023	22/06/2023
	Ignimbrita Y					
	5kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					

	3%					
	Ignimbrita Y					
	5kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
40	3%	CE - 043525	25/05/2023	1/06/2023	8/06/2023	22/06/2023
	Ignimbrita Y					
	5kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
41	3%	CE - 053525	25/05/2023	1/06/2023	8/06/2023	22/06/2023
	Ignimbrita Y					
	5kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
42	3%	CE - 063525	25/05/2023	1/06/2023	8/06/2023	22/06/2023
	Ignimbrita Y					
	5kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
43	3%	CE - 073525	25/05/2023	1/06/2023	8/06/2023	22/06/2023
	Ignimbrita Y					
	5kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
44	3%	CE - 083525	25/05/2023	1/06/2023	8/06/2023	22/06/2023
	Ignimbrita Y					
	5kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
45	3%	CE - 093525	25/05/2023	1/06/2023	8/06/2023	22/06/2023
	Ignimbrita Y					
	5kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
46	5%	CE - 015326	26/05/2023	2/06/2023	9/06/2023	23/06/2023
	Ignimbrita Y					
	3kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
47	5%	CE - 025326	26/05/2023	2/06/2023	9/06/2023	23/06/2023
	Ignimbrita Y					
	3kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
48	5%	CE - 035326	26/05/2023	2/06/2023	9/06/2023	23/06/2023
	Ignimbrita Y					
	3kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
49	5%	CE - 045326	26/05/2023	2/06/2023	9/06/2023	23/06/2023
	Ignimbrita Y					
	3kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
50	5%	CE - 055326	26/05/2023	2/06/2023	9/06/2023	23/06/2023
	Ignimbrita Y					
	3kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					

Diseño De Mezcla Con Ignimbrita 5% Y (3kg/Cm3 Y 5kg/Cm3) De Fibra Polipropileno

	5%					
	Ignimbrita Y					
	3kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
51	5%	CE - 065326	26/05/2023	2/06/2023	9/06/2023	23/06/2023
	Ignimbrita Y					
	3kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
52	5%	CE - 075326	26/05/2023	2/06/2023	9/06/2023	23/06/2023
	Ignimbrita Y					
	3kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
53	5%	CE - 085326	26/05/2023	2/06/2023	9/06/2023	23/06/2023
	Ignimbrita Y					
	3kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
54	5%	CE - 095326	26/05/2023	2/06/2023	9/06/2023	23/06/2023
	Ignimbrita Y					
	3kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
55	5%	CE - 015529	29/05/2023	5/06/2023	12/06/2023	26/06/2023
	Ignimbrita Y					
	5kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
56	5%	CE - 025529	29/05/2023	5/06/2023	12/06/2023	26/06/2023
	Ignimbrita Y					
	5kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
57	5%	CE - 035529	29/05/2023	5/06/2023	12/06/2023	26/06/2023
	Ignimbrita Y					
	5kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
58	5%	CE - 045529	29/05/2023	5/06/2023	12/06/2023	26/06/2023
	Ignimbrita Y					
	5kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
59	5%	CE - 055529	29/05/2023	5/06/2023	12/06/2023	26/06/2023
	Ignimbrita Y					
	5kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
60	5%	CE - 065529	29/05/2023	5/06/2023	12/06/2023	26/06/2023
	Ignimbrita Y					
	5kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
61	5%	CE - 075529	29/05/2023	5/06/2023	12/06/2023	26/06/2023
	Ignimbrita Y					
	5kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					

	5%					
	Ignimbrita Y					
	5kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
62	5%	CE - 085529	29/05/2023	5/06/2023	12/06/2023	26/06/2023
	Ignimbrita Y					
	5kg/Cm3					
	Concreto					
	Experimental					
63	5%	CE - 095529	29/05/2023	5/06/2023	12/06/2023	26/06/2023
	Ignimbrita Y					
	5kg/Cm3					

Fuente: elaboración propia.

- **Elaboración de probetas de concreto:** Posterior a ello, se elaboraron las probetas con agregado de ignimbrita y fibra de polipropileno acorde a la Norma Técnica Peruana 339.183, y con el apoyo de un laboratorio certificado se realizaron los análisis correspondientes.

Por otra parte, en el estudio se empleó la técnica de observación directa para verificar de manera directa el estado de alteración en el comportamiento de la resistencia del concreto. Para llevar a cabo esta observación, se utilizó una ficha de observación específica que permitió recopilar datos y resultados de los ensayos realizados en las distintas concentraciones del agregado de ignimbrita y fibra de polipropileno. Esta ficha de observación (tabla 2) fue el instrumento utilizado para registrar y documentar los hallazgos obtenidos durante el proceso de ensayo y análisis de las probetas.

Para ello, se tuvo como variable independiente a la Ignimbrita con fibra de polipropileno, que son aquellos materiales con mucha menor densidad que los agregados comunes que se encuentran en mayor escala en la mezcla de concreto et al., 2020). Teniendo como variable dependiente el Comportamiento de la resistencia del concreto, que son aquellas características físicas del concreto para poder estabilizar una estructura (Palomino et al., 2021).

Tabla 2. Operacionalización de Variables.

Variable	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala	Valor	Instrumento
Comportamiento de la resistencia de concreto	Capacidad para afrontar piramidalmente	Resistencia A	Presión a falla	De razón	kg/cm2	Norma E-060 Observación y formatos de laboratorio
	cargas variables observando diferentes procesos del concreto a la deformación	Flexión	Presión a tensión	De razón	kg/cm2	
		Tracción	Resistencia a carga	De razón	min	
Ignimbrita y fibra de polipropileno	Propiedades de los materiales ignimbrita y fibra de polipropileno adecuándolos a las utilizadas	Peso Unitario	Suelto y compactado	De razón	g/cm3	Observación / Formatos de laboratorio
		Peso Especifico	Seco y saturado sup. Seca	De razón	g/cm3	
					%	

en el agregado grueso Absorción De Contenido De Humedad Absorción y pérdida de agua De razón

Fuente: Elaboración propia.

3. RESULTADOS

Composición química de la ignimbrita

Se desarrolló el análisis de la composición química de la ignimbrita, mediante el método de microscopía electrónica de barrido (SEM), en base a lo cual, se determinó la composición que se muestra en la Figura 1.

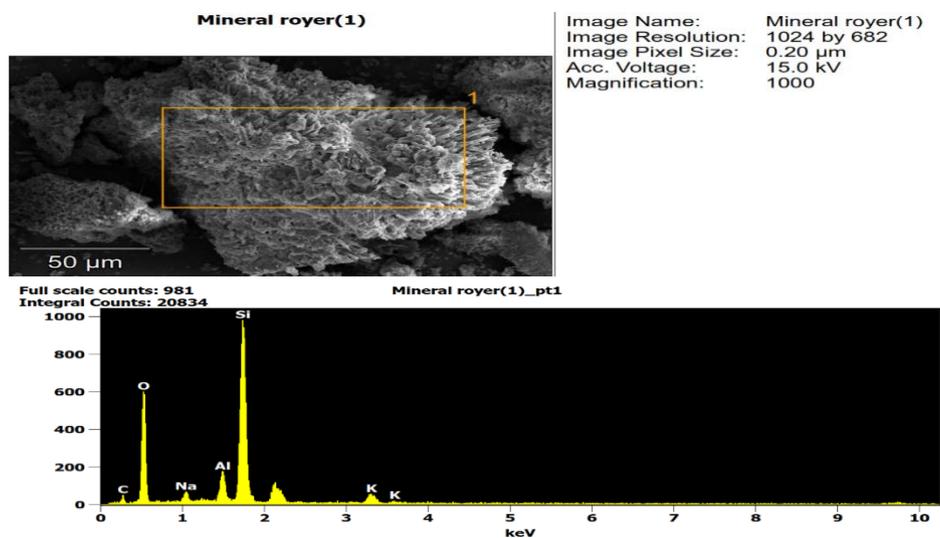


Figura 1. Análisis químico elemental de ignimbrita. Aumento 50µm.

Fuente: laboratorio UNSA – Centro de Microscopía Electrónica.

En base a un aumento de 50µm, como se enuncia en la Tabla 3, la ignimbrita, se encuentra compuesto por Oxígeno (O) al 50.03%, Sodio (Na) al 5.04%, Aluminio (Al) al 5.04%, Silicio (Si) al 38.65% y Potasio (K) al 4.67%.

Tabla 3. Peso (%) de elementos en composición de ignimbrita.

Elemento	O	Na	Al	Si	K
Medida	%	%	%	%	%
Peso (%)	50.03	1.60	5.04	38.65	4.67

Fuente: Elaboración propia.

En base a ello, como se refleja en la Tabla 4, se establece que la composición química de la ignimbrita, resulta siendo predominante en la gran cantidad de sílice en el sustrato de ignimbrita al 82.69%, siendo el óxido de aluminio el segundo elemento predominante al 9.53%, los cuales, resultan siendo esenciales para conseguir un elevado rendimiento de síntesis por la presencia de altos contenidos de fases solubles que contienen de silicio y aluminio.

Tabla 4. Composición química de la ignimbrita.

Elemento	O	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O
Medida	%	%	%	%	%
Composición (%)	0.00	2.15	9.53	82.69	5.63

Fuente: Elaboración propia.

Ello, como se denota en la Figura 2, se corrobora en un análisis a 20µm.

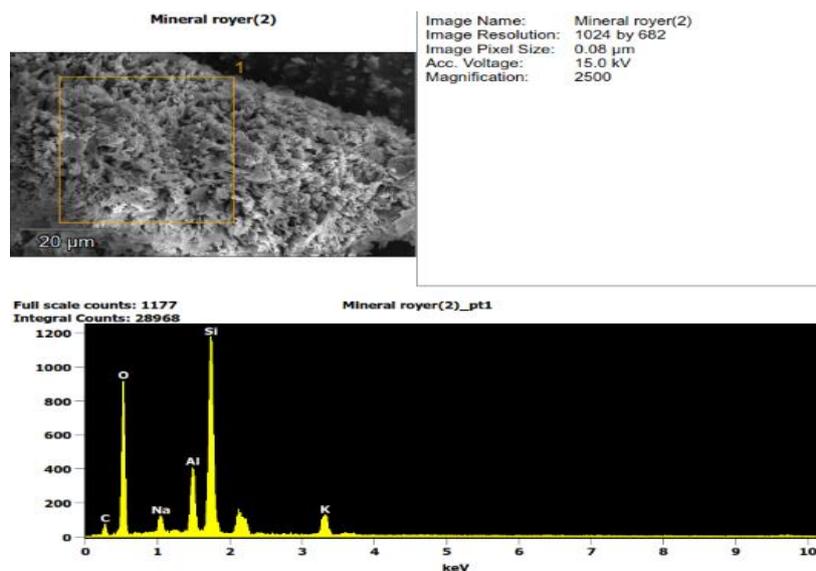


Figura 2. Análisis químico elemental de ignimbrita. Aumento 20µm.

Fuente: laboratorio UNSA – Centro de Microscopia Electrónica.

Variación de propiedades de la ignimbrita y agregado grueso

Granulometría

En el análisis de variación de propiedades de la ignimbrita se tomó en consideración el siguiente análisis granulométrico del agregado grueso y de ignimbrita en torno a la Malla ASTM, la abertura, además del porcentaje retenido y el de paso acumulado, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Contraste de análisis granulométrico del agregado grueso de ignimbrita.

Malla	Abertura (mm)	Agregado grueso		Ignimbrita		Uso granulométrico	
		% Retenid	% Pas. Acumulad	% Retenid	% Pas. Acumulad	Lím. inferior %	Lím. Superior %
>3"		0	0	0	0	-	-
3 pulg	75.00					-	-

2 ½ pulg	63.00					-	-
2 pulg	50.00				100.00	-	-
1 ½ pulg	37.50			5.83	94.17	-	-
1 pulg	25.00		100.00	54.84	39.33	100	100
¾ pulg	19.00	45.64	54.36	25.92	13.40	90	100
½ pulg	12.50	39.13	15.24	11.91	1.50	20	55
3/8 pulg	9.50	9.38	5.86	0.85	0.65	0	15
No. 4	4.75	5.86	0.00	0.13	0.52	0	5
No. 8	2.36	0.00		0.00		-	-
No. 10	2.00					-	-
No. 16	1.19					-	-
No. 30	0.60					-	-
No. 40	0.425					-	-
No. 50	0.300					-	-
No. 80	0.180					-	-
No. 100	0.150					-	-
No. 200	0.075					-	-

Fuente: Elaboración propia.

En base a los resultados obtenidos en el ensayo de granulometría, se denota que el agregado grueso es menor al límite inferior, siendo el módulo de finiza que presenta el agregado grueso de 6.3, como se percibe en la Figura 3.

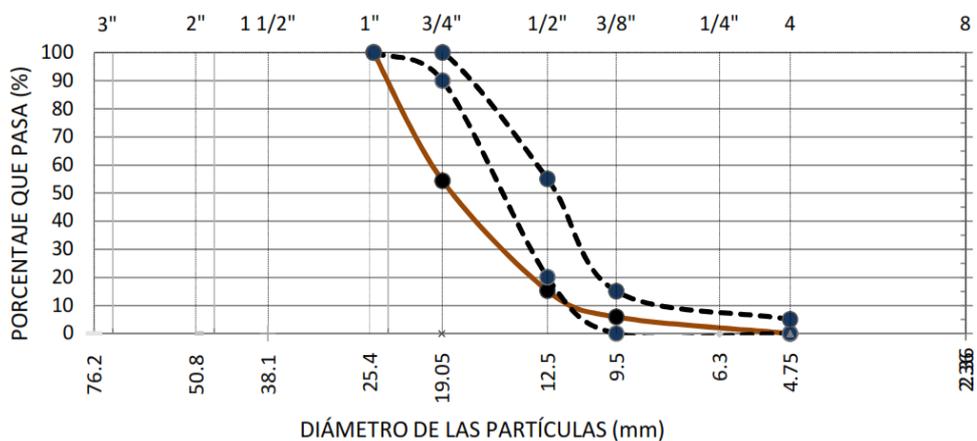


Figura 3. Análisis granulométrico de agregado grueso.

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, en el caso de la granulometría de ignimbrita, se denota que sus valores son menores al límite inferior, que no sobrepasan el límite superior, con un módulo de fineza de 17.5 como se denota en la Figura 4.

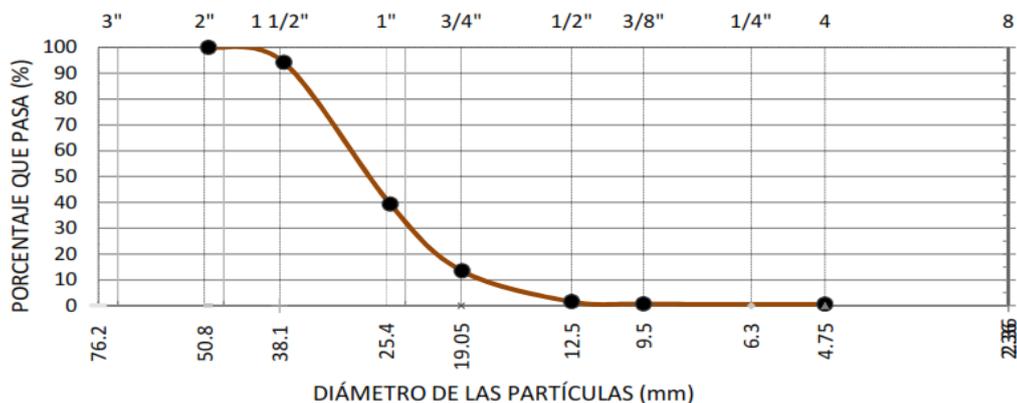


Figura 4. Análisis granulométrico de ignimbrita.

Fuente: Elaboración propia.

Contenido de humedad

Tabla 6. Contraste de contenido de humedad.

Contenido de humedad	Agregado grueso	Ignimbrita
Método de reporte: Aproximación al 0.1%		
Masa del suelo húmedo + contenedor (g)	5003	5550
Masa del contenedor (g)	0	0
Masa del suelo seco + contenedor (g)	4988	5544
Masa del suelo seco (g)	4988	5544
Masa del agua (g)	15	6
Temperatura de secado (°C)	110	110
Contenido de Humedad (%)	0.3	0.1

Fuente: Elaboración propia.

En la variación de contenido de humedad (tabla 6), se denota que la masa del suelo húmedo + contenedor es superior en la ignimbrita con un valor de 5550 gramos, lo cual, se debe a la capacidad de absorción de este material, en cuanto a la masa del suelo seco + contenedor en ignimbrita resulta también siendo superior en 5544 gramos, porque tiene mayor capacidad de retención del contenido de agua por más tiempo que el agregado grueso por su consistencia plástica, por ello, también es superior de masa del suelo seco, siendo la masa del agua menor en

la ignimbrita. Por lo tanto, en cuanto al Contenido de Humedad, el agregado grueso posee 0.3%, mientras que la ignimbrita posee 0.1%, lo cual, se refleja en la Figura 5.

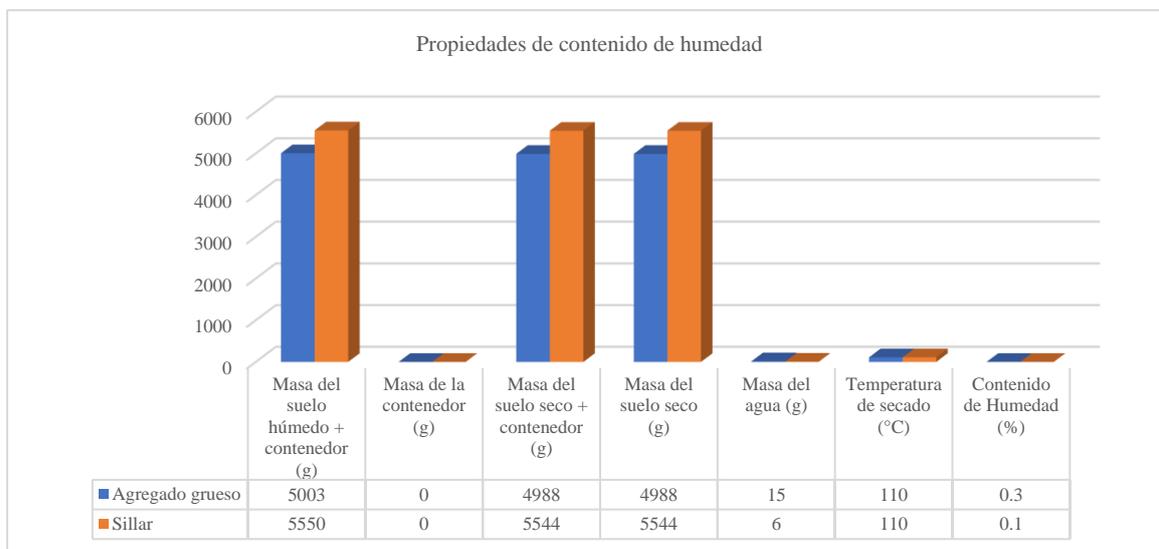


Figura 5. Variación de propiedades de contenido de humedad.

Fuente: Elaboración propia.

Peso específico y absorción

Tabla 7. Contraste de peso Específico y Absorción.

		Agregado grueso	Ignimbrita
Absorción	%	0.76	30.54
Peso específico masivo	g/cm ³	2.64	1.32
Peso específico saturado sup. Seco	g/cm ³	2.66	1.73
Peso específico aparente	g/cm ³	2.70	2.22

Fuente: Elaboración propia.

En el análisis del peso específico y absorción (tabla 7), se halló un porcentaje de absorción en el agregado grueso de 0.76%, el cual, fue superior en la ignimbrita en 30.54%, por su capacidad de retención del agua, con respecto al peso específico masivo, en el agregado grueso fue de 0.76 g/cm³ y en la ignimbrita fue de 1.32%, debido a su porosidad que permite que sea un material más denso, lo cual, también se reflejó en el peso específico saturado superior seco y el peso específico aparente, lo cual, se reflejó conjuntamente la Figura 6.

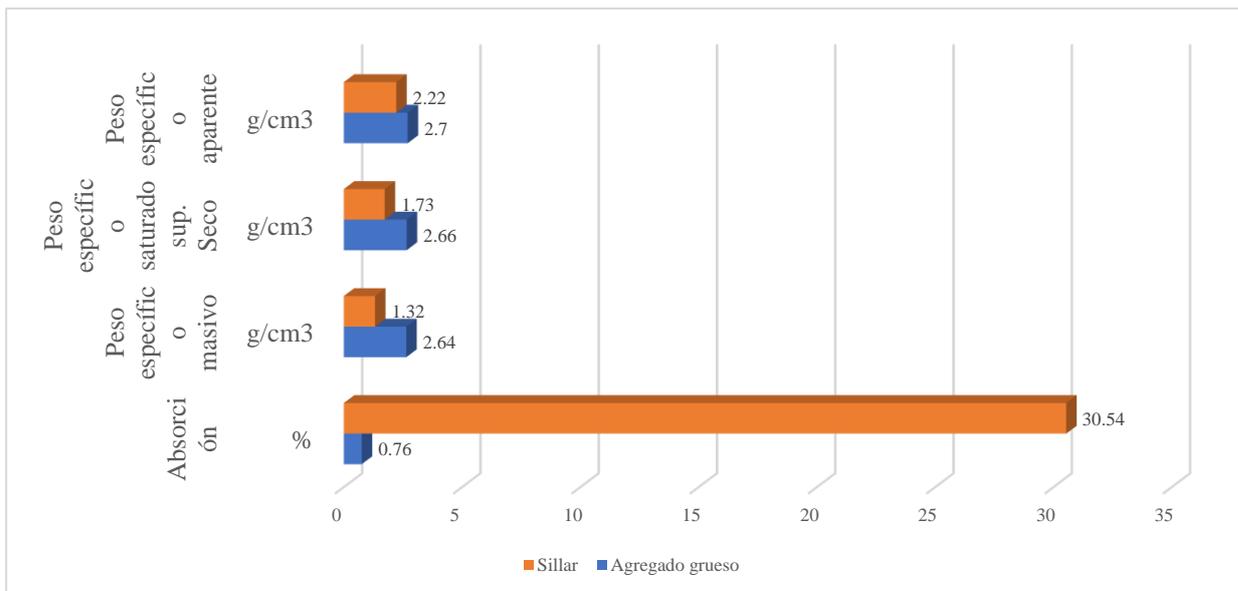


Figura 6. Variación de propiedades de peso específico y absorción.
Fuente: Elaboración propia.

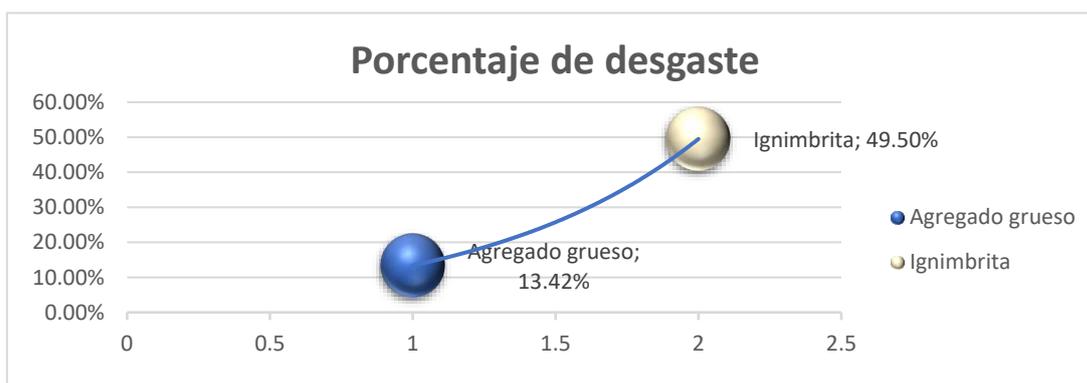
Peso específico

En el análisis de abrasión (tabla 8), se denotó que en el agregado grueso existe un menor porcentaje de desgaste al 13.42%, siendo mayor el porcentaje de desgaste en la ignimbrita al 49.5%, por lo que, el agregado grueso posee un mejor comportamiento de resistencia frente a la ignimbrita, como se denota en la Figura 7.

Tabla 8. Contraste de Abrasión.

	Agregado grueso	Ignimbrita
Masa total	5000	5001
Peso obtenido	4329	2524
Pérdida después del ensayo	671	2477
Nº de esferas	12	12
Masa de las esferas	4997	4997
Número de revoluciones	500	500
Porcentaje de desgaste	13.42%	49.5%

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Resistencia a la compresión del concreto sustituyendo agregado grueso, ignimbrita y fibra de polipropileno

En base al contraste de variación de la resistencia a la compresión en torno al concreto patrón (tabla 9), denota que, el concreto experimental basado en la sustitución de agregado grueso por ignimbrita y fibra de polipropileno, fue superior al sustituir 1% de ignimbrita y 3kg/cm³ de fibra de polipropileno en la edad de 7 días en una resistencia a la compresión de 138kg/cm², a la edad de 14 días en una resistencia a la compresión de 170kg/cm² y a la edad de 28 días en una resistencia a la compresión de 187kg/cm², como se refleja en la Figura 8

Tabla 9. Contraste de Resistencia a la compresión en Concretos Experimentales vs. Concreto Patrón.

Resistencia Promedio (kg/cm ²)	Slump	Edad (Días)	% Ignimbrita
125	4"	7	0
151	4"	14	0
178	4"	28	0
138	1 ½"	7	1%
170	1 ½"	14	1%
187	1 ½"	28	1%
123	½"	7	1%
151	½"	14	1%
172	½"	28	1%
126	1 ¼"	7	3%
152	1 ¼"	14	3%
178	1 ¼"	28	3%
123	1"	7	3%
141	1"	14	3%
159	1"	28	3%
120	1"	7	5%
146	1"	14	5%
162	1"	28	5%
125	½"	7	5%
143	½"	14	5%
160	½"	28	5%

Fuente: Elaboración propia.

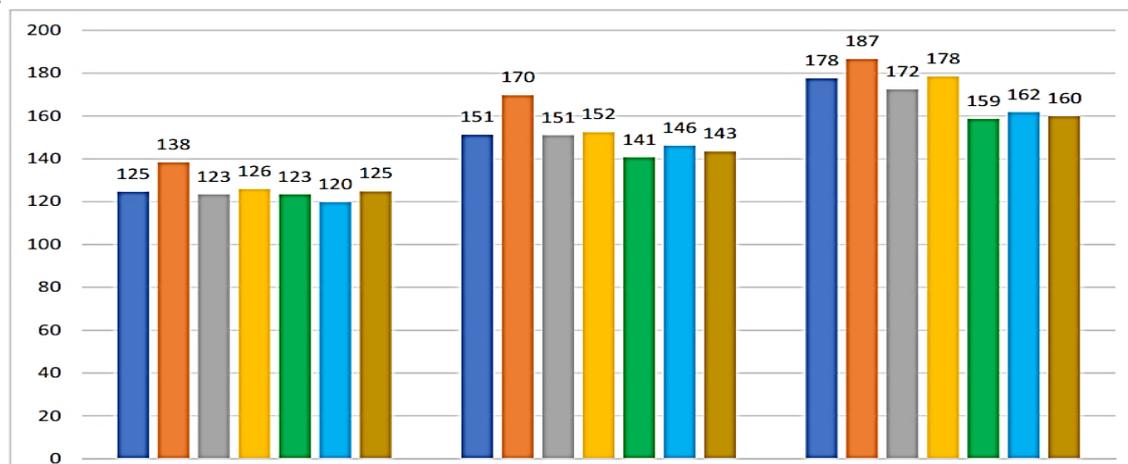


Figura 8. Variación de resistencia a la compresión entre concretos experimentales vs. concreto patrón
Fuente: Elaboración propia.

Análisis inferencial

Para profundizar en el análisis de la mezcla más óptima (tabla 10) para la mejora de la resistencia a la compresión, se empleó la estadística inferencial, por lo que, considerando que se tuvo una muestra patrón, se tuvo 18 concretos experimentales en los que se empleó diversas dosificaciones de ignimbrita y fibra de polipropileno.

Por lo tanto, considerando que la cantidad de tratamiento fue menor a 30, acorde a lo estipulado por Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, con el objeto de establecer si existe una distribución paramétrica o no paramétrica entre los datos obtenidos, para determinar la prueba estadística necesaria para esclarecer el concreto experimental de mayor resistencia al concreto frente al concreto patrón.

Prueba de normalidad

H₀. La distribución de datos es paramétrica.

H₁. La distribución de datos es no paramétrica.

Tabla 10. Contraste de resistencia a la compresión en concretos experimentales vs. concreto patrón.

	Estadístico	Shapiro-Wilk gl	Sig.
Resistencia a la compresión	,950	18	,432

Fuente: Elaboración propia.

Mediante la prueba de normalidad, se halló una significancia de 0.432, la cual, al ser mayor que el p-valor denota que se rechaza la hipótesis alterna y se acepta la hipótesis nula, por lo que, la distribución de datos es paramétrica, motivo por el cual, se empleó el análisis de varianzas ANOVA para determinar la validez de la hipótesis de la investigación.

Determinación de la mezcla óptima

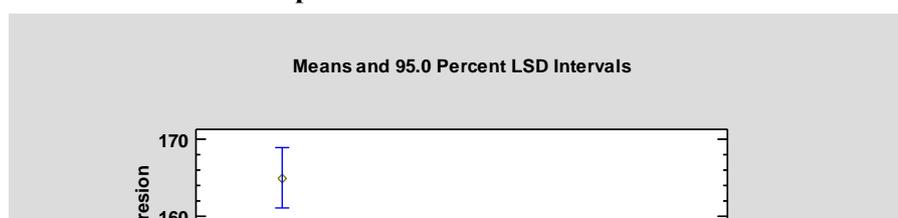


Figura 9. Análisis de media de mezclas experimentales.

Fuente: Elaboración propia.

Mediante el análisis de medias como se refleja en la Figura 9, se corrobora que existen diferencias significativas entre dosificaciones de mezclas, por lo tanto, la mezcla que posee un mejor comportamiento de resistencia es la mezcla 1, que se encuentra conformada por 1% de ignimbrita y 3kg/m³, que son las dosis más bajas de la experimentación.

Contrastación de hipótesis

Para corroborar la hipótesis de investigación, se consideró los 18 tratamientos de concreto experimentales empleados en el análisis de varianzas.

H0. La sustitución del agregado grueso por ignimbrita y fibra de polipropileno no mejora el comportamiento de la resistencia del concreto.

H1. La sustitución del agregado grueso por ignimbrita y fibra de polipropileno mejora el comportamiento de la resistencia del concreto.

Tabla 11. ANOVA de concretos experimentales.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A: Tratamientos	1160.47	5	232.093	13.16	0.0006
B:BLOCK	5238.67	2	2619.33	148.58	0.0000
RESIDUAL	158.667	9	17.6296		
TOTAL (CORRECTED)	6995.76	16			

Fuente: Elaboración propia.

En el análisis de varianzas ANOVA (tabla 11), se halló un p-valor entre tratamientos de 0.0006, el cual, conforme a la regla de decisión es menor a 0.05, motivo por el cual, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, por ello, se corrobora que la sustitución del agregado grueso por ignimbrita y fibra de polipropileno mejora el comportamiento de la resistencia del concreto.

4. DISCUSIÓN

Al evaluar la composición química de ignimbrita, en un aumento de $50\mu\text{m}$ mediante el análisis SEM se determinó que este material se compone de una elevada cantidad de sílice (SiO_2) al 82.69%, además de 9.53% de óxido de aluminio (Al_2O_3), con lo cual se corrobora su elevado rendimiento de síntesis la presencia de estos elementos que son oxígeno (O) al 50.03%, silicio (Si) al 38.6% y aluminio (Al) al 5.04%, lo cual, posee similitudes a los hallazgos de Alvarez (2021) quien realizó este análisis mediante el método de difractograma de rayos X. Por lo expuesto, la metodología planteada para la determinación de la composición química de ignimbrita, fue la adecuada, puesto que, permitió establecer de forma correcta y de fácil entendimiento los hallazgos de los componentes latentes en el material empleado para reemplazar el agregado grueso.

Por otra parte, al realizar un análisis inicial comparativo de la granulometría se denotó que el agregado grueso suele poseer un módulo de fineza de 6.3, mientras que el módulo de fineza de ignimbrita fue de 17.5 ello se debió a que las partículas de ignimbrita poseen mayor adaptabilidad por el movimiento mecánico de vibración, ya que, el agregado grueso mantiene la forma inicial de cada diámetro de sus partículas por su menor adaptabilidad al tener medidas definidas en las que no influye la vibración mecánica, por lo cual, origina una gran diferencia en el contraste. Por otra parte, se denotó que el agregado grueso posee 0.3% de contenido de humedad, mientras que la ignimbrita posee un menor contenido de humedad al 0.1%, ello se debe a que la ignimbrita tiene mayor capacidad de absorción en un mayor lapso temporal, ello a su vez, se corrobora con los resultados que el agregado grueso posee 0.76% de absorción, siendo superior el porcentaje de absorción en la ignimbrita al 30.54%, debido a que, la ignimbrita posee mayor porosidad en contraste al agregado grueso. Asimismo, se halló que el agregado grueso posee 13.42% de desgaste, siendo superior el desgaste en la ignimbrita al 49.50%, puesto que, a nivel molecular la ignimbrita es un material de mayor sensibilidad a la fragmentación debido al distanciamiento existente en sus enlaces a comparación del agregado grueso.

En el contraste de la resistencia a la compresión, al trabajar con probetas experimentales de 1% de ignimbrita y $3\text{kg}/\text{cm}^3$ de fibra de polipropileno, se denotó que, a mayor edad de las probetas, se logra afianzar la resistencia del concreto experimental frente al concreto patrón, puesto que, el testigo tuvo una resistencia promedio de $125\text{kg}/\text{cm}^2$, que al contrastarse con el concreto experimental reflejó a los 7 días una resistencia de $138\text{kg}/\text{cm}^2$, a los 14 días una resistencia mayor de $170\text{kg}/\text{cm}^2$, siendo superior a los 28 días con una resistencia promedio de $187\text{kg}/\text{cm}^2$, corroborando así lo anteriormente enunciado. Tales resultados, se asemejan al estudio de Videla y López (2020) quienes al analizar la atribución de la resistencia interior de un árido liviano corroboran que genera mejoras en las características del concreto y sus propiedades mecánicas, elevando con ello su resistencia y ligereza, comprobando similitudes a su vez, con el estudio de Boumeddiene et al. (2020) quienes ratifican que el reemplazo de arcillas en agregado para el concreto mantiene el rendimiento mecánico compatible con su uso como hormigón estructural.

Por otra parte, al trabajar con probetas experimentales de 1% de ignimbrita y $5\text{kg}/\text{cm}^3$, se obtuvo una cercanía a la resistencia promedio del concreto patrón de $125\text{kg}/\text{cm}^2$, sin embargo, esta no tuvo márgenes de resistencia a la compresión superiores al concreto patrón a los 7 días que fue de $120\text{kg}/\text{cm}^2$, siendo similar a los 14 días con $151\text{kg}/\text{cm}^2$ y llegando a ser inferior con un diferencia de $6\text{kg}/\text{cm}^2$ a los 28 días reflejando una resistencia promedio de $172\text{kg}/\text{cm}^2$, lo cual, se deduce que fue a causa del incremento de fibra de polipropileno. Bajo dicho contexto, se ratifica el estudio de Muñoz et al. (2021) quienes, al ahondar en la incidencia de las fibras en el concreto, corrobora

que el polipropileno resulta siendo un material con alto potencial en menores cantidades para mejorar la resistencia a la compresión, principalmente debido a que fomenta una menor trabajabilidad en el concreto a mayores cantidades.

Por otro lado, al realizar las probetas experimentales con adición al 3% de ignimbrita al adicionar 3kg/cm³ de fibra de polipropileno se denota una mayor resistencia en el concreto experimental a los 7 días en 126kg/cm², así como a los 14 días en 152kg/cm², y a los 28 días una resistencia similar en 178kg/cm²; obteniendo como resultados al adicionar 5kg/cm³ de fibra de polipropileno, una menor resistencia a los 7 días en 123kg/cm², así como a los 14 días en 141kg/cm² y a los 28 días en 159kg/cm², corroborando con ello que a mayor cantidad de fibra menor resistencia. En torno a los resultados obtenidos, se posee semejanzas con el estudio de Sanchez (2021) quien al aplicar fibra de polipropileno sikafiber como es el caso del presente estudio, llegó a comprobar que en menores cantidades la fibra logra generar mejoras al 16.42% en la resistencia a la compresión, reduciendo la fisuración al 7.90%, sin embargo, a mayores cantidades puede llegar a fomentar el efecto contrario, tal como, se evidenció en el presente estudio.

Al adicionar 5% de ignimbrita en el concreto experimental, conjuntamente con 3kg/cm³ de fibra de polipropileno, se observó la limitante de adición de ignimbrita, puesto que, a los 7 días, 14 días y 28 días se halló una resistencia inferior a la del concreto patrón, no obstante, cuando se incrementó la fibra de polipropileno a 5kg/cm³, a los 7 días se reflejó la existencia de una resistencia similar de 125kg/cm², sin embargo, fue inferior a los 14 días en 144kg/cm² y a los 28 días en 160kg/cm², reflejando en ello que este tipo de dosificaciones no son las más adecuadas frente a la diferencia de resistencia a la compresión con el concreto patrón. Tales hallazgos, poseen similitud con los hallazgos de Toro (2017) quien, al adicionar fibra de polipropileno como agregado grueso del concreto, denotó que en elevadas dosificaciones llega a incidir de manera negativa en la resistencia a la compresión, ya que, la fibra posee un peso específico bajo de 0.92g/cm³ en promedio llegando con ello a dañar el concreto.

Por ello, al analizar los concretos experimentales pese a que acorde al slump estos poseen menor trabajabilidad frente al concreto patrón, principalmente debido a la adherencia de este tipo de mezcla que hace que tenga menor trabajabilidad en contraste al testigo con agregado grueso, resulta siendo viable el concreto experimental de 1% de ignimbrita y 3kg/cm³, puesto que, es el que resulta teniendo diferencias significativas en cuanto a la mejora en la resistencia a la compresión, destacando con ello que se observa un patrón de comportamiento entre las mezclas, denotando que, a mayor cantidad de ignimbrita menor cantidad de fibra de polipropileno, sin embargo, la cantidad de fibra no puede llegar a ser superior a la cantidad de ignimbrita, puesto que, la fibra resulta siendo el material que afecta en la trabajabilidad de la mezcla. Tales resultados, poseen similitud con los hallazgos de Zeyad et al. (2020) debido a que, al realizar las probetas experimentales con polvo de piedra volcánica y fibra de polipropileno, corroboró que la adición de elevadas cantidades de fibra del 0.20% frente a la de la piedra volcánica generan una menor resistencia a la durabilidad y compresión frente al concreto patrón de agregado grueso, por las propiedades de tenacidad del material, llegando a reducir el asentamiento, por lo que, ratifican que a mayor cantidad de piedra volcánica, menor cantidad de fibra.

En tal sentido, la metodología empleada en el diseño de mezcla fue la adecuada, debido a que, permitió determinar de forma correcta el slump y la resistencia a la compresión, lo cual, tuvo concordancia con las propiedades de tenacidad de la fibra de polipropileno comprobadas por Sika (2012). Por lo tanto, al determinar la consideración de diseño de mezcla más óptimo en el reemplazo del agregado grueso por ignimbrita y fibra de polipropileno, si bien se tiene limitantes

en la adición de fibra por las bondades de tenacidad que posee y su incidencia en la trabajabilidad del concreto, tal como, lo enuncia Quispe (2021) en su investigación, la ignimbrita puede llegar a generar un slump de ½”, además de un efecto superior de resistencia a la flexión en correspondencia con el hormigón convencional, por lo que, este tipo de concreto experimental principalmente puede considerarse para emplearlo con fines no estructurales.

5. CONCLUSIONES

Al sustituir el agregado grueso por ignimbrita y fibra de polipropileno los resultados demuestran que si mejora el comportamiento de la resistencia del concreto, sin embargo, es relevante tomar en consideración que la proporción de la mezcla debe manejarse en una dosificación mayor de ignimbrita y una menor dosificación de fibra de polipropileno, puesto que, al manejarse la fibra en una proporción superior a la ignimbrita, debido a sus propiedades de tenacidad, se reduce con ello la trabajabilidad del concreto.

Por otra parte, considerando que la composición química de la ignimbrita, predomina al 85.69% en sílice (SiO₂) y 9.53% de óxido de aluminio (Al₂O₃), ello implica la presencia de oxígeno al 50.03%, silicio al 38.6% y aluminio al 5.04%, lo cual, corrobora su elevado rendimiento de síntesis, e incidencia en la mejora de la resistencia en un máximo nominal de 1%, motivo por el cual, ello se visualizó en la resistencia a la compresión del concreto sustituyendo agregado grueso por ignimbrita y fibra de polipropileno cuya resistencia fue superior a la del concreto patrón en un diseño de mezcla compuesto por 1% de ignimbrita y 3kg/cm³ de fibra de polipropileno, ya que, se obtuvo una resistencia de 138kg/cm² a los 7 días, 170kg/cm² a los 14 días y 187kg/cm² a los 28 días.

REFERENCIAS

- Alave, M., & Mendoza, J. (2019). *Influencia del sillar como sustituto del agregado grueso en la mejora de las propiedades del concreto de $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ para muros de tabiquerías en edificación en la ciudad de Tacna*. Universidad Privada de Tacna, Tacna.
- Ashour, T., Morsy, M., Korjenic, A., Fischer, H., Khalil, M., Orabi, M., & Yehia, I. (2021). Engineering Parameters of Rice Straw Concrete with Granulated Blast Furnace Slag [Parámetros de ingeniería del hormigón de paja de arroz con escoria granulada de alto horno]. *Energies*, 14(2), 1-14. doi:10.3390/en14020343
- Bhushan, S., & Alok, S. (2018). *Handbook of Research Methodology: A Compendium for Scholars & Researchers [Manual de Metodología de Investigación: Un compendio para académicos e investigadores]*.
- Camargo, M., Adefrs, E., Roether, J., Tilahun, D., & Boccaccini, A. (2020). A Review on Natural Fiber-Reinforced Geopolymer and Cement-Based Composites [Una revisión sobre geopolímeros reforzados con fibras naturales y compuestos a base de cemento]. *Materials*, 13(20), 1-29. doi:10.3390/ma13204603
- Carlessi Sanchez, H., & Reyes Meza, C. (2015). *Metodología y diseño en la investigación científica*. Lima.

- Correa, J. (2015). *Evaluación del efecto de la variación de la dosificación de agregado ligero de arcilla expandida en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto estructural aligerado*. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- Dong, L., Wang, Y., Li, H., Jiang, B., & Al-Hussein, M. (2018). Carbon Reduction Measures-Based LCA of Prefabricated Temporary Housing with Renewable Energy Systems [ACV basado en medidas de reducción de carbono de viviendas temporales prefabricadas con sistemas de energía renovable]. *Sustainability*, 10(3), 1-22. doi:10.3390/su10030718
- Fuentes, N., Jiménez, K., Otero Añez, R., & Uzuriaga, W. (2021). Aprovechamiento sostenible de residuos poliméricos como agregados del concreto: Una revisión. *Interciencia*, 46(6), 240-247.
- Grădinaru, C., Șerbănoiu, A., Babor, D., Sârbu, G., Petrescu-Mag, I., & Grădinaru, A. (2019). When Agricultural Waste Transforms into an Environmentally Friendly Material: The Case of Green Concrete as Alternative to Natural Resources Depletion. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 32(1), 77-93. doi:10.1007/s10806-019-09768-1
- Jara, E., & Serrano, A. (2020). *Fibras de acero para mejorar la resistencia del concreto en edificaciones urbanas. Revisión Sistemática entre el año 2010 y 2020: Una revisión de la literatura científica*. Universidad Privada del Norte, Trujillo.
- Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacios, J., & Romero, H. (2018). *Metodología de la investigación Cuantitativa - Cualitativa y Redacción de la Tesis*. Bogotá.
- Palanisamy, M., Kolandasamy, P., Awoyera, P., Gobinath, R., Muthusamy, S., Krishnasamy, T., & Viloría, A. (2020). Permeability properties of lightweight self-consolidating concrete made with coconut shell aggregate [Propiedades de permeabilidad del hormigón ligero autocompactante elaborado con árido de cáscara de coco]. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(3), 3547-3557. doi:10.1016/j.jmrt.2020.01.092
- Pittau, F., Krause, F., Lumia, G., & Habert, G. (2018). Fast-growing bio-based materials as an opportunity for storing carbon in exterior walls [Materiales de base biológica de rápido crecimiento como oportunidad para almacenar carbono en paredes exteriores]. *Building and Environment*, 129, 117-129. doi:10.1016/j.buildenv.2017.12.006
- Pokorný, J., Ševčík, R., Šál, J., & Zárbynická, L. (2021). Lightweight blended building waste in the production of innovative cement-based composites for sustainable construction [Residuos de construcción ligeros mezclados en la producción de compuestos innovadores a base de cemento para la construcción]. *Construction and Building Materials*, 299, 123933. doi:10.1016/j.conbuildmat.2021.123933
- Praveenkumar, S., & Sankarasubramanian, G. (2021). Synergic Effect of Sugarcane Bagasse Ash Based Cement on High Performance Concrete Properties [Efecto sinérgico del cemento a base de ceniza de bagazo de caña de azúcar sobre las propiedades del hormigón de alto rendimiento]. *Silicon*, 13(7), 2357-2367. doi:10.1007/s12633-020-00832-4