

04-033

SUSTAINABLE CONCRETE USING RESIDUAL WATER FROM A DESALINATION PLANT BY REVERSE OSMOSIS.

Nazer Varela, Amin ⁽¹⁾; Pape Larre, Hernán ⁽¹⁾; Díaz Aguilar, Mirko ⁽¹⁾; Herrera Tapia, Jean ⁽¹⁾
⁽¹⁾ Universidad de Atacama

Currently, sustainability and innovation are priorities for companies in the construction sector. A sustainable building material minimizes its environmental impact throughout the stages of its life cycle. Desalination plants produce drinking water and brines, and the latter, currently considered as waste, can be used in the manufacture of concrete. The objective of this work was to evaluate the compressive strength of concretes using brines from a desalination plant by reverse osmosis as a partial substitute for drinking water (0, 25, 50, 75 and 100%, w%) at different ages (7, 14 and 28 days). The results showed that as the rejection water content increases, both the workability and the setting time of the concrete samples decrease, and on the other hand, the compressive strength increases at all ages and for all the substitutions studied. Using reject water in the manufacture of concrete is considered an interesting alternative for construction in arid areas and can contribute to the reduction of an environmental liability that until now has been dumped into the ocean.

Keywords: Sustainable concrete; compressive strength; residual water; reverse osmosis desalination plant.

HORMIGÓN SUSTENTABLE UTILIZANDO AGUA DE RECHAZO DE PLANTA DESALADORA POR OSMOSIS INVERSA.

En la actualidad, la sustentabilidad e innovación son prioritarias para las empresas del sector construcción. Un material de construcción sustentable minimiza su impacto ambiental a lo largo de las etapas de su ciclo de vida. Las plantas desaladoras producen agua potable y salmueras, y estas últimas, actualmente consideradas como residuos, pueden ser utilizadas en la fabricación de hormigones. El objetivo de este trabajo fue evaluar la resistencia a la compresión de hormigones utilizando salmueras de una planta desaladora por osmosis inversa como sustituto parcial de agua potable (0, 25, 50, 75 y 100%) a diferentes edades (7, 14 y 28 días). Los resultados mostraron que a medida que se aumenta el contenido de agua de rechazo, disminuyen, tanto la docilidad como el tiempo de fraguado de las muestras de hormigón, y por otra parte, aumenta la resistencia a la compresión en todas las edades y para todas las sustituciones estudiadas. Utilizar agua de rechazo en la fabricación de hormigones se plantea como una interesante alternativa para la construcción en zonas áridas, y puede contribuir a la reducción de un pasivo ambiental que hasta ahora es vertido en el océano.

Palabras claves: Hormigón sustentable; resistencia a la compresión; agua de rechazo; planta desaladora por osmosis inversa.

Correspondencia: Amin Nazer, amin.nazer@uda.cl Hernán Pape, hernan.pape@uda.cl"

Agradecimientos: Los autores agradecen muy sinceramente a la empresa Aguas CAP por la colaboración prestada en el desarrollo de la investigación.



1. Introducción

Se estima que el 72% de la superficie de nuestro planeta está cubierta por agua, sin embargo, solamente el 2,5% es agua dulce. La industria de la construcción demanda ingentes cantidades de agua potable para sus procesos, y particularmente en la fabricación del hormigón, requiere agua potable para la mezcla, curado, lavado de camiones mixer y tolvas de mezcla de las plantas productoras.

A nivel mundial, sólo la industria del hormigón consume 100 millones de toneladas de agua cada año (Yarlagadda, Asadi y Nithin 2019). Sin embargo, esta puede aumentar hasta 4 veces, tal y como lo revela un estudio por análisis de inventario de ciclo de vida de la cuna a la puerta sobre el consumo de agua para la fabricación de hormigones (Mack-Vergara y John 2017). El hormigón es el material más utilizado en la era actual, y está compuesto por una mezcla de cemento, áridos, agua y, eventualmente, algunos aditivos que le otorgan mejores prestaciones.

La literatura científica reporta que debido a la escasez de agua potable en ciertas zonas áridas, algunos países han considerado el uso de agua no potable para la elaboración del hormigón regulados por disposiciones legales locales (Kucche, Jamkar y Sadgir 2015). Al respecto, se pueden mencionar algunos ejemplos de uso de agua no potable tales como la lechada del lavado de residuos de hormigón de los camiones concreteros (Chan 2010), agua de rechazo de procesos de purificación de agua para la bebida (Nazer 2018), agua del lavado de automóviles (Al-Jabri et al. 2011), lechada de cemento residual obtenida del lavado de plantas de hormigón (Low et al. 2007), agua tratada del alcantarillado de la ciudad (Al-Ghusain y Terro 2003; Babu y Ramana 2018), entre otros.

Por otra parte, las políticas de desarrollo económico de ciertas zonas áridas y semiáridas, estimulan la instalación y operación de plantas desaladoras de agua de mar para producir agua potable. El proceso de ósmosis inversa es ampliamente utilizado para desalar agua de mar y se prefiere por sobre otros procesos, tales como la destilación flash multietapa, destilación multiefecto, electrodiálisis (Fattah et al. 2017), nanofiltración, electrodiálisis inversa, electrodesionización, entre otras, (Jones et al. 2019), por su bajo costo de producción, simplicidad, capacidad de tratar volúmenes de bajos a moderados, y por el nivel de calidad del agua potable obtenida. Las etapas de un proceso de ósmosis inversa son: captación, pretratamiento, impulsión a alta presión y la separación por membrana, que incluye la obtención de producto final y el vertido de salmuera o agua de rechazo (Liyanaarachchi et al. 2014).

La desalinización por ósmosis inversa, puede llegar a reducir las sales disueltas en el agua de mar, desde 38.000 ppm, a menos de 500 ppm (Vivanco 2016). Como se puede notar, el filtrado del agua de mar genera una solución altamente salina constituyendo un residuo que no tiene aplicación industrial, el que normalmente es devuelto al océano pudiendo causar impactos negativos en el ecosistema costero (Amorim, Porto, y Silva Júnior, 2004; Jahnke et al. 2019; Luukkonen et al. 2020). Esta salmuera, que es mucho más salina que la propia agua de mar, se la conoce como agua de rechazo (AR), y puede alcanzar entre el 60 y 80% del volumen de agua de mar tratada inicialmente (Hoang et al. 2009). Se estima que la generación de AR a nivel mundial alcanza actualmente la cantidad de 141,5 millones de m³/día (Jones et al. 2019), por lo que se hace necesario realizar nuevas investigaciones orientadas a su gestión, eliminación y manejo (Fattah et al. 2017), de conformidad con regulaciones medioambientales.

En Chile, territorialmente se produce una desigualdad respecto de la cantidad de agua dulce disponible. La zona norte del país, dispone de niveles promedio inferiores a los 500 m³/habitante/año, mientras que en la zona sur existen zonas de gran abundancia alcanzando

los 2.950.168 m³/habitante/año (Larraín 2006). Actualmente, el consumo de agua continental en procesos de la minería del cobre mantiene una tasa promedio de decrecimiento anual cercana a un -0,3%, mientras que el agua de mar desalada muestra un crecimiento con una tasa promedio del 6% anual (COCHILCO 2020). Sólo la industria minera chilena sumará 15 plantas desaladoras para el año 2028 (INDUAMBIENTE 2021), aumentando tanto la disponibilidad de agua potable, como la generación de AR.

Como ya se ha descrito, las restricciones al uso del agua, el aumento del reciclaje de agua y el desarrollo de nuevas fuentes de agua se identifican como estrategias para asegurar un suministro de agua confiable en un clima seco (Hochstrat et al. 2010; Shahabi et al. 2014). Ante este escenario, parece interesante el poder utilizar agua no potable como materia prima alternativa para la industria de la construcción, al emplearla como un sustituto parcial en la fabricación de hormigones y así contribuir al cuidado del medioambiente reduciendo y reciclando un residuo industrial. Sin embargo, un nivel superior de impurezas contenidas en el agua industrial respecto del agua potable, podría afectar negativamente a las propiedades del hormigón.

Al respecto, algunos estudios reportaron que un mayor pH del agua reduce la adherencia, la resistencia al ciclo de hielo-deshielo en muestras de hormigón conteniendo fibras (Kucche et al. 2015), disminuyendo también la resistencia mecánica (Nikhil et al. 2014). Sin embargo, se han reportado escasos estudios sobre el comportamiento mecánico de hormigones conteniendo AR de plantas de ósmosis inversa. Un estudio mostró que la resistencia a la compresión a las edades de 7 y 28 días de hormigones con 100% de sustitución de agua potable por AR de planta de ósmosis inversa de plantas purificadoras de agua subterránea de una ciudad del norte chileno, en todos los casos fue mayor que la resistencia del hormigón control (Nazer et al. 2018).

El objetivo del presente estudio fue determinar la resistencia a la compresión de hormigones con sustitución parcial de agua potable por AR (0%, 25%, 50%, 75% y 100%, en peso), de una planta desaladora de agua de mar por ósmosis inversa situada en la Región de Atacama en Chile, a las edades de 7, 14 y 28 días. Además, se verificó el tiempo de inicio y fin de fraguado, y la docilidad de cada muestra. Los resultados permiten sugerir que el AR es una buena fuente alternativa de agua para la fabricación de hormigones en zonas áridas y semiáridas.

2. Materiales y método

2.1. Materiales

A continuación se describen los materiales utilizados para la fabricación de hormigones con sustitución de agua potable por AR.

- Agua potable. Se utilizó agua potable de la red pública de la ciudad de Copiapó, de conformidad con la norma chilena 1498 (INN 2012).
- Agua de rechazo. Se utilizó muestra de AR de la planta desaladora por ósmosis inversa Aguas CAP, ubicada a 23 km al norte del puerto de Caldera, en Atacama, Chile. La planta produce hasta 600 L/s de agua potable y genera aproximadamente un 52% de AR.
- Cemento. En la fabricación de las muestras de hormigón, se utilizó cemento Portland puzolánico de grado alta resistencia de la empresa BSA de acuerdo con la norma chilena NCh 148 (INN 1968). La consistencia normal se determinó de acuerdo a la norma chilena NCh 151 (INN 2019), y el tiempo de fraguado de las pastas de cemento conforme a la

norma chilena NCh 152 (INN 2019).

- Áridos. Tanto la grava como la arena para fabricar los hormigones, se obtuvo de una planta de extracción de áridos rodados ubicada a orilla del río Copiapó. La distribución de tamaño de partículas cumple con los requisitos de la norma chilena NCh 163 (INN 2013). El tamaño máximo del árido grueso utilizado fue 19 mm y el módulo de finura de la arena fue 3.

2.2. Método

El presente estudio experimental consideró las siguientes actividades:

- Hormigón. Se fabricaron probetas cúbicas de hormigón de 15 cm de arista (en triplicado), con sustitución parcial de agua potable por AR en las proporciones 0% (control), 25%, 50%, 75% y 100% (en peso), curadas en un depósito de agua con cal a temperatura controlada de 20 °C, permaneciendo sumergidas hasta las edades de la ruptura a compresión a los 7, 14 y 28 días.

Adicionalmente se evaluaron muestras AR-50 y AR-100 a la edad de 90 y 120 días.

Se determinó la docilidad de la mezcla fresca por el método del cono de Abrams según la norma NCh1019 (INN 2009) y la determinación de la resistencia a la compresión se realizó en una prensa Controls de 2.000 kN de carga máxima.

En Tabla 1, se muestran las dosificaciones utilizadas y la nomenclatura de identificación de las muestras. El numeral que acompaña a AR corresponde al porcentaje de sustitución de agua potable por AR. La muestra AR-0 sirvió de control. El diseño del hormigón se ajustó a lo establecido en la norma chilena NCh 170 (INN 2016).

Tabla 1: Nomenclatura y dosificaciones de hormigones con sustitución parcial de agua potable por AR para 1 m³

Muestra	Cemento (kg)	Agua potable (L)	AR (L)	Arena (kg)	Grava (kg)
AR-0	327	212	0	791	892
AR-25	327	159	53	791	892
AR-50	327	106	106	791	892
AR-75	327	53	159	791	892
AR-100	327	0	212	791	892

- Muestreo del agua de rechazo (AR). Se colectó desde el depósito de acumulación (véase Figura 1) y trasvasijó a un tambor nuevo de material plástico de 200 L de capacidad. Se selló y transportó al laboratorio de Resistencia de Materiales de la Universidad de Atacama para los análisis químicos y para la fabricación de los hormigones con sustitución de agua potable por AR. Se procuró utilizar el AR dentro de las 24 h siguientes a la colección desde el depósito en la planta desaladora, con el propósito de conservar sus propiedades.
- Análisis de Varianza (ANOVA). Se realizó un análisis ANOVA de dos factores, para verificar la significancia de las variables porcentaje de sustitución de AR y edad de curado de las muestras en la resistencia a la compresión de hormigones. La hipótesis fue que

ambas variables no son significativas para un nivel de significancia de 5%.

Figura 1: Depósito de AR, planta de ósmosis inversa de Aguas CAP



3. Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos del análisis químico del AR, docilidad del hormigón, tiempo de fraguado de la pasta de cemento, y resistencia a la compresión de los hormigones.

- Análisis químico del AR. Los resultados de los ensayos químicos obtenidos en AR mostrados en la Tabla 2, indican que no es agua apta para el amasado de hormigones según la norma NCh 1498 (INN 2012), tan sólo cumple con el parámetro pH, mientras que los sólidos en suspensión y los sólidos totales disueltos lo superan en 2.747% y 479%, respectivamente. Si se comparan las determinaciones de pH, el AR supera en un 10% aproximadamente al del agua potable de la ciudad (pH 7,54).

De acuerdo a estudios realizados por Nikhil et al. (2014), el aumento del pH en una mezcla de cemento puede ser causal de disminución de la resistencia mecánica del hormigón, como también, las impurezas contenidas en el agua pueden afectar principalmente al tiempo de fraguado y la resistencia a la compresión del hormigón (Halder et al. 2015; Kucche et al. 2015; Chan 2010). Como puede notarse, la composición química del agua

de sustitución puede afectar negativamente a las propiedades del hormigón endurecido.

Tabla 2: Análisis químico de AR y límites de la norma NCh 1498 para el agua de amasado de hormigones (INN 2012)

Requisito químico	Unidad	AR	Límites NCh 1498 (INN, 2012)
pH	-	8,26	≥ 5
Sólidos en suspensión	mg/L	56.943	≤ 2.000
Sólidos totales disueltos	mg/L	86.860	≤ 15.000
Materia orgánica	mg/L	N/D*	≤ 5

* N/D: no detectado.

- Docilidad del hormigón. En la Tabla 3, se muestran los resultados de la docilidad de las diferentes muestras obtenidas por el método del cono de Abrams. Como puede observarse, a medida que aumenta el contenido de AR en la muestra, la docilidad disminuye, destacando AR-100 que la hace una mezcla muy seca y poco trabajable. La trabajabilidad del hormigón fresco es una de las propiedades de importancia en obra, siendo una condición favorable para transportar, colocar y compactar el hormigón fresco sin que se produzca segregación o endurecimiento acelerado.

Tabla 3: Docilidad de las muestras de hormigón

Muestra	AR-0	AR-25	AR-50	AR-75	AR-100
Docilidad (cm)	8,0	6,0	5,0	3,5	2,0
Variación (%)	-	-25,0	-37,5	-56,2	-75,0

- Tiempo de fraguado. En Figura 2 se muestran los resultados de tiempos de fraguado de las diferentes muestras con sustitución de agua potable por AR. En la gráfica de barras se puede observar un comportamiento del tipo lineal. Por otra parte, las muestras con mayor contenido de AR presentan una mayor reactividad, tanto en el inicio como en el fin del fraguado, comparados con la muestra control (AR-0). Se destaca la muestra AR-100 que solo necesitó 30 min para el cambio de estado de plástico a sólido.
- Resistencia a la compresión de los hormigones. En la Figura 3, se muestran los resultados a la compresión de las muestras conteniendo AR. Se observa que a mayor contenido de AR, la resistencia a la compresión también aumenta para todas las edades. Por otra parte, las muestras conteniendo AR-0 y AR-25 presentan un comportamiento resistente muy similar. También se observan resistencias similares en las muestras AR-50 y AR-75 y desde el punto de vista de la utilización del residuo AR, parece muy conveniente la fabricación de hormigones AR-100, sin embargo, son hormigones muy secos que dificultan la trabajabilidad en obra, condición que puede mejorar con la incorporación de aditivos

fluidificantes en la mezcla.

Figura 2: Tiempos de inicio y fin de fraguado de las muestras

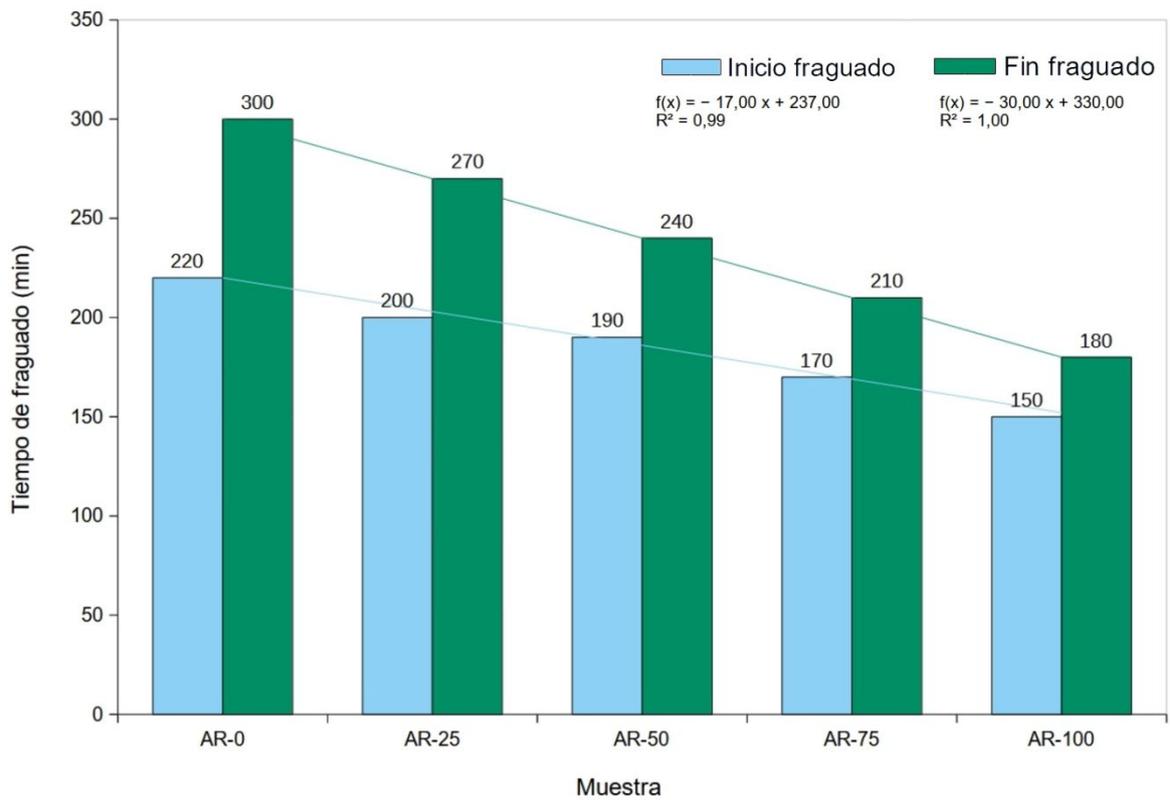
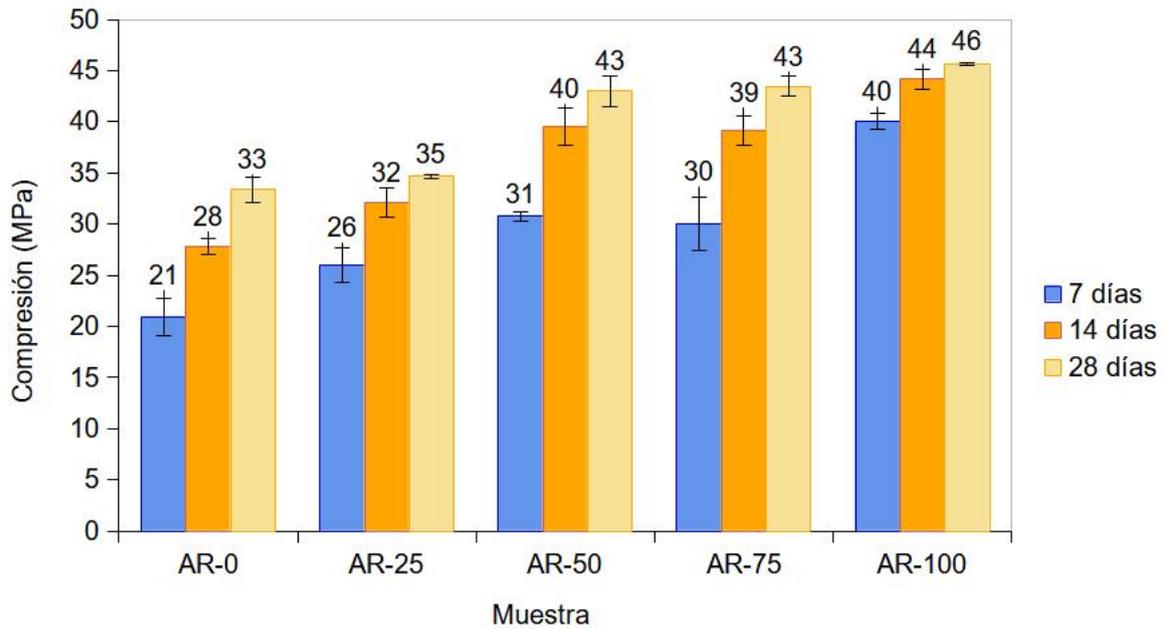


Figura 3: Resistencia a la compresión de hormigones con sustitución parcial de agua potable por AR



En la Tabla 4, se presentan los resultados del índice de ganancia relativa de resistencia expresados en porcentaje. Este índice representa la variación de la resistencia a la compresión de las muestras conteniendo AR al ser comparadas con AR-0 a diferentes edades. Se puede observar que AR-100 es la muestra con mayor ganancia de resistencia para todas las edades, siendo significativamente superior a los 7 días con un 91% aproximadamente.

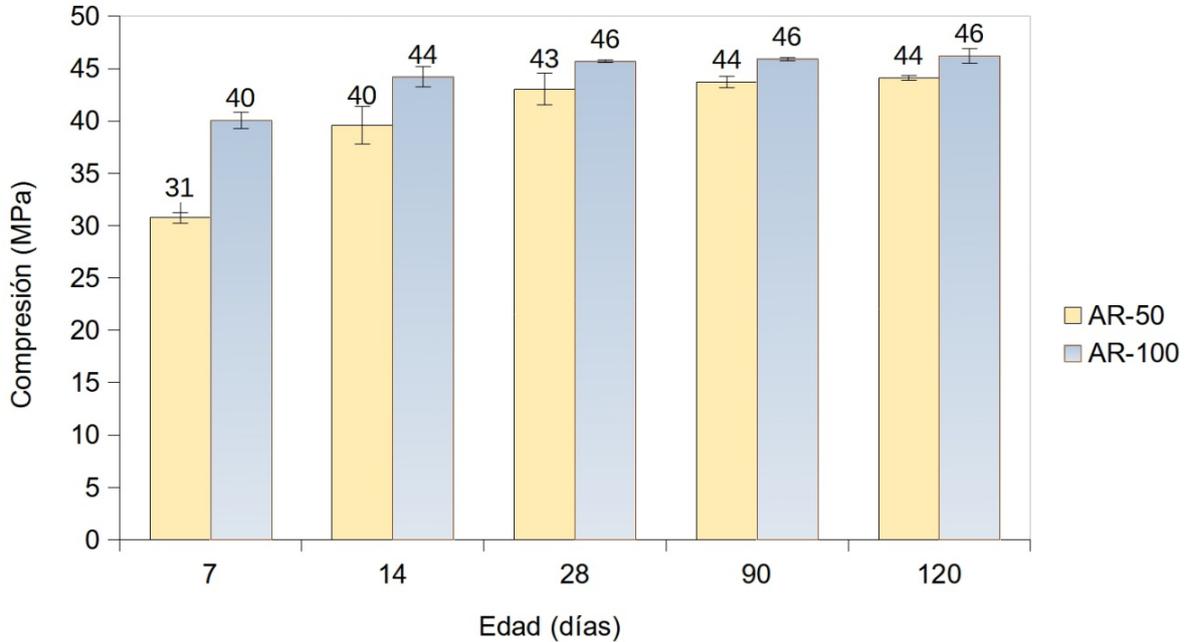
Tabla 4: Índice de ganancia relativa de resistencia de hormigones conteniendo AR, en %

Edad	AR-0	AR-25	AR-50	AR-100
7	24,0	46,7	43,1	90,9
14	15,4	42,2	40,8	58,8
28	3,9	28,8	30,1	36,7

- Con el propósito de evaluar la resistencia a la compresión a edades mayores a los 28 días, se fabricaron muestras adicionales de AR-50 y AR-100 ensayadas a los 90 y 120 días. Los resultados mostrados en Figura 4, indican que las resistencias promedio de ambas muestras se mantienen prácticamente constantes para edades mayores a 14 días y una importante ganancia de resistencia ocurre tempranamente a la edad de 7 días. Desde el punto de vista de la utilización de una salmuera residual del proceso de desalación de agua marina por el proceso de ósmosis inversa, los resultados sugieren la fabricación de hormigones con sustitución parcial de agua potable por AR en proporciones superiores al

25%.

Figura 4: Evolución de la resistencia a la compresión de AR-50 y AR-100 a diferentes edades



En términos generales, la resistencia a la compresión de los hormigones conteniendo AR, superan al control, siendo la misma conclusión presentada por Nazer et al. (2018) en muestras con AR de proceso de osmosis inversa aplicada a aguas subterráneas.

A la luz de los resultados, la composición química del AR habría favorecido el incremento de la resistencia a la compresión obtenida en el presente estudio. En este caso, teniendo presente altos contenidos de sólidos en suspensión y de sólidos totales disueltos, así como también un pH mayor del AR en relación al pH del agua potable, pudieron afectar positivamente a la ganancia de resistencia en todas las muestras de hormigón ensayadas, contrariamente a lo señalado por otros investigadores (Halder et al. 2015; Kucche et al. 2015; Nikhil et al. 2014; Chan 2010).

- **Análisis de ANOVA.** De acuerdo a los resultados mostrados en la Figura 3, se realizó un análisis ANOVA de dos factores (contenido de AR y edad de curado). Los resultados son presentados en la Tabla 5. Se observa que para el contenido de AR, el valor del estadístico $F = 50,38$ es muy superior al valor crítico de 3,83 (valor mínimo de rechazo de la hipótesis), luego, se rechaza la hipótesis y esta variable es significativa. Asimismo, para la edad de curado el valor del estadístico $F = 59,82$ es muy superior al valor crítico de 4,45; por lo tanto, también es significativa. En consecuencia, la evidencia empírica muestra que ambas variables son significativas para la resistencia a la compresión del hormigón, para el nivel

de significancia de 5%.

Tabla 5: Resultados de análisis de ANOVA dos factores

Origen de las variaciones	Suma de los cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
AR (%)	473,6	4	118,4	50,38	1,03E-05	3,84
Edad de curado (días)	281,2	2	140,6	59,83	1,54E-05	4,46
Error	18,8	8	2,35	-	-	-
Total	773,6	14	-	-	-	-

4. Conclusiones

Se estudió la docilidad, el tiempo de fraguado y la resistencia a la compresión de hormigones fabricados con sustitución parcial de agua potable por AR de una planta desaladora por ósmosis inversa, en proporciones de 0 (control), 25, 50 y 100%, en peso.

El análisis químico de AR mostró que los niveles tanto de sólidos en suspensión como los sólidos totales disueltos superan ampliamente los límites máximos permitidos para el agua de amasado según la normativa chilena (2.747% y 479%, respectivamente). Además, el pH del AR cumple con los requisitos de la norma, sin embargo supera en un 10% aproximadamente al pH del agua potable utilizada en la fabricación de los hormigones.

Los resultados mostraron que a medida que se aumenta el contenido de AR, disminuyen, tanto la docilidad, como el tiempo de fraguado de las muestras de hormigón, y por otra parte, aumenta la resistencia a la compresión en todas las edades y para todas las muestras con sustituciones estudiadas.

En el ensayo de docilidad se observó que la mayor disminución correspondió a la muestra AR-100 con -75%, respecto de AR-0. Además, se pudo determinar en el ensayo de tiempo de fraguado, que la muestra AR-100 solo necesitó 30 min (diferencia entre el inicio y el fin de fraguado) para el cambio de estado de plástico a sólido, mientras que en AR-0 registró 80 minutos. Por otra parte, en el ensayo de resistencia a la compresión, se observó que la mayor ganancia relativa de resistencia se obtuvo con la muestra AR-100 a la edad de 7 días, alcanzando el 90,9%.

Aun considerando que el AR no califica como agua apta para el amasado del hormigón, los resultados de resistencia a la compresión de las muestras con sustitución parcial fueron superiores a la muestra que sirvió como control. Además, se puede concluir que las muestras AR-25 y AR-50 aseguran la resistencia y la trabajabilidad necesarias para llevar a cabo una faena correcta de hormigonado sin utilizar recursos adicionales.

Por otra parte, el análisis de ANOVA indicó que el porcentaje de agua de rechazo (AR) y la edad de curado son significativos en la resistencia a la compresión de los hormigones, para el nivel de significancia del 5%.

Finalmente, dentro del contexto medioambiental, por una parte, utilizar AR en la fabricación de hormigones se plantea como un material alternativo interesante para la construcción en zonas áridas, y por otra, puede contribuir a la reducción de un pasivo ambiental que hasta

ahora es vertido en el océano.

5. Referencias

- Al-Ghusain, I. & Terro, M. (2003). Use of treated wastewater for concrete mixing in Kuwait. *Kuwait Journal of Science and Engineering*, 30 (1), 213–228.
- Al-Jabri, K., Al-Saidy, A., Taha, R., & Al-Kemyani, A. (2011). Effect of using wastewater on the properties of high strength concrete. *Procedia Engineering*. 14, 370-376.
- Amorim, M. D, Porto, E. & Silva Júnior, L. G. A. (2004, Julio). Evaporação solar como alternativa de reuso dos efluentes da dessalinização por osmose inversa. *XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Campina Grande, Brasil.
- Babu, G. & Ramana, N. (2018). Feasibility of wastewater as mixing water in cement. *Materials Today: Proceedings*. 5 (1), 1607-1614.
- Chan, S. S. E. (2010). *The effect of waste wash water on concrete properties*. (Tesis, University Malaysia Pahang, 2010). Obtenido de <https://core.ac.uk/reader/159178665>
- COCHILCO, Comisión Chilena del Cobre (2020). *Proyección de consumo de agua en la minería del cobre 2020-2031*. (DEPP 27/2020). Santiago de Chile.
- Fattah, K., Al-Tamimi, A., Hamweyah, W., & Iqbal, F. (2017) Evaluation of sustainable concrete produced with desalinated reject brine. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6 (1), 183–190.
- Halder, B. K., Tandon, V., Chintalapalle, R. V., Roy, D., & Tarquin, A. (2015). A potential biological approach for sustainable disposal of total dissolved solid of brine in civil infrastructure. *Construction and Building Materials*, 76, 51-60.
- Hoang, M., Bolto, B., Haskard, C., Barron, O., Gray, S., & Leslie, G. (2009). Desalination plants: An australia survey. *Water*, 36 (2), 67–73.
- Hochstrat, R., Wintgens, T., Kazner, C., Melin, T., & Gebel, J. (2010). Options for water scarcity and drought management—The role of desalination. *Desalination and Water Treatment*, 18 (1–3), 96–102.
- INDUAMBIENTE. (2021). Industria minera sumará 15 plantas desaladoras a 2028 y Antofagasta liderará desarrollo. Obtenido el 3 de abril de 2021, desde <https://www.induambiente.com/secciones/noticias/industria-minera-sumara-15-plantas-desaladoras-a-2028-y-antofagasta-liderara-su-desarrollo>.
- INN, Instituto Nacional de Normalización. Norma Chilena NCh148-1968. Cemento - Terminología, clasificación y especificaciones generales. Año1968, pp. 1-8.
- INN, Instituto Nacional de Normalización. Norma Chilena NCh151-2019. Cemento - Método de determinación de la consistencia normal. Año 2019, pp. 1-5.
- INN, Instituto Nacional de Normalización. Norma Chilena NCh152-2019. Cemento - Método de determinación del tiempo de fraguado. Año 2019, pp. 1-4.
- INN, Instituto Nacional de Normalización. Norma Chilena NCh1019-2009. Hormigón. Determinación de la docilidad - Método del asentamiento del cono de Abrams. Año 2009, pp. 1-6.
- INN, Instituto Nacional de Normalización. Norma Chilena NCh 1498-2012. Hormigón y mortero - Agua de amasado - Clasificación y requisitos. Año 2012, pp. 1-12.
- INN, Instituto Nacional de Normalización. Norma Chilena NCh163-2013: Áridos para morteros y hormigones - Requisitos. INN, Instituto Nacional de Normalización. Año 2013, pp. 1-29.
- INN, Instituto Nacional de Normalización. Norma Chilena NCh170-2016. Hormigón - Requisitos Generales. Año 2016, pp. 1-37.
- Jahnke, C., Wannous, M., Troeger, U., Falk, M., & Struck, U. (2019). Impact of seawater intrusion and disposal of desalination brines on groundwater quality in El Gouna, Egypt, Red Sea Area. Process analyses by means of chemical and isotopic signatures. *Applied Geochemistry*, 100, 64–76.

- Jones, E., Qadir, M., van Vliet, M., Smakhtin, V., & Kang, S (2019). The state of desalination and brine production: A global Outlook. *Science of the Total Environment*, 657, 1343–1356.
- Kucche, K., Jamkar, S., & Sadgir, P. (2015). Quality of Water for Making Concrete: A Review of Literature. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 5 (1), 1-10.
- Larraín, S. (2006). El agua en Chile: entre los derechos humanos y las reglas del mercado. *Polis Revista Latinoamericana*, (14).
- Liyanaarachchi, S., Shu, L., Muthukumaran, S., Jegatheesan, V., & Baskaran, K. (2014). Problems in seawater industrial desalination processes and potential sustainable solutions: A review. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 13 (2), 203–214.
- Low, G. L., KY, N., WL, N., CT, T., & RBW, H. (2007). Use of recycled cement-based slurry water for making concrete. *The Institution of Engineers, Malaysia*, 68 (4), 47-55.
- Luukkonen, T., Yliniemi, J., Kinnunen, P., & Illikainen, M. (2020). Sustainable batching water options for one-part alkali-activated slag mortar: Sea water and reverse ósmosis reject wáter. *Plos One*. 15 (11), 1-17.
- Mack-Vergara, Y & John, V. (2017). Life cycle water inventory in concrete production—A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 122, 227–250.
- Nazer, A., Guzmán, A., Bolados, L., González, L., & Pavez, O. (2018). Uso de agua de rechazo de plantas depuradoras en la fabricación de hormigones. *Obras y proyectos*, (24), 21–27.
- Nikhil, T., Sushma, R., Gopinath, S., & Shanthappa, B. (2014). Impact of Water Quality on Strength Properties of Concrete. *Indian Journal of Applied Research*. 4 (7), 197-199.
- Shahabi, M. P., McHugh, A., Anda, M., & Ho, G. (2014). Environmental life cycle assessment of seawater reverse ósmosis desalination plant powered by renewable energy. *Renewable Energy*, 67, 53–58.
- Vivanco, E. (2016). *Funcionamiento e Impacto Ambiental del Proceso de Desalinización de Agua de Mar*. Obtenido el 10 de abril de 2021, de Biblioteca del Congreso Nacional, Departamento de Estudios, Extensión y Publicaciones, Asesoría Técnica Parlamentaria: <http://bcn.cl/1k6iz>
- Yarlagadda, S., Asadi, S. & Nithin, C. (2019). A Critical Analysis of Feasibility of Mixing Waste Water in Cement Mortar and Concrete. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8 (2), 574–580.

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible



6. Agua limpia y saneamiento.

6.a De aquí a 2030, ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidad en actividades y programas relativos al agua y el

saneamiento, como los de captación de agua, desalinización, uso eficiente de los recursos hídricos, tratamiento de aguas residuales, reciclado y tecnologías de reutilización.

14. Vida submarina.

14.1 De aquí a 2025, prevenir y reducir significativamente la contaminación marina de todo tipo, en particular la producida por actividades realizadas en tierra, incluidos los detritos marinos y la polución por nutrientes.