

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO AL INCORPORAR EXTRACTO DE ALOE-VERA COMO INHIBIDOR DE ÓXIDO POR CARBONATACIÓN

EVALUATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE BY INCORPORATING ALOE VERA EXTRACT AS A CARBONATION RUST INHIBITOR

Junior Arturo, Gavilan Lizana¹; Jorge Luis, Soto Chicchon²; Javier, Reynoso Oscanoa³; Aldair Enrique, Sandoval Tamariz⁴; Fiorela Yselina, Perez Pereda⁵

Recibido 10/02/2025; Aprobado: 20/05/2025

DOI: <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica262.7>

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar la incidencia del extracto de aloe-vera como inhibidor de óxido inducido por carbonatación en el concreto; así mismo, el estudio adoptó una metodología aplicada y un diseño experimental, en el que se evaluó el concreto con diferentes dosificaciones de extracto de aloe vera en el cual las concentraciones utilizadas para la incorporación del aloe vera en el concreto fueron 0,75%, 1,30% y 1,7%. Además, los resultados indican que la incorporación de aloe vera en el concreto afecta de manera diversa sus propiedades, dependiendo de la concentración, donde se destacó que con concentraciones bajas de 0,75% se observó un leve aumento en la zona carbonatada y una ligera mejora en la resistencia a la compresión (5%), sin alterar significativamente la consistencia ni la resistencia a flexión. Sin embargo, a concentraciones más altas como 1,30% y 1,70%, los efectos fueron menores o incluso negativos, sugiriendo que un exceso de aloe vera podría afectar negativamente la estructura del concreto.

Palabras clave: *propiedades mecánicas del concreto; carbonatación en el concreto; inhibidor aloe vera de óxido*

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the incidence of aloe vera extract as an inhibitor of carbonation-induced rust in concrete. Likewise, the study adopted an applied methodology and an experimental design, in which concrete was evaluated with different dosages of aloe vera extract in which the concentrations used for the incorporation of aloe vera in the concrete were 0,75%, 1,30% and 1,7%. In addition, the results indicate that the incorporation of aloe vera in concrete differently affects its properties, depending on the concentration. It was highlighted that at low concentrations of 0,75%, a slight increase in the carbonated zone and a slight improvement in compressive strength (5%) were observed, without significantly altering the consistency or flexural strength. However, at higher concentrations such as 1,30% and 1,70%, the effects were minor or even negative, suggesting that an excess of aloe vera could negatively affect the structure of the concrete.

Keywords: *mechanical properties of concrete; carbonation in concrete; aloe vera rust inhibitor*

¹Junior Arturo, Gavilan Lizana. Ingeniero civil. Universidad César Vallejo. Lima. Perú. Correo: jgavilanl@ucvvirtual.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9711-0032>

²Jorge Luis, Soto Chicchon. Ingeniero civil. Universidad César Vallejo. Lima. Perú. Correo: jsotochi@ucvvirtual.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6874-8005>

³Javier, Reynoso Oscanoa. Maestro en Ingeniería Civil. Facultad de ingeniería civil. Universidad César Vallejo. Lima. Perú. Correo: jreynosoos@ucvvirtual.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1002-0457>

⁴Aldair Enrique, Sandoval Tamariz. Ingeniero civil. Universidad César Vallejo. Lima. Perú. Correo: asandovalta24@ucvvirtual.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5308-6459>

⁵Fiorela Yselina, Perez Pereda. Ingeniero civil. Universidad César Vallejo. Lima. Perú. Correo: fperezpe21@ucvvirtual.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4762-7412>

1. INTRODUCCIÓN

En el ámbito internacional, la industria de la construcción utiliza el concreto, una mezcla de cemento, agua y agregados, cuya producción requiere una gran cantidad de recursos y energía, lo que genera impactos ambientales significativos [1]. En los últimos 30 años, la demanda de concreto se ha cuadruplicado, lo que ha exacerbado la escasez de arena y aumentado las emisiones de CO₂ [2] que actualmente ascienden a 24 mil millones de toneladas anuales y se estima que alcanzarán los 39 mil millones para 2025 [3]. La fabricación de concreto es uno de los principales factores de estas emisiones, representando el 8% de las de CO₂ en la producción de cemento [4]. Este panorama ha llevado a países como China, el Reino Unido y Estados Unidos a comprometerse con la neutralidad de carbono para 2050-2060 [5].

En Perú, el concreto es un material compuesto por agregados, cemento, agua y aditivos, reconocido por su alta resistencia y utilizado ampliamente en la construcción de edificaciones, túneles, puentes y carreteras [6]. Así mismo, el concreto representa el 51,7% de las viviendas, lo que ha impulsado un aumento en la demanda de materiales como agregados, ladrillo y acero [7]. En términos generales, el concreto es fundamental en la construcción, con un consumo anual que alcanza los 4200 millones de toneladas [8]. Sin embargo, la industria de la construcción, clave en las economías emergentes, es responsable de aproximadamente el 30% de las emisiones globales de CO₂. El cemento, aunque económico, contribuye con un 7% de esas emisiones y representa entre el 10% y 15% del concreto [9]. Además, la extracción de materiales de las canteras para la producción de concreto consume grandes cantidades de recursos y energía, generando significativas emisiones de CO₂, que representan entre el 55% y el 74% del consumo energético y entre el 47% y el 71% de las emisiones de CO₂ durante su producción [10].

La investigación propone usar extracto de aloe vera como sustituto parcial del agua en la producción de concreto para mejorar sus

propiedades mecánicas y su capacidad para inhibir la corrosión por carbonatación, contribuyendo a la sostenibilidad y al avance tecnológico en la ingeniería civil, alineándose con el noveno Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) (11, 21).

2. DESARROLLO

Aunque el concreto es un material resistente y adecuado para infraestructuras, puede ser vulnerable a problemas como la carbonatación [12, 11], que ocurre cuando el CO₂ penetra en el concreto y reacciona con los álcalis, formando carbonato y agua [13, 12], el cual este proceso disminuye la alcalinidad del concreto, lo que destruye la protección de las armaduras y provoca corrosión, expansión, tensiones, grietas y pérdida del recubrimiento [14, 13]. Esto debido a factores como la composición, porosidad, relación agua-cemento y las condiciones ambientales [15, 14], así como la exposición a humedad, temperatura y otros agentes corrosivos, el cual reducen la durabilidad del concreto, favoreciendo la aparición de grietas y la pérdida de adherencia [16, 15].

Por otro lado, los contaminantes ambientales también afectan negativamente la durabilidad del concreto en Perú, causando, entre otros problemas, ataques ácidos que generan fisuras y grietas [17, 16], ante ello el problema más común es la carbonatación, un proceso en el cual el concreto absorbe dióxido de carbono (CO₂), lo que debilita el material y acelera la corrosión de las barras de refuerzo [18, 17]. Este fenómeno ocurre cuando el CO₂ reacciona con el hidróxido de calcio en el concreto, formando carbonato de calcio. Este proceso reduce la alcalinidad del concreto, lo que afecta al gel de silicato cálcico y, como consecuencia, disminuye su durabilidad [19, 18]. Además, se pueden observar eflorescencias, depósitos blancos que resultan de la reacción de las sales de calcio con el CO₂ presente en el aire [20, 19]. Por tanto, es fundamental utilizar concreto de alta durabilidad y baja permeabilidad para prevenir la formación de grietas y huecos, lo que contribuye a prolongar la vida útil de las estructuras [21, 20].

Diversos estudios se han destinado a evaluar la incidencia en las propiedades mecánicas del concreto al incorporar aditivos en la mezcla. Por ejemplo, en una investigación realizada tuvo como objetivo evaluar la mezcla de cemento Portland inducido con quitosana optimizaran las cualidades mecánicas y microestructurales, como población de estudio se tuvo 81 probetas que fueron puestos a prueba a los 7, 28 y 90 días. Como hallazgos se mencionaron que a los 28 días de maduración la mezcla estándar presento un esfuerzo de 41,46 MPa y con las dosis de 0.1%, 0.3% y 0.4% el esfuerzo incrementó en un 42,05, 44,47 y 42,51 MPa, por otra parte, a los 90 días, la muestra sin adición mostró un esfuerzo de 47,25 MPa y al adicionar 0,1% el esfuerzo aumentó a un 48,78 MPa y al incorporar 0,3 y 0,4 el esfuerzo decreció a 44,83 y 43,00 MPa consecuentemente [22].

En otro estudio se evaluó el procedimiento de deterioro del elemento constituido por concreto, donde fue causado por el efecto de microorganismos que produjeron ácido sulfúrico como material de su desintegración, la población estuvo constituido por toda la mezcla con agregados tratados con fenolftaleína, que es un indicador de ácido/base incoloro que modifica de tono a violeta a pH superior a 9 (alcalino), donde realizaron pruebas de carbonatación en la muestra de concreto y se extrajeron cuatro núcleos cilíndricos para someterse a pruebas de esfuerzo a la compresión. Los descubrimientos al quitar la capa no adherente de aproximadamente 8 cm alrededor del muro del pozo recién construido, se pudo observar que el concreto presentaba corrosión, ya que no cambiaba de color al aplicar fenolftaleína. Subsiguientemente se realizó un agujero de 5 cm, verificando que la zona más profunda del concreto aún presenta alcalinidad, para el esfuerzo a compresión se determinó que el grupo sin adición llegó a un esfuerzo de 59,70 MPa y la muestra K2, K3 y K4 presentaron un esfuerzo de 58,3, 57,7 y 59,5 MPa [23].

En otra investigación se tuvo como finalidad plantear e indagar el aumento de las cualidades mecánicas del bloque de concreto aumentando las dosis de aditivos reciclables, en donde se

efectuaron una muestra con una totalidad de 9 adiciones y se realizaron varios tipos de mezclas con diferentes combinaciones de aditivos reciclados. Por otra parte, se tuvo como hallazgos donde la muestra con una dosis de residuos reciclados al 6,66% y concreto estándar derivaron en un esfuerzo de 24,95 MPa a los 56 días, lo cual es semejante a una mezcla de concreto al 100%. En referencia a la flexión, se exhibió que todas las mezclas formuladas exhibieron un módulo de ruptura superior al del concreto tradicional, pero la mezcla con 90% de concreto y 10% de residuos (M1) obtuvo el mayor esfuerzo a flexión con 8,5 MPa [24].

Por tanto, se guía la presente investigación a emplear extracto de aloe vera como sustituto parcial del agua en la producción de concreto, a fin de mejorar sus propiedades mecánicas y su capacidad para inhibir la corrosión por carbonatación.

3. METODOLOGÍA

El estudio presento diferentes métodos para ejecutar pruebas de:

- Carbonatación como se especifica en UNE-EN 13295:2005 [25]
- Asentamiento dispuesto en ASTM C143/C143M-20 [26]
- Resistencia a compresión de acuerdo a ASTM C39/C39M-21 [27]
- Resistencia a flexión dispuesto en ASTM C78/C78M-22 [28],

Se clasificó como tipo de investigación aplicada, diseño cuasiexperimental, nivel explicativo y un enfoque cuantitativo. Así mismo la población estuvo constituida por 12 probetas de 4"x8" para el patrón y 36 unidades para los grupos experimentales, así mismo se efectuaron 9 vigas para el patrón y 27 vigas de 15x15x50cm para los experimentales, donde las probetas con aditivos estuvieron constituidas por dosificaciones del extracto de aloe-vera en 0,75; 1,3 y 1,7%.

3.1. Diseño de la Mezcla

En la Tabla 1 se exhibe todas las mezclas, la cantidad de cemento se mantiene constante en

42,57 kg, donde la cantidad de agua disminuye ligeramente conforme aumenta el porcentaje de aloe vera, pasando de 34,23 litros en el

concreto patrón (CP) a 30,37 litros con 1,7% de aloe vera, debido a que el aloe-vera reemplaza parte del agua.

Tabla 1. Diseño de mezclas del concreto patrón y experimental. Fuente: los autores

Diseño	Materiales				
	Cemento (kg)	Agua (lt)	A. fino (kg)	A. grueso (kg)	Aloe-vera (lts)
CP (Concreto patrón)	42,57	30,90	122,69	163,44	0,00
CE1 – 0,75% de extracto de aloe -vera	42,57	30,67	122,69	163,44	0,23
CE2 – 1,3% de extracto de aloe -vera)	42,57	30,50	122,69	163,44	0,40
CE3 – 1,7% de extracto de aloe -vera)	42,57	30,37	122,69	163,44	0,53

3.2. Clasificación del Extracto de Aloe-Vera

Revisión del PH del aloe vera.

En la Tabla 2 se presenta el pH del aloe vera, que es de 4,0, en el cual este nivel de acidez podría agravar la carbonatación del concreto al reducir aún más su pH, comprometiendo la protección del acero de refuerzo, además, considerando la acidez del aloe vera podría interferir en la formación del gel de silicato de calcio hidratado (C-S-H).

Tabla 2. Potencial de hidrogeno (pH) aloe vera. Fuente: los autores

Ensayo	Resultado	Norma
Potencial de hidrogeno (pH) aloe vero	4,0	AOAC 981.12 [29]

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Ensayo de Corrosión por Carbonatación

La Tabla 3 muestra los efectos de diferentes concentraciones de extracto de aloe vera sobre la carbonatación en comparación con el concreto patrón (CP).

Tabla 3. Resultados de la corrosión por carbonatación. Fuente: los autores

Muestra	Zona carbonatada (cm)	Zona no carbonatada (cm)
CP	2,2	17,8
CE1	2,5	17,5
CE2	2,7	17,3
CE3	2,8	17,2

Se puede concluir, el extracto de aloe vera tiene un leve efecto sobre la carbonatación, pero no mejora significativamente la resistencia del concreto a la corrosión.

4.2. Ensayo de Asentamiento

En la Figura 1 se exhibe los resultados de la consistencia del concreto, donde el patrón (CP) tuvo un asentamiento promedio de 4 pulgadas, así mismo al agregar 0,75% y 1,3% de extracto de aloe vera (CE1 y CE2), no se observaron cambios significativos en la fluidez. Sin embargo, con 1,7% de aloe vera (CE3), el asentamiento aumentó un 12,5%, mejorando la fluidez sin afectar la resistencia ni durabilidad.

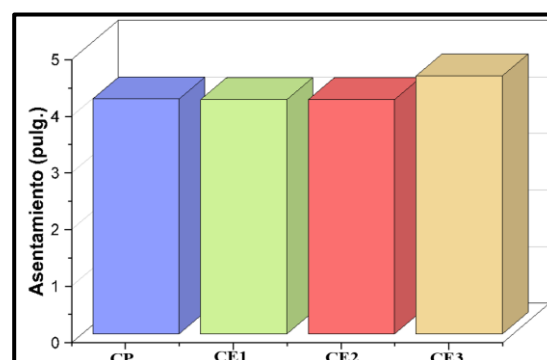


Figura 1. Asentamiento del concreto. Fuente: los autores

4.3. Ensayo Resistencia a Compresión

La Figura 2 muestra la resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 días, donde a los 7 días el CP tiene la mayor resistencia, mientras que las mezclas con aloe vera, especialmente el CE3 se reducen hasta un 18,8%, debido a la

hidratación de la mezcla; así mismo a los 14 días CP sigue siendo el grupo con mejor resistencia, por otro lado, a los 28 días CE1 y CE2 superan al CP con aumentos del 5% y 1% respectivamente, mientras que CE3 disminuye su resistencia.

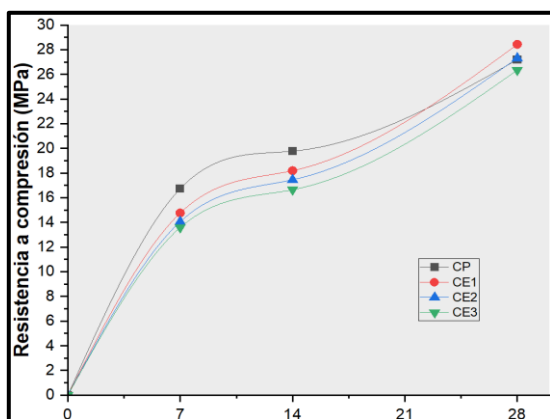


Figura 2. Resistencia a compresión del concreto.
 Fuente: los autores

4.3. Ensayo Resistencia a Flexión

La Figura 3 muestra la resistencia a flexión 7, 14 y 28 días, donde a los 7 días el CP presenta la mayor resistencia, mientras que las mezclas con aloe vera disminuyen, especialmente CE3 que se reduce en un 32%, lo que sugiere un retraso en el desarrollo inicial, también a los 14 días CP sigue siendo el mejor grupo, por otro lado, a los 28 días CE1 y CE2 superan al CP en 5% y 1%, respectivamente, mientras que CE3 disminuye en un 2%.

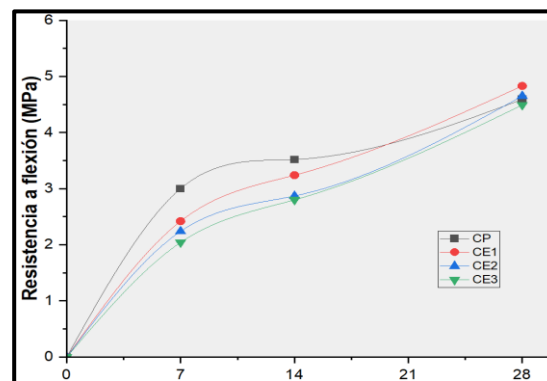


Figura 3. Resistencia a flexión del concreto.
 Fuente: los autores

4.3. Análisis Estadístico para Corrosión por Carbonatación

Test de normalidad de los datos

La Tabla 4 muestra el test de Shapiro-Wilk, que evalúa si los datos siguen una distribución normal, requisito para aplicar pruebas estadísticas paramétricas. Los valores de significancia (Sig.) para todas las muestras son mayores a 0,05, lo que indica que no hay evidencia suficiente para rechazar la normalidad, sugiriendo que las distribuciones de las muestras se ajustan adecuadamente a una curva normal.

Tabla 4. Test de normalidad para la corrosión por carbonatación. Fuente: los autores

Conjuntos	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
CP	0,923	3	0,463
CE1	0,865	3	0,281
CE2	0,993	3	0,843
CE3	0,987	3	0,780

Prueba de Homogeneidad de Varianzas

La Tabla 5 muestra los resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas

Tabla 5. Prueba de homogeneidad de varianzas para la corrosión por carbonatación. Fuente: los autores

Prueba	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Se basa en la media	0,342	3	8	0,796
Se basa en la mediana	0,240	3	8	0,866
Se basa en la mediana y con gl ajustado	0,240	3	7,437	0,866
Se basa en la media recortada	0,336	3	8	0,800

En la prueba basada en la media, el estadístico de Levene es 0,342 y el p-valor es 0,796, lo que indica varianzas homogéneas entre los

grupos. Así mismo ocurre en las pruebas basadas en la mediana y con grados de libertad ajustados, con estadísticos de 0,240 y p-

valores de 0,866, sugiriendo homogeneidad.

Análisis de varianza

La Tabla 6 muestra el resultado del test ANOVA, que determinó si existen diferencias significativas entre las medias de los grupos,

donde el valor de significancia (Sig.) fue 0,930, mucho mayor a 0,05, lo que indica que no hay diferencias estadísticamente significativas en los niveles de carbonatación entre los grupos.

Tabla 6. ANOVA de la corrosión por carbonatación. Fuente: los autores

Conjuntos	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,740	3	0,247	0,145	0,930
Dentro de grupos	13,587	8	1,698		
Total	14,327	11			

Prueba Post-Hoc de HSD Tukey

La Tabla 7 muestra la prueba Post-Hoc, que compara las medias entre todos los pares de grupos. Ninguna de las comparaciones presenta un valor de significancia (Sig.) menor a 0,05, lo que confirma que no hay diferencias significativas entre los grupos. Además, todos los intervalos de confianza incluyen el 0, lo que refuerza la conclusión de que las diferencias observadas son mínimas y no significativas.

Tabla 7. Prueba Post-Hoc de HSD Tukey de la corrosión por carbonatación. Fuente: los autores

Muestra (I)	Muestra (J)	Diferencia de medias (I-J)	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
CP	CE1	-0,30000	0,992	-3,7075	3,1075
	CE2	-0,50000	0,964	-3,9075	2,9075
	CE3	-0,66667	0,921	-4,0742	2,7408
CE1	CP	0,30000	0,992	-3,1075	3,7075
	CE2	-0,20000	0,997	-3,6075	3,2075
	CE3	-0,36667	0,985	-3,7742	3,0408
CE2	CP	0,50000	0,964	-2,9075	3,9075
	CE1	0,20000	0,997	-3,2075	3,6075
	CE3	-0,16667	0,999	-3,5742	3,2408
CE3	CP	0,66667	0,921	-2,7408	4,0742
	CE1	0,36667	0,985	-3,0408	3,7742
	CE2	0,16667	0,999	-3,2408	3,5742

Subconjunto de las medias de Tukey

La Tabla 8 presenta los valores promedio de carbonatación para cada grupo CP (concreto patrón) 2,1667 cm, CE1 (0,75%) 2,4667 cm, CE2 (1,3%) 2,6667 cm y CE3 (1,7%) 2,8333 cm.

Tabla 8. Medias de los grupos de la corrosión por carbonatación. Fuente: los autores

Muestra	N	Subconjunto para alfa = 0,05
		1
CP	3	2,1667
CE1	3	2,4667
CE2	3	2,6667
CE3	3	2,8333

Aunque hay un ligero aumento en la carbonatación con mayores concentraciones de aloe vera, las diferencias no son significativas, por lo que todos los grupos están en el mismo subconjunto.

4.4. Análisis Estadístico para Asentamiento

Test de normalidad de los datos

La Tabla 9 presenta los resultados del test de Shapiro-Wilk, que evalúa la normalidad de los datos. Los valores de p (Sig.) para todas las muestras (CP, CE1, CE2, y CE3) son mayores a 0,05 ($p = 0,780$), lo que indica que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis

nula, sugiriendo que los datos siguen una distribución normal.

Tabla 9. Test de normalidad para el asentamiento. Fuente: los autores

Conjuntos	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
CP	0,987	3	0,780
CE1	0,987	3	0,780
CE2	0,987	3	0,780
CE3	0,987	3	0,780

Prueba de Homogeneidad de Varianzas

La Tabla 10 muestra los resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas. En la prueba basada en la media, el estadístico de Levene es 0,169 y el p-valor es 0,915, sugiriendo varianzas homogéneas. En la prueba basada en la mediana y en la prueba con grados de libertad ajustados, los estadísticos y p-valores son 0,048 y 0,985 reforzando esta conclusión.

Tabla 10. Prueba de homogeneidad de varianzas para el asentamiento. Fuente: los autores

Prueba	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Se basa en la media	0,169	3	8	0,915
Se basa en la mediana	0,048	3	8	0,985
Se basa en la mediana y con gl ajustado	0,048	3	7,171	0,985
Se basa en la media recortada	0,156	3	8	0,923

Análisis de varianza

La Tabla 11 presenta los resultados del ANOVA, utilizado para determinar discrepancias significativas entre las medias de los grupos, donde la significancia (Sig.) fue de 0,000, lo que indica una diferencia significativa en al menos uno de los grupos en cuanto al asentamiento del concreto, donde el porcentaje de extracto de aloe vera tiene un efecto significativo sobre el asentamiento.

Tabla 11. ANOVA del asentamiento. Fuente: los autores

Conjuntos	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,563	3	0,188	296,053	0,000
Dentro de grupos	0,005	8	0,001		
Total	0,568	11			

Prueba Post-Hoc de HSD Tukey

Tukey.

La Tabla 12 muestra el análisis post hoc de

Tabla 12. Prueba Post-Hoc de HSD Tukey del asentamiento. Fuente: los autores

Muestra (I)	Muestra (J)	Diferencia de medias (I-J)	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
CP	CE1	0,00000	1,000	-0,0658	0,0658
	CE2	0,00000	1,000	-0,0658	0,0658
	CE3	-0,50000*	0,000	-0,5658	-0,4342
CE1	CP	0,00000	1,000	-0,0658	0,0658
	CE2	0,00000	1,000	-0,0658	0,0658
	CE3	-0,50000*	0,000	-0,5658	-0,4342
CE2	CP	0,00000	1,000	-0,0658	0,0658
	CE1	0,00000	1,000	-0,0658	0,0658
	CE3	-0,50000*	0,000	-0,5658	-0,4342
CE3	CP	0,50000*	0,000	0,4342	0,5658
	CE1	0,50000*	0,000	0,4342	0,5658
	CE2	0,50000*	0,000	0,4342	0,5658

Revela que no hay diferencias significativas

entre el concreto patrón (CP) y los grupos con

0,75% (CE1) y 1,3% (CE2) de extracto de aloe vera. Sin embargo, se encuentran diferencias significativas entre CP y CE3 (1,7%) ($p = 0,000$), con una diferencia media de -0,00, así como entre CE1 y CE2 respecto a CE3, donde esto sugiere que un mayor contenido de aloe vera (CE3) afecta significativamente el asentamiento del concreto, mientras que CE1 y CE2 no muestran diferencias con el CP.

Subconjunto de las medias de Tukey

En la Tabla 13 se exhiben el análisis de subconjuntos de Tukey, que revela que las muestras de CP, CE1 y CE2 tienen medias de asentamiento de 4", mientras que el grupo CE3 (1,7% de aloe vera) presenta una media significativamente mayor de 4,5", por tanto, esto refuerza la conclusión de que, con el incremento de la concentración de aloe vera, el asentamiento del concreto también aumenta significativamente.

Tabla 13. Medias de los grupos del asentamiento.
 Fuente: los autores

Muestra	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
CP	3	4,0333	
CE1	3	4,0333	
CE2	3	4,0333	
CE3	3		4,5333

4.5. Resistencia a Compresión

Test de normalidad de los datos

La Tabla 14 presenta los resultados del test de Shapiro-Wilk, que evalúa la distribución normal de los valores, donde los valores p (Sig.) para todas las muestras son mayores a 0,05, lo que indica que los datos se distribuyen normalmente. Así mismo los valores p fueron 0,637 para CP, 0,554 para CE1, 0,450 para CE2 y 0,372 para CE3, lo que confirma que los datos presentan normalidad.

Tabla 14. Test de normalidad para la resistencia a compresión. Fuente: los autores

Conjuntos	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
CP	0,964	3	0,637
CE1	0,947	3	0,554
CE2	0,919	3	0,450
CE3	0,896	3	0,372

Prueba de Homogeneidad de Varianzas

La Tabla 15 presenta los resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas, que indican que no se rechaza la hipótesis nula de igualdad de varianzas en todas las pruebas. Así mismo el estadístico de Levene para la prueba basada en la media es 2,176 con un p -valor de 0,169, en la prueba basada en la mediana el p -valor es 0,584, en la prueba con grados de libertad ajustados el p -valor es 0,596, y en la prueba basada en la media recortada el p -valor es 0,188.

Tabla 15. Prueba de homogeneidad de varianzas para la compresión. Fuente: los autores

Prueba	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Se basa en la media	2,176	3	8	0,169
Se basa en la mediana	0,689	3	8	0,584
Se basa en la mediana y con gl ajustado	0,689	3	5,105	0,596
Se basa en la media recortada	2,030	3	8	0,188

Análisis de varianza

La Tabla 16 muestra los resultados de la prueba ANOVA, utilizada para comparar las medias de los grupos (CP, CE1, CE2, y CE3) y evaluar diferencias en la resistencia a la compresión. El valor de significancia es 0,001, mucho menor a 0,05, lo que sugiere discrepancias significativas entre al menos uno de los grupos en cuanto a la resistencia a la compresión del concreto.

Tabla 16. ANOVA de la resistencia a compresión. Fuente: los autores

Conjuntos	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	6,63350	3	2,21117	34,464	0,001
Dentro de grupos	0,51327	8	0,06416		
Total	7,14677	11			

Esto indica que el extracto de aloe vera influye significativamente en la resistencia a la compresión y que su concentración impacta esta propiedad.

Prueba Post-Hoc de HSD Tukey

La Tabla 17 muestra el análisis post hoc de Tukey, donde se encuentran diferencias

significativas entre el concreto patrón (CP), CE1 (0,75% aloe-vera) ($p = 0.001$), entre CP y CE3 (1,7% aloe-vera) ($p = 0.015$), pero no entre CP y CE2 (1.3% aloe-vera) ($p = 0.909$). Se concluye que la concentración del 1,7% (CE3) tiene el mayor efecto negativo en la resistencia a la compresión, mientras que el 0,75% (CE1) tiene un efecto positivo.

Tabla 17. Prueba Post-Hoc de HSD Tukey de la resistencia a compresión. Fuente: los autores

Muestra (I)	Muestra (J)	Diferencia de medias (I-J)	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
CP	CE1	-1,246667*	0,001	-1,90896	-0,58437
	CE2	-0,136667	0,909	-0,79896	0,52563
	CE3	0,843333*	0,015	0,18104	1,50563
CE1	CP	1,246667*	0,001	0,58437	1,90896
	CE2	1,110000*	0,003	0,44771	1,77229
	CE3	2,090000*	0,000	1,42771	2,75229
CE2	CP	0,136667	0,909	-0,52563	0,79896
	CE1	-1,110000*	0,003	-1,77229	-0,44771
	CE3	0,980000*	0,006	0,31771	1,64229
CE3	CP	-0,843333*	0,015	-1,50563	-0,18104
	CE1	-2,090000*	0,000	-2,75229	-1,42771
	CE2	-0,980000*	0,006	-1,64229	-0,31771

Subconjunto de las medias de Tukey

La Tabla 18 presenta el análisis de subgrupos de Tukey HSD, donde se muestra que CE3 (1,7% aloe-vera) tiene la media más baja (26,43), seguida de CP (27,19) y CE2 (27,32). Esto indica que CE1 tiene un rendimiento significativamente superior en términos de resistencia, en comparación con el concreto patrón y las concentraciones más altas de aloe vera.

Tabla 18. Medias de los grupos de la resistencia a compresión. Fuente: los autores

Muestra	N	Subconjunto para alfa = 0,05		
		1	2	3
CE3	3	26,34		
CP	3		27,19	
CE2	3		27,32	
CE1	3			28,43

4.6. Resistencia a Flexión

Test de normalidad de los datos

La Tabla 19 muestra los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk, que evaluó la dispersión normal de los datos, esenciales para

el ANOVA. Así mismo los valores de p (Sig.) para CP, CE1, CE2 y CE3 fueron 0,363; 0,554, 1,000 y 0,637, todos mayores que 0,05, lo que indica que los datos siguen una dispersión normal.

Tabla 19. Test de normalidad para la resistencia a flexión. Fuente: los autores

Conjuntos	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
CP	0,893	3	0,363
CE1	0,947	3	0,554
CE2	1,000	3	1,000
CE3	0,964	3	0,637

Prueba de homogeneidad de varianzas

La Tabla 20 muestra la prueba de homogeneidad de varianzas, donde los resultados sugieren una posible tendencia hacia diferencias en las varianzas en la prueba basada en la media ($p = 0,088$), mientras que en las pruebas basadas en la mediana ($p = 0,506$), grados de libertad ajustados ($p = 0,534$) y media recortada ($p = 0,102$), no se encuentran diferencias significativas.

Tabla 20. Prueba de homogeneidad de varianzas para la flexión. Fuente: los autores

Prueba	Pruebas de homogeneidad de varianzas			
	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Se basa en la media	3,128	3	8	0,088
Se basa en la mediana	0,848	3	8	0,506
Se basa en la mediana y con gl ajustado	0,848	3	4,079	0,534
Se basa en la media recortada	2,896	3	8	0,102

Análisis de varianza

La Tabla 21 muestra el ANOVA, que compara las medias de los grupos (CP, CE1, CE2, CE3) en términos de resistencia a flexión. El valor de p (Sig.) es 0,000, mucho menor que 0.05, lo que indica diferencias significativas entre al menos uno de los grupos, sugiriendo que la adición de extracto de aloe vera tiene un efecto significativo sobre la resistencia a flexión del concreto.

Tabla 21. ANOVA de la resistencia a flexión. Fuente: los autores

Conjuntos	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,18443	3	0,06148	21,260	0,000
Dentro de grupos	0,02313	8	0,00289		
Total	0,20757	11			

Prueba Post-Hoc de HSD Tukey

La Tabla 22 presenta el test Post Hoc de Tukey, que muestra una diferencia significativa entre el concreto patrón (CP) y el CE1 ($p = 0,002$), pero no entre CP y CE2 ($p = 0,551$) ni entre CP y CE3 ($p = 0,202$). En

conclusión, la concentración de 0,75% de aloe vera (CE1) mejora significativamente la resistencia a la flexión en comparación con el concreto patrón, mientras que la concentración de 1,3% (CE2) no presenta diferencias significativas y la de 1,7% (CE3) reduce la resistencia en relación con el CP.

Tabla 22. Prueba Post-Hoc de HSD Tukey de la resistencia a flexión. Fuente: los autores

Muestra (I)	Muestra (J)	Diferencia de medias (I-J)	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
CP	CE1	-0,243333*	0,002	-0,38394	-0,10273
	CE2	-0,060000	0,551	-0,20060	0,08060
	CE3	0,096667	0,202	-0,04394	0,23727
CE1	CP	0,243333*	0,002	0,10273	0,38394
	CE2	0,183333*	0,013	0,04273	0,32394
	CE3	0,340000*	0,000	0,19940	0,48060
CE2	CP	0,060000	0,551	-0,08060	0,20060
	CE1	-0,183333*	0,013	-0,32394	-0,04273
	CE3	0,156667*	0,030	0,01606	0,29727
CE3	CP	-0,096667	0,202	-0,23727	0,04394
	CE1	-0,340000*	0,000	-0,48060	-0,19940
	CE2	-0,156667*	0,030	-0,29727	-0,01606

La Tabla 23 muestra el análisis de subconjuntos de Tukey HSD, donde CE1

(0,75%) tiene la media más alta en resistencia a flexión (4,83), seguida de CE2 (1,3%) con 4,65, CP (4,59) y CE3 (1,7%) con 4,49. Estos resultados indican que CE1 (0,75%) tiene el mejor desempeño, mientras que CE3 (1,7%) presenta la menor resistencia.

Tabla 23. Medias de los grupos de la resistencia a flexión. Fuente: los autores

Muestra	N	Subconjunto para alfa = 0,05		
		1	2	3
CE3	3	4,49		
CP	3	4,59	4,59	
CE2	3		4,65	
CE1	3			4,83

5. CONCLUSIONES

Los resultados indican que agregar extracto de aloe vera aumenta ligeramente la zona carbonatada, aunque la diferencia con el concreto estándar es pequeña. El efecto es más notorio en concentraciones bajas (0,75%), sin grandes diferencias entre las concentraciones probadas. En cuanto a la consistencia, la adición de aloe vera no altera significativamente el asentamiento del concreto, manteniéndose similar al concreto estándar, con un leve incremento en las muestras de mayor concentración.

El concreto con aloe vera mostró una resistencia a la compresión un poco superior al concreto estándar con una concentración de 0,75% (aumento del 5%). Así mismo con 1,3%, la resistencia fue similar, pero a 1,7% se redujo, lo que sugiere que concentraciones altas pueden afectar negativamente la estructura. No se observó una mejora significativa en la resistencia a flexión, pero con la concentración del 0,75% hubo un aumento del 5% en comparación con el concreto estándar.

6. FINANCIAMIENTO

La investigación que ha dado origen a este artículo no ha recibido el aporte financiero de ninguna fuente.

7. AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a la Universidad César Vallejo por el respaldo brindado a la presente investigación, contribuyendo al desarrollo del

campo de la ingeniería civil.

8. CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

9. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

J.A.G.L. dirigió la investigación sobre el uso de extractos en el concreto para inhibir la carbonatación, coordinó ensayos y supervisó el análisis estadístico. J.S.L.C. recopiló información sobre aditivos naturales en el concreto y su impacto en la carbonatación, ayudó en los ensayos y el análisis de resultados. J.R.O. analizó los datos sobre el efecto del aloe vera en el concreto, contribuyó a la metodología y revisó el artículo final. A.E.S.T. apoyó en la recolección de datos sobre el aloe vera y su resistencia a la carbonatación, contribuyó en la redacción y organización del artículo. F.Y.P.P. recopiló datos sobre el efecto del aloe vera, creó gráficos y colaboró en la redacción e interpretación de los resultados.

10. REFERENCIAS

- [1] J. R. D., Santos, C., Effting, M. P., Serbent, y J. B. Matsuda, «Biomíneralization of calcium carbonate in concrete by the action of *Bacillus pumilus*», *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 28. <https://doi.org/10.1590/s1413-415220220277>, 2023
- [2] A. F., Restrepo-Ramirez, C. A., Rúa-Machado, y Y. P. Arias-Jaramillo, «Optimizaciones en el diseño de mezclas de concreto para la sostenibilidad de un Área Metropolitana de Sudamérica implementando análisis de ciclo de vida de materiales», *Revista Hábitat Sustentable*, 14 (1), 44–65. <https://doi.org/10.22320/07190700.2024.14.01.04>, 2014
- [3] D., Fan, J.-X., Lu, X.-S., Lv, T., Noguchi, R., Yu, y C. S. Poon, «Carbon capture and storage CO₂ foam concrete towards higher performance: Design, preparation and characteristics», *Cement and Concrete Composites*, 105925. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2>

- [025.105925](https://doi.org/10.1016/j.ccst.2024.100343), 2025
- [4] Q., Liu, Y., Yan, Y., Hu, Q., You, y G. Geng, “Carbonated waste paste calcined clay cement with enhanced CO₂ mineralization and early strength”, *Carbon Capture Science & Technology*, 100343.
<https://doi.org/10.1016/j.ccst.2024.100343>, 2024
- [5] R., Mi, G., Pan, y F. Zhou, “Does carbonation affect the microstructural inhomogeneity of recycled aggregate concrete?”, *Journal of Building Engineering*, 99, 111650.
<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.111650>, 2025
- [6] P. A., Aranda Villanueva, y K. N. Carrion Rabanal, “Compressive Strength of Concrete with Additions of Barley Bran Ash and Sugarcane Bagasse”, *22nd LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology* LACCEI 2024.
<https://doi.org/10.18687/laccei2024.1.1.769>, 2024
- [7] M., Carranza, S., Goicochea, y H. Infante, “Axial compressive strength of concrete f_c=210 and 280 kg/cm², when replacing aggregate with volcanic rock origin”, *22nd LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology* LACCEI 2024.
<https://doi.org/10.18687/laccei2024.1.1.731>, 2024
- [8] A. N., Colunche Idrogo, L. M., Mayta Tanta, A. C., Flores Quispe, y F. Del Carpio Delgado, “Comportamiento de concreto autocompactante de 28 megapascas aplicando materias primas sostenibles y su influencia en el comportamiento mecánico”, *Salud, Ciencia y Tecnología - Serie de Conferencias*, 2, 395,
<https://doi.org/10.56294/sctconf2023395>, 2023
- [9] A., Oblitas-Torres, W. Y., Torres-Muñoz, B. E., Oblitas-Gastelo, y F. A. Fernández-Otoya, “Análisis del bloque de concreto reforzado con EPS y PVC-U para estructuras”, *DYNA*, 91(234), 163–171,
<https://doi.org/10.15446/dyna.v91n234.116087>, 2024
- [10] G. S., Martinez Ocharan, L. M., Merma Gallardo, y S. A. Taico Lezama, “Construction of granular bases in the pavement structure with the use of recycled concrete aggregate”, *22nd LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology* LACCEI,
<https://doi.org/10.18687/laccei2024.1.1.145>, 2024
- [11] J. C. Z., Barbieri, M. T., Veit, C. E. T., Balestra, R., Schneider, T. P. d., Araújo, P. R. S., Bittencourt, G. d. C., Gonçalves, y A. Sandmann, “The Influence of Chitosan Addition on Sulfuric Acid-Attack and Carbonation of Concrete”, *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 18(7), Artículo e06097.
<https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n7-065>, 2024
- [12] X., Chen, X., Liu, S., Cheng, X., Bian, X., Bai, X., Zheng, X., Xu, y Z. Xu, “Machine learning-based modelling and analysis of carbonation depth of recycled aggregate concrete”, *Case Studies in Construction Materials*, Artículo e04162.
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e04162>, 2024
- [13] A., Guzmán, S., Acosta, C. Dagne, “Evaluation of the carbonated front in concrete samples subjected to non - regular wetting-air drying cycles”, *Revista ALCONPAT*, 15 (1), pp. 35–49,
<https://doi.org/10.21041/ra.v15i1.732>, 2025
- [14] P., Hajibabaei, A., Behnood, Ngo, T., y E. M. Golafshani, “Carbonation depth assessment of recycled aggregate concrete: An application of conformal prediction intervals”, *Expert Systems with Applications*, 126231.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.126231>, 2024b
- [15] L. C., Chiaradia, F. C. R., Almeida, M. T.

- P., Aguilar, E. J. P. Figueiredo, "Influence of temperature on the electrical resistivity of concrete and kinect corrosion of reinforcement", *Revista ALCONPAT*, 14 (1), pp. 1 –12, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v14i1.709>, 2024
- [16] E., Rucana Guadalupe, G. F., Delgado Calderón, N., Campos Vasquez, y J. L. Neyra Torres, "Influence of nanomaterial (Zinc Oxide) on the durability of conventional concrete", *21st LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology LACCEI* 2023, <https://doi.org/10.18687/laccei2023.1.1.782>, 2023
- [17] M. A., Burga Chávez, K. N., Carrion Rabanal, E. A., Castrejón Calderón, Chuquiruna L. V., Miranda, J., Taica Guevara, y J. S. Vásquez Peña, "Analysis of the Effects of the Addition of Sodium Bicarbonate in the Concrete", *22nd LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology. Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions*. <https://doi.org/10.18687/laccei2024.1.1.75>, 2024
- [18] N., Cortez, Y., Herrera Saenz, S., Ramirez Curi, L., Shuan Lucas, y A. V. Torre Carrillo, "Evaluation of Accelerated Carbonation of High Strength Concrete with Anodic Manganese Dioxide Nanoparticles", *22nd LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology (LACCEI 2024)*, <https://doi.org/10.18687/laccei2024.1.1.1221>, 2024b
- [19] M., Sánchez, A., Hinostroza, K., Olarte, y J. Rodriguez, "Bloques de concreto para viviendas de albañilería estructural construidas en zona de atmósfera marina utilizando residuos de tubérculos de la industria alimentaria", *The 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology. Institutions*, <https://doi.org/10.18687/laccei2020.1.1.173>, 2020
- [20] C., Quispe, D., Lino, J., Rodríguez, y A. Hinostroza, "Concrete cracking control in underwater marine structures using basalt fiber", *[IOP Publishing Ltd]*, <http://hdl.handle.net/10757/655950>, 2021
- [21] NACIONES UNIDAS, "Objetivo de Desarrollo Sostenible", Disponible: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>, 2024
- [22] J. R. P. d., Silva, R. O. H. d., Silva, A. d. F., Silva, E. L. T., França, E. P., Hernández, y P. M. A. d. Farias, "Concreto de cimento Portland dopado com quitosana: propriedades mecânicas e microestrutural", *Matéria* (Rio de Janeiro), 28(2), <https://doi.org/10.1590/1517-7076-rmat-2023-0037>, 2023
- [23] G., De Andrade Coni, Tafuri A., Costa, A., Gonçalves Costa, y G. Sakuma, (). "Degradação do concreto através da formação de ácido sulfúrico biogênico em uma Estação Elevatória de Esgoto (EEE)", *Revista ALCONPAT*, 12(2), 279–295. <https://doi.org/10.21041/ra.v12i2.571>, 2022
- [24] R. A., García-León, A., Sanchez-Torrez, W., Rincon-Cardenas, N., Afanador-Garcia, L., Moreno-Pacheco, y M. Lanziano-Barrera, "Experimental study about the improvement of the mechanical properties of a concrete cobble using recyclable additives", *DYNA*, 90(227), 45–55. <https://doi.org/10.15446/dyna.v90n227.107046>, 2023
- [25] Asociación Española de Normalización (AENOR), UNE-EN 13295:2005 – "Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de la

resistencia a la carbonatación”, Madrid, España: AENOR, 2005

- [26] ASTM International, “ASTM C143/C143M-20: *Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete*”, West Conshohocken, PA, USA: ASTM International, 2020
- [27] ASTM International, “ASTM C39/C39M-21: *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*”, West Conshohocken, PA, USA: ASTM International, 2021
- [28] ASTM International, “ASTM C78/C78M-22: *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*”, West Conshohocken, PA, USA: ASTM International, 2022
- [29] AOAC International, “*Official Method 981.12 — pH of Acidified Foods, in Official Methods of Analysis of AOAC International*”, 18th ed., Gaithersburg, MD: AOAC International, 2005