

# Influence of the Addition of Recycled Glass on the Compressive Strength of Concrete and Benefit on the Environment: A Review Study

María Teresa Bustamante-Chávez, Br.<sup>1</sup>; Nadia Diana Ramos-Fernández, Br.<sup>1</sup>; Gladys Sandi Licapa-Redolfo, MSc<sup>1</sup>; Gary Christian Farfán Chilicaus, Ms<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, [N00017810@upn.pe](mailto:N00017810@upn.pe); [N00031574@upn.pe](mailto:N00031574@upn.pe); [gladys.licapa@upn.edu.pe](mailto:gladys.licapa@upn.edu.pe)

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, [gfarfanc@unitru.edu.pe](mailto:gfarfanc@unitru.edu.pe)

*Abstract – Due to the existing alteration of the soil, caused by the constant exploitation to obtain aggregates in the quarries and also the exposure to solid waste, where according to MINAM in the last five years, 2.76% is discarded glass, so it has been considered its reuse in the construction sector, which consists of replacing a percentage of fine aggregate, coarse aggregate, and cement by the crushed glass in the production of concrete. The main objective is to evaluate the influence of the addition of recycled glass on the compressive strength of concrete and its benefit on the environment, it was carried out with the methodology of a meta-analysis, considering a total of 50 types of research, where part of them have been examined using EPIDAT and SPSS software's. The results showed that the optimal and most beneficial treatments represent the replacement of 10% and 20% of the fine aggregate by the material under study, concluding that the reuse of glass as a substitute for aggregate optimizes the properties and strength of concrete, besides representing a contribution to the environment.*

**Keywords - Recycled glass, concrete, concrete strength, environment.**

**Digital Object Identifier (DOI):**

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.160>

**ISBN:** 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

# Influencia de la Adición del Vidrio Reciclado en la Resistencia a Compresión del Concreto y Beneficio en el Ambiente: un estudio de revisión

María Teresa Bustamante-Chávez, Br.<sup>1</sup>; Nadia Diana Ramos-Fernández, Br.<sup>1</sup>; Gladys Sandi Licapa-Redolfo, MSc<sup>1</sup>; Gary Christiam Farfán Chilicaus, Ms<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, N00017810@upn.pe; N00031574@upn.pe; gladys.licapa@upn.edu.pe

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Trujillo, Perú, gfarfanc@unitru.edu.pe

**Resumen** - Debido a la alteración del suelo, ocasionado por la constante explotación para la obtención de agregados en las canteras y además la exposición a los desechos de residuos sólidos, donde según el MINAM en los últimos cinco años se tiene que el 2.76% es vidrio desechado, por ello se ha considerado su reutilización referente al sector construcción, que consiste en reemplazar un porcentaje de agregado fino, agregado grueso y cemento por la trituración del vidrio en la elaboración del concreto. El objetivo principal es evaluar la influencia de la adición del vidrio reciclado en la resistencia del concreto a compresión y su beneficio en el ambiente, se realizó con la metodología de un meta análisis, considerando un total de 50 investigaciones, donde parte de ellas han sido examinadas por medio de los softwares EPIDAT y SPSS. Obteniéndose en los resultados que los tratamientos óptimos y con mayores beneficios representan el reemplazo del 10 y 20 % de agregado fino por el material en estudio, concluyendo que la reutilización del vidrio como sustituto por el agregado optimizan las propiedades y resistencia del concreto, asimismo, representa un aporte para el medio ambiente.

**Palabras clave:** Vidrio reciclado, concreto, resistencia del concreto, medio ambiente.

## I. INTRODUCCIÓN

El concreto está conformado por cemento Portland, agregado fino, agregado grueso, aire y agua, lo que permite adquirir las características y propiedades adecuadas como la resistencia; siendo así que el cemento y el agua reaccionan adhiriendo a los agregados, constituyendo una masa homogénea [1].

Actualmente, el concreto es el material de construcción de mayor uso en nuestro país. Las posibilidades de su empleo son cada día mayores, pudiendo ser utilizados para una amplia variedad de propósitos. Aún el concreto presenta aspectos que no son conocidos en su totalidad, como puede ser: naturaleza, materiales, propiedades, selección de las proporciones, proceso de puesta en obra, control de calidad e inspección, y mantenimiento de los elementos estructurales [2].

En el Perú, el crecimiento social y económico, ha causado la creación de nuevos mercados, lo que implica, la

utilización de bienes y servicios ambientales, aquello que actualmente genera el excedente de la capacidad de uso de los recursos naturales y en consecuencia se produce las emisiones, efluentes y residuos, que hoy en día representa un impacto significativo en el medio ambiente. Es importante indicar, que la generación promedio per cápita de residuos sólidos domiciliarios en el año 2018 fue de 0.55 kg/hab/día, asimismo, la generación de residuos no domiciliarios fue de 0.226 kg/hab/día, con ello se obtuvo un total de 7 459 582.8 toneladas al año de residuos sólidos municipales. [3].

Asimismo, según el informe anual de residuos sólidos emitido por el MINAM en el año 2019, se detalla que la composición de los residuos sólidos fue de materia orgánica (57.47%), residuos inorgánicos (18.12%), desechos no aprovechables (15.85%) y residuos peligrosos (8.54%), para los cuales el Perú contó con 34 rellenos sanitarios. De igual manera, se indicó que se logró recuperar 50 170.53 ton/año de residuos inorgánicos y 27 450.21 ton/año de residuos orgánicos, dando un total de 77 620.74 ton/año de residuos sólidos.

Diversas investigaciones han presentado resultados favorables del uso del vidrio reciclado como reemplazo de los agregados tal como verificamos en el estudio [4] donde se obtuvo que conforme avanzaba las edades (7, 14 y 28 días) se acrecienta el contenido de vidrio y por lo tanto, la resistencia aumenta, donde sustituyendo agregado fino en 10% por vidrio molido reciclado se obtiene la mayor resistencia a los 28 días que es 335.67 kg/cm<sup>2</sup> alcanzando el 159.84% de la resistencia de diseño.

Es todo lo antes mencionado, frecuentemente se realizan investigaciones para el reúso de los materiales de desecho y con ello buscar soluciones en otros ámbitos de estudio, como es el caso de la construcción. En el Perú se presenta una constante demanda del uso del concreto, ya que año tras años incrementa debido a la proyección de nuevas edificaciones y a ello se relaciona la producción intensiva del mismo. A causa de esto, se encuentran diversos materiales que se pueden reciclar como una opción a considerar para ser empleado como reemplazo de la materia prima del concreto, apostando por las tecnologías ambientales en los proyectos, de esta manera se reduce la explotación de recursos no renovables, promoviendo tanto la inversión pública como la privada, asimismo se genera

**Digital Object Identifier (DOI):**

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.160>

**ISBN:** 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

nuevos empleos dentro del país, ya que los botaderos no serán la disposición final para el vidrio, sino que pasará a un nuevo proceso de reutilización para la elaboración de material constructivo, incorporando una cultura ambiental en las personas, y generando consigo un nuevo nivel de sostenibilidad al país, siendo esta investigación un pilar para un nuevo conocimiento del reúso del vidrio reciclado, promoviendo el cuidado del medio ambiente.

## II. METODOLOGÍA DE REVISIÓN

Es una investigación no experimental cuantitativa, debido a que se realizó en base a los estudios obtenidos sobre la resistencia del concreto, al reemplazar el agregado fino, agregado grueso y cemento por vidrio reciclado en su elaboración, para luego compararlas con el espécimen patrón. A si mismo es un estudio descriptivo, dado que no se interviene en los resultados de los distintos autores que se ha considerado.

Para realizar una búsqueda sistemática de la literatura, se consideraron estudios relacionados al tema de investigación como probetas de concreto, que han sido modificadas, al reemplazar un porcentaje del agregado fino, agregado grueso y cemento por vidrio reciclado, y esto se comparó con las probetas patrón en relación a la resistencia obtenida. Principalmente para el análisis, se consideraron que los especímenes cumplan con las características de la incorporación del vidrio, tales como el mejoramiento de las propiedades químicas, en cuanto a la adherencia entre los agregados y el vidrio reciclado, para lo cual se realizó una selección de estudios de las siguientes bases de datos o en repositorios institucionales que presentan información verídica y confiable como son Refseek, Ebsco, Google Académico, Iopscience, Sciencedirect, repositorio de UPN y UNC como indica la fig. 1. Para posteriormente realizar una evaluación estadística correspondiente a un meta análisis. Se utilizó la siguiente ecuación: (vidrio reciclado or recycled glass) and (concreto and concrete) and (resistencia del concreto or concrete strength), con la certeza que nos permitió obtener información más precisa sobre el tema investigado.

En este estudio se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de inclusión: artículos originales publicados en bases de datos científicos, entre los años 2010 y 2020. Asimismo, se consideraron a investigaciones de distintos idiomas para tener una visualización global del tema de estudio Tabla 1, en el cual se analizaron que estén estrechamente relacionados a la principal cuestión considerando como referencia los resultados obtenidos.

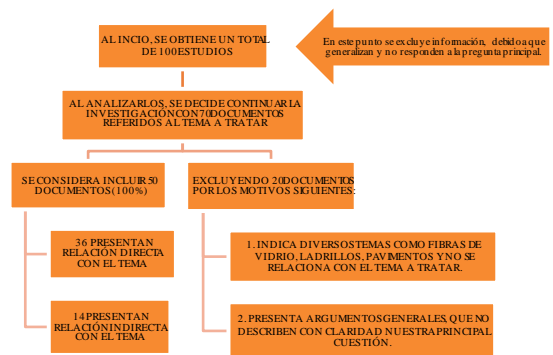


Fig. 1 Proceso de revisión.

El análisis sistemático de la literatura relacionada con la adición de vidrio reciclado en la resistencia a compresión del concreto permitió identificar los criterios de clasificación que se muestran en la Tabla I, para la elección del tema, nos basamos en aspectos que actualmente deterioran al medio ambiente, aquella información obtenida del MINAM [3] para realizar esta investigación como una propuesta para reducir el impacto que se genera al desechar el vidrio reciclado en botaderos, se utilizó la metodología del meta análisis para obtener una mayor visualización de los datos a nivel global incluyendo aspectos como distintos idiomas y un intervalo de diez años en la publicación de los estudios, para la recolección de artículos se basó en los principales buscadores de interés científico que demuestren veracidad y confiabilidad en sus resultados, éstos fueron organizados en una tabla de base de datos que incluye autores, título, año de publicación, idioma, institución-país, buscador, palabras claves, tipo de publicación y concluyendo con los motivos de inclusión o exclusión según sea el caso.

Para el análisis de los estudios se consideró el método estadístico de intervalos de confianza, donde se consideró datos cuantitativos de los resultados presentados en ellos, porque de esta manera de realizó una comparación entre el reemplazo de parte del agregado fino, agregado grueso y cemento por la trituración de vidrio reciclado.

## III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos del porcentaje de vidrio desechado generado por departamentos registrados en el MINAM [3] en los años del 2016 – 2020 en todo el Perú, se demuestra en la fig. 2:

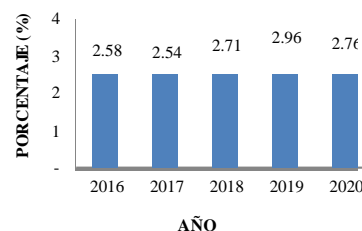


Fig. 2 Porcentaje de vidrio desechado (2016-2020)

TABLA I  
Artículos incluidos en el estudio después de criterios de calidad

AUTORES	TITULO	AÑO	IDIOMA	BASE DE DATOS	TIPO DE PUBLICACIÓN
Abellán, Joaquín; Torres, Nancy; Fernández, Jaime; Núñez, Andrés	Evaluación del desempeño de un hormigón con incorporación de vidrio reciclado finamente molido en reemplazo de cemento mediante ensayos de laboratorio	2016	Español	Refseek - Revista FCEF y N	Artículo - investigación experimental
Amorós, Jaime; Centurión, Mauro; Hoyos, Marco. [5]	“Comparación de la resistencia de adoquines de concreto y otros elaborados con vidrio reciclado, Cajamarca, 2014”	2015	Español	Repositorio - UPN	Tesis con investigación experimental
Anand Kumar, Ravindra	“Aplicación de vidrio triturado reemplazando agregado grueso para diseño de mezcla de concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ en el distrito la victoria – Chiclayo”	2019	Español	EBSCO	Tesis con investigación experimental
Cabrera, Luz	“Aplicación de vidrio triturado reemplazando agregado grueso para diseño de mezcla de concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ en el distrito la victoria – Chiclayo”	2019	Español	EBSCO	Tesis con investigación experimental
Codina, Rita [4]	“Efecto de la sustitución de los agregados por vidrio reciclado en las propiedades del concreto”	2018	Español	EBSCO	artículo con investigación experimental
Dehghan, Alireza; Peterson, Karl, Shvarzman, Asia	“Diseño de mezcla de concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ mediante la adición de vidrio molido reciclado en reemplazo parcial de cemento tipo I en Lima-Perú”	2019	Español	EBSCO	Tesis con investigación experimental
Enriquez, Jaime; Shimabukuro, Kioshi. [7]	“Resistencia a la compresión de un concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con agregado fino sustituido en 5% y 10% por vidrio molido reciclado”	2018	Español	EBSCO	Tesis con investigación experimental
Flores, Vanessa. [8]	“Evaluación de la influencia del vidrio reciclado molido como reductor de agregado fino para el diseño de mezclas de concreto en pavimentos urbanos”	2018	Español	EBSCO	Tesis con investigación experimental
Guayanay, Cristian; Morales, Andrea. [9]	“Estudio de la resistencia a la compresión del hormigón con adición de polvo de vidrio reciclado”	2015	Español	EBSCO	Tesis con investigación experimental
Guo, Pengwei; Meng, Weina; Nassif, Hani; Gou, Hongye, Bao, Yi	“Análisis del comportamiento de hormigón con inclusión de vidrio reciclado en hormigones de resistencia normal”	2016	Español	Google Académico	Tesis con investigación experimental
Khan, Qasim; Sheikh, Neaz; McCarthy, Timothy; Robati, Mehdi; Allen, Mark	“Análisis de la resistencia a la compresión del hormigón al emplear vidrio reciclado molido en reemplazo parcial del agregado fino”	2016	Español	Google Académico	Tesis con investigación experimental
Miranda, Jr; Paiva, A.	"Uso de material reciclado en la fabricación del concreto"	2018	Español	Repositorio - UNC	Artículo - investigación experimental
Paredes Bendezú, Alexis.	Análisis de la resistencia a la compresión del concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con adición de vidrio reciclado molido	2018	Español	Google Académico	Tesis con investigación experimental
Ochoa, Luis. [10]	“Influência dos resíduos vítreos na resistência à compressão axial do concreto de cimento portland”	2012	Portugués	Refseek	Artículo
Ogundario, Adegoke, Akinwumi, Olofinnade	“Preparation of concrete mixtures with electric arc furnace slag and recycled ground glass”	2017	Inglés	IOPSCIENCE	Artículo
Pavlu, Tereza	“The utilization of recycled materials for concrete and cement production – a review”	2018	Inglés	IOPSCIENCE	Artículo
Peñañel, Daniela. [11]	“Effect of glass fibres on the mechanical behaviour of concrete with recycled concrete aggregates (rcas)”	2019	Inglés	IOPSCIENCE	Artículo
Pérez Rojas, Vera López, López Rodríguez; Días	“Properties and performance of mortar and concrete made with recycled glass powder as binder and aggregate”	2019	Inglés	IOPSCIENCE	Artículo
Rodríguez, Matías; Ruíz, Miguel	“Sustainable use of recycled waste glass as an alternative material for building construction—a review”	2019	Inglés	IOPSCIENCE	Artículo

Saravia, Yuliana. [12]	“Use of waste window glass as substitute of natural sand in concrete production”	2019	Inglés	IOPSCIENCE	Artículo
Saravia, Yuliana	“Effect of $f_{cr}$ on ultra high performance concrete properties with recycled glass”	2019	Inglés	EBSCO	Artículo
SC Kou, C.S. Poon	“Properties of self – compacting concrete prepared with recycled glass aggregate”	2009	Inglés	Science Direct	Artículo
Seddik Mohammed	“Recycled glass fiber reinforced polymer additions to portland cement concrete”	2017	Inglés	Science Direct	Artículo
Segura, Luis; Salazar, Dante; Urrutia, Segundo; López, Atilio; Romero, Jordy. [14]	“Effects of recycled crt glass fine aggregate size and content on mechanical and damping properties of concrete”	2018	Inglés	Science Direct	Artículo
Song, Wen; Zou, Dujian; Liu, Tiejun; Teng, Jun; Li, Lei	“Experimental investigation on foam concrete without and with recycled glass powder: a sustainable solution for future construction”	2018	Inglés	Science Direct	Artículo
Tamanna, Nafisa; Tuladhar, Rabin; Sivakugan, Nagaratnam	“New perspectives on recycling waste glass in manufacturing concrete for sustainable civil infrastructure”	2020	Inglés	Science Direct	Artículo
Vandevyver, Sierens; Verstryngge, Vandewalle; Li	“Performance of recycled waste glass sand as partial replacement of sand in concrete”	2019	Inglés	Science Direct	Artículo
Abanto, Flavio	“Tecnología del concreto”	2015	Español	StuDocu	Libro
Castillo W. y Quispe J. [15]	Propiedades mecánicas del concreto elaborado con adición de vidrio molido y cuarcita	2019	Español	Repositorio UNSA	Tesis con investigación experimental
Cortez E.	Estudio de la resistencia a la compresión de un concreto $f_c = 175 \text{ kg/cm}^2$ sustituyendo el agregado grueso con vidrio triturado tipo sodo cálcico	2017	Español	Repositorio UPA	Tesis con investigación experimental

Nota: esta tabla muestra los estudios enfocados en la investigación de adición de vidrio reciclado y su resistencia en compresión del concreto, tipo de estudio, país de origen y año.

### 3.1. Comparación de Estudios en el EPIDAT

#### 3.1.1. Reemplazo parcial del agregado fino por vidrio reciclado.

PICO: Se seleccionaron cuatro estudios correspondientes a la comparación de efectividad de la resistencia a compresión a nivel de probeta en laboratorio a la edad de 28 días, entre el concreto convencional y el concreto con reemplazo en 10% de agregado fino, donde ambos presentaron un total de 13 muestras.

TABLA II

Efectividad del concreto con reemplazo en 10% de agregado fino vs concreto convencional a los 28 días.

Nombre	Año	10% de Agr. Fino		Concreto Convencional		Peso %	SMD (95% IC)
		n1	m1	n2	m2		
Peñañiel D.	2016	3	101.19 ± 7.45	3	108.44 ± 4.13	37.90	-7.25 (-2.94,0.54)
Guayunay C. & Morales A.	2016	4	97.51 ± 1.96	4	105.04 ± 0.14	12.76	-7.53 (-8.41,-2.42)
Ochoa L.	2018	3	103.29 ± 0.24	3	102.19 ± 0.17	9.95	1.10 (1.90,8.68)
Codina R.	2018	3	106.71 ± 0.46	3	101.39 ± 7.45	39.38	5.52 (-0.66,2.75)
Sub Total		13		13		100	-1.21 (-1.28,0.86)
Test de heterogeneidad (Ji-cuadrado 25.0416; p= 0.0000)							
Prueba de Begg: Z= -0.3397 (p < 0.7341)							

Por lo tanto, en la tabla 2, se observa n1: cantidad de repeticiones por estudio para el concreto con reemplazo del 10% de agregado fino; n2: cantidad de repeticiones por estudio para el concreto convencional; m1: promedio de la efectividad ± el error estándar para el concreto con reemplazo del 10% de

agregado fino; m2: promedio de la efectividad ± el error estándar para el concreto convencional; SMD: Diferencia estandarizada de medias; 95% IC: Intervalo de confianza al 95%.

PICO: Se seleccionaron cinco estudios correspondientes a la comparación de efectividad de la resistencia a compresión a nivel de probeta en laboratorio a la edad de 28 días, entre el concreto convencional y el concreto con reemplazo en 20% de agregado fino, donde ambos presentaron un total de 49 muestras.

TABLA III

Efectividad del concreto con reemplazo en 20% de agregado fino vs concreto convencional a los 28 días.

Nombre	Año	20% de Agr. Fino		Concreto Convencional		Peso %	SMD (95% IC)
		n1	m1	n2	m2		
Peñañiel D.	2016	3	106.50 ± 6.94	3	108.44 ± 4.13	24.78	-1.94 (-1.95,1.27)
Guayunay C. & Morales A.	2016	4	96.64 ± 1.41	4	105.04 ± 0.14	20.30	-14.4 (-21.55,-7.20)
Ochoa L.	2018	3	107.12 ± 0.70	3	102.19 ± 0.17	21.83	4.93 (3.97,13.38)
Paradies A.	2019	25	108.67 ± 0.06	25	101.59 ± 0.07	8.16	7.08 (87.31,129.90)
Palacios L.	2019	14	127.10 ± 1.14	14	119.78 ± 3.06	24.93	7.32 (2.06,4.28)
Sub Total		49		49		100	8.765 (1.36,16.17)
Test de heterogeneidad (Ji-cuadrado 135.46; p= 0.0000)							
Prueba de Begg: Z= -0.245 (p < 0.8065)							

En la tabla 3 se observa; n1: cantidad de repeticiones por estudio para el concreto con reemplazo del 20% de agregado fino; n2: cantidad de repeticiones por estudio para el concreto convencional; m1: promedio de la efectividad ± el error estándar para el concreto con reemplazo del 20% de agregado fino; m2: promedio de la efectividad ± el error

estándar para el concreto convencional; SMD: Diferencia estandarizada de medias; 95% IC: Intervalo de confianza al 95%.

### 3.1.2. Reemplazo parcial de cemento por vidrio reciclado.

PICO: Se seleccionaron tres estudios correspondientes a la comparación de efectividad de la resistencia a compresión a nivel de probeta en laboratorio a la edad de 28 días, entre el concreto convencional y el concreto con reemplazo en 5% de cemento, donde ambos presentaron un total de 12 muestras.

TABLA IV  
Efectividad del concreto con reemplazo en 5% de cemento vs concreto convencional a los 28 días

Nombre	Año	5% de cemento		Concreto Convencional		Peso %	SMD (95% IC)
		n1	m1	n2	m2		
Garcés J. y Flores V.	2015	4	91.70 ± 2.59	2	104.64 ± 1.79	9.77	-12.94 (-8.83, -1.88)
Walhoff G.	2017	4	153.78 ± 0.55	4	143.57 ± 0.10	0.73	-14.4 (13.10, 38.56)
Castillo W. y Quispe J.	2019	6	242.28 ± 2.72	6	240.56 ± 4.26	89.50	1.72 (-0.67, 1.63)
<b>Sub Total</b>		<b>12</b>		<b>49</b>		<b>100</b>	<b>0.095 (-0.99, 1.18)</b>

Test de heterogeneidad (ji-cuadrado 25.59; p= 0.0000)  
Prueba de Begg: Z= 0.000 (p < 1)

En la tabla 4 se observa, n1: cantidad de repeticiones por estudio para el concreto con reemplazo del 5% de cemento; n2: cantidad de repeticiones por estudio para el concreto convencional; m1: promedio de la efectividad ± el error estándar para el concreto con reemplazo del 5% de cemento; m2: promedio de la efectividad ± el error estándar para el concreto convencional; SMD: Diferencia estandarizada de medias; 95% IC: Intervalo de confianza al 95%.

PICO: Se seleccionaron cuatro estudios correspondientes a la comparación de efectividad de la resistencia a compresión a nivel de probeta en laboratorio a la edad de 28 días, entre el concreto convencional y el concreto con reemplazo en 10% de cemento, donde ambos presentaron un total de 20 muestras.

TABLA V  
Efectividad del concreto con reemplazo en 10% de cemento vs concreto convencional a los 28 días.

Nombre	Año	10% de Cemento		Concreto Convencional		Peso %	SMD (95% IC)
		n1	m1	n2	m2		
Garcés J. y Flores V.	2015	4	85.71 ± 5.80	2	104.64 ± 1.79	35.15	-18.93 (-6.41, -1.01)
Walhoff G.	2017	4	147.56 ± 0.17	4	143.57 ± 0.10	1.29	3.99 (14.52, 42.70)
Enriquez J. y Shimabukuro	2019	6	103.09 ± 1.45	6	109.02 ± 0.17	39.04	-5.93 (-8.31, -3.18)
Castillo W. y Quispe J.	2019	6	212.46 ± 3.07	6	240.56 ± 4.26	24.52	-28.1 (-10.80, -4.34)
<b>Sub Total</b>		<b>20</b>		<b>8</b>		<b>100</b>	<b>-5.03 (-6.63, -3.43)</b>

Test de heterogeneidad (ji-cuadrado 23.49; p= 0.0000)  
Prueba de Begg: Z= 0.34 (p < 0.73)

Por lo tanto, en la tabla 5, se observa, n1: cantidad de repeticiones por estudio para el concreto con reemplazo del 10% de cemento; n2: cantidad de repeticiones por estudio para el concreto convencional; m1: promedio de la efectividad ± el error estándar para el concreto con reemplazo del 10% de cemento; m2: promedio de la

efectividad ± el error estándar para el concreto convencional; SMD: Diferencia estandarizada de medias; 95% IC: Intervalo de confianza al 95%.

PICO: Se seleccionaron tres estudios correspondientes a la comparación de efectividad de la resistencia a compresión a nivel de probeta en laboratorio a la edad de 28 días, entre el concreto convencional y el concreto con reemplazo en 20% de cemento, donde ambos presentaron un total de 14 muestras.

TABLA VI  
Efectividad del concreto con reemplazo en 20% de cemento vs concreto convencional a los 28 días.

Nombre	Año	20% de Cemento		Concreto Convencional		Peso %	SMD (95% IC)
		n1	m1	n2	m2		
Garcés J. y Flores V.	2015	2	59.82 ± 2.32	2	104.64 ± 1.79	3.62	-44.82 (-36.75, -6.51)
Enriquez J. y Shimabukuro	2019	6	105.54 ± 0.66	6	109.02 ± 0.17	85.90	-3.48 (-10.32, -4.12)
Castillo W. y Quispe J.	2019	6	171.79 ± 1.17	6	240.56 ± 4.26	10.48	-68.77 (-30.89, -13.13)
<b>Sub Total</b>		<b>14</b>		<b>14</b>		<b>100</b>	<b>-9.29 (-12.17, -6.42)</b>

Test de heterogeneidad (ji-cuadrado 12.16; p= 0.0023)  
Prueba de Begg: Z= 0.0000 (p < 1)

En la tabla 6 se observa, n1: cantidad de repeticiones por estudio para el concreto con reemplazo del 20% de cemento; n2: cantidad de repeticiones por estudio para el concreto convencional; m1: promedio de la efectividad ± el error estándar para el concreto con reemplazo del 20% de cemento; m2: promedio de la efectividad ± el error estándar para el concreto convencional; SMD: Diferencia estandarizada de medias; 95% IC: Intervalo de confianza al 95%.

## 3.2. Comparación de Estudios en el SPSS

### 3.2.1. Resultados Tratamiento vs Efectividad

El análisis consiste en el reemplazo de agregado fino, grueso y el cemento por vidrio reciclado en distintos porcentajes, donde a cada espécimen se le realizó el ensayo de resistencia a compresión a distintas edades considerando las Normas Técnicas Peruana en la elaboración del concreto y la prueba realizada.

De la totalidad de los dieciséis estudios para el análisis estadístico en el SPSS, se tomaron en cuenta aquellos que presentaron dos o más repeticiones en cada uno de los tratamientos planteados en relación al reemplazo del vidrio reciclado los cuales se observan en la Tabla 7, Tabla 8 y Tabla 9, para de esta manera definir un promedio óptimo y realizar la comparación respectiva.

TABLA VII

Efectividad promedio de los estudios en reemplazo de agregado fino por vidrio reciclado.

Efectividad	Descripción	Reemplazo agregado fino					
		CC	10%	15%	20%	25%	30%
Dia 7	Nº de muestra	6	4	2	5	2	2
	Promedio de efectividad (%)	65.31	79.27	87.4	77.90	80.52	77.78
Dia 14	Nº de muestra	5	4	1	4	1	2
	Promedio de efectividad (%)	87.65	88.56	103.76	85.56	93.66	91.56
Dia 28	Nº de muestra	6	4	2	5	2	2
	Promedio de efectividad (%)	106.37	116.84	115.64	108.03	103.79	108.6

TABLA VIII

Efectividad promedio de los estudios en reemplazo de agregado grueso por vidrio reciclado.

Efectividad	Descripción	Reemplazo agregado grueso					
		CC	10%	15%	20%	25%	50%
Dia 7	Nº de muestra	4	3	1	3	1	2
	Promedio de efectividad (%)	73.17	80.39	98.73	76.71	88.19	78.74
Dia 14	Nº de muestra	4	3	1	3	1	2
	Promedio de efectividad (%)	90.48	92.76	103.49	87.92	100.15	86.64
Dia 28	Nº de muestra	5	4	2	3	2	3
	Promedio de efectividad (%)	106.72	107.47	112.48	95.97	112.68	102.83

TABLA IX

Efectividad promedio de los estudios en reemplazo de cemento por vidrio reciclado

Efectividad	Descripción	Reemplazo cemento			
		CC	5%	10%	20%
Dia 7	Nº de muestra	5	3	4	4
	Promedio de efectividad (%)	100.57	109.17	90.72	63.01
Dia 14	Nº de muestra	3	2	3	2
	Promedio de efectividad (%)	141.80	161.1	126.04	118.21
Dia 28	Nº de muestra	5	3	4	4
	Promedio de efectividad (%)	141.10	163.82	139.68	105.79

TABLA X

Valores medidos ± error estándar de la efectividad de la Resistencia a Compresión del Concreto por tratamiento

Trat.	%	Número de repeticiones			Efectividad		
		(7 días)	(14 días)	(28 días)	Día 7	Día 14	Día 28
1	0%	n=15	n=12	n=16	83.62a ± 8.00	102.13ab ± 11.56	117.33ab ± 8.60
2	10%	n=4	n=4	n=4	79.27a ± 4.74	88.56a ± 5.25	116.84ab ± 14.46
3	15%	n=2	n=0	n=2	87.40a ± 0.47	0.00	115.64ab ± 4.57
4	20%	n=5	n=4	n=5	77.90a ± 4.07	85.56a ± 5.84	108.03ab ± 5.77
5	25%	n=2	n=0	n=2	80.52a ± 2.76	0.00	105.80ab ± 1.99
6	30%	n=2	n=2	n=2	77.78a ± 3.51	97.56a ± 0.18	108.60ab ± 3.04
7	10%	n=3	n=3	n=4	80.39a ± 11.18	92.77a ± 8.64	107.47ab ± 7.31
8	35%	n=0	n=0	n=2	0.00	0.00	112.49ab ± 1.33
9	20%	n=3	n=3	n=3	76.71a ± 9.15	87.92a ± 4.86	95.97a ± 6.03
10	25%	n=2	n=0	n=2	78.74a ± 0.70	0.00	112.68ab ± 0.53
11	50%	n=0	n=2	n=3	0.00	86.64a ± 0.79	102.83ab ± 5.83
12	5%	n=3	n=2	n=3	109.17a ± 31.72	161.10b ± 47.50	163.82b ± 42.71
13	10%	n=4	n=3	n=4	90.72a ± 18.75	126.04ab ± 30.00	139.68ab ± 26.85
14	20%	n=4	n=2	n=4	63.01a ± 19.65	118.21ab ± 31.40	105.79ab ± 23.91

Donde; T1: Concreto Convencional; T2: Concreto con reemplazo del 10% del agregado fino; T3: Concreto con reemplazo del 15% del agregado fino; T4: Concreto con reemplazo del 20% del agregado fino; T5: Concreto con reemplazo del 25% del agregado fino; T6: Concreto con reemplazo del 30% del agregado fino; T7: Concreto con reemplazo del 10% del agregado grueso; T8: Concreto con reemplazo del 15% del agregado grueso; T9: Concreto con reemplazo del 20% del agregado grueso; T10: Concreto con reemplazo del 25% del agregado grueso; T11: Concreto con reemplazo del 50% del agregado grueso; T12: Concreto con reemplazo del 5% del cemento; T13: Concreto con reemplazo del 10% del cemento; T14: Concreto con reemplazo del 20% del cemento. Las medias con letras distintas son diferentes (P < 0,05). Datos fueron obtenidos de anteriores investigaciones realizadas entre los años 2010 – 2020.

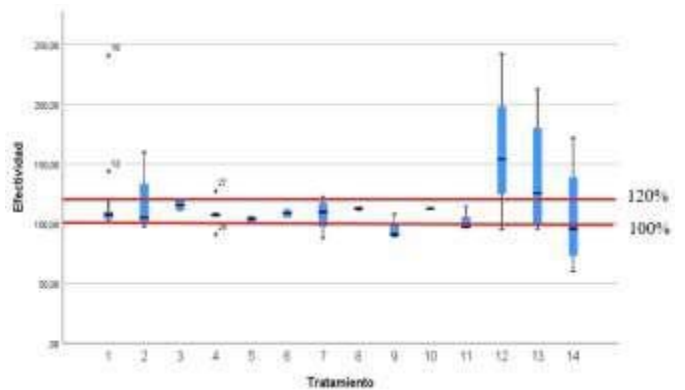


Fig. 3. Diagrama de cajas y bigotes de Efectividad por Tratamiento a la edad de 28 días.

Los porcentajes (100 – 120%) expresados en la figura 3 hacen referencia a la resistencia promedio a la compresión del concreto, indicado según la efectividad obtenida.

Según la figura 3, en relación a los resultados obtenidos en el Software SPSS, una gran cantidad de los tratamientos analizados cuentan con las variables “ab” que indica, que aquellos son estadísticamente similares presentando características semejantes, a excepción de los tratamientos 9 (Concreto con reemplazo del 20% del agregado grueso) y 12 (Concreto con reemplazo del 5% del cemento) que solo presenta una sola de las variables “a” y “b” respectivamente, ya que los tamaños de grupo no son iguales, lo cual deriva que las medias con letras distintas son diferentes (p < 0,05). En el gráfico de cajas y bigotes se evidencia que aquellos que presentan bigotes más alargados es debido a un mayor error estándar, la línea central indica la mediana (dato central) de los valores examinados y en aquellas investigaciones donde se evidencian cajas más alargadas, su efectividad no es aceptable ya que los datos son no constantes, es decir, difieren entre los resultados obtenidos.



#### IV. DIRECTRICES PARA LAS INVESTIGACIONES FUTURAS

En los hallazgos obtenidos en el Software SPSS, se ha decidido excluir a los Tratamientos 9 (Concreto con reemplazo del 20% del agregado grueso), Tratamiento 12 (Concreto con reemplazo del 5% del cemento) y Tratamiento 13 (Concreto con reemplazo del 10% del cemento), debido a que no cumple con lo indicado en el anterior párrafo, en cuanto al Tratamiento 14 (Concreto con reemplazo del 20% del cemento) y el Tratamiento 11 (Concreto con reemplazo del 50% del agregado grueso), se descartan debido a que en la figura 11, se visualiza un alargamiento en la caja, a causa de la presencia de datos no constantes, en el Tratamiento 2 (Concreto con reemplazo del 10% del agregado fino) y en el Tratamiento 7 (Concreto con reemplazo del 10% del agregado grueso) se determina que existe un mayor error estándar fuera del rango tolerado.

Con respecto a los datos obtenidos en el Software EPIDAT, se pudo comprobar que el Tratamiento 2 (Concreto con reemplazo del 10% del agregado fino), tiene estudios que no presentan diferencia significativa, donde aquellos son asimétricos. En el caso del Tratamiento 4 (Concreto con reemplazo del 20% del agregado fino) se analizaron cinco estudios, siendo los más relevante de los autores Palacios L. [13] y Peñafiel D. [11] con un porcentaje en peso de 24.93 y 24.78 respectivamente; en relación a Palacios L. [13] se ha verificado un SMD de 7.32 con intervalo al 95% (2.06, 4.28), mientras que Peñafiel D. [11] demuestra un SMD de -1.94 con un intervalo al 95% (-1.95, 1.27), concluyendo que en dicho tratamiento se ha encontrado una diferencia estadísticamente significativa en la efectividad de la resistencia del concreto, asimismo las investigaciones son asimétricos presentando heterogeneidad.

Según los datos recopilados para el análisis, es primordial recalcar que respecto a los estudios donde se ha reemplazado parte del cemento por vidrio reciclado, uno de ellos presenta valores elevados a comparación de los demás, siendo el autor Castillo W. y Quispe J. [15] por lo cual puede ser un causal de distorsión en la comparación con los otros estudios, ya que los demás muestran similitud, sin embargo se ha tomado en consideración con la finalidad de incluir sus resultados por los distintos porcentajes y siendo un estudio con un análisis completo.

De los párrafos anteriores, se infiere que, los Tratamientos con reemplazo de agregado fino y agregado grueso (T3, T4, T5, T6, T8 y T10) indican resultados óptimos al encontrarse dentro del intervalo requerido para su elaboración, demostrando de esta manera la posibilidad de reemplazar el vidrio reciclado por dichos agregados, brindando una alternativa de solución que incentiva el reciclado del vidrio en el sector construcción, de esta manera se reduce la alteración del suelo provocada por la extracción de la materia prima en canteras.

Se ha planteado para esta investigación el uso reciclado contiene propiedades de fácil incorporación a la mezcla del concreto en especial con el cemento, ya que de esta manera mejora las propiedades químicas brindándole mayor capacidad de resistencia a la compresión en el concreto elaborado, disminuyendo el agrietamiento por retracción que ocurre debido a los cambios de temperatura puesto que presenta una mayor homogeneidad en sus componentes.

Según datos registrados en el MINAM [3] se puede corroborar que, en el año 2020, en el Perú se han generado 7905118.1 de toneladas de residuos sólidos municipales, de los cuales 20.8% son residuos inorgánicos, y el 2.76% representa al vidrio desechado. Se recalca que desde el año 2016 al año 2020, hubo un incremento de 899541.5 de toneladas anuales. Además, [16] indica que el poco más del 53% de las familias Cajamarquinas arrojan el vidrio dentro de los residuos municipales, los cuales son dirigidos al botadero municipal sin un previo tratamiento de elección, generando daños en los recursos naturales del medio ambiente; por lo que está investigación se rige con el objetivo de plantear dicha alternativa para el reúso del vidrio produciendo un bien a la sociedad y siendo sostenible con el ambiente, permitiendo minimizar la degradación del suelo, como es el caso de las actividades generadas en canteras.

#### V. CONCLUSIONES

Se analizó la influencia de la adición del vidrio reciclado en la resistencia de concreto, mediante un metaanálisis presentando resultado favorecedor según los estudios considerados, siendo el más beneficioso el reemplazo del agregado fino por vidrio reciclado en porcentajes de efectividad del 10% y 20% correspondientes a los tratamientos 2 y 4, indicados en los resultados mediante el software SPSS ya que la efectividad se encuentra dentro del rango establecido con respecto a la resistencia promedio a la compresión del concreto ( $f'_{cr}$ ) a la edad de 28 días, asimismo, cumpliendo con la Norma Técnica Peruana NTP 339.034.

Se evaluó la generación y composición de los residuos sólidos en el Perú, donde se registró que desde el año 2016 al 2020 se ha producido un incremento de 899541.5 de toneladas anuales de los desechos municipales. Además, en el año 2020, se han generado 7905118.1 de toneladas de residuos sólidos municipales, siendo así que el 2.76% representa al vidrio desechado, el cual pertenece a un total de 20.8% de residuos inorgánicos.

#### REFERENCIAS

- [1] F. Abanto, "Tecnología del concreto", Editorial San Marcos E.I.R.L., Lima – Perú, 2020. [Online]. Obtenido: <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-catolica-san-pablo/mecanica/otros/356721507-306087568-tecnologia-del-concreto-flavio-abanto-pdf/4282817/view>
- [2] L. E. Rivva, "Diseño de mezclas", Editorial American Concrete Institute ACI, 2007, Lima – Perú.



- [3] MINAM, “Coordinación de Información sobre Gestión de Residuos Sólidos”, Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos, Perú, 2020. [Online]. Obtenido: <https://n9.cl/nkf4j>
- [4] R. Codina, “Resistencia a la compresión de un concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> con agregado fino sustituido en 5% y 10% por vidrio molido reciclado (tesis para título profesional”, Universidad San Pedro, Perú, 2018. [Online]. Obtenido: <http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/5474>
- [5] J. Amorós, M. Centurión y M. Hoyos; “Uso de material reciclado en la fabricación de concreto”, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú, 2019. [Online]. Obtenido: <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/3098>
- [6] L. Codina, “Comparación de la resistencia de adoquines de concreto y otros elaborados con vidrio reciclado”, Universidad Privada del Norte, Cajamarca – Perú, 2015. [Online]. Obtenido: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/10257>
- [7] J. Enriquez y K. Shimabukuro, “Diseño de mezcla de concreto  $f'cr$  210 kg/cm<sup>2</sup> mediante la adición de vidrio molido reciclado en reemplazo parcial de cemento tipo en Lima-Perú”, Universidad Peruana de ciencias aplicadas, Perú, 2019. [Online]. Obtenido: <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/628155>
- [8] V. Flores, “Estudio de la resistencia a la compresión del hormigón con adición de polvo de vidrio reciclado”, Universidad Estatal, 2015. [Online]. Obtenido: <https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/46000/2292/UPSE-TIC-2015-014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [9] J. Fraga, C. Guayanay y A. Morales, “Análisis del comportamiento de hormigón con inclusión de vidrio reciclado en hormigones de resistencia normal”, Universidad Central del Ecuador, Ecuador, 2016. [Online]. Obtenido: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/7398>
- [10] L. Ochoa, “Evaluación de la influencia del vidrio reciclado molido como reductor de agregado fino para el diseño de mezclas de concreto en pavimentos urbanos”, Universidad Señor de Sipán, Perú, 2018. [Online]. Obtenido: <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/uss/4571>
- [11] D. Peñafiel, “Análisis de la resistencia a la compresión del hormigón al emplear vidrio reciclado molido en reemplazo parcial del agregado fino”, Universidad Técnica de Ambato, 2016. [Online]. Obtenido: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/23038>
- [12] Y. Saravia, “Aplicación de vidrio triturado reemplazando agregado grueso para diseño de mezcla de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> en el distrito La Victoria-Chiclayo”, Universidad Cesar Vallejo, Perú, 2019. [Online]. Obtenido: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/39441>
- [13] L. Palacios, “Determinación del comportamiento del concreto en estado fresco y endurecido, utilizando vidrio molido como sustituto parcial del agregado fino”, Universidad del Salvador, 2019. [Online]. Obtenido: <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/20160/1/Determinaci%C3%B3n%20del%20comportamiento%20del%20concreto%20en%20estado%20fresco%20y%20endurecido,%20utilizando%20vidrio%20molido%20como%20sustituto%20parcial%20del%20agregado%20fino.pdf>
- [14] L. Segura, D. Salazar, S. Urrutia, A. López y J. Romero; “Efecto de la sustitución de los agregados por vidrio reciclado en las propiedades del concreto”, Universidad San Pedro, Perú, 2017. [Online]. Obtenido: <http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/287>
- [15] W. Castillo y J. Quispe, “Propiedades mecánicas del concreto elaborado con adición de vidrio molido y cuarcita”, Universidad Nacional de San Agustín, 2019. [Online]. Obtenido: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/8851/1/Cquchja%26carow.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [16] G. Céspedes, “Nivel de eficiencia en el manejo de residuos sólidos en el centro histórico de Cajamarca, de la Municipalidad Provincial, 2015”, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú, 2019. [Online]. Obtenido: <http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/3508/NIVEL%20DE%20EFICIENCIA%20EN%20EL%20MANEJO%20DE%20RESIDUOS%20S%C3%93LIDOS%20EN%20EL%20CENTRO%20HIST%C3%93RICO%20DE%20CAJAMARCA%20%20DE%20LA%20M.pdf?sequence=1&isAllowed=y>