

Systematic review on the use of wastewater treatment in concrete manufacturing during 2018-2022.

Arbaiza-Pérez Priscila Abigail, Estudiante de Ingeniería Industrial¹, Quevedo-Sambrano Carlos Daniel, Estudiante de Ingeniería Industrial¹, Rojas-Llanos Marquinho Hayvan, Estudiante de Ingeniería Civil¹, Collazos-Alarcón Mercedes Alejandrina, Doctora en Educación¹, Sotomayor-Nunura Gioconda, Doctora en Educación¹ y Miñan-Olivos Guillermo Segundo, Magister en Gestión Pública¹

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, U19314470@utp.edu.pe, U20236875@utp.edu.pe, U20236877@utp.edu.pe, c24133@utp.edu.pe, c24127@utp.edu.pe y c20342@utp.edu.pe

Abstract– Annually, the construction industry consumes immense amounts of natural and potable water, a fact that is already generating scarcity problems worldwide. The present systematic review aims to determine what has been the effect of wastewater treatment as a strategy for concrete manufacturing during 2018-2022, this in order to give scopes to the scientific community about a possible alternative resource to solve the problem. After searching for information in various electronic databases, 25 documents that develop the variables "treated wastewater" and "concrete" were selected. On the one hand, bibliometrics was applied to determine the scientific activity on the subject. On the other hand, to determine the effect of treated wastewater on concrete, its fresh, solid and durability properties were analyzed. Finally, it was concluded that it is possible to take advantage of treated wastewater instead of natural/potable water, since the variations in the properties of concrete are minimal. Some recommendations were also made to try to make the problem more visible.

Keywords– treated wastewater, concrete, construction.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Revisión sistemática sobre la utilización de tratamiento de aguas residuales en la fabricación de concreto durante 2018-2022

Arbaiza-Pérez Priscila Abigail, Estudiante de Ingeniería Industrial¹, Quevedo-Sambrano Carlos Daniel, Estudiante de Ingeniería Industrial¹, Rojas-Llanos Marquinho Hayvan, Estudiante de Ingeniería Civil¹, Collazos-Alarcón Mercedes Alejandrina, Doctora en Educación¹, Sotomayor-Nunura Gioconda, Doctora en Educación¹ y Miñan-Olivos Guillermo Segundo, Magister en Gestión Pública¹

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, U19314470@utp.edu.pe, U20236875@utp.edu.pe, U20236877@utp.edu.pe, c24133@utp.edu.pe, c24127@utp.edu.pe y c20342@utp.edu.pe

Resumen– Anualmente, la industria de la construcción consume inmensas cantidades de agua natural y potable, hecho que ya está generando problemas de escasez en todo el mundo. La presente revisión sistemática tiene como objetivo determinar cuál ha sido el efecto del tratamiento de aguas residuales como estrategia para la fabricación de concreto durante 2018-2022, esto con el fin de dar alcances a la comunidad científica acerca de un posible recurso alternativo que solucione la problemática. Tras la búsqueda de información en diversas bases de datos electrónicas, se seleccionaron 25 documentos que desarrollan las variables “aguas residuales tratadas” y “concreto”. Por un lado, se aplicó la bibliometría para conocer la actividad científica respecto al tema. Por otro lado, para determinar el efecto de las aguas residuales tratadas en el concreto se analizaron sus propiedades en estado fresco, sólido y de durabilidad. Finalmente, se llegó a la conclusión de que es posible aprovechar las aguas residuales tratadas en lugar del agua natural/potable, pues las variaciones en las propiedades del concreto son mínimas. Asimismo, se brindaron algunas recomendaciones para tratar de hacer más visible la problemática.

Palabras clave– agua residual tratada, concreto, construcción

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el mundo afronta la problemática del uso irracional del agua, lo cual ha generado diferentes efectos negativos que conllevaron a una reducción significativa de los recursos hídricos [26], de hecho, se predice que 40% de la población mundial podría sufrir escasez de agua recurrente para 2025 [1]. La industria de la construcción es el segundo mayor consumidor de agua dulce, justo después de la agricultura, puesto que anualmente consume más de un billón de metros cúbicos [4]. Esta última juega un papel importante en las diferentes fases de la producción del concreto y en otros aspectos de la propia construcción, por ejemplo, en la limpieza de agregados, la mezcla y el curado del concreto, así como en la limpieza de la maquinaria y las plantas dosificadoras [7]. Por ello, urge la necesidad de recurrir a medidas alternativas, como hacer uso de agua no convencional y otros materiales respetuosos con el medio ambiente [21].

Frente a tal situación, la idea de optar por aguas residuales en reemplazo del agua dulce empieza a tomar fuerza [31]. No obstante, su uso puede provocar una disminución del rendimiento de durabilidad y de la resistencia a la compresión del concreto [11] debido a la presencia de impurezas y

contaminantes [35], así como a variaciones en características intrínsecas del agua como el pH y la alcalinidad [32]. Por ende, sale a la luz el tratamiento de las aguas residuales como estrategia para abordar adecuadamente aquellos componentes que podrían alterar significativamente las propiedades del concreto [22]. Además, no se debe ignorar que, dependiendo de la fuente, existen distintos tipos de aguas residuales, por lo tanto, su tratamiento debe ser minucioso [40]. Dicho proceso consta de tres niveles convencionales denominados (i) tratamiento primario, para remover partículas suspendidas y sólidos brutos; (ii) tratamiento secundario, para eliminar la materia orgánica disuelta y los sólidos en suspensión que quedaron del tratamiento primario; (iii) y tratamiento terciario, para eliminar impurezas restantes y producir un efluente de agua casi bebible [6].

Ante ello, la investigación se enfoca en dar respuesta a la siguiente interrogante: ¿Cuál ha sido el efecto del tratamiento de aguas residuales como estrategia para la fabricación de concreto durante 2018-2022? De esta forma, se consideró el objetivo general de determinar el efecto del tratamiento de aguas residuales como estrategia para la fabricación de concreto a partir de una revisión de la literatura durante 2018-2022, y los objetivos específicos de (i) comparar el efecto de los distintos tipos de agua empleada y (ii) comparar las propiedades del concreto más involucradas. El estudio no solo aborda investigaciones que buscan potencializar la industria del concreto, sino que también intentan no poner en riesgo las fuentes de agua de la naturaleza.

II. METODOLOGÍA

Con el fin de evitar fuentes de sesgo y obtener resultados realmente centrados en el tema planteado, la investigación se elaboró con base en la versión actualizada y en formato español de la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analysis), la cual representa una guía que facilita la identificación, selección, evaluación y síntesis de la literatura acerca del tema tratado [29].

Respecto a la búsqueda de información para la elaboración de la revisión sistemática, se consultaron bases de datos como Scopus, Elsevier, Alicia, Redalyc, Dialnet, Google Scholar y repositorios de distintas universidades. Las palabras clave principales que se introdujeron en las barras de búsqueda de los

portales web son “treated wastewater” (aguas residuales tratadas) y “concrete” (concreto). Asimismo, se utilizó el conector booleano AND (y) debido a la necesidad de que ambas variables sean desarrolladas en los artículos de investigación.

Por un lado, con relación a los criterios de elegibilidad se tuvo en cuenta el período de publicación de los artículos, el cual se limitó entre los años 2018-2022. Los idiomas considerados son tanto el español como el inglés. También se tomó en cuenta aquellos artículos cuyas palabras clave no eran exactamente iguales a las introducidas, pero estaban estrechamente relacionadas. Por otro lado, haciendo referencia a los criterios de exclusión, no se seleccionaron documentos fuera del período asignado, tampoco aquellos sin rigurosidad académica, ni los que no estaban disponibles para su revisión completa.

Se obtuvieron 32 documentos y, con el propósito de identificar sus similitudes y diferencias para evaluar la viabilidad del tratamiento de aguas residuales en la fabricación del concreto, se organizaron resaltando algunas especificaciones. Era necesario recoger evidencia significativa acerca de la influencia de las aguas residuales tratadas en las propiedades del concreto y determinar si eso lo hacía adecuado para la industria de la construcción.

III. RESULTADOS

A. Resultados bibliométricos de la revisión sistemática

En seguida, se presentan los 32 documentos seleccionados para la elaboración de la revisión sistemática, los cuales han sido ordenados alfabéticamente según los títulos.

En la Tabla I, se evidencian los nombres de los autores y títulos de cada uno de los documentos seleccionados, los cuales de algún modo desarrollan las variables que se optó por abarcar en el presente estudio.

Tabla I
INVESTIGACIONES SELECCIONADAS PARA LA REVISIÓN SISTEMÁTICA.

Autor	Título
Arooj, M.F., Haseeb, F., Butt, A.I., Irfan-Ul-Hassan, D.M., Batool, H., Kibriya, S., Javed, Z., Nawaz, H. & Asif, S. [8]	A sustainable approach to reuse of treated domestic wastewater in construction incorporating admixtures
Chavan, C.S., Kale, S.P., Shinde, S.M., Shinde, A.B., Bodke, N.B. & Dhaware, D.N. [14]	An Overview: Effect of Treated Waste Water on Properties of Concrete
Sultana, I. & Islam, G.M.S. [36]	Applicability of treated industrial wastewater in concrete industry
Abushanab, A. & Alnahhal, W. [1]	Combined effects of treated domestic wastewater, fly ash, and calcium nitrite toward concrete sustainability
Saxena, S. & Tembhurkar, A.R. [34]	Developing biotechnological technique for reuse of wastewater and steel slag in bio-concrete
Catanzaro, G. & Zapana, O. [13]	Diseño y evaluación de concreto estructural de f'c280 kg/cm2 elaborado con aguas residuales domésticas tratadas mediante procesos biológicos como alternativa al uso de agua potable en Lima Metropolitana
Ahmed, S., Alhoubi, Y., Elmesalami, N., Yehia, S. & Abed, F. [6]	Effect of recycled aggregates and treated wastewater on concrete subjected to different exposure conditions

Joulani, N.M.A. [19]	Effect of Using Tertiary Treated Wastewater from Nablus Wastewater Treatment Plant (NWWTP), On Some Properties of Concrete
Meena, K. & Luhar, S. [24]	Effect of wastewater on properties of concrete
Kanwal, H., Arif, S., Jawaid, M.A., Farooq, A. & Khan, M.A. [22]	Effect on Compressive Strength of Concrete Using Treated Waste Water for Mixing and Curing of Concrete
Tonetti, A.L., Duarte, N.C., Dos Santos, M.R.R. & Siqueira, G.H. [39]	Environmentally friendly interlocking concrete paver blocks produced with treated wastewater
Chumpitaz, L. & Morales, R. [15]	Estudio y evaluación del agua tratada proveniente de las plantas de tratamiento de Surco y San Borja para la elaboración de concreto en Lima metropolitana. Concreto hidráulico.
Santamaria, C. del R. [33]	Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del concreto elaborado con agua residual tratada adicionando el bioquímico DAC-1 y su reactivo ART-12 para una resistencia a la compresión de 210 kg/cm2 en el distrito de Lambayeque
Ikpa, C.C., Alaneme, G.U., Mbadike, E.M., Nnadi, E., Chigbo, I.C., Abel, C., Udusoro, I.M. & Odum, L.O. [18]	Evaluation of Water Quality Impact on the Compressive Strength of Concrete
Abushanab, A. & Alnahhal, W. [2]	Flexural behavior of reinforced concrete beams prepared with treated Wastewater, recycled concrete Aggregates, and fly ash
Micheal, A., Abdel-Salam, H. & Ghanem, G.M. [25]	Implementation of Secondary and Tertiary Treated Wastewater in Concrete Manufacturing
Ghrai, A.M., Al-Mashaqbeh, O.A., Sarireh, M.K., Al-Kouz, N., Farfoura, M. & Megdal, S.B. [17]	Influence of grey water on physical and mechanical properties of mortar and concrete mixes
Bandhavya, G.B., Prashanth, S. & Sandeep, K. [10]	Influence of River Water and Treated Industrial Sewage Water Quality on Compressive Strength of Concrete with Sawdust Ash as Partial Replacement of Cement
Naik, P., Udayakumar, G., Rao, V. & Marathe, S. [27]	Influence of STP Treated and Reed Bed Treated Domestic Wastewater on Properties of Mortar and Concrete Mixes
Tanlı, T., Damdelen, Ö. & Pehlivan, S. [38]	Influences of recycled plastic and treated wastewater containing with 50% GGBS content in sustainable concrete mixes
Kaboosi, K. & Emami, K. [20]	Interaction of treated industrial wastewater and zeolite on compressive strength of plain concrete in different cement contents and curing ages
Abushanab, A. & Alnahhal, W. [3]	Performance of sustainable concrete incorporating treated domestic wastewater, RCA, and fly ash
Bouaich, F.Z., Maherzi, W., El-hajjaji, F., Abriak, N.E., Benzerzour, M., Taleb, M. & Rais, Z. [11]	Reuse of treated wastewater and non-potable groundwater in the manufacture of concrete: major challenge of environmental preservation
Ahmad, O.A. & Ayyad, S.M. [5]	Secondary treated wastewater as a concrete component and its impact on the basic strength properties of the material

Taherlou, A., Asadollahfardi, G., Salehi, A. & Katebi, A. [37]	Sustainable use of municipal solid waste incinerator bottom ash and the treated industrial wastewater in self-compacting concrete
Cárdenas, F. [12]	Sustitución del recurso agua potable en la fabricación del concreto por agua residual tratada en Lima Norte
Nasserlshariati, E., Mohammadzadeh, D., Karballaezadeh, N., Mosavi, A., Reuter, U. & Saatcioglu, M. [28]	The effect of incorporating industrial wastewater on durability and long-term strength of concrete
Peighambarzadeh, F.S., Asadollahfardi, G. & Akbaroost, J. [30]	The effects of using treated wastewater on the fracture toughness of the concrete
Asadollahfardi, G. & Mahdavi, A.R. [9]	The feasibility of using treated industrial wastewater to produce concrete
Mane, S., Faizal, S., Prakash, G., Bhandarkar, S. & Kumar, V. [23]	Use of Sewage Treated Water in Concrete
Duarte, N.C., Amaral, A.E.D.S., Gomes, B.G.L.A., Siqueira, G.H. & Tonetti, A.L. [16]	Water reuse in the production of non-reinforced concrete elements: An alternative for decentralized wastewater management
Yahyaei, B., Asadollahfardi, G. & Salehi, A.M. [41]	Workability, mechanical, and durability properties of self-compacting concrete using the treated wastewater

Posteriormente, los documentos fueron clasificados de acuerdo a algunos criterios y la información se representó mediante gráficos, esto con el fin de analizar la actividad científica relacionada al tema que trata la investigación.

En la Fig. 1, la literatura se distribuyó de acuerdo al año en el que fue publicada. Se demuestra que en los años 2019 y 2021 se publicó la mayor cantidad de investigaciones seleccionadas, abarcando el 56.2% del total. Asimismo, se observa que el segundo lugar es ocupado por los años 2018 y 2022, puesto que comprenden el 37.6% del total de investigaciones elegidas.

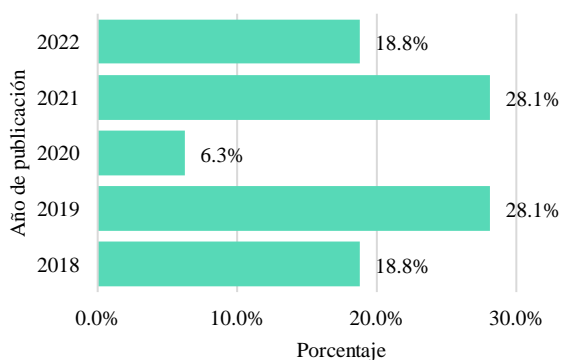


Fig. 1 Distribución porcentual de la literatura seleccionada según el año de publicación.

En la Fig. 2, la literatura seleccionada fue distribuida según su país de origen. Se muestra que India ocupa el 18.8% del total de investigaciones publicadas, colocándolo en el primer lugar. Además, se observa que Irán cuenta con 15.6% y Perú con 12.5% de investigaciones seleccionadas, lo cual los ubica en el segundo y tercer lugar respectivamente.

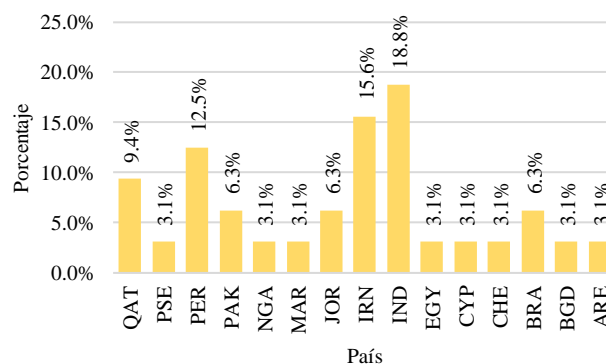


Fig. 2 Distribución porcentual de la literatura seleccionada según el país de origen.

En la Fig. 3, se percibe que la literatura ha sido distribuida según su fuente de origen. Por un lado, se evidencia que el 87.5% de las publicaciones provienen de revistas académicas, las cuales se centran principalmente en temas tales como la ingeniería de la construcción, los materiales de construcción, la ciencia del agua; entre otros. Por otro lado, se observa que solo el 12.5% de las publicaciones proceden de repositorios universitarios.

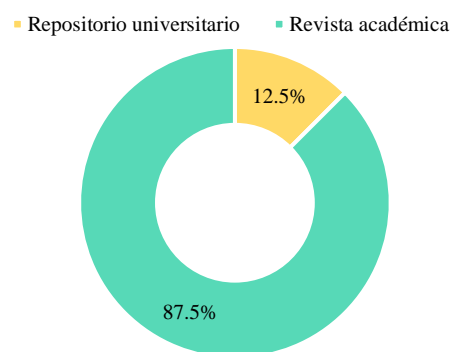


Fig. 3 Distribución porcentual de la literatura seleccionada según la fuente de origen.

B. Resultados de contenido de la revisión sistemática

A continuación, se extrajeron los datos referentes a las propiedades del concreto que son mayormente estudiadas. Para ello, se tuvo en cuenta la comparación entre los resultados obtenidos al emplear agua natural/potable y la residual tratada.

En la Tabla II, se presentan los datos recopilados concernientes al asentamiento del concreto. Por un lado, al usar el agua natural/potable, el rango de asentamiento se encuentra entre 25-175 mm. Por otro lado, al usar el agua residual tratada, el rango cambia a 30-165 mm, lo cual evidencia una variación casi insignificante. Sin embargo, no se puede ignorar que, para los casos [11,24,27,30], la variación porcentual sí es algo considerable, pues toma valores de -62.5, -37.5, -48.2 y 40% respectivamente. En adición, no está de más hacer alusión a la fuente [12], pues afirma que, con el agua residual tratada, el asentamiento del concreto es aproximadamente 127 mm, valor que se encuentra dentro del rango anteriormente descrito.

TABLA II
ASENTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Fuente	Agua Natural/Potable (mm)	Agua Residual Tratada (mm)	Variación (%)
[2]	86	91	5.8
[3]	86	91	5.8
[9]	110	96.7	-12.1
[11]	80	30	-62.5
[13]	100	92	-8
[19]	55	80	45.5
[22]	50	42	-16
[24]	80	50	-37.5
[27]	85	44	-48.2
[28]	150	130	-13.3
[30]	25	35	40
[33]	76.2	76.2	0
[34]	110	100	-9.1
[38]	175	165	-5.7

En la Tabla III, se encuentran los datos referidos a la propiedad de contenido de aire del concreto. Se aprecia que, con el uso de agua natural/potable, el contenido de aire oscila entre 1.6-4.1%. No obstante, al utilizar el agua residual tratada, los porcentajes se ubican entre 1.85-4.2%, variación minúscula.

TABLA III
CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Fuente	Agua Natural/Potable (%)	Agua Residual Tratada (%)
[6]	1.85	1.85
[9]	2.73	2.7
[13]	2.2	2.05
[34]	4.1	4.2
[41]	1.6	2.0

En la Tabla IV, los datos hacen referencia al tiempo de fraguado inicial del concreto. Se contempla que, con el agua natural/potable, los límites inferior y superior del intervalo son 115-438 min. En contraste, haciendo uso del agua residual tratada, dichos valores cambian a 167.4-452 min, lo cual representa una variación considerable. Asimismo, se tiene en cuenta que para el caso [30], la variación es de 53.9%, un valor mucho mayor en comparación con el resto.

TABLA IV
TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL DEL CONCRETO

Fuente	Agua Natural/Potable (min)	Agua Residual Tratada (min)	Variación (%)
[11]	438	452	3.2
[13]	152.4	167.4	9.8
[17]	180	205	13.9
[18]	167	274	64.1
[27]	128	120	-6.3
[30]	115	177	53.9
[36]	130	135	3.8

Del mismo modo, en la Tabla V se presentan los datos relacionados al tiempo de fraguado del concreto, pero esta vez hacen referencia al tiempo final. Al consumir agua natural/potable, los límites inferior y superior del intervalo son 168-648 min. En cambio, al aprovechar el agua residual tratada, los valores cambian a 177-662 min. En este caso, la variación no es tan considerable como la del tiempo inicial de fraguado,

tampoco existe alguna fuente en específico que presente una variación mucho mayor a la del resto.

TABLA V
TIEMPO DE FRAGUADO FINAL DEL CONCRETO

Fuente	Agua Natural/Potable (min)	Agua Residual Tratada (min)	Variación (%)
[9]	203	220	8.4
[11]	648	662	2.2
[13]	250.2	259.5	3.7
[30]	250	280	12
[36]	168	177	5.4

En la Tabla VI, se ordenan los datos vinculados a la resistencia a la compresión del concreto. Se tiene en cuenta que la toma de datos se hace después realizar la curación del concreto cada cierto tiempo, comúnmente luego de 7, 14, 28 y 90 días. Para los primeros 7 días, se observa una pequeña disminución de la resistencia a la compresión al usar el agua residual tratada, excepto para las fuentes [10,15,23,33,38]. Para los 14 días, los valores también disminuyen minúsculamente, excepto para las fuentes [5,10,19,23,38]. De igual forma, para los 28 días se evidencia una reducción, a excepción de las fuentes [10,15,16,19,23,33]. Por último, para los 90 días también se divisa un pequeño descenso, exceptuando las fuentes [27,33]. Además, es necesario hacer alusión a fuentes como la [20], pues menciona que, usar agua residual tratada en lugar de la natural/potable, disminuye la resistencia a la compresión en solo 2%; y a la [25], ya que afirma que, en las mismas condiciones, no existe algún cambio realmente significativo.

TABLA VI
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO EN ESTADO SÓLIDO (7, 14, 28 Y 90 DÍAS)

Fuente	Agua Natural/Potable (MPa)				Agua Residual Tratada (MPa)			
	7	14	28	90	7	14	28	90
[1]	42.7		50.9	60.0	37.7		47.8	53.1
[2]			57.0				53.5	
[3]	42.7		50.9	60.0	37.7		47.8	53.1
[5]	22.0	25.0	29.4		21.4	25.0	27.0	
[6]			66.1				65.4	
[8]			30.9				26.5	
[10]	21.9	25.0	31.0		25.6	29.2	36.6	
[13]	26.7	32.2	38.0		26.6	30.6	35.0	
[14]	28.3	32.5	41.2		8.5	13.5	26.0	
[15]	27.9	34.4	39.2		34.2	33.2	40.2	
[16]			28.7				33.8	
[18]	13.0	16.0	19.0		9.5	13.5	16.0	
[19]	21.0	21.5	22.6		16.5	25.0	31.4	
[22]	13.7	14.5	20.4		12.8	13.7	20.1	
[23]	23.9	34.7	38.4		31.0	39.4	49.2	
[27]	20.4		33.8	34.7	20.0		28.2	35.3
[28]	18.7		36.7	38.3	18.3		36.3	37.4
[33]	14.1		22.7	23.9	17.1		24.9	27.8
[34]	26.5		33.0	43.0	25.0		32.0	41.0
[36]	25.3		35.0	42.4	23.5		33.6	39.5
[37]	30.1		48.3	53.8	20.9		34.7	33.1
[38]	24.0	28.0	34.0		27.0	28.0	33.5	
[41]	50.8		57.2	61.8	49.7		56.8	60.7

En la Tabla VII, se ubican los datos de la resistencia a la tracción del concreto luego de un tiempo de curado de 28 días. Se presencia que, para el caso de ambos tipos de agua, las variaciones porcentuales tanto positivas como negativas son pequeñas.

TABLA VII
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL CONCRETO EN ESTADO SÓLIDO
(28 DÍAS)

Fuente	Agua Natural/Potable (MPa)	Agua Residual Tratada (MPa)	Variación (%)
[5]	3.8	4.1	7.9
[6]	3.9	3.6	-7.7
[8]	2.9	3.3	13.8
[15]	3.0	3.4	13.3
[28]	2.8	2.7	-3.6
[41]	0.46	0.44	-4.3

Igualmente, en la Tabla VIII se muestran los datos de la resistencia a la flexión del concreto luego de un tiempo de curado de 28 días. Se avista que en general existe una pequeña disminución porcentual en los valores, sin embargo, es necesario recalcar que en la fuente [33] existe un importante incremento del 31.0%.

TABLA VIII
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO EN ESTADO SÓLIDO
(28 DÍAS)

Fuente	Agua Natural/Potable (MPa)	Agua Residual Tratada (MPa)	Variación (%)
[2]	3.8	3.3	-13.2
[3]	5.3	4.9	-7.5
[8]	10.2	9.9	-2.9
[33]	2.9	3.8	31.0
[34]	8.0	7.0	-12.5
[38]	3.7	3.6	-2.7

En la Tabla IX, se organizan los datos correspondientes a la propiedad de absorción de agua del concreto. Se refleja que, con la aplicación de agua natural/potable, los valores fluctúan entre 2.99-5.2%. Por el contrario, con el agua residual tratada, los valores se sitúan entre 3.01-5.17%, lo cual representa una variación que podría ser despreciada.

TABLA IX
ABSORCIÓN DE AGUA DEL CONCRETO EN ESTADO SÓLIDO

Fuente	Agua Natural/Potable (%)	Agua Residual Tratada (%)
[9]	5.2	5.17
[19]	3.28	3.49
[34]	3.2	3.45
[39]	2.99	3.01
[41]	4.2	5.0

IV. CONCLUSIONES

La presente revisión sistemática abarca el tema del tratamiento de aguas residuales como estrategia para la fabricación de concreto durante 2018-2022. A pesar de buscar brindar solución a un problema tan grande como lo es el uso irracional de los recursos hídricos, las investigaciones disponibles no son muchas. Los documentos que se lograron conseguir fueron evaluados aplicando la bibliometría para

obtener ciertos alcances acerca de la actividad científica relacionada con el tema y las variables desarrolladas.

Respecto a la influencia del agua natural/potable y la residual tratada, se optó por analizar las propiedades del concreto en estado fresco, en estado sólido y de durabilidad.

Con relación al primer grupo, se seleccionaron las propiedades de asentamiento, contenido de aire y tiempo de fraguado inicial y final. Se evidenció que la variación entre los rangos para ambos tipos de agua es mínima.

Del segundo grupo se escogieron las propiedades de resistencia a la compresión, tracción y flexión del concreto. De igual manera, aunque se observaron algunas reducciones, estas fueron pequeñas. Además, no se puede ignorar que hubo casos en los que los valores referentes al agua residual tratada superaron significativamente a los del agua natural/potable.

Finalmente, del tercer grupo se eligió la propiedad de absorción de agua del concreto. Al igual que las propiedades del primer grupo, la variación entre los rangos era casi despreciable.

Entonces, se logró determinar que el tratamiento de aguas residuales como estrategia para la fabricación concreto es una alternativa viable, puesto que, si se compara con el uso del agua natural/potable, su efecto en las distintas propiedades del concreto es mínimo.

A pesar de que se llegó a dichas conclusiones, se recomienda realizar más estudios referidos al tema, pues existen muchas variables que no se han tomado en cuenta en la presente investigación, por ejemplo, la relación agua-cemento, el agregado de otros materiales para la fabricación del concreto; entre otros. De este modo, la problemática se hará más visible y otros investigadores podrán brindar soluciones creativas que potencialicen la industria de la construcción sin tener que agotar un recurso tan valioso como el agua.

REFERENCIAS

- [1] Abushanab, A. & Alnahhal, W. (2021). Combined effects of treated domestic wastewater, fly ash, and calcium nitrite toward concrete sustainability. *Journal of Building Engineering*, 44. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.103240>
- [2] Abushanab, A. & Alnahhal, W. (2022). Flexural behavior of reinforced concrete beams prepared with treated Wastewater, recycled concrete Aggregates, and fly ash. *Structures*, 45, 2067–2079. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.10.029>
- [3] Abushanab, A. & Alnahhal, W. (2022). Performance of sustainable concrete incorporating treated domestic wastewater, RCA and fly ash. *Construction and Building Materials*, 329. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127118>
- [4] Agwe, T.M., Tibenderana, P., Twesigye-Omwe, M.N., Mbujje, J.W. & Abdulkadir, S.T. (2022). Concrete Production and Curing with Recycled Wastewater: A Review on the Current State of Knowledge and Practice. *Advances in Civil Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2022/7193994>
- [5] Ahmad, O.A. & Ayyad, S.M. (2021). Secondary treated wastewater as a concrete component and its impact on the basic strength properties of the material. *Archives of Civil Engineering*, 67(1), 571–583. <https://doi.org/10.24425/ace.2021.136490>
- [6] Ahmed, S., Alhoubi, Y., Elmesalami, N., Yehia, S. & Abed, F. (2021). Effect of recycled aggregates and treated wastewater on concrete subjected to different exposure conditions. *Construction and Building Materials*, 266. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120930>

- [7] Ali, B., Kurda, R., de Brito, J. & Alyousef, R. (2021). A review on the performance of concrete containing non-potable water. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(15). <https://doi.org/10.3390/app11156729>
- [8] Arooj, M.F., Haseeb, F., Butt, A.I., Irfan-Ul-Hassan, D.M., Batool, H., Kibriya, S., Javed, Z., Nawaz, H. & Asif, S. (2021). A sustainable approach to reuse of treated domestic wastewater in construction incorporating admixtures. *Journal of Building Engineering*, 33. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101616>
- [9] Asadollahfardi, G. & Mahdavi, A.R. (2019). The feasibility of using treated industrial wastewater to produce concrete. *Structural Concrete*, 20(1), 123–132. <https://doi.org/10.1002/suco.201700255>
- [10] Bandhavya, G.B., Prashanth, S. & Sandeep, K. (2022). Influence of River Water and Treated Industrial Sewage Water Quality on Compressive Strength of Concrete with Sawdust Ash as Partial Replacement of Cement. *International Journal of Engineering and Applied Physics*, 2(3), 587–594. <https://ijeap.org/ijeap/article/view/95>
- [11] Bouaich, F.Z., Maherzi, W., El-hajjaji, F., Abriak, N.E., Benzerzour, M., Taleb, M. & Rais, Z. (2022). Reuse of treated wastewater and non-potable groundwater in the manufacture of concrete: major challenge of environmental preservation. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(1), 146–157. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15561-3>
- [12] Cárdenas, F. (2018). *Sustitución del recurso agua potable en la fabricación del concreto por agua residual tratada en Lima Norte*. [Tesis, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV. <https://hdl.handle.net/20.500.13084/2440>
- [13] Catanzaro, G. & Zapana, O. (2019). *Diseño y evaluación de concreto estructural de $f'c280 \text{ kg/cm}^2$ elaborado con aguas residuales domésticas tratadas mediante procesos biológicos como alternativa al uso de agua potable en Lima Metropolitana*. [Tesis, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC. <http://hdl.handle.net/10757/626354>
- [14] Chavan, C.S., Kale, S.P., Shinde, S.M., Shinde, A.B., Bodke, N.B. & Dhaware, D.N. (2018). An Overview: Effect of Treated Waste Water on Properties of Concrete. *Journal of Advances and Scholarly Researches in Allied Education*, 15(2), 116–120. <https://doi.org/10.29070/15/56789>
- [15] Chumpitaz, L. & Morales, R. (2019). *Estudio y evaluación del agua tratada proveniente de las plantas de tratamiento de Surco y San Borja para la elaboración de concreto en Lima metropolitana. Concreto hidráulico*. [Tesis, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC. <http://hdl.handle.net/10757/625052>
- [16] Duarte, N.C., Amaral, A.E.D.S., Gomes, B.G.L.A., Siqueira, G.H. & Tonetti, A.L. (2019). Water reuse in the production of non-reinforced concrete elements: An alternative for decentralized wastewater management. *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, 9(3), 596–600. <https://doi.org/10.2166/washdev.2019.106>
- [17] Ghrair, A.M., Al-Mashaqbeh, O.A., Sarireh, M.K., Al-Kouz, N., Farfoura, M. & Megdal, S.B. (2018). Influence of grey water on physical and mechanical properties of mortar and concrete mixes. *Ain Shams Engineering Journal*, 9(4), 1519–1525. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2016.11.005>
- [18] Ikpa, C.C., Alaneme, G.U., Mbadike, E.M., Nnadi, E., Chigbo, I.C., Abel, C., Udousoro, I.M. & Odum, L.O. (2021). Evaluation of Water Quality Impact on the Compressive Strength of Concrete. *Jurnal Kejuruteraan*, 33(3), 539–550. [https://doi.org/10.17576/jkukm-2021-33\(3\)-15](https://doi.org/10.17576/jkukm-2021-33(3)-15)
- [19] Joulani, N.M.A. (2019). Effect of Using Tertiary Treated Wastewater from Nablus Wastewater Treatment Plant (NWWTP), On Some Properties of Concrete. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(11), 2460–2466. <https://doi.org/10.35940/ijtee.K1709.0981119>
- [20] Kaboosi, K. & Emami, K. (2019). Interaction of treated industrial wastewater and zeolite on compressive strength of plain concrete in different cement contents and curing ages. *Case Studies in Construction Materials*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00308>
- [21] Kaboosi, K., Kaboosi, F. & Fadavi, M. (2020). Investigation of greywater and zeolite usage in different cement contents on concrete compressive strength and their interactions. *Ain Shams Engineering Journal*, 11(1), 201–211. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.08.008>
- [22] Kanwal, H., Arif, S., Jawaid, M.A., Farooq, A. & Khan, M.A. (2018). Effect on Compressive Strength of Concrete Using Treated Waste Water for Mixing and Curing of Concrete. *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology*, 37(2), 445–452. <https://doi.org/10.22581/muet1982.1802.20>
- [23] Mane, S., Faizal, S., Prakash, G., Bhandarkar, S. & Kumar, V. (2019). Use of Sewage Treated Water in Concrete. *International Journal of Research in Engineering, Science and Management*, 2(6), 210–213. https://www.ijresm.com/Vol.2_2019/Vol2_Iss6_June19/IJRESM_V2_I6_56.pdf
- [24] Meena, K. & Luhar, S. (2018). Effect of wastewater on properties of concrete. *Journal of Building Engineering*, 21, 106–112. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.10.003>
- [25] Micheal, A., Abdel-Salam, H. & Ghanem, G.M. (2022). Implementation of Secondary and Tertiary Treated Wastewater in Concrete Manufacturing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1056(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1056/1/012046>
- [26] Mishra, B.K., Kumar, P., Saraswat, C., Chakraborty, S. & Gautam, A. (2021). Water Security in a Changing Environment: Concept, Challenges and Solutions. *Water*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/w13040490>
- [27] Naik, P., Udayakumar, G., Rao, V. & Marathe, S. (2020). Influence of STP Treated and Reed Bed Treated Domestic Wastewater on Properties of Mortar and Concrete Mixes. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 68. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V68I8P2055>
- [28] Nasserlshariati, E., Mohammadzadeh, D., Karballaezadeh, N., Mosavi, A., Reuter, U. & Saatcioglu, M. (2021). The effect of incorporating industrial wastewater on durability and long-term strength of concrete. *Materials*, 14(15). <https://doi.org/10.3390/ma14154088>
- [29] Page, M.J., McKenzie, J.E., Bossuyt, P.M., Boutron, I., Hoffmann, T.C., Mulrow, C.D., Shamseer, L., Tetzlaff, J.M., Akl, E.A., Brennan, S.E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J.M., Hróbjartsson, A., Lalu, M.M., Li, T., Loder, E.W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L.A., Stewart, L.A., Thomas, J., Tricco, A.C., Welch, V.A., Whiting, P. & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *The BMJ*, 372. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- [30] Peighambarzadeh, F.S., Asadollahfardi, G. & Akbaridoost, J. (2020). The effects of using treated wastewater on the fracture toughness of the concrete. *Australian Journal of Civil Engineering*, 18(1), 56–64. <https://doi.org/10.1080/14488353.2020.1712933>
- [31] Raza, A., Rafique, U. & Haq, F. (2021). Mechanical and durability behavior of recycled aggregate concrete made with different kinds of wastewater. *Journal of Building Engineering*, 34. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101950>
- [32] Reddy-Babu, G., Madhusudana-Reddy, B. & Venkata-Ramana, N. (2018). Quality of mixing water in cement concrete "a review". *Materials Today: Proceedings*, 1313–1320. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.216>
- [33] Santamaria, C. del R. (2021). *Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del concreto elaborado con agua residual tratada adicionando el bioquímico DAC-1 y su reactivo ART-12 para una resistencia a la compresión de 210 kg/cm^2 en el distrito de Lambayeque*. [Tesis, Universidad Católica Santo Toribio de Mongrovejo]. Repositorio de Tesis USAT. <http://hdl.handle.net/20.500.12423/4483>
- [34] Saxena, S. & Tembhurkar, A.R. (2019). Developing biotechnological technique for reuse of wastewater and steel slag in bio-concrete. *Journal of Cleaner Production*, 229, 193–202. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.363>
- [35] Sheikh-Hassani, M., Matos, J.C., Zhang, Y.X. & Teixeira, E. (2023). Concrete production with domestic and industrial wastewaters—A literature review. *Structural Concrete*. <https://doi.org/10.1002/suco.202200637>

- [36] Sultana, I. & Islam, G.M.S. (2018). Applicability of treated industrial wastewater in concrete industry. *1st International Conference on Research and Innovation in Civil Engineering*. <https://www.southern.edu.bd/conference/upload/conferencproceeding/see/77.pdf>
- [37] Taherlou, A., Asadollahfardi, G., Salehi, A. & Katebi, A. (2021). Sustainable use of municipal solid waste incinerator bottom ash and the treated industrial wastewater in self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 297. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123814>
- [38] Tanlı, T., Damdelen, Ö. & Pehlivan, S. (2022). Influences of recycled plastic and treated wastewater containing with 50% GGBS content in sustainable concrete mixes. *Journal of Material Research and Technology*, 16, 110–128. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.11.086>
- [39] Tonetti, A.L., Duarte, N.C., Dos Santos, M.R.R. & Siqueira, G.H. (2019). Environmentally friendly interlocking concrete paver blocks produced with treated wastewater. *Water Science and Technology: Water Supply*, 19(7), 2028–2035. <https://doi.org/10.2166/ws.2019.078>
- [40] Varshney, H., Khan, R.A. & Khan, I.K. (2021). Sustainable use of different wastewater in concrete construction: A review. *Journal of Building Engineering*, 41. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2021.102411>
- [41] Yahyaei, B., Asadollahfardi, G. & Salehi, A.M. (2021). Workability, mechanical, and durability properties of self-compacting concrete using the treated wastewater. *Structural Concrete*, 22(S1), E997–E1008. <https://doi.org/10.1002/suco.201900447>