

Compressive strength of concrete specimens with the addition of buttermilk

Enrique Joseph, Colunche Saavedra¹; Renzo Fabricio, Arribasplata Florian²; Miguel Angel, Mosqueira Moreno Dr. ³

¹Universidad Privada del Norte (UPN) Cajamarca, Perú. n00201049@upn.pe

²Universidad Privada del Norte (UPN) Cajamarca, Perú. n00198613@upn.pe

³Universidad Privada del Norte (UPN) Cajamarca, Perú. miguel.mosqueira@upn.pe

Abstract– This article addressed the need to improve the properties of concrete in the construction sector, in addition to mitigating the environmental impact generated by agroindustrial waste, such as whey, which is often disposed of in rivers and soils, where its high organic load contaminates the water and alters the properties of the soil. The methodology had an experimental design and was of the applied type, in which the impact of whey as an admixture in proportions of 1% and 2% by weight of water on the compressive strength of concrete was evaluated. A total of 36 concrete specimens were used, classified into three treatments according to the addition of whey (standard, 1% and 2%). Each treatment was evaluated using 4 specimens per day of curing (7,14 and 28 days). The results showed that the addition of whey caused a significant impact on the compressive strength of the concrete specimens. It was observed that the addition of 2% buttermilk increased the strength to a greater extent at 7 and 14 days; however, at 28 days, the addition of 1% buttermilk presented better results. It was concluded that whey can be used as an admixture in concrete, improving its compressive strength and offering an economical and ecological alternative in construction, promoting the reuse of agroindustrial by-products and more sustainable practices.

Keywords: Concrete, admixture, whey, agro-industrial waste, concrete strength.

Resistencia a la compresión en probetas de concreto con la adición de suero de leche

Enrique Joseph, Colunche Saavedra¹; Renzo Fabricio, Arribasplata Florian²; Miguel Angel, Mosqueira Moreno Dr. ³

¹Universidad Privada del Norte (UPN) Cajamarca, Perú. n00201049@upn.pe

²Universidad Privada del Norte (UPN) Cajamarca, Perú. n00198613@upn.pe

³Universidad Privada del Norte (UPN) Cajamarca, Perú. miguel.mosqueira@upn.pe

Resumen– Este artículo abordó la necesidad de mejorar las propiedades del concreto en el sector de la construcción, además de mitigar el impacto ambiental generado por los desechos agroindustriales, como el suero de leche, que con frecuencia se desecha en ríos y suelos, el cual debido a su alta carga orgánica contamina el agua y altera las propiedades del suelo. La metodología tuvo un diseño experimental y fue de tipo aplicada, en el cual se evaluó el impacto de la adición de suero de leche en proporciones del 1% y 2% al peso del agua sobre la resistencia a la compresión del concreto. Se utilizó un total de 36 probetas de concreto, clasificadas en tres tratamientos según la adición de suero de leche (patrón, 1% y 2%). Cada tratamiento fue evaluado mediante 4 muestras por edad de curado (7, 14 y 28 días). Los resultados demostraron que la adición de suero de leche causó un impacto significativo en la resistencia a la compresión de las probetas de concreto. Se observó que la adición del 2% de suero de leche incrementó en mayor medida la resistencia a los 7 y 14 días; sin embargo, a los 28 días, la adición del 1% de suero de leche presentó mejores resultados. Se concluyó que el suero de leche puede ser utilizado como aditivo en el concreto, mejorando su resistencia a la compresión y ofreciendo una alternativa económica y ecológica en la construcción, fomentando la reutilización de subproductos agroindustriales y prácticas más sostenibles.

Palabras Clave: Concreto, aditivo, suero de leche, residuos agroindustriales, resistencia del concreto.

I. INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción es una de las industrias más importantes a nivel mundial, impulsada por el crecimiento demográfico, el aumento de los niveles de vida y la urbanización. Esta industria ha evolucionado significativamente, enfocándose en el desarrollo de nuevos materiales cementosos mediante la incorporación de residuos y alternativas ecológicas [1]. Este avance ha dado lugar a nuevas generaciones de concreto diseñado para obtener mejores características mecánicas y altas resistencias [2].

En el Perú, el crecimiento del sector construcción es evidente, particularmente en la edificación de viviendas, que van desde la rehabilitación de inmuebles hasta la construcción de nuevos edificios [3]. Este desarrollo se complementa con un incremento en el uso de aditivos en el concreto, que mejoran su desempeño y optimizan los tiempos y costos de ejecución [4].

En la ciudad de Cajamarca, esta tendencia se manifiesta en el aumento de obras civiles, lo que ha convertido al concreto como material principal para la construcción [5].

La producción lechera representa una de las actividades más significativas para los pequeños y medianos productores en el Perú, siendo una base fundamental en el desarrollo agropecuario del país [6].

En este contexto, Cajamarca destaca como la principal productora de leche a nivel nacional, con una producción anual de 361 millones de litros, y cuenta con 1200 plantas queseras, lo que la coloca en el segundo lugar en número de plantas, superada por Puno. Anualmente procesa más de 150 millones de litros de leche para la elaboración de queso [7].

Sin embargo, esta intensa actividad genera grandes cantidades de residuos agroindustriales, entre los cuales destacan el suero de leche, un subproducto de la industria láctea, que constituye entre el 80% y el 90% del total de leche que se procesa, y contiene alrededor del 50% de los nutrientes presentes en la leche original [8].

En este sentido, las proteínas del suero poseen propiedades funcionales, como la capacidad de retener agua, espesar, gelificar y emulsionar, lo que las hace útiles tanto en aplicaciones alimentarias como no alimentarias [9].

Estas propiedades permiten que el suero de leche actúe como un aditivo en mezclas de concreto, ya que favorece la retención de agua, la dispersión de partículas y la cohesión interna de la mezcla, lo que mejora el proceso de hidratación del cemento y reduce la porosidad. Además, contiene pequeñas cantidades de caseína, una proteína que contribuye a la formación de una estructura interna más compacta, lo cual incrementa la resistencia a la compresión.

No se han encontrado estudios referentes al uso del suero de leche como aditivo en el concreto, tanto a nivel local como internacional, considerando que Cajamarca es una zona altamente ganadera. Sin embargo, sí se han identificado investigaciones relacionadas con el uso de la caseína, una proteína de la leche con características similares a las del suero de leche.

El estudio realizado en Polonia, investigó el efecto de la adición de caseína en la distribución del tamaño de poros y las propiedades mecánicas de una pasta de cal-metacaolín. Se prepararon mezclas con diferentes porcentajes de caseína (0.5%, 1%, 3% y 5% del peso de la mezcla del aglomerante) y se llevaron a cabo pruebas para evaluar la resistencia a la compresión y a la flexión de las pastas. Los resultados mostraron que la adición de caseína, especialmente en concentraciones del 0.5%, incrementó significativamente la resistencia a la flexión. Sin embargo, concentraciones más altas (3% y 5%) resultaron en una disminución de la resistencia a la compresión. En conclusión, el estudio destacó el potencial de la caseína como un aditivo natural para mejorar las propiedades mecánicas de la pasta de cal-metacaolín, sugiriendo futuras investigaciones con concentraciones menores para optimizar los resultados [10].

Cajamarca es una región líder en la producción lechera y enfrenta un desafío en la gestión sostenible de sus residuos agroindustriales. Por esta razón, surge la importancia de investigar el uso del suero de leche para aprovechar su potencial como aditivo en el concreto, con el objetivo de ofrecer una alternativa que mitigue el impacto ambiental y mejore las propiedades del concreto. Esta investigación fomenta la reutilización de residuos y contribuye a la mejora de la calidad de vida de las comunidades cercanas a las plantas procesadoras.

De esta manera, el objetivo general de esta investigación fue determinar la influencia en la resistencia a la compresión en probetas de concreto $f_c=21$ MPa adicionando suero de leche en relación de 1% y 2% al peso del agua. Este valor de resistencia fue seleccionado siguiendo la Norma Técnica Peruana E.060, que establece 21 MPa como la resistencia mínima requerida para concreto en zonas de alta sismicidad, como es el caso de Cajamarca [11].

Para comprender el impacto del suero de leche en el concreto, es fundamental establecer las definiciones esenciales de los términos técnicos utilizados en esta investigación.

A. Definiciones esenciales

- Concreto: Combinación de cemento Portland o cualquier otro tipo de cemento hidráulico, agregado fino y grueso, y agua, con o sin el uso de aditivos [11].
- Agregado Fino: Es un material granular consecuencia de una desintegración artificial como natural, cumple con las especificaciones requeridas y se mantiene atrapado entre los límites establecidos según la norma técnica peruana [12].
- Agregado Grueso: Es el material que queda atrapado en un tamiz de 4,75 mm ($N^{\circ}4$) a consecuencia de una descomposición natural como artificial de la roca [12].
- Resistencia a la Compresión: Es una propiedad mecánica fundamental que mide la capacidad de un

material para soportar cargas de compresión axial sin fallar [13].

- Aditivo: Es un componente adicional al agua, de los agregados o del cemento, que se incorpora al concreto, ya sea antes o durante el mezclado, con el propósito de modificar sus propiedades [11].
- Suero de leche: Es un subproducto lácteo que se genera cuando la caseína de la leche se coagula durante la elaboración del queso, proceso inducido por enzimas coagulantes o por la adición de ácidos orgánicos o minerales [14].

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación utilizó un diseño experimental, debido a que se evaluó el efecto de la adición de suero de leche en relación al peso del agua, en porcentajes de 1% y 2% sobre la resistencia a la compresión del concreto. Asimismo, fue de tipo aplicada porque se centró en resolver un problema práctico y presentó un enfoque de investigación cuantitativo, ya que los datos se recopilaron en forma de números y se analizaron estadísticamente.

A. Materiales

La presente investigación se realizó en la ciudad de Cajamarca, Perú, en el año 2024.

Para la elaboración de las probetas de concreto, se utilizaron los siguientes materiales:

- Agregado fino
- Agregado grueso
- Cemento Portland Tipo I
- Agua
- Suero de leche

B. Diseño de mezcla

Se elaboraron diseños de mezcla utilizando el método del Módulo de Finura, teniendo en cuenta los siguientes:

- Diseño de mezcla patrón, grupo de probetas control $f_c=21$ MPa.
- Diseño de mezcla con adición de 1% de suero de leche al peso del agua.
- Diseño de mezcla con adición de 2% de suero de leche al peso del agua.

C. Muestra

La población estuvo conformada por 36 probetas de concreto, distribuidas en 4 muestras por tratamiento (Patrón, 1% y 2% de adición de suero de leche) y por edad de curado (7, 14 y 28 días). De acuerdo con la norma técnica peruana E.060, se recomienda ensayar

al menos dos probetas cilíndricas a los 28 días de curado para determinar la resistencia a la compresión del concreto [11]. El muestreo siguió el método no probabilístico ya que las probetas no se seleccionaron al azar de una población más grande.

TABLA I
DISTRIBUCIÓN DE MUESTRAS POR TRATAMIENTO Y DÍAS DE CURADO

Tratamiento	Días de curado	Número de muestras por días de curado	Subtotal
Patrón	7, 14,28	4	12
1%	7, 14,28	4	12
2%	7, 14,28	4	12
TOTAL			36

D. Técnicas e instrumentos de recopilación de información

Se utilizó la técnica de la observación directa para recolectar y analizar datos, empleando fichas de registro para anotarlos de manera sistemática.

- Análisis granulométrico de agregados finos y gruesos (ASTM C136 – NTP 400.012).
- Contenido de Humedad (ASTM D2216 – NTP 339.127).
- Peso Unitario de los Agregados (ASTM C29 – NTP 400.017).
- Peso Específico y Absorción de Agregados Finos (ASTM C128 – NTP 400.022).
- Peso Específico y Absorción de Agregados Gruesos (ASTM C127 – NTP 400.021).
- Asentamiento del Concreto (ASTM C143-NTP 339.035).
- Resistencia a la compresión de testigos cilíndricos (ASTM C39-NTP 339.034).

E. Técnicas e instrumentos de análisis de información

El análisis estadístico se realizó con el software Minitab. Se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) para identificar diferencias significativas entre los tratamientos. Además, se aplicó la prueba de Tukey para determinar qué tratamientos tenían esas diferencias. Ambos análisis se hicieron con un nivel de confianza del 95%, garantizando la validez de los resultados.

Los resultados de la resistencia a la compresión fueron analizados y comparados de acuerdo con la guía para la evaluación de resultados de ensayos de resistencia del concreto [15], asegurando el cumplimiento de los estándares de calidad requeridos.

TABLA II
ESTÁNDARES PARA EL CONTROL DEL CONCRETO
(F' C ≤ 35 MPa)

Tandas de ensayo en laboratorio	
Desviación estándar para los diferentes estándares de control (MPa)	Categoría de control
<1.4	Excelente
1.4 - 1.7	Muy Buena
1.7 - 2.1	Buena
2.1 - 2.4	Regular
>2.4	Mala

Referencia [15].

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los diferentes ensayos realizados.

La Tabla III muestra las propiedades físicas y mecánicas del agregado fino empleado en la investigación.

TABLA III
CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO FINO

Descripción	Resultados	Unidad
Contenido de Humedad	6.90	%
Peso Unitario Suelto P.U. S	1454.81	kg/m ³
Peso Unitario Compactado P.U.C	1594.83	kg/m ³
Peso Específico	2640	kg/m ³
Absorción	4.07	%
Módulo de Finura	3.05	-

La Tabla IV presenta las características principales del agregado grueso utilizado en el estudio.

TABLA IV
CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO GRUESO

Descripción	Resultados	Unidad
Contenido de Humedad	0.66	%
Peso Unitario Suelto P.U. S	1398.24	kg/m ³
Peso Unitario Compactado P.U.C	1523.20	kg/m ³
Peso Específico	2640	kg/m ³
Absorción	0.71	%
Módulo de Finura	7.32	-
Tamaño Máximo Nominal	19	mm

Según las Tablas III y IV, las propiedades físicas y mecánicas del material, conforme a la caracterización del agregado, cumplen con las especificaciones de la Norma Técnica Peruana.

La Tabla V incluye los resultados del ensayo de asentamiento realizado para los diferentes tratamientos de concreto.

TABLA V
ENSAYO DE ASENTAMIENTO EN ESTADO FRESCO

Descripción	Asentamiento (mm)	Asentamiento (plg)
Concreto Patrón	76.2	3
Concreto Patrón + 1% de Suero de Leche	101.6	4
Concreto Patrón + 2% de Suero de Leche	127	5

La Tabla V muestra que el asentamiento del concreto incrementa conforme se aumenta la adición de suero de leche, reflejando una mayor fluidez en las mezclas con 1% y 2% de aditivo en comparación con el concreto patrón.

La Tabla VI detalla los valores promedio de resistencia a la compresión obtenidos en las probetas a las edades de 7, 14 y 28 días.

TABLA VI
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CON ADICIÓN DE 1% Y 2% DE SUERO DE LECHE A LOS 7, 14 Y 28 DÍAS

Descripción	Edad (días)	f'c Promedio (MPa)
Probetas patrón	7	16.00
Probetas patrón+1% de Suero de Leche	7	21.89
Probetas patrón+2% de Suero de Leche	7	25.82
Probetas patrón	14	20.67
Probetas patrón+1% de Suero de Leche	14	29.13
Probetas patrón+2% de Suero de Leche	14	29.57
Probetas patrón	28	24.94
Probetas patrón+1% de Suero de Leche	28	33.11
Probetas patrón+2% de Suero de Leche	28	31.22

La Figura 1 ilustra cómo varía la resistencia a la compresión del concreto con los días de curado para los diferentes tratamientos.

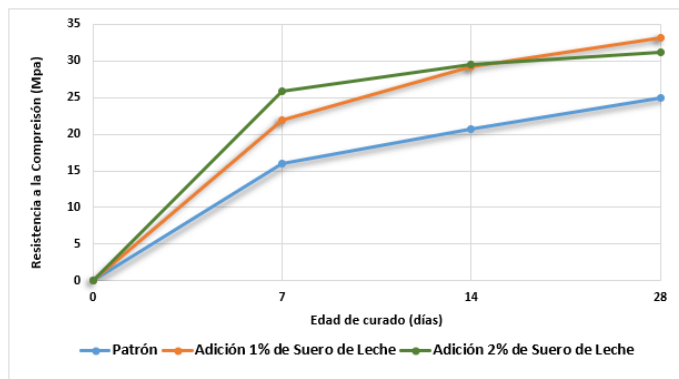


Fig. 1 Variación de la resistencia a la compresión con los días de curado.

De la Tabla VI y Figura 1, se obtiene los siguientes resultados:

- A los 7 días, el concreto con 2% de suero de leche alcanzó una resistencia promedio de 25.82 MPa (161.42%), superando significativamente al concreto con 1% de suero que presentó 21.89 MPa (136.85%). Este comportamiento sugiere que una mayor dosificación de suero de leche acelera las reacciones iniciales de hidratación, promoviendo un rápido desarrollo de resistencia.
- A los 14 días, el concreto con 2% de suero alcanzó una resistencia promedio de 29.57 MPa (143.05%), seguido por el concreto con 1% de suero que presentó 29.13 MPa (140.92%). La menor diferencia entre los tratamientos con 1% y 2% indica que el efecto

acelerador del suero de leche se estabiliza progresivamente.

- A los 28 días, el concreto con 1% de suero de leche superó al tratamiento de 2%, alcanzando 33.11 MPa (132.80%), mientras que el concreto con 2% registró 31.22 MPa (125.20%). Estos resultados sugieren que, aunque el 2% de suero es más efectivo a corto plazo, el 1% podría estar más cerca a la dosis óptima para mejorar la resistencia a largo plazo.

Nuestros resultados son consistentes con la Referencia [10], en los cuales se observó que la adición de caseína en concentraciones bajas mejoró significativamente la resistencia a la flexión. Sin embargo, cuando las concentraciones aumentaron, se observó una disminución en la resistencia a la compresión. Esto sugiere que hay una cantidad óptima para agregar aditivos naturales, donde las cantidades moderadas pueden mejorar las propiedades del material, pero cantidades excesivas puede tener efectos negativos.

La Figura 2 ilustra la resistencia promedio alcanzada por cada tratamiento a los 28 días de curado.

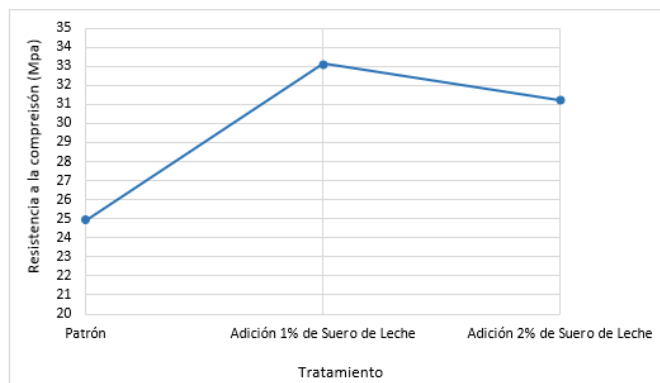


Fig. 2 Resistencia a la compresión promedio a los 28 días de curado.

La Tabla VII muestra la variación en la resistencia a la compresión a los 28 días por tratamiento.

TABLA VII
VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS

Tratamiento	Edad (días)	Media (MPa)	Variación (%)
Probetas Patrón	28	24.94	0
Probetas Patrón + 1% Suero de Leche	28	33.11	32.80
Probetas Patrón + 2% Suero de Leche	28	31.22	25.20

La Tabla VII y la Figura 2 muestran que la adición de 1% de suero de leche incrementó la resistencia en un 32.80%, mientras que con 2% el aumento fue de un 25.20%, respecto al concreto patrón. Esto respalda que la adición de 1% de suero de leche proporciona mejores resultados a largo plazo.

La Tabla VIII contiene los resultados del análisis de varianza para la resistencia a la compresión entre los diferentes tratamientos.

TABLA VIII
ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Tratamiento	2	146.596	73.2979	533.90	0.000
Error	9	1.236	0.1373		
Total	11	147.831			

Si $(0.01 < P < 0.05)$ hay significación estadística en el ANOVA
 Si $(P < 0.01)$ hay una alta significación estadística en el ANOVA
 Si $(P > 0.05)$ no hay diferencia estadística en el ANOVA
 GL (grados de libertad)
 SC (suma de cuadrados)
 MC (Media de los cuadrados)
 Valor F (F calculado)
 Valor P (valor de probabilidad).

La Tabla VIII señala que el análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($P < 0.01$, con un valor $P = 0.000$). Esto confirma que la adición de suero de leche tiene un impacto relevante en la resistencia a la compresión a los 28 días.

La Tabla IX presenta las medias de resistencia a la compresión para cada tratamiento, con sus respectivas desviaciones estándar.

TABLA IX
MEDIAS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS

Tratamiento	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Adición de 1% de Suero de Leche	4	33.114	0.1843	(32.6948; 33.533)
Adición de 2% de Suero de Leche	4	31.22	0.251	(30.801; 31.639)
Patrón	4	24.936	0.561	(24.517; 25.355)

Desv.Est. agrupada = 0.370523

La Tabla IX muestra que las desviaciones estándar para las probetas patrón, con adición de 1% y 2% de suero de leche son 0.561, 0.1843 y 0.251 respectivamente. Por otro lado, la Tabla II clasifica los estándares del control del concreto según la desviación estándar, calificando los resultados como excelentes, al presentar desviaciones menores a 1.4, lo que demuestra que los resultados son uniformes.

La Tabla X resume el análisis del método de Tukey aplicado a los resultados de resistencia a la compresión a los 28 días.

TABLA X
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS, ANALIZADOS CON EL MÉTODO DE TUKEY AL 95% DE CONFIANZA

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Adición de 1% de Suero de Leche	4	33.114	A
Adición de 2% de Suero de Leche	4	31.220	B
Patrón	4	24.936	C

La Tabla X presenta un análisis post hoc mediante el método de Tukey al 95% de confianza. Las letras asignadas a los tratamientos confirman diferencias significativas entre las medias, ya que cada tratamiento pertenece a un grupo distinto. Esto demuestra que la adición de suero de leche influye significativamente en la resistencia a la compresión a los 28 días.

La Figura 3 muestra los intervalos de confianza de los resultados de resistencia a la compresión para cada tratamiento a los 28 días.

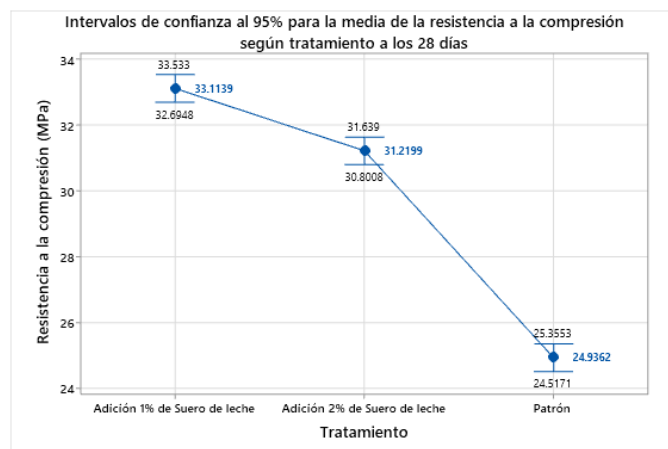


Fig. 3 Gráfica de intervalos de confianza de la resistencia a la compresión a los 28 días.

En la Figura 3 se observa que las barras de intervalos de confianza de los tratamientos con 1% y 2% de suero de leche no se cruzan con los del concreto patrón, lo que confirma diferencias significativas entre ellos.

La Figura 4 muestra la distribución de los valores individuales de resistencia a la compresión y la media para cada tratamiento a los 28 días.

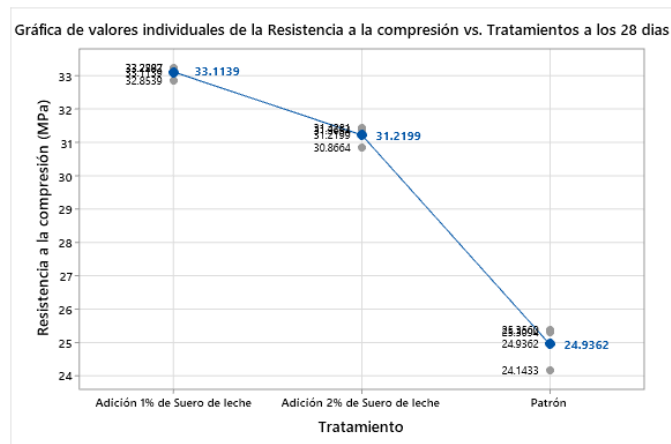


Fig. 4 Gráfica de valores individuales de la resistencia a la compresión vs. Tratamiento a los 28 días.

IV. CONCLUSIONES

En la Figura 4, la distribución de los valores para la adición de 1% de suero de leche muestra un agrupamiento más uniforme, mientras que la de 2% presenta una ligera dispersión. El concreto patrón muestra una mayor separación, indicando menor homogeneidad.

La Figura 5 presenta la dispersión y la mediana de la resistencia a la compresión para cada tratamiento a los 28 días.

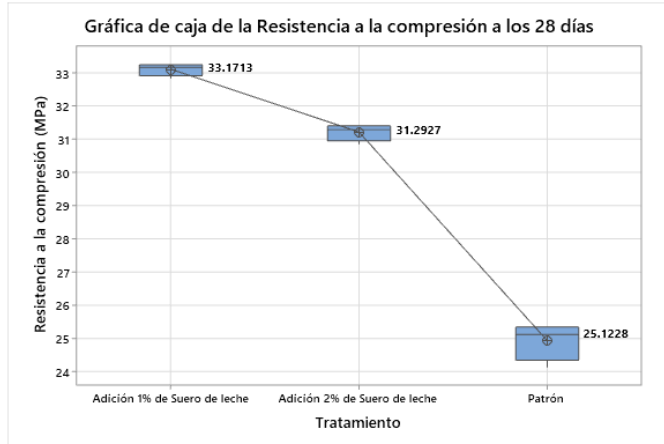


Fig. 5 Gráfica de caja de la Resistencia a la compresión a los 28 días.

En la Figura 5, la gráfica de caja muestra lo siguiente:

- El concreto patrón presenta una mediana de 25.12 MPa y un rango intercuartil de 1.00.
- La adición de 1% suero de leche muestra presenta una mediana de 33.17 MPa y un rango intercuartil de 0.33.
- La adición de 2% suero de leche muestra presenta una mediana de 31.29 MPa y un rango intercuartil de 0.46.

De acuerdo con los resultados de la Figura 4 y Figura 5 se obtiene que:

- La mediana del tratamiento patrón es mayor que la media, lo que indica una distribución asimétrica negativa. Además, la dispersión observada indica la presencia de algunos valores atípicos.
- La mediana de la adición de 1% de suero de leche está cerca de la media, lo que indica una distribución aproximadamente simétrica con poca dispersión de los datos.
- La mediana de la adición de 2% de suero de leche es ligeramente mayor a la media, esto indica que tiene una distribución ligeramente asimétrica negativa con poca dispersión.

Los ensayos de asentamiento demostraron que la adición de suero de leche incrementa la fluidez del concreto. En el concreto patrón se registró un asentamiento de 76.2 mm, mientras que con 1% y 2% de suero de leche, los valores aumentaron a 101.6 mm y 127 mm respectivamente.

La adición de suero de leche mejoró significativamente la resistencia a la compresión en todas las edades de curado. A los 7 días, el concreto con 2% de suero de leche incrementó su resistencia en un 61.42% en comparación con el concreto patrón, mientras que con 1% el aumento fue del 36.85%. A los 14 días, los incrementos fueron del 43.05% para 2% y del 40.92% para 1%.

La adición de 1% de suero de leche a los 28 días, proporcionó la resistencia más alta, con un promedio de 33.11 MPa, lo que representa un aumento del 32.80% respecto a las probetas patrón con 24.94 MPa. Estos resultados indican que la dosificación del 1% es la proporción óptima para mejorar la resistencia a la compresión del concreto.

Este estudio evidenció el potencial del suero de leche como un aditivo económico y sostenible para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. Sin embargo, se recomienda realizar estudios adicionales para evaluar el impacto de este aditivo en diferentes condiciones ambientales y mezclas de diseño.

REFERENCIAS

- [1] M. S. Guevara Laureano, "Desarrollo de nuevos materiales cementales utilizando residuos vítreos, mediante activación mecano-química," *Repositorio Institucional UANL*, 2013.
- [2] L. O. Gonzáles Salcedo, "Influencia de los componentes del concreto reforzado con fibras en sus propiedades mecánicas," *Repositorio Universidad Nacional de Colombia*, 2013.
- [3] Á. Espinoza y R. Fort, "Mapeo y tipología de la expansión urbana en el Perú," *GRADE*, 2020.
- [4] L. Fernández López, "Evaluación del diseño del concreto elaborado con cemento portland tipo I adicionando el aditivo sikament-290N, en la ciudad de Lima – 2016," *Repositorio de la Universidad César Vallejo*, 2017.
- [5] INEI, "Síntesis Estadística 2016," 2016.
- [6] MIDAGRI, "Impulsa a los pequeños ganaderos para mejorar la producción de leche, El Peruano," 3 Enero 2025. [En línea]. Available: <https://www.elperuano.pe/noticia/214270-midagri-impulsa-a-los-pequenos-ganaderos-para-mejorar-la-produccion-de-leche>.
- [7] Gobierno Regional de Cajamarca, "150 millones de litros de leche destinados a la producción de quesos en Cajamarca, cada año," 27 Marzo 2023. [En línea]. Available: <https://www.gob.pe/institucion/regioncajamarca/noticias/791620-150-millones-de-litros-de-leche-destinados-a-la-produccion-de-quesos-en-cajamarca-cada-ano>.
- [8] N. T.-T. y J. Z.-M. E. Trejo-Trejo, "Propuesta para el aprovechamiento de lactosuero en el Valle del Mezquital," *Revista de Tecnología e Innovación*, vol. 2, n° 3, Jun 2015.
- [9] G. Spahn, R. Baeza, L. G. Santiago y A. M. R. Pilosof, "Whey protein concentrate/ λ -carrageenan systems: Effect of processing parameters on the dynamics of gelation and gel properties," *Food Hydrocolloids*, 2008.
- [10] P. Brzyski, Z. Suchorab y G. Łagód, "The Influence of Casein Protein

Admixture on Pore,” *Buildings*, vol. 11, n° 530, 2021.

- [11] “Norma Técnica Peruana NTP 060: Concreto armado,” INACAL, Lima,Perú, 2019.
- [12] “Norma Técnica Peruana NTP 400.037: AGREGADOS. Agregados para concreto.Requisitos,” INACAL, Lima,Perú, 2018.
- [13] “Norma Técnica Peruana NTP 339.034: CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas,” INACAL, Lima,Perú, 2008.
- [14] Cámara Nacional de Industriales de la Leche, “Libro blanco sobre la leche y los productos lácteos,” *CANILEC*, vol. I, 2011.
- [15] American Concrete Institute, “ACI 214R-11: Guía para la evaluación de resultados de ensayos de resistencia del concreto,” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI., 2017.