

Valorización del uso de agua residual tratada para elaboración de hormigón

Caicedo, Nadine

Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
nadine.caicedo@utp.ac.pa

Scott, Ana

Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
ana.scott@utp.ac.pa

Deago, Euclides

Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
euclides.deago@utp.ac.pa

Sánchez, José De La Cruz

Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
jose.sanchez@utp.ac.pa

Villar, Jesús

Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
jesus.villar@utp.ac.pa

Abstract

The growing need for efficient water use has driven sustainable alternatives in construction, such as using treated wastewater to produce concrete. This study evaluates the structural concrete quality made with water from the Juan Díaz Wastewater Treatment Plant in Panama City. Tests were conducted to verify compliance with current standards and assess the impact on concrete properties. Leaching tests were also included to evaluate potential long-term environmental effects. Three mixtures were compared: one with potable water, one with a 50/50 mix of potable and treated water, and one with 100% treated wastewater, evaluated at 7 and 28 days. Results showed that mixtures with treated water matched or exceeded the strength of the control mix without compromising structural quality. Leaching

analyses did not show significant increases in chemical or biological parameters, indicating that concrete does not pose an environmental threat. In conclusion, the use of treated wastewater is feasible and can be considered in future sustainable construction projects.

Keywords: treated wastewater, concrete, durability, strength, sustainability.

Resumen

La creciente necesidad de un uso eficiente del agua ha impulsado alternativas sostenibles en la construcción, como el uso de aguas residuales tratadas para fabricar hormigón. Esta investigación evalúa la calidad del concreto estructural elaborado con agua proveniente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Juan Díaz, en Ciudad de Panamá. Se realizaron análisis para verificar el cumplimiento de normas vigentes y determinar el impacto en las propiedades del concreto. Además, se incluyeron pruebas de lixiviación para evaluar posibles efectos ambientales a largo plazo. Se compararon tres mezclas: una con agua potable, otra con una mezcla 50/50 de agua potable y tratada, y una con agua residual tratada al 100%, evaluadas a los 7 y 28 días. Los resultados mostraron que las mezclas con agua tratada igualaron o superaron la resistencia de la mezcla patrón, sin comprometer la calidad estructural. Los análisis de lixiviación no evidenciaron aumentos significativos en parámetros químicos o biológicos, lo que indica que el concreto no representa una amenaza ambiental. En conclusión, el uso de aguas residuales tratadas es viable y puede ser considerado en futuros proyectos de construcción sostenible.

Palabras claves: agua residual tratada, concreto, durabilidad, resistencia, sostenibilidad.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es el recurso más importante para la humanidad, en ella se basan las actividades diarias de la población, sin embargo, como consecuencia del cambio climático este recurso vital se ha visto amenazado por variaciones climáticas como el fenómeno del niño que ha causado sequías extensas en el istmo y limitando el recurso hídrico de la nación. Para el 2050 se han pronosticado periodos de sequía, enfermedades y plagas por los cambios en el clima. Acentuando la condición de que el agua es un recurso natural no renovable y, por lo tanto, su disponibilidad es y será cada vez más limitada [1].

En Panamá estos problemas climáticos han causado estragos en comunidades y ciudades limitando así el desarrollo sostenible de la población, en esto está el caso del Canal de Panamá que se presenta directamente afectado por el cambio climático y las actuales sequías, afectando así el caudal de sus embalses que aseguran sus operaciones a lo largo

del año y sobre todo en periodos de sequía. El reúso de las aguas es un mecanismo de mitigación que ha estado creciendo tanto en países desarrollados, como en aquellos en vías de desarrollo, este hecho indica que los efectos del cambio climático afectan a todos por igual, provocando la escasez del recurso hídrico. De acuerdo con las Naciones Unidas para 2025 dos terceras partes de la población mundial enfrentará escasez de agua [2].

Así como el reúso de aguas residuales tratadas juegan un papel importante como solución a la crisis hídrica, se propone utilizarlas como recurso hídrico disponible para combatir la escasez, alentando así, la concienciación de la conservación del agua como recurso vital y propendiendo al uso eficiente y sostenible del mismo (Fig. 1) [3].

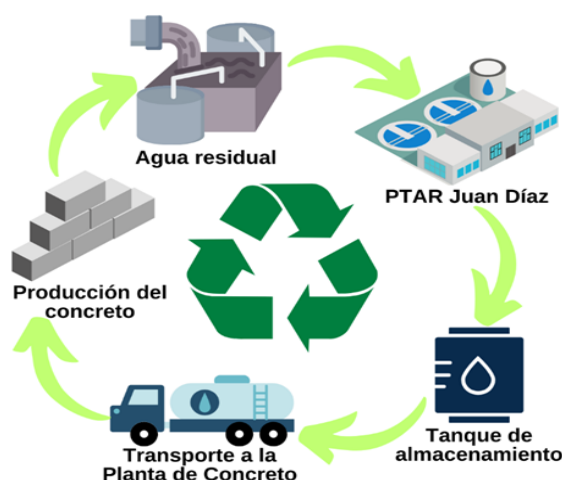


Fig. 1: Economía circular en la producción de concreto.

2. MÉTODO

A. Materiales para la mezcla de concreto

En la presente investigación se utilizaron materiales convencionales para la elaboración de concreto. Como agregados, se empleó arena de mar fina (agregado fino) y piedra #7 (agregado grueso). El cemento utilizado fue de tipo HE, apto para estructuras que requieren altas resistencias a edades tempranas. Se incorporó el aditivo MasterPolyheed® 1157, caracterizado por ser un reductor de agua de alto rango y retardante, especialmente formulado para concreto bombeado. Cabe destacar que los materiales mencionados anteriormente fueron suministrados a granel por una concretera ubicada en la provincia de Panamá. En cuanto al agua, se utilizó agua potable proveniente de la red del IDAAN para la mezcla patrón, y agua residual tratada proveniente de los módulos 1 y 2 de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Panamá para las mezclas de prueba.

B. Análisis de las muestras de agua residual tratada

Debido a la influencia que posee el agua de mezcla en las propiedades del concreto es necesario realizar una evaluación previa a su uso cuando el agua no es potable. Por lo tanto, se realizó un análisis de calidad de agua en 8 muestras de agua residual tratada y una dilución (1:1) con agua potable. Se tomaron como referencia las normas ASTM 1602 y DGNTI COPANIT 24-99 para determinar si el uso del agua es óptimo para realizar una mezcla de hormigón [4] [5]. En el laboratorio se evaluaron los siguientes parámetros: Cloruro (Cl^-), Sulfato (SO_4^{2-}), Alcalinidad Total (CaCO_3), Demanda Química De Oxígeno (DQO), Nitrato (NO_3^-), Nitrito (NO_2^-), Amonio (NH_3), Cloro residual (Cl_2 residual), Sólidos suspendidos totales (SST), Sólidos totales (ST) y Sólidos sedimentables (SS) (Fig. 2).



Fig. 2. Análisis de muestras de agua residual tratada.

C. Preparación de la mezcla y elaboración de especímenes

El diseño de mezcla se realizó conforme a una dosificación para una resistencia a la compresión de 4000 psi a los 28 días brindada por la empresa Concretex. Se utilizó una mezcladora con el objetivo de garantizar la homogeneidad del concreto. Una vez realizada la mezcla, esta se colocó en probetas para cilindros de concreto, para someterlos a ensayo posteriormente. Las dimensiones de las probetas se encuentran estandarizadas y se optó por el uso de moldes de 6 pulgadas de diámetro y 12 pulgadas de altura. Este procedimiento para la elaboración de los cilindros se realizó de acuerdo con la norma ASTM C31 para asegurar uniformidad en la forma y tamaño de las muestras. Cada molde se llenó hasta un tercio de su capacidad, compactando la capa mediante 25 golpes con una varilla, distribuidos uniformemente, para

asegurar una buena compactación. Seguidamente, con un martillo se dieron 12 golpes a lo largo del molde para eliminar el aire atrapado en la mezcla de concreto. Este proceso se repitió 3 veces hasta llenar cada molde por completo con la mezcla. Posteriormente, se enrasaron los cilindros para que obtuvieran una superficie lisa y se dejaron reposar en los moldes por 24 horas. Finalmente, luego de esperar el tiempo reglamentario, se desencofraron los cilindros y se colocaron en una tina de curado a temperatura ambiente hasta que se cumplieran 28 días (Fig. 3) [6].



Fig. 3. Procedimiento de elaboración de especímenes.

D. Pruebas de resistencia a la compresión

Este ensayo consiste en aplicar una carga axial compresiva a cilindros moldeados a una velocidad que está dentro de un rango prescrito hasta que se produzca una falla. En esta investigación se utilizaron 30 cilindros para ensayar a los 7 y 28 días, en 3 tipos de mezclas (Patrón, 1:1 y 100% agua tratada). El procedimiento de este ensayo se efectuó de acuerdo con la norma ASTM C39 [7].

3. RESULTADOS

A. Pruebas de calidad de agua

Se efectuaron pruebas de calidad de agua en dos tipos de muestras (dilución 1:1 y agua residual tratada) y se compararon con la normativa vigente para verificar si su uso en la producción de concreto es adecuado. Los resultados obtenidos demuestran que en ambos tipos de muestra no se superan los valores máximos establecidos por las normativas. A excepción de un pequeño incremento en el valor de la DQO en la muestra de agua residual tratada en el módulo 1. Por lo tanto, el uso de ambos tipos de agua para producir hormigón es aceptable (Tabla 1).

Tabla 1. Resultados de la caracterización de las muestras de agua

Parámetro	Módulo 1 Unidad	Agua Residual Tratada		Dilución (1:1)	Normativa Vigente		
		Módulo 2	Módulo 1	Módulo 2	DGNTI CO-PANIT 24-99	ASTM 1602	
ORP	mV	35.75±7.51	85.50±3.54	190.00±36.77	140.50±4.95	-	-
pH	-	6.87±0.19	7.05±0.78	7.21±0.50	7.02±0.29	6.0-9.0	-
Cl ⁻	mg/L	84.30±14.18	81.11±2.47	45.64±6.66	43.17±3.08	-	500
SO ₄ ²⁻	mg/L	45.53±4.07	40.53±3.15	29.93±3.08	28.25±4.14	-	3000
CaCO ₃	mg/L	119.33±14.64	71.58±10.56	81.85±12.61	71.68±10.11	-	-
DQO	mg/L	124.00±11.14	71.50±6.36	76.67±10.12	68.75±12.37	80	-
NO ₃ ⁻	mg/L	1.30±0.15	12.65±1.91	1.70±0.55	7.35±0.56	-	-
NO ₂ ⁻	mg/L	2.10±0.12	1.64±0.25	1.67±0.26	1.89±0.24	-	-
NH ₃	mg/L	9.60±1.83	0	9.60±1.83	0	-	-
Conductividad	µs/cm	606.00±82.54	526.50±44.55	401.50±27.43	334.50±7.78	-	-
Cloro residual	mg/L	0	0.03±0	0	0.03±0	<1	-
SST	mg/L	5.33±0.58	6.00±1.41	4.67±2.31	2.00±0	<40	-
ST	mg/L	387.33±54.24	328.00±31.11	235.00±27.53	242.33±37.31	-	50000
Ssed	mg/L	0.1±0	0.37±0	0.1±0	0.1±0	-	-

B. Ensayos de resistencia a la compresión

Seguidamente, se muestra un comparativo con los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para las edades de 7 y 28 días del conjunto de cilindros con respecto a su composición de agua. En este se puede apreciar cómo todas van aumentando con el tiempo y cómo a medida que pasa, se va reduciendo el porcentaje de crecimiento con respecto a su resistencia. Se visualiza que a pesar de que todas las mezclas van en aumento, la dilución 1:1 muestra un mejor comportamiento en comparación a las demás (Fig. 4).

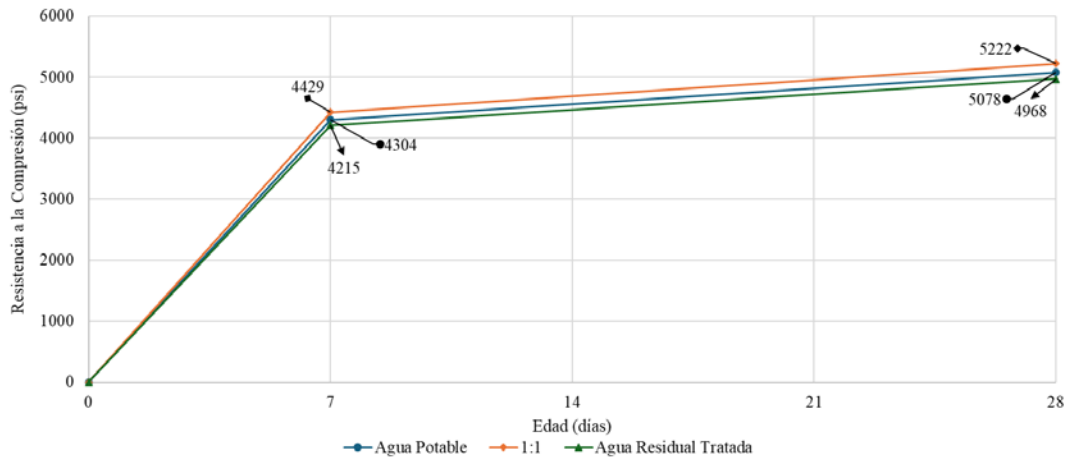


Fig. 4. Gráfico comparativo de resistencia a través del tiempo.

4.CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de calidad de agua reflejan que tanto el agua residual tratada como la dilución no exceden los límites establecidos por las normas DGNTI COPANIT 24-99 y ASTM 1602, por lo tanto, ambos tipos de agua pueden ser utilizadas para mezclas de concreto.

En los ensayos de resistencia a la compresión en los tres de diseños de mezcla, se observa un aumento constante en la resistencia a través del tiempo, por lo tanto, se demuestra un comportamiento normal con respecto a las mezclas tradicionales de concreto. Cabe destacar que la mezcla con la dilución (1:1) obtuvo un incremento significativo con respecto a los otros diseños.

Se comprobó que los valores de resistencia promedio obtenidos a los 28 días en los diseños de mezcla con agua residual tratada superan la resistencia de diseño $f'_c = 4000$ psi. Por lo tanto, este concreto (sin refuerzo) puede emplearse en elementos estructurales sometidos principalmente a cargas de compresión, o en aquellos donde la resistencia a tracción no sea un factor determinante.

Generar marcos regulatorios que proporcionen incentivos a las empresas con el objetivo de que implementen esta iniciativa a nivel nacional.

Referencias

- [1] Ministerio de Ambiente, «Oferta y Uso de agua en Panamá Basado en los resultados de la Cuenta Ambiental de Agua 2000-2018,» 2019.
- [2] R. Prado, B. Segura y Y. Mack, «Impacto del Cambio Climático en la Operatividad del Canal de Panamá,» RIC, 2024.

- [3] J. Manga, N. Logreira y J. Serralt, Reuso de aguas residuales: Un recurso hídrico disponible, 2001.
- [4] «ASTM C1602 Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement,» 2009.
- [5] «DGNTI COPANIT 24-99 Reutilización de las aguas residuales tratadas,» 2000.
- [6] ASTM International, «ASTM C31/C31M Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field,» 2019.
- [7] ASTM International, «ASTM C39/C39M Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens,» 2023.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.