



Institución Universitaria

**Evaluación de la sostenibilidad en el reúso del agua residual
proveniente del lavado de una planta de concretos para la
preparación de morteros**

Isabel Cristina Porras Gallego

Instituto Tecnológico Metropolitano
Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas
Medellín, Colombia
2023

Evaluación de la sostenibilidad en el reúso del agua residual proveniente del lavado de una planta de concretos para la preparación de morteros

Isabel Cristina Porras Gallego

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Desarrollo Sostenible

Director (a):

Magister Joan Amir Arroyave Rojas

Codirector (a):

Magister Carlos Roberto Arango Gutiérrez

Línea de Investigación:

Gestión Ambiental

Grupo de Investigación:

Ambiente, Hábitat y Sostenibilidad

Instituto Tecnológico Metropolitano

Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas

Medellín, Colombia

2023

A ella

*Madre eres y serás mi amor eterno, gracias a ti hoy
puedo ser, crecer y vivir. Gracias por tu fortaleza
como ejemplo de superación y dedicación.*

*Nadie dijo que la vida sería fácil, solamente
prometieron que el viaje valdría la pena.*

Agradecimientos

Primero agradezco a mi familia por acompañarme en esta aventura por su apoyo, tiempo, ánimo y siempre creer en mí.

A la universidad quienes me brindaron el conocimiento necesario para formular y ejecutar este proyecto de investigación.

Posterior al Colegio Mayor de Antioquia por el apoyo con el Director del trabajo de grado quien siempre estuvo dispuesto ayudarme, orientarme y ante todo su disposición en todo este proceso.

Por último, a la vida por darme la oportunidad de cumplir un sueño más.

Resumen

El agua está relacionada con todos los aspectos de la vida del ser humano, impulsando el desarrollo económico, apoyando los ecosistemas saludables y es fundamental para la vida; de igual forma, una de las manifestaciones del cambio climático es a través del agua, debido a que 9 de cada 10 desastres naturales se relaciona con esta (Guterres, 2009); por lo tanto, si se desea lograr los Objetivos del Desarrollo Sostenible – ODS, el agua debe de estar como el centro de las estrategias de adaptación.

En el presente proyecto de investigación se enfoca la utilización del agua potable, de reúso de lavado de una planta de concreto y una dosificación de 50% agua potable y 50% agua de residual para la preparación de un mortero con una resistencia a la compresión de 12.5 Mpa, con el fin de contribuir a la disminución y baja afectación del recurso hídrico; además de un análisis de sostenibilidad en dos tipos de sistemas constructivos, tradicional (a porticado) o el industrializado (muros vaciados) para definir el consumo de agua potable (m^3) en relación a los metros cuadrados construidos (m^2) y a su vez el costo asociado al consumo por metros cuadrados. Se encontró que la calidad del agua evaluada no afecta la resistencia a la compresión del mortero preparado con agua de reúso a una edad de 28 días, alcanzando una resistencia de 31.1 Mpa superando el diseño de mezclas planteado de 12.5 Mpa; por otro lado, los proyectos con un sistema de constructivo tradicional tienen un consumo de agua (m^3) en relación a los metros cuadrados construidos (m^2) más alto respecto a un sistema de muros vaciados o industrializado, lo que impacta de manera directamente proporcional el costo del agua ($\$/m^2$) y los volúmenes de agua consumidos por metro cuadrado construido (m^2) en cada uno de estos sistemas. En conclusión, la calidad del agua evaluada no afecta la resistencia a la compresión del mortero preparado con agua de reúso de lavado de una planta de concreto; lo que conlleva a tener beneficios ambientales, sociales y económicos sobre el aprovechamiento del agua de reúso.

Palabras clave: Aprovechamiento de agua, Norma técnica Colombia 3459 de 2001, Construcción Sostenible, Gestión del recurso hídrico

Abstract

Water is related to all aspects of human life, driving economic development, supporting healthy ecosystems and is essential for life; Similarly, one of the manifestations of climate change is through water, since 9 out of 10 natural disasters are related to it (Guterres, 2009); therefore, if you want to achieve the Sustainable Development Goals - SDGs, water must be at the center of adaptation strategies. This research project focuses on the use of drinking water, reused washing from a concrete plant and a dosage of 50% drinking water and 50% residual water for the preparation of a mortar with a compressive strength of 12.5 Mpa, in order to contribute to the reduction and low impact of water resources; in addition to a sustainability analysis in two types of construction systems, traditional (rigidly framed) or industrialized (poured concrete) to define the consumption of drinking water (m^3) in relation to the square meters built (m^2) and in turn the cost associated with consumption per square meters. It was found that the quality of the evaluated water does not affect the compressive strength of the mortar prepared with reused water at an age of 28 days, reaching a resistance of 31.1 Mpa, exceeding the proposed mix design of 12.5 Mpa; On the other hand, projects with a traditional construction system have a higher water consumption (m^3) in relation to built square meters (m^2) compared to a system of emptied or industrialized walls, which has a directly proportional impact on the cost of water ($\$/m^2$) and the volumes of water consumed per built square meter (m^2) in each of these systems. In conclusion, the quality of the evaluated water does not affect the compressive strength of the mortar prepared with reused washing water from a concrete plant; which leads to having environmental, social and economic benefits on the use of reused water.

Keywords: Water use, Colombian Technical Norm 3459 of 2001, Sustainable Construction, Water resource management.

Contenido

Pág.

Resumen.....	5
Lista de figuras.....	8
Lista de graficas.....	9
Lista de tablas.....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
1.1 Planteamiento del problema.....	11
1.2 Justificación.....	13
Capítulo 1 Marco Teórico.....	15
1.1 Morteros.....	15
1.2 Agua.....	16
1.2.1 Norma Técnica Colombiana (NTC 3459 de 2001) Agua para concreto.....	19
1.3 Confección de morteros.....	21
Capítulo 2 Objetivos.....	29
2.1. Objetivo general.....	29
2.2. Objetivos específicos.....	29
Capítulo 3 Metodología.....	30
3.1. Caracterización de los materiales.....	30
Capítulo 4 Análisis de resultados.....	33
4.1. Caracterización de materiales.....	33
4.1.1. Caracterización del agua de recirculación.....	33
4.1.2. Caracterización de la arena.....	38
4.1.3. Caracterización de cemento.....	41
4.2. Resistencia a la compresión de mortero.....	41
4.3. Sostenibilidad del uso del agua de recirculación de lavado de planta de concreto.....	44
Conclusiones y recomendaciones.....	49
Conclusiones.....	49
Bibliografía.....	52

Lista de figuras

Pág.

Ilustración 1. <i>Descripción del proceso de lavado de la planta de concreto</i>	18
Ilustración 2. <i>Toma de muestra de agua</i>	30
Ilustración 3. <i>Mezcla de mortero con agua de reúso</i>	31
Ilustración 4. <i>Elaboración de cilindros con agua de reúso</i>	31

Lista de graficas

Pág.

Gráfico 1. <i>Consumo de agua vs agua recirculada. Cantidades de agua consumida respecto al agua recirculada en el proceso de lavado de la planta de concretos (septiembre de 2019 a junio de 2020).</i>	19
Gráfico 2. <i>Concentración de impurezas orgánicas (Nitritos) para agua de reúso.</i>	34
Gráfico 3. <i>Concertación de Cloruros para agua de reúso.</i>	35
Gráfico 4. <i>Concentración de Sulfatos en el agua de reúso.</i>	36
Gráfico 5. <i>Concentración de Sulfatos en el agua de reúso.</i>	36
Gráfico 6. <i>Concentración de solidos totales en el agua de reúso.</i>	38
Gráfico 7. <i>Curva granulométrica arena de concreto Industrial Conconcreto.</i>	40
Gráfico 8. <i>Resistencia a la compresión de morteros elaborados con agua de reúso.</i>	43
Gráfico 9. <i>Consumo de metros cúbicos en relación con los metros cuadrados construidos (m^3/m^2).</i>	45
Gráfico 10. <i>Costo de agua por metro cuadrado construido por sistema constructivo.</i>	47

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1 <i>Clasificación de los morteros de pega por propiedad o por proporción.</i>	16
Tabla 2 <i>Requisitos químicos según la NTC 3459 de 2001. Parámetros químicos para analizar el agua recirculada.</i>	20
Tabla 3 <i>Requisitos físicos según la NTC 3459 de 2001. Parámetros físicos para analizar el agua recirculada.</i>	20
Tabla 4. <i>Resultados correspondientes al análisis fisicoquímico del agua de reúso.</i>	33
Tabla 5. <i>Caracterización arena de concreto de la Cantera Industrial Conconcreto.</i>	39
Tabla 6. <i>Granulometría arena de concreto de la cantera Industrial Conconcreto.</i>	39
Tabla 7 <i>Resistencia a la compresión cemento tipo granel suministrado por Argos.</i>	41
Tabla 8. <i>Resistencia a la compresión de morteros confeccionados con agua de reúso.</i>	42
Tabla 9. <i>Consumo de metros cúbicos en relación con los metros cuadrados construidos (m^3/m^2).</i>	44
Tabla 10 <i>Costo de agua potable en relación con los metros cuadrados construidos.</i>	46

INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

De acuerdo a Campuzano (2020) en su presentación sobre Gestión Integral del recurso hídrico afirma que “Mil doscientos millones de personas de todo el planeta (20%) no dispone de acceso a un abastecimiento seguro de agua potable y 2.400 millones carece de instalaciones de saneamiento básico, fundamentales para evitar o minimizar la contaminación. En conjunto supone que más de la mitad de la población mundial está afectada por problemas de abastecimiento, calidad y saneamiento de agua que necesita”.

El crecimiento de la población, los cambios demográficos y la urbanización plantea desafíos para los sistemas de suministro de agua. Adicional se calcula que para 2025, la mitad de la población mundial vivirá en áreas de estrés hídrico.

Esto combinado con el último informe entregado por la Unesco (Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2021) “El valor del agua” en sus conclusiones iniciales establece lo complejo de determinar el valor verdadero del agua, lo cual genera un uso ineficiente e insostenible del agua y de esta manera, se continua con la desigualdad en el acceso de este recurso. Por lo tanto, esto afecta directamente el cumplimiento de los objetivos del desarrollo sostenible y los derechos humanos básicos. (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2021)

Agregado a lo anterior, si el mundo no cambia sus hábitos de consumo del recurso hídrico se podrá enfrentar a un déficit del 40% del agua para el año 2030; esto da lugar al estrés hídrico, donde actualmente más de 2 millones de personas viven en países que lo sufren.

Adicionalmente, frente al impacto que genera el cambio climático en varios de los principales acuíferos del mundo, estos están bajo un creciente estrés y a su vez, se está agotando el 30% de los sistemas más grandes de aguas subterráneas a nivel mundial.

A nivel mundial se estima que el 80% de todas las aguas residuales industriales y municipales son vertidas sin tratamiento alguno, lo cual genera deterioro en la calidad del agua, por esto, la reutilización del agua se convierte en una alternativa para la conservación del agua, teniendo en cuenta que alrededor de 380 mil millones de m³ de agua se pueden recuperar de los volúmenes anuales de agua residual, y para el año 2030 serían 470 mil millones de m³ y por consiguiente para el año 2050 aproximadamente 574 mil millones de m³. (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, 2021)

En Colombia de acuerdo al Informe del Estudio Nacional del Agua presentado por el IDEAM, cerca del 50% de la población tiene problemas de abastecimiento por causas asociadas a la disponibilidad, regulación y presión al sistema hídrico, pero en condiciones secas alcanza hasta el 80%. En Medellín, se tiene una vulnerabilidad de disponibilidad de agua muy alta, este representa un indicador cualitativo donde se mide el grado de fragilidad del sistema hídrico con respecto al abastecimiento y a la amenaza de sequía en condiciones hidro climáticas extremas. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2021)

Por consiguiente, también se prevé un aumento en la demanda de consumo de agua por parte de los diferentes sectores industriales asociado al su crecimiento económico; entre estos sectores esta la construcción, el cual genera varios impactos ambientales como el agotamiento de los recursos naturales; asociado al recurso agua, se presenta cuando se realiza para actividades como preparación de concretos, morteros, el lavado de equipos, humectación de vías, corte de materiales entre otros; de igual forma, se realiza en algunos casos vertimientos a cuerpos de agua o zonas no adecuadas.

Se puede implementar estrategias en la industria de la construcción al integrar sistemas que permitan aprovechar y reutilizar las aguas residuales industriales; esta iniciativa se enmarca en el concepto de economía circular, donde el reúso del agua residual aparece como una estrategia para el ahorro y uso eficiente del agua; mediante esta estrategia las aguas residuales tratadas se consideran como una fuente alternativa para suplir la creciente

demanda de agua y a su vez, se reduce la carga contaminante vertida en las fuentes hídricas, minimizando los problemas de escasez por cantidad y calidad de agua.

1.2 Justificación

En Colombia la regulación para el cuidado y conservación del recurso hídrico inicia con el Decreto Ley 2811 de 1974, en donde establece el manejo de las aguas cualquiera que sea su estado como: aguas meteóricas, provenientes de lluvia natural o artificial, corrientes superficiales, lagos, ciénagas, lagunas y embalses de formación natural o artificial, edáficas, subterráneas, subálveas, nevados y glaciares, y las ya utilizadas, servidas o negras. (García y Lamprea; 2019); adicionalmente, se identifica la Resolución 0631 de 2015 donde se establecen los parámetros de cumplimiento para vertimientos puntuales a cuerpos de agua o al sistema de alcantarillado público; esta regula un adecuado manejo frente a la disposición final de las aguas residuales (Resolución 0631, 2015); por lo anterior, es importante realizar un adecuado manejo del recurso hídrico desde el proceso inicial (captación) hasta el final (vertimiento), en cada uno de los sectores económicos que hace uso del agua, entre ellos la construcción; con el fin de disminuir los impactos ambientales que genera la actividad edáfica del sector.

En la revista El Vector (2018) en su artículo La Construcción es la industria que más desperdicia agua potable, se indica que “El sector de la construcción es tal vez la industria que más desperdicia agua potable; es responsable del 16% del consumo mundial de agua, un 9% de las extracciones de agua se emplearon en la producción de concreto.”

En el estudio realizado por Sabbie A. Miller, Arpad Horiath y Paulo J.M Monteiro, titulado “Impacts of booming concrete production on wáter resources worldwide” según sus registros, durante todo el proceso de producción de concreto se consumen 16.6 Km³ de agua al año y la situación podría agravarse en el futuro, teniendo en cuenta que el 75% de la demanda de agua para la producción de concreto podría provenir de regiones con escasez de este líquido en el año 2050.

En estudios exploratorios realizados por el Reino Unido han demostrado que el desperdicio del agua en obra ocurre principalmente en las siguientes actividades: eliminación de polvo general, limpieza de calles, uso de agua a alta presión, lavado de vehículos, lavado de maquinaria y herramientas; en esta última actividad se tiene estimado en promedio de consumo de agua en lavado de planta de concretos y bomba estacionaria de 4.38 m³ por día (Sabbie A. Miller, Arpad Horiath y Paulo J.M Monteiro); con la reutilización de esta agua para la preparación de morteros se genera un uso racional del recurso natural agua y una alternativa de sostenibilidad desde las perspectivas ambientales, económicas y sociales (Arroyave y Garcés, 2007).

Este proceso permite disminuir el consumo de agua potable en la fabricación de morteros, teniendo en cuenta que este uso eficiente es un factor de sostenibilidad que está orientado a un plan de conservación del recurso hídrico para minimizar su uso en diferentes actividades constructivas.

Esta alternativa permite al sector de la construcción concientizarse sobre la adecuada gestión de los recursos específicamente de agua, con el fin de generar relaciones beneficiosas con las diferentes partes interesadas de su entorno para crear una gestión entre la sociedad y el ambiente.

Capítulo 1 Marco Teórico

1.1. Morteros

El mortero se define como una mezcla de material aglutinante (cemento o cal), con material de relleno (agregado fino o arena), y eventualmente aditivos, que mezclados con una cantidad conveniente de agua forman una masa plástica, que al endurecerse preserva cualquier forma y textura que se le haya dado mientras estaba plástica. (Mejía, Chinchilla y Mendoza, 2012)

Los materiales empleados para la fabricación de morteros son: agregados finos (arena), cemento y agua, en algunos casos se utiliza aditivos para mejorar su proceso de fraguado o resistencia.

Los morteros se pueden clasificar de la siguiente manera: (Gutiérrez de López, 2003)

- Morteros que tienen suficiente resistencia y por lo tanto pueden soportar cargas a compresión, como sucede en la mampostería estructural.
- Morteros que mantienen unidos los elementos en la posición deseada, tal es el caso del mortero de pega.
- Morteros que proveen una superficie lisa y uniforme, estos son los morteros de revestimiento y revoque.
- Morteros que sirven para rellenar, juntas entre diferentes elementos constructivos

Lo acostumbrado en el uso de mortero es la dosificación por partes de cemento y de arena (1: n) desconociendo la resistencia que dichos morteros; es claro plantear la necesidad de diseñar y dosificar el mortero de acuerdo a las condiciones de adherencia y resistencia y algunas otras propiedades y características importantes para el buen uso del mortero. (Osorio, 2021)

La resistencia a la compresión de los morteros es la relación que existe entre la resistencia a la tensión y la absorción; esta resistencia está determinada por la relación agua/cemento.

En la tabla 1, según la NSR-10 en el título D existen diversos tipos de morteros que se pueden clasificar según sus proporciones y propiedades

Tabla 1 *Clasificación de los morteros de pega por propiedad o por proporción.*

Fuente: NSR-10, Título D Mampostería Estructural, Tabla D.3.4-1 del año 2010

Mortero tipo	Especificación de los morteros por propiedad ⁽¹⁾			Especificación de los morteros por proporción				
	Resistencia mínima a la Compresión f'_{cp} MPa ⁽²⁾	Flujo en (%) ⁽³⁾	Retención Mínima de Agua	Cemento Portland	Cal hidratada ⁽⁴⁾	Cemento para Mampostería ⁽⁷⁾	Arena/Material Cementante ⁽⁵⁾	
							Min.	Máx.
H	22.5	115-125	75%	1	0.25	no aplica	2.00	2.5
M	17.5	115-125	75%	1	0.25	no aplica	2.25	3.0
				1	no aplica	1	2.25	2.5
S	12.5	110-120	75%	1	0.25 a 0.50	no aplica	2.50	3.5
				0.5	no aplica	1	2.50	3.0
N ⁽⁶⁾	7.5	105-115	75%	1	0.50 a 1.25	no aplica	3.00	4.5
				0	no aplica	1	3.00	4.0

Los componentes identificados en la Tabla 1, como es cemento es el responsable de las resistencias iniciales y pueden existir cementos tipo Portland o de mampostería. En otro caso la cal aporta manejo, plasticidad y retención de agua.

El agua tiene como función principal la hidratación y la manejabilidad de la mezcla; adicionar mayor cantidad de agua aumenta la adherencia y su manejo, pero disminuye la resistencia a la compresión.

Los agregados representan el mayor volumen de la mezcla; es de vital importancia su gradación y contenido de finos, estos pueden disminuir o aumentar su resistencia.

En algunos casos se emplea aditivos que permiten mejorar su colocación y manejo; en el mercado encontramos como: retardantes, acelerantes, larga vida o modificadores de adherencia.

1.2. Agua

Colombia cuenta con una gran riqueza hídrica, tanto superficial como subterránea, sin embargo, no se encuentra distribuida de manera homogénea en la mayoría del territorio y en

algunos de los municipios no se cuenta con políticas claras frente al ordenamiento para el uso del recurso hídrico.

Como consecuencia de esto la oferta hídrica actualmente experimenta una reducción progresiva debido a las limitaciones de uso, lo cual implica la alteración en la calidad del agua por contaminación derivados de los procesos de la actividad socioeconómica e industrial; teniendo en cuenta que realizan vertimientos directos a los afluentes sin tratamiento previo. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2021)

Adicional a esto, se encuentra la problemática asociada a la vulnerabilidad del agua frente a su disponibilidad en algunos países y la incidencia de los diferentes sectores económicos como la construcción, según la Revista Urbana del gremio de la construcción Camacol, la apuesta de los constructores es reducir entre 50% y 70% el consumo del recurso hídrico. Para lograrlo, están migrando hacia el uso de tecnologías y materiales más eficientes, y que efectivamente garanticen el uso adecuado del recurso hídrico. (Buss, 2021).

En la preparación de cualquier mortero el agua se convierte en un insumo importante, “es una práctica habitual utilizar agua potabilizada para fabricar concreto u hormigón sin verificación previa, suponiendo que toda agua potabilizada por servir para el consumo humano, es apropiada también para elaborar este tipo de material, sin embargo, hay ocasiones en que eso no se cumple” (Medina, 2013, pág. 8).

El caso de estudio para esta investigación es el proyecto La Riviere ubicado en el municipio de Medellín en el sector Ciudad el rio, es un edificio de 27 pisos y los sótanos se encuentra distribuidos entre parqueaderos, cuartos técnicos, locales comerciales, portería, lobby y administración; del piso 3 al piso 7 también se encuentran parqueaderos y 15 apartamentos; en el piso 8 están 7 apartamentos y las zonas comunes; del piso 9 al 27 se distribuyen 133 apartamentos, para un total de 155 apartamentos. La estructura es en sistema aporticado, fundado sobre una losa de cimentación.

En la obra, en el proceso de preparación de concretos se realiza una recirculación del agua empleada para el lavado de la planta de concreto; esta es una mejora implementada debido

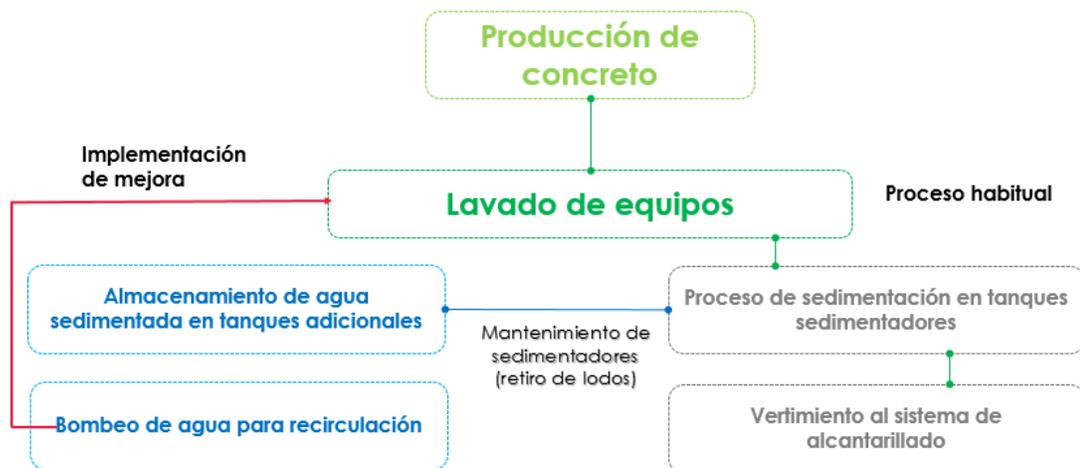
a las exigencias normativas en el tema de vertimientos, son una referencia legal cada vez más estricta que llevan a establecer medidas de control acompañadas de buenas prácticas ambientales en busca de su cumplimiento. (Resolución 0631, 2015).

Lo anterior sumado al alto de consumo de agua utilizada en la producción de concreto y lavado de equipos, cuyo índice es el más representativo en relación a las demás actividades.

La Ilustración No 1 explica el funcionamiento de la recirculación del agua en la planta de concretos.

Ilustración 1. *Descripción del proceso de lavado de la planta de concreto.*

Fuente: Elaboración propia.



Teniendo en cuenta el tratamiento realizado al agua en el proyecto La Riviere se identifica de manera visual su clarificación, lo que supone que se puede emplear para preparar inicialmente morteros.

En la gráfica No 1 se identifica cuáles son los consumos de agua por cada día de producción y la cantidad de agua de reúso identificados desde el mes de septiembre de 2019 (inicio de preparación de concreto) hasta junio de 2020 en el proyecto La Riviere.

Gráfico 1. *Consumo de agua vs agua recirculada. Cantidades de agua consumida respecto al agua recirculada en el proceso de lavado de la planta de concretos (septiembre de 2019 a junio de 2020).*

Fuente: Elaboración propia.



Durante el desarrollo de la Torre 3 del proyecto de La Riviere se recirculo un total de 532 m³ de agua, lo cual corresponde un 10% del ahorro en el agua potable principalmente en los meses de diciembre 2019, enero y febrero de 2020 dado a que en este tiempo se ejecutó la mayor parte de la estructura aporticada.

1.2.1 Norma Técnica Colombiana (NTC 3459 de 2001) Agua para concreto

En esta norma se establecen los parámetros de la calidad del agua para la preparación de los morteros y permite el uso de agua de reúso para su elaboración de acuerdo a lo mencionado en el numeral de Agua de Lavado, “El agua de lavado proveniente de la operación de limpieza de las mezcladoras o de las zonas de almacenamiento de materias primas, se puede usar para la fabricación de concreto siempre que los ensayos cumplan con las especificaciones contenidas en el numeral 3 de esta norma” (NTC 3459, 2001).

Como se menciona en la Tabla 2, donde se establecen los requisitos específicos para determinar el cumplimiento del agua respecto a los parámetros fisicoquímicos para su uso en la preparación de morteros.

Tabla 2 *Requisitos químicos según la NTC 3459 de 2001. Parámetros químicos para analizar el agua recirculada.*

Fuente: Elaboración propia.

Requisitos Químicos	Criterio de aceptación
Impurezas orgánicas	Aguas con contenido total combinado de estos iones comunes hasta 2000 mg/l
Cloruros	No debe exceder de 500 mg/l concreto pre-esforzado 1000 mg/l concreto reforzado
Sulfatos	SO ₄ no debe exceder de 3000 mg/l
Álcalis	No debe exceder 1000 mg/l El contenido total combinado de óxidos de sodio y potasio no exceda de 600 mg/l
Solidos totales	No debe exceder los 0,05 Kg/l

En la tabla 3, se determinan los ensayos a realizar para la resistencia a la compresión se debe de contar con: agua testigo, cemento y arena gradada normalizada.

Tabla 3 *Requisitos físicos según la NTC 3459 de 2001. Parámetros físicos para analizar el agua recirculada.*

Fuente: Elaboración propia.

Requisitos Físicos	Criterio de aceptación
Tiempo de fraguado	Los tiempos de fraguado inicial del cemento, determinados a partir de muestras elaboradas con agua de ensayo y agua testigo, no deben diferir entre sí en más de 30 min.
Resistencia a la compresión	En promedio de la resistencia a la compresión de los cubos:

	<p>Edad 7 días: debe ser mayor o igual al 90 % de la resistencia promedio de los cubos de mortero hechos con el agua testigo.</p> <p>Si la resistencia es menor que el 90 % pero superior al 80 % de la resistencia de los cubos de mortero elaborado con el agua testigo, se debe contemplar la modificación de las proporciones de la mezcla.</p> <p>Si la resistencia es menor que el 80 % de la resistencia de los cubos de mortero elaborado con el agua testigo, se debe conseguir una fuente alternativa.</p>
--	--

De acuerdo a esta información se establece la resistencia a la compresión del mortero teniendo en cuenta la dosificación empleada en el diseño de mezcla y el tipo de agua utilizada.

1.3 Confección de morteros

La preparación de los morteros está relacionada con la norma técnica colombiana NTC 3546, donde el numeral 11.1 se determina la preparación de la mezcla; en este describe la manera óptima de mezclado: se vierte aproximadamente la mitad del agua estimada que se requiere para la mezcla, posteriormente la arena, luego el cemento y por último el agua restante para alcanzar la consistencia requerida de acuerdo con el diseño de mezclas. El tiempo para su mezclado en la concreto es de aproximadamente 5 minutos.

El agua es un factor importante para la adquisición de resistencia en un mortero, en algunas investigaciones realizadas se realiza la sustitución de agua potable como agua residual tratada, donde la resistencia a la compresión a una edad de 28 días con agua residual alcanzó el 90% respecto a los cilindros con agua potable. (Cárdenas y Burbano, 2016)

Se presentan investigaciones donde se emplean diferentes tipos de agua para la confección de morteros y concretos, por ejemplo, la investigación de Galván y Guzmán sobre la confección de morteros empleando agua subterránea, encontrando que las resistencias de los

cubos elaborados con agua subterránea y potable van aumentando con respecto pasan los días; por otro lado, los porcentajes de resistencias de los cubos de mortero elaborados con agua subterránea, tuvieron una disminución con respecto a las muestras patrón de 6.3% a los 28 días de edad, finalmente, las resistencias alcanzada a los 28 días por los dos tipos de mortero (agua subterránea y potable), cumplen con la resistencia mínima exigida por la norma NSR10-TITULO D, para morteros tipo M, la cual es de 17.5 MPa=2538 PSI (NSR 10, 2010). (Galván y Guzmán, 2020).

Por otro lado, Nan Su, Buquan Miao y Fu-Shung liu (2002) emplearon tres tipos de agua (agua potable o del grifo, agua subterránea y agua de lavado) para elaborar muestras de mortero, con el fin de analizar la influencia que estos tipos de agua ejercen en la resistencia a la compresión. Al realizar los ensayos de tiempos de fraguado y de resistencia, a las mezclas de mortero fresco, elaboradas con los tres tipos de agua (agua potable, agua subterránea y agua de lavado), se pudo evidenciar que los tiempos finales de fraguado de las diferentes mezclas, no eran muy diferentes entre sí, que las resistencias de las muestras de mortero a los 7 días estaban por encima del límite mínimo (90%) y que los 3 tipos de agua utilizados cumplen con los requerimientos de la norma ASTM C94 para aguas de mezclado, por lo tanto se llegó a la conclusión que era buena opción utilizar cualquiera de estos tipos de agua (Nan, Buquan y Fu-shung, 2001).

En otro estudio Castillo Jhordan (2019), realizó una investigación sobre la resistencia a la compresión de especímenes de concreto, preparado con tres diferentes tipos de agua (agua potable, agua de mar y agua subterránea), se realizaron cilindros de concretos los cuales fallaron a las edades de 7, 14, 21, y 28 días. Caracterizaron las 3 muestras de agua y se encontró que el agua subterránea arrojó una alta concentración de sulfitos de sodio, pero dándole un buen tratamiento se puede usar para la elaboración de concreto. Los resultados de resistencia a la compresión arrojaron una diferencia significativa entre agua potable y el agua subterránea, alcanzando el agua potable una resistencia de 229 kg/cm² y el agua subterránea 197 kg/cm², en conclusión, la calidad del agua para ambas muestras son

aceptables debido a que cumplen con la resistencia de diseño mientras que el agua de mar se aleja de la resistencia diseñada, siendo esta de 179 kg/cm^2 por la cual no es recomendable usarla para la elaboración de concreto (Castillo,2019).

En otra investigación Jorge Cruzado y Marcelo Li (2016), realizaron un análisis comparativo de la resistencia de un concreto teniendo como variable el agua utilizada para el mezclado (agua potable, agua de río y agua subterránea); realizaron cilindros de concretos los cuales ensayaron a los 7, 14 y 28 días; previamente al agua utilizada le realizaron estudios físico-químicos para determinar el tipo de sustancias o contaminantes que se encontraban en ellas, la caracterización arrojada indicó que el agua potable y el agua subterránea son óptimas para la elaboración de concreto mientras que el agua de río necesita tratamiento previo a su utilización debido a que contiene mayor turbidez y sólidos suspendidos; la resistencia a la compresión diseñada fue de 210 kg/cm^2 y los resultados, indican que el agua subterránea obtuvo la mayor resistencia, alcanzando la resistencia promedio de 238 kg/cm^2 , el agua potable alcanzó la resistencia promedio de 226 kg/cm^2 , mientras que la resistencia obtenida utilizando el agua de río Moche fue de 186 kg/cm^2 , siendo esta la opción menos apropiada a utilizar en concretos sin tratamiento previo (Cruzado y Li, 2016).

Adicionalmente, Benigno Orozco y Jeison Palacio (2015), ante la utilización del agua subterránea como única opción para elaborar unidades de mampostería, llevaron a cabo un proyecto investigativo, en el municipio de Villanueva-Bolívar, cuyo propósito era evaluar si las resistencias de los elementos elaborados con agua subterránea eran aceptables o no, según la normativa utilizada; para esto, primero se procedió con la caracterización del agua subterránea y del agua potable a utilizar, posteriormente se fabricaron bloques utilizando agua subterránea, fabricaron 24 bloques número 4 con arena de río y cemento A portland tipo I, 24 bloques número 6 con arena de río y cemento H portland tipo I, además utilizando agua potable se realizaron como muestras patrón 24 bloques número 4 con arena de cantera y cemento A portland tipo I, 24 bloques número 6 con arena de cantera y cemento H portland tipo I; dichos bloques fueron fallados a la compresión a las edades de 7, 14 y 28 días; los resultados mostraron que efectivamente el agua subterránea influye de una manera

desfavorable en la resistencia de los bloques, disminuyendo la resistencia en un rango del 11 a 16 por ciento con respecto a las muestras patrón, de esta manera, ésta investigación concluyó que para preparar bloques de concreto es aceptable utilizar el agua subterránea, preferiblemente con arena de río, pero para elaborar elementos de mayor resistencia no es aceptable usar este tipo de agua subterránea debido a la alta concentración de cloruros y sulfatos que posee (Orozco y Palacio, 2015).

Finalmente, Breitner Díaz, Nicolás Rios, Kevin Murga y Lizbeth Robles (2014), buscaron determinar la Influencia del agua potable, río y mar en la resistencia a compresión de un concreto convencional no estructurado, para la construcción de aceras en la ciudad de Trujillo-Perú. Para esto elaboraron 36 probetas, con tres tipos de mezcla de concreto normal, utilizando el mismo diseño de mezcla pero teniendo como únicas variantes el tipo de agua (potable, mar y río) y el tipo de curado (sumergido y en bolsa). Se fabricaron 12 probetas por cada tipo de mezcla, de las cuales, una mitad fue sometida a un proceso de curado sumergido y la otra mitad a curado en bolsa. Las probetas fueron falladas a la compresión a los 7, 14 y 28 días de edad, y los resultados mostraron que las resistencias de las probetas elaboradas con agua de mar a los 7 y 14 días fueron mayores que las elaboradas con agua de río y potable, tanto en curado sumergido como en bolsa; pero su resistencia fue superada a los 28 días por las probetas de agua potable y de río, en curado sumergido; en cuanto a curado en bolsa, el agua de mar y potable alcanzaron similar resistencia a los 28 días sobrepasando a las probetas elaboradas con agua de río (Díaz, Rios, Murgas y Robles, 2014).

En otras investigaciones se concluye que se puede utilizar agua tratada como reemplazo del agua potable para la preparación de concreto donde se ensayaron 50 probetas con mezclas de concreto y 6 con pasta de cemento elaboradas con agua residual doméstica tratada; y en los ensayos realizados para determinar la resistencia a la compresión, la velocidad de propagación de la onda ultrasónicas a la edad de 28 días mostro para el agua residual tratada de 4188 (m/s) mientras para el agua potable de 4232 (m/s), teniendo en cuenta que la

diferencias de velocidades es pequeñas las resistencias en las probetas deben de ser similares. (Yepes, Blanco y Peñuela, 2016)

De igual forma, en otra investigación donde se reemplazó el agua potable por agua de reúso para la preparación de morteros de cemento, donde el ensayo realizado referente a la resistencia a la compresión en ambos diseños muestra una máxima pérdida de resistencia a la edad de 28 días para el mortero preparado con agua residual alcanzando un valor del 95% respecto al mortero patrón de agua potable. (Boaglio, Di Nanno y Menendez, 2017)

Adicional a las investigaciones anteriormente mencionadas, se encuentra un trabajo de grado donde se analizan las propiedades físicas del concreto elaborado con agua residual tratada, este documentó la resistencia a la compresión alcanzada para una mezcla de concreto con agua residual a los 28 días es de 248 kgf/cm^2 ; mientras con agua potable es de 308 kgf/cm^2 donde se tiene una diferencia entre las dos mezclas de casi un 20%. (Diéguez y Verónica, 2011). Por otro lado, Richard Lizana investigo la “Influencia de la calidad del agua en las propiedades del concreto usando cemento Portland Tipo I; para los ensayos de resistencia de compresión, los valores fueron para el concreto patrón y concretos preparados con agua Maucallaqta, con agua Yanayacu y agua Acraybamba Simita, se tuvieron los siguientes resultados promedio a los 28 días; 322.07 kg/cm^2 , 329.67 kg/cm^2 , 292.00 kg/cm^2 y 298.13 kg/cm^2 respectivamente; de igual forma, para los ensayos de resistencia por flexión, para el concreto patrón y concretos preparados con agua Maucallaqta, con agua Yanayacu y agua Acraybamba Simita, se obtuvieron los siguientes resultados a los 28 días; 37.44 kg/cm^2 , 45.67 kg/cm^2 , 42.61 kg/cm^2 y 47.63 kg/cm^2 respectivamente. Se llegó a la conclusión que la calidad del agua si influye en las propiedades del concreto en estado fresco como endurecido respecto a los ensayos mencionados al principio. (Lizana, 2021).

Recientes investigaciones han empleado efluente de plantas de tratamiento para la confección de concreto mejorando el tiempo de fraguado y la resistencia a la compresión de la pasta de cemento por encima de las del agua potable; las muestras de hormigón con agua residual registraron entre un 7% y un 27% menos de porosidad que el hormigón de control

debido al proceso de hidratación del cemento en el tiempo, además de reacciones puzolánicas; otros autores detectaron que las muestras que contenían aguas residuales registraron cargas de Coulomb más altas que las de la muestra de concreto de control sin aguas residuales a los 28 días de curado debido a las altas concentraciones de iones cloruro en las aguas residuales (Hamada et al, 2023).

Con relación al empleo de agua residual de lavado de plantas de concreto o mixer, se encontraron artículos recientes del 2023, posteriores a la entrega de este trabajo de grado, en donde los hallazgos mostraron que el uso de aguas residuales en lugar de agua del grifo contribuyó positivamente o no tuvo ningún efecto negativo grave sobre las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto; se obtuvo una resistencia a la compresión de 72,37 MPa y 81,67 MPa con la inclusión de 50% agua residual y metasilicato de sodio en 7,5 y 15 % respectivamente. Los hallazgos mostraron que el agua residual mejoró la trabajabilidad del concreto fresco con contenido de cenizas volantes, se redujo la contracción en seco y la adsorción del concreto con un contenido de metasilicato de sodio del 15%, y refinó los poros del concreto endurecido (Bodur et al, 2023). Otros investigadores encontraron que la confección de concreto con agua residual contribuyó a mejora de la trabajabilidad de la pasta fresca, el aumento de la resistencia, la disminución de la contracción seca y refinamiento de los poros de la pasta endurecida; por otro lado, se estimó la disminución de aproximadamente 16,6 millones de toneladas de CO₂ por año captado confeccionando concreto con agua residual de lavado de plantas de hormigón; además de mejorar las propiedades mecánicas y extraordinaria capacidad de secuestro de CO₂, el reciclaje de agua residual para mezclar concreto resultó en casi la mitad de reducción de las emisiones de CO₂ (Zhu et al, 2023).

En la búsqueda sobre investigación de temas similares no se identificó ningún otro tipo de estudio donde se utiliza agua de reúso o residuales industriales del sector de la construcción para la preparación de morteros; lo que hace importante la indagación, exploración e investigación del objeto de estudio planteado en el presente trabajo.

El hilo conductor de cada una de estas investigaciones está asociado al agua en diferentes formas o tipos como potable, natural o residual, teniendo en cuenta que el agua es tal vez el recurso más importante para lograr un desarrollo sostenible, pero a su vez se ve afectada por el cambio climático y las presiones provocadas por las diferentes actividades humanas.

Es por esto los diferentes sectores económicos deberán esforzarse frente al consumo responsable del agua controlando la demanda y las pérdidas, con el fin de lograr una mayor eficiencia en la gestión del recurso hídrico.

Por lo tanto, este proyecto es importante porque evaluó la resistencia a la compresión de un mortero confeccionado con agua del lavado de una planta de concreto para determinar el reemplazo parcial o totalmente del agua potable por el agua de reúso, con el fin de contribuir a la mitigación y compensación de los impactos del uso del recurso hídrico en la construcción.

Esta investigación se busca aportar a los Objetivos Desarrollo Sostenible (ODS) específicamente en:

- (6) Agua limpia y saneamiento
- (9) Industria, innovación e infraestructura
- (11) Ciudades y comunidades sostenibles

En el objetivo seis (6) enfocado al desarrollo sostenible del agua hace énfasis en la escasez del recurso hídrico afectando a más del 40% de la población en el mundo, mientras el 80% de las aguas residuales son vertidas de manera irregular a ríos, quebradas, mares, entre otros sin tener ningún tipo de tratamiento previo. Por esta razón, el indicador asociado al aprovechamiento de aguas de reúso está determinado para mejorar la calidad de está eliminando el vertimiento en la industria, para nuestro caso específico la industria de la construcción y sus impactos en el ambiente.

De acuerdo con el seguimiento realizado al cumplimiento de los ODS los altos índices de estrés hídrico podrían afectar directamente el desarrollo sostenible, esto se puede presentar

cuando un territorio extrae el 25% o más de sus recursos renovables de agua dulce. En la actualidad aproximadamente 2.300 millones de personas viven en países afectados por la escasez de agua, lo cual representa una disminución de los humedales naturales en un 35% entre los años 1970 y 2015. (Informe ODS 2022)

Esta información en Colombia está asociada al indicador sobre el porcentaje de aguas residuales tratadas por la industria con una meta determinada del 92% para el año 2030 y para el año 2020 tiene un cumplimiento del 79,9% con varias caídas en su trazabilidad de medición.

Continuando con el alineamiento de los ODS, el objetivo sobre Industria, innovación e infraestructuras tiene como indicador principal modernizar la infraestructura para reconvertir a las industrias para ser sostenibles empleando recursos naturales con mayor eficiencia; este indicador no está priorizado en la agenda de cumplimiento de Colombia, por lo tanto, no se tienen metas y/o resultados.

Respecto a las Ciudades y comunidades sostenibles; la rápida urbanización esta afectando de manera directa los suministros de agua dulce y la generación de aguas residuales. Entre los años 1990 y 2015 la mayoría de los territorios registraron un aumento en la construcción por personas generando un crecimiento las rápido en la expansión física de las ciudades que las tasas de crecimiento demográfico. Por lo tanto, para el 2030 se debe generar una urbanización inclusiva y sostenible para mejorar la capacidad de planificación.

El recurso hídrico se debe de convertir en el principal eje de cumplimiento de los Objetivos del Desarrollo Sostenible – ODS como eje articulador donde el ordenamiento territorial sea la priorización del ciclo de agua como acción principal.

Capítulo 2 Objetivos

2.1. Objetivo general

Evaluar la sostenibilidad del reúso del agua residual proveniente del lavado de una planta de concretos para la preparación de mortero

2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar el agua residual recirculada del lavado de una planta de concreto.
- Determinar la resistencia a la compresión del mortero preparado con agua residual proveniente del lavado de una planta de concreto a la luz de la normativa técnica vigente, haciendo uso de diferentes dosificaciones del agua.
- Determinar los efectos en términos de sostenibilidad en el reúso de agua proveniente del lavado de la planta de concreto para la preparación de mortero en la obra La Riviere.

Capítulo 3 Metodología

3.1. Caracterización de los materiales

Se realizó la caracterización del agua proveniente de la recirculación de la planta de concretos de la obra La Riviere, para lo cual se tomaron dos muestras por parte del Laboratorio Hidroasesores acreditado por el IDEAM. La primera muestra se toma en el mes de marzo del presente año, posterior al lavado de los tanques de almacenamiento, y la segunda en el mes de abril antes del mantenimiento de los tanques donde se tiene un alto contenido de sedimentos.

Ilustración 2. *Toma de muestra de agua*



Los parámetros analizados se encuentran en la Norma Técnica Colombiana (NTC 3459, 2001), cada ensayo realizado tiene su referencia normalizada por el IDEAM. La norma SM 2320 B, establece la metodología para la determinación de la alcalinidad en agua por el método título métrico, la norma SM 4500-Cl-B indica la metodología para la determinación de cloruros en agua, por método argento-métrico; siguiendo en la misma línea se encuentra la norma SM 4500-NO₂-B que establece la metodología para la determinación de nitritos por el método colorimétrico (Espectrofotometría), mientras que la norma SM 2540 indican la metodología para la determinación de sólidos disueltos totales secados a 180°C en agua, por el método gravimétrico y SM 4500-SO₄-E la metodología para la determinación de sulfato por el método turbidimétrico. Para la segunda muestra se validan los mismos parámetros y niveles aceptables de la norma (NTC 3459, 2001).

El agregado fino utilizado para la confección de la mezcla, es arena de concreto proveniente de la cantera de Industrial concreto, para lo cual, los ensayos de calidad realizados a este material son suministrados por el proveedor y realizados bajo la norma NTC 174 de 2000. Para el cemento a granel tipo estructural, los resultados de los ensayos fueron suministrado por ARGOS; los cuales fueron realizados por el proveedor bajo la norma NTC 121 de 2014, donde se establecen los requisitos físicos y mecánicos que debe de cumplir dicho material para su utilización en las mezclas. 3.2 Resistencia a la compresión de morteros Para evaluar el efecto de la adición de agua de lavado de la planta de concretos del proyecto La Riviere se realizaron los cilindros de mortero con agua potable, agua de reúso y una combinación de porcentajes de 50% agua potable con 50% de agua recirculada. El diseño de mezclas para el mortero, se consideró una resistencia a la compresión de 12.5 MPa; adicionalmente se realizó corrección de humedad para la arena de concreto con un resultado del 9%, de acuerdo a lo anterior, se tiene la siguiente dosificación: cemento 3 kg, arena de concreto 7,64 kg y de agua 0.924 kg.

Ilustración 3. *Mezcla de mortero con agua de reúso*



Ilustración 4. *Elaboración de cilindros con agua de reúso*



Los cilindros se elaboraron para las edades de fallo 7, 14 y 28 días, se realizaron bajo la norma NTC 4043 de 2021; en esta norma permite el uso de cilindros de tamaños de 76.2 mm y 152.4 mm. Para la fabricación de estos se utilizó una cuchara para colocar la mezcla en 3 capas del mismo volumen, apisonando cada capa 20 veces y dando golpes al lado del molde para retirar las burbujas de aire; además, el lugar donde se tomaron las muestras está

libre de vibraciones; el desencofrado de los cilindros se realizó después de las 24 horas de vaciado, posteriormente, se almacenaron en un lugar húmedo hasta la edad de ensayo. (NTC 4043, 2021).

Las muestras fueron falladas en el laboratorio SGS el cual se encuentra acreditado por la ONAC (Organismo Nacional de Acreditación de Colombia); el cual realizó el reporte de los valores de la resistencia a la compresión para cada combinación experimental, por edad y triplicado.

3.2. Sostenibilidad del uso del agua de recirculación de lavado de planta de concreto

Para el desarrollo del proyecto se contempló el factor económico, ambiental y social; como primera instancia el factor económico está determinado por el análisis de siete (6) proyectos que presentan diferentes sistemas constructivos entre tradicional (a porticados) y muros vaciados (industrializado).

Para este análisis se tomaron los volúmenes de agua (m^3) utilizados en la preparación de concretos y morteros, el agua utilizada para el desarrollo de las actividades generales de construcción, con el fin de determinar el consumo de agua potable. Al igual se contaron con los datos de metros cuadrados construidos y el costo por metro cubico (m^3) de agua de acuerdo al sector donde está ubicada la obra. Esta información permitió determinar el indicador de consumo de m^3 respecto al área construida y el costo del agua por metro cuadrado construido.

De acuerdo a los valores obtenidos se analizó la sostenibilidad del recurso hídrico frente al posible aprovechamiento del agua de reúso para la preparación de mortero, de tal manera que se pueda minimizar los impactos ambientales asociados al consumo y desperdicio del agua potable, con el fin de que este recurso sea aprovechado por la comunidad en las necesidades básicas para el desarrollo humano.

Capítulo 4 Análisis de resultados

4.1. Caracterización de materiales

4.1.1 Caracterización del agua de recirculación

En la tabla No 4 se consignan los resultados de caracterización fisicoquímica del agua de reúso proveniente del lavado de la planta de concreto de la obra La Riviera; una primera muestra (M1) fue tomada luego del lavado de los tanques iniciando el mes de marzo del año 2022 y una segunda toma (M2) cuando los tanques tienen alto contenido de sedimentos antes de la limpieza de los mismos, en el mes de abril del presente año.

Para el parámetro de las impurezas orgánicas (nitritos) en ambas muestras cumplen con la especificación dada por la norma (NTC 3459, 2001), sin embargo, en la segunda toma tiene un incremento en el valor del 50% respecto a la primera muestra; cómo se puede apreciar en la tabla No 4; este incremento se debe posiblemente a la zona donde se encuentran los tanques de almacenamiento al tener un contacto con la tierra puede generar pequeños desprendimientos y tener contacto con el agua aumentan la concentración de este parámetro; como se aprecia en la Gráfica 2 se presentan niveles por debajo de la norma, en la gráfica no se aprecia los valores ni niveles con respecto a la norma, para el parámetro de nitritos tiene un valor de referencia o límite de 2000 mg/L NO_3^{2-} (NTC 3459, 2001); se observa que el agua de reúso presenta baja presencia de material orgánico y que por lo tanto, la calidad del agua no afecta la preparación de morteros y el diseño de la mezcla, por lo anterior, se espera que no afecte la resistencia a la compresión.

Tabla 4. *Resultados correspondientes al análisis fisicoquímico del agua de reúso.*

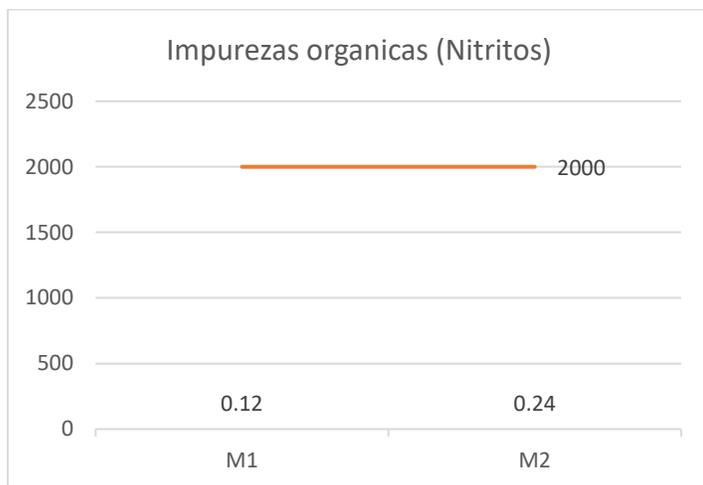
Fuente: *Elaboración propia*

Requisitos químicos	Criterios de aceptación NTC 3459 de 2001	Resultados marzo 2022 (M1)	Resultados abril 2022 (M2)
Impurezas orgánicas (Nitritos)	Aguas con contenido total combinado de estos iones comunes hasta 2000 mg/l	0,120 mg/l Cumple	0,245 mg/l Cumple
Cloruros	No debe exceder de 500 mg/l concreto pre-esforzado 1000 mg/l concreto reforzado	67,3 mg/l Cumple	17,6 mg/l Cumple
Sulfatos	SO ₄ no debe exceder de 3000 mg/l	238,2 mg/l Cumple	185,8 mg/l Cumple
Álcalis	No debe exceder 1000 mg/l El contenido total combinado de óxidos de sodio y potasio no exceda de 6000 mg/l	1411,3 mg/l No cumple	404,3 mg/l Cumple
Sólidos totales	No debe exceder los 0,05 kg/l	1.94 Kg/l No cumple	8,69 kg/l No cumple

De igual forma, en la tabla No 4 y la Grafica No 3 se presentan los resultados para las dos muestras analizadas para el parámetro de cloruros; para ambas muestras tienen un nivel inferior a la concentración de referencia dada por la norma (NTC 3459, 2001), como se observa en la gráfica 3; al tener un resultado bajo permite la utilización del agua de reúso sin la posible afectación al acero de refuerzo en caso de ser necesario en algunas de las actividades donde sea usado mortero a confeccionar.

Gráfico 2. *Concentración de impurezas orgánicas (Nitritos) para agua de reúso.*

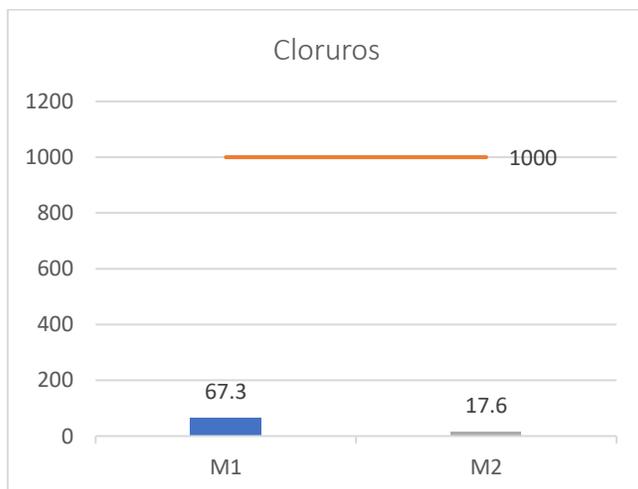
Fuente: Elaboración propia



Por otro lado, se evidencia un cambio en la concentración de cloruros entre la muestra M1 y M2, esto se debe a la depositación o adsorción de los cloruros en el material suspendido proveniente del agua de lavado de la planta de concretos de la obra.

Gráfico 3. Concentración de Cloruros para agua de reúso.

Fuente: Elaboración propia

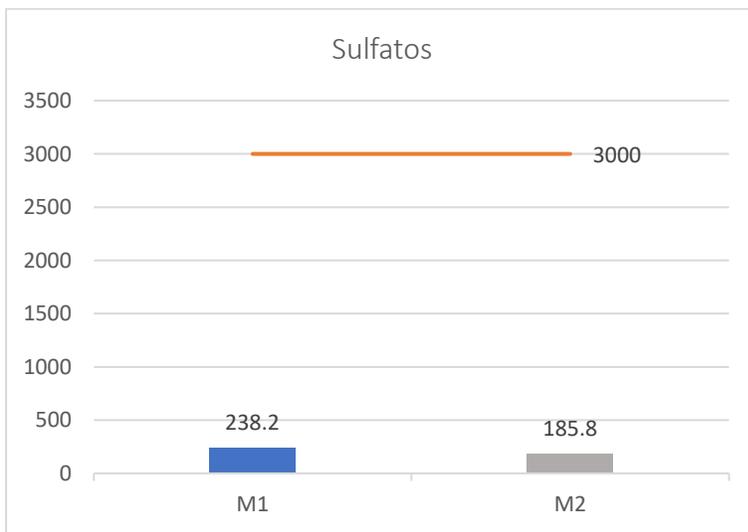


En la tabla No 4 y grafica No 4 se consignan los resultados del parámetro de sulfatos en este caso las muestras M1 y M2 cumplen al tener una concentración inferior respecto a la

exigencia de la norma de 3000 mg/l; la muestra M2 tiene un valor del 78% por debajo de la muestra M1. Por lo tanto, al tener una concentración baja de sulfatos se podría inferir que no se presentan compuestos expansivos causantes de la fisuración, y tener control frente a este fenómeno, en la mezcla de mortero.

Gráfico 4. *Concentración de Sulfatos en el agua de reúso.*

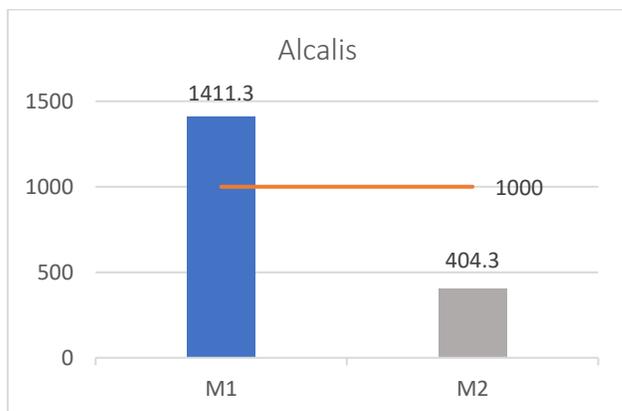
Fuente: *Elaboración propia*



En la tabla 4 y grafica 5 se encuentran los datos referentes a la concentración del componente Álcalis; la muestra M1 presenta un valor superior en un 141% respecto a la norma, mientras en la muestra M2 disminuye cumpliendo la especificación de 1000 mg/l. Al no cumplir en el primer muestreo (M1) puede existir la posibilidad de presentar una reacción álcali-agregado lo cual generaría un desprendimiento del mortero, para tener una mayor certeza sobre la presencia de este fenómeno se deberá realizar el ensayo de reactividad en barras.

Gráfico 5. *Concentración de Sulfatos en el agua de reúso.*

Fuente: Elaboración propia



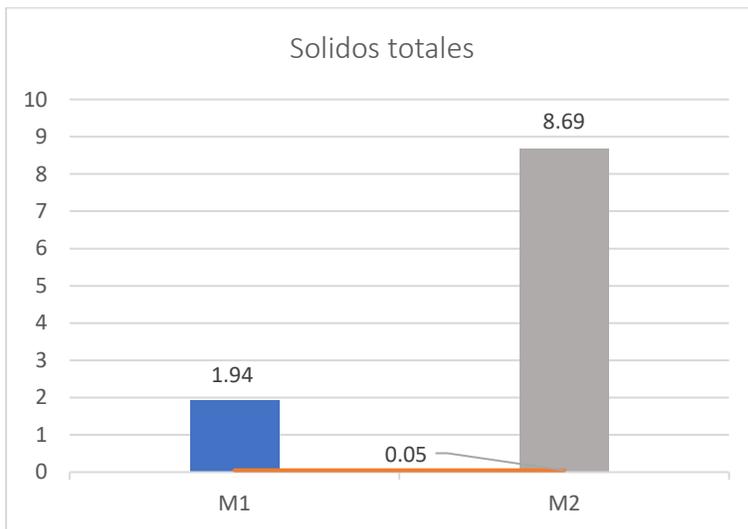
En la tabla 4 y grafica 6, la concentración de solidos totales tanto en la muestra M1 y M2 no cumple de acuerdo a la especificación de la norma (NTC 3459, 2001); esto se puede dar debido al arrastre de los residuos, material particulado y polvo provenientes de la mezcla del concreto (cemento y agregado fino y grueso) en el lavado de la planta y bomba estacionaria. Ahora, si este parámetro es un factor de medición, la presencia de estos solidos suspendidos en el agua de mezclado aumenta la resistencia del mortero, con concentraciones de solidos suspendidos en el orden de los 3000 y 1000 mg/l (Guerra, Carranza, Blanco y Peñuela, 2018). Por lo tanto, se puede determinar una resistencia a la compresión mayor al uso del agua de reúso con el 100% de la dosificación de la mezcla empleada en la preparación del mortero.

Como se puede evidenciar en la tabla No 4 y en los análisis de los respectivos parámetros de calidad de agua para morteros; se presenta una agua residual generada en los procesos de lavado de la planta de concretos de la obra con una alteración en la concentración de solidos totales debido al arrastre de solidos de sobrantes de concreto, producto cementante y agregados finos que están presentes en la preparación de las mezclas; adicionalmente, se presenta una concentración que supera la norma en la muestra No 1 asociada a los álcalis; sin embargo, para los demás parámetros se tiene un agua residual que cumple la norma para la confección de morteros (NTC 3459, 2001); se espera que estas variaciones o parámetros que no cumplen la norma de la calidad del agua para la confección de morteros, no tengan

un efecto inadecuado para lograr la resistencia a la compresión de morteros confeccionados con este tipo de agua residual

Gráfico 6. *Concentración de solidos totales en el agua de reúso.*

Fuente: Elaboración propia



4.1.2 Caracterización de la arena

La arena utilizada para la fabricación de los cilindros de mortero fue suministrada por la cantera Industrial Conconcreto ubicada en el municipio de Girardota y cuenta con las siguientes características y granulometría; ensayos realizados por parte del proveedor.

De acuerdo a las tablas 5 y 6 sobre los ensayos realizados para la arena de concreto con base a la norma NTC 174 se tiene un cumplimiento frente al porcentaje del tamiz pasa 200 con valor de 2.4 el cual se encuentra por debajo de la norma cumpliendo las especificaciones, controlando las impurezas orgánicas que pueda tener el material. Por otro lado, el módulo de finura se encuentra entre los parámetros de menor a 2.3 pero no superior a 3.1.

Tabla 5. *Caracterización arena de concreto de la Cantera Industrial Conconcreto.*

Fuente: Cantera Industrial Conconcreto

CARACTERISTICAS	
% humedad	7,8
% de pasa 200	2,4
Módulo de finura	3,1
Color orgánico	1
Partículas deleznable	1,2
Solidez Na₂SO₄	4,7
Carbón o lignitos	0
Densidad seca (kg/m³)	2654
Densidad s.s.s (kg/m³)	2699
% de absorción	1,7
M.U.S (kg/m³)	1715
M.U.C (kg/m³)	1850

En la gráfica 7 la curva granulométrica permite tener una referencia sobre las proporciones de las partículas en diferentes tamaños en el agregado fino; en este caso, el material tiene una adecuada gradación de acuerdo a lo identificado por la norma (NTC 174, 2018), esto implica menos espacio entre partículas y más agregado por metro cubico, por lo tanto, un aumento en la durabilidad y una mezcla uniforme mejorando el fraguado y endurecimiento del mortero.

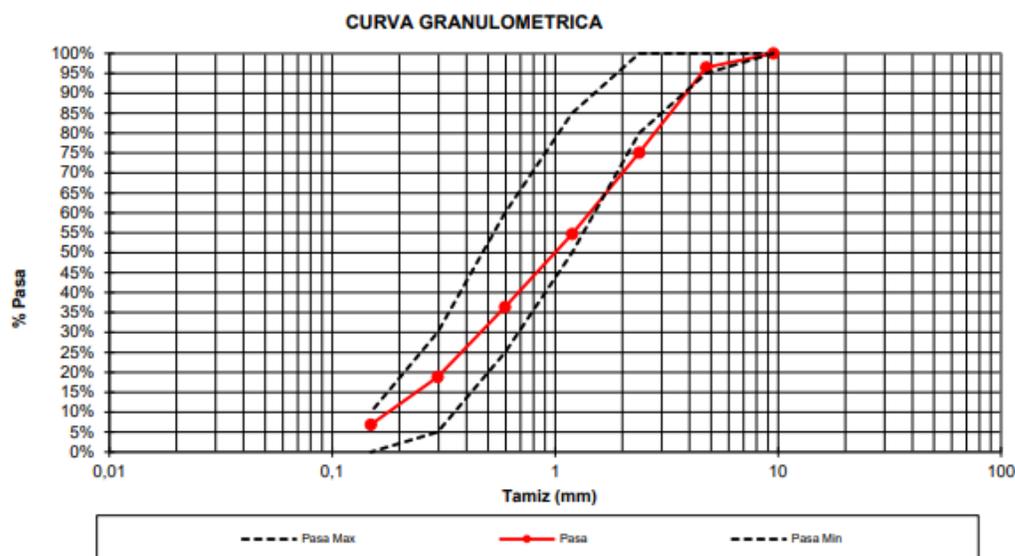
Tabla 6. *Granulometría arena de concreto de la cantera Industrial Conconcreto.*

Fuente: *Cantera Industrial Conconcreto*

GRANULOMETRIA - NORMA NTC 174					
Tamiz		Retenido (g)	Pasa (máx.)	Pasa	Pasa (min)
Mm	in				
9,51	3/8"	0	100%	100%	100%
4,76	N° 4	32,7	100%	95%	95%
2,38	N° 8	198,2	100%	75%	80%
1,19	N° 16	189,4	85%	55%	50%
0,595	N° 30	170,2	60%	36%	25%
0,297	N° 50	162,5	30%	19%	5%
0,149	N° 100	110,7	10%	7%	0%
Fondo		41,7			
P inicial		927,5			
P final		905,4			

Gráfico 7. *Curva granulométrica arena de concreto Industrial Conconcreto.*

Fuente: *Cantera Industrial Conconcreto*



4.1.3 Caracterización de cemento

El cemento empleado para la fabricación de los cilindros de mortero es de Argos, tipo Granel (estructural) de Rio Claro.

En la tabla 7 se encuentran los resultados a la resistencia a la compresión de la muestra de cemento tipo granel empleada para la preparación de mortero con agua de reúso realizada en el mes de febrero del presente año, por lo tanto, estos son los resultados obtenidos en el mes marzo a las diferentes edades de fraguado de acuerdo a la información suministrada por el proveedor.

Tabla 7 *Resistencia a la compresión cemento tipo granel suministrado por Argos.*

Fuente: ARGOS

Resistencia a la compresión (Mpa)			
1 día	3 días	7 días	28 días
16,98	29,12	33,15	43,94

El cemento es un material de vital relevancia para la preparación del mortero dado a que permite la unificación de la mezcla, en este proceso el cemento al entrar en contacto con él, produce una reacción química que con lleva al proceso de fraguado, y a su vez, aporta a la adquisición de resistencia a la compresión de las diferentes edades.

4.2. Resistencia a la compresión de mortero

Para el desarrollo experimental de este proyecto de investigación se realizó la confección de mortero empleando agregado fino, cemento y variando el tipo del agua para la preparación de la mezcla; para tal fin, se realizó la confección empleando el 100% con agua potable, 100% con agua de lavado o residual y la combinación de 50% con agua potable y 50% con agua de lavado.

En la tabla No 8 se consignan los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para las tres combinaciones experimentales para un mortero tipo grouting o mortero de relleno con un diseño de mezcla para una resistencia a la compresión de 12.5 Mpa; los ensayos de la resistencia a la compresión en los cilindros de morteros se realizaron por triplicado para cada edad evaluada; con el fin de tener resultados estadísticos y replicables de la resistencia a la compresión.

Tabla 8. *Resistencia a la compresión de morteros confeccionados con agua de reúso.*

Fuente: Elaboración propia.

Edad	Agua potable		50% Agua potable y 50% Agua de lavado		Agua de reúso	
	Resistencia a la compresión (Mpa)	Desviación (Mpa)	Resistencia a la compresión (Mpa)	Desviación (Mpa)	Resistencia a la compresión (Mpa)	Desviación (Mpa)
7	9,6	0,0	7,3	0,8	17,9	0,7
14	10,0	0,0	8,6	0,0	22,0	0,0
28	14,4	0,0	10,4	0,7	31,1	1,0

Como se observa en tabla No 8 y la gráfica No 8 se consignan los resultados obtenidos para el mortero confeccionado con agua potable, el cual logro una resistencia a la compresión promedio de 14.4 Mpa con una desviación estándar de 0,0 Mpa; este valor alcanzado está por encima del diseño de mezcla planteado de 12.5 Mpa en un 115,2%

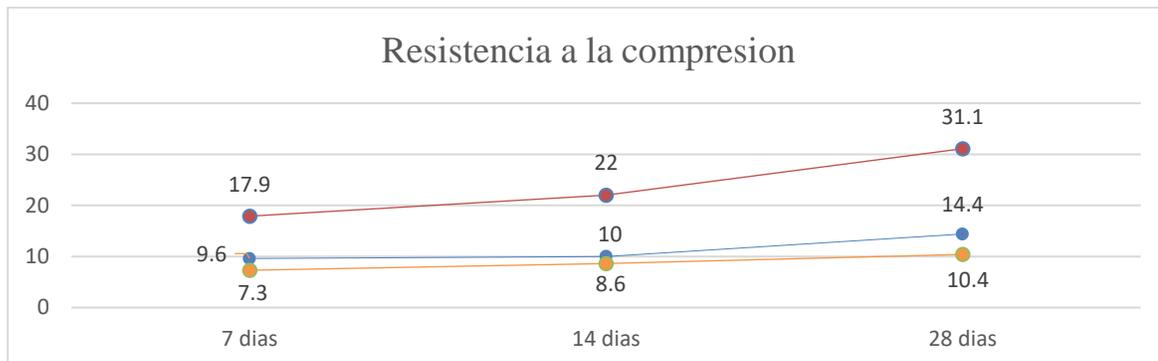
De igual forma, en la tabla 8 se establece los resultados logrados frente al mortero preparado con la combinación de agua de reúso y potable el cual obtuvo una resistencia a la compresión a los 28 días de 10.4 Mpa con una desviación estándar de 0.7; este valor tiene un porcentaje de 83,2% en comparación con el diseño de mezcla empleado de 12.5 Mpa. Sin embargo, para el mortero preparado con dosificación de 50% de agua potable y 50% de agua de reúso

se puede emplear como mortero de revoque, debido a que para utilizar este tipo de morteros se considera un diseño mezcla de 7.5 Mpa; por lo tanto, teniendo en cuenta la resistencia a la compresión obtenida a la edad de 28 días en este proyecto (10.4 Mpa), como se observa en la tabla No 8 y gráfica 8, estaría cumpliendo en un 139% la especificación para este tipo de mortero

De igual forma, en tabla No 8 y la gráfica No 8 se muestra los resultados obtenidos para el mortero confeccionado con agua de reúso donde a la edad de 28 días alcanza una resistencia a la compresión de 31,1 Mpa y una desviación de 1,0; este valor se encuentra por encima de la especificación del diseño de mezclas de un mortero con resistencia de 12.5 Mpa.

Gráfico 8. Resistencia a la compresión de morteros elaborados con agua de reúso.

Fuente: Elaboración propia



De acuerdo a los resultados obtenidos en tabla No 8 y grafica No 8 los morteros preparados con agua potable y agua de reúso lograron la resistencia a la compresión para el diseño de mezcla de 12.5 Mpa; por lo tanto, los morteros confeccionados con agua de lavado se pueden emplear para relleno o pega utilizada para mampostería en reemplazo del mortero

confeccionado con agua potable con el fin de disminuir la demanda de agua potable en los proyectos y de costos asociados a la confección de morteros, como factor de sostenibilidad.

4.3. Sostenibilidad del uso del agua de recirculación de lavado de planta de concreto

La construcción es tal vez uno de los sectores económicos generadores de impactos negativos al recurso hídrico, donde se desprecia, desperdicia y contamina el agua; sin embargo, la construcción sostenible va poco a poco tomando fuerza y algunas entidades como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible – CCCS desarrollan actividades para fomentar la mitigación en el agotamiento y estrés sobre al uso de los recursos naturales asociados a la actividad constructiva. (Bacca, 2017)

Tabla 9. Consumo de metros cúbicos en relación con los metros cuadrados construidos (m^3/m^2).

Fuente: Elaboración propia.

Obra	Sistema Constructivo	Consumo total agua por Proyecto (m^3)	Volumen agua por confección concretos y morteros (m^3)	Metros cuadrados construidos (m^2)	Consumo de metros cúbicos por metro cuadrado construido (m^3/m^2)
Proyecto 1	Tradicional (Aporticado)	13628,3	6929,6	72932,00	0,10
Proyecto 2	Tradicional (Aporticado)	15998,5	984,3	10649,01	0,09
Proyecto 3	Tradicional (Aporticado)	7577,0	1513,9	27837,49	0,05

Proyecto 4	Industrializado	14729,0	2860,2	33698,96	0,08
Proyecto 5	Industrializado	17807,0	2559,8	34441,25	0,07
Proyecto 6	Industrializado	8949,3	1024,9	24250,49	0,04

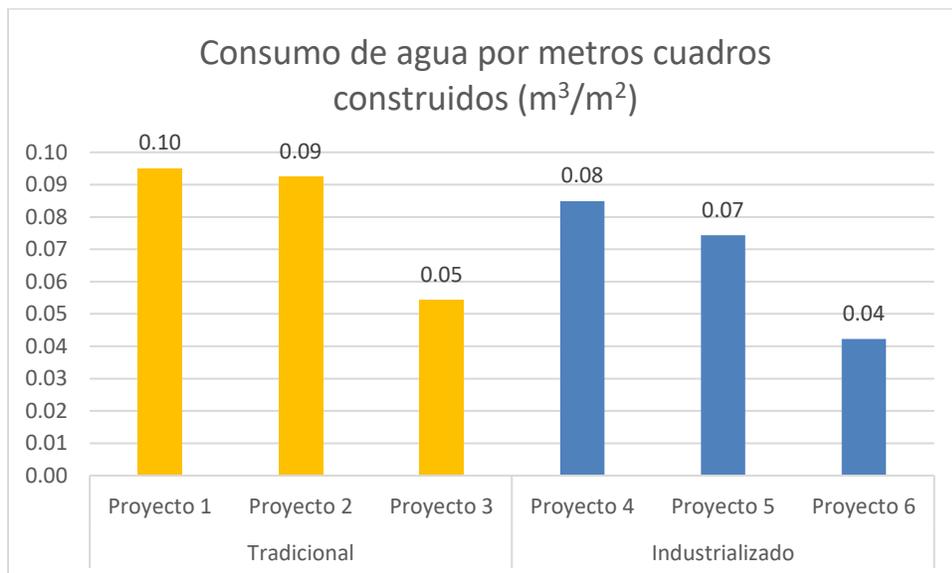
Teniendo en cuenta lo anterior, para lograr la sostenibilidad asociada al recurso hídrico, es necesario buscar estrategias que permitan reutilizar o reemplazar el agua en las actividades constructivas, con el fin de disminuir la demanda del recurso hídrico y del agua potable, toda vez, que parte de los procesos de confección de concretos y morteros, al igual que procesos de limpieza, aseo y lavado de superficies se realiza con agua acta para consumo humano.

En la tabla 9 se evaluaron seis (6) proyectos con diferentes sistemas constructivos, con el fin de determinar el consumo de metros cúbicos (m^3) de agua por metro cuadrado construido (m^2) en la preparación de concretos y morteros; el proyecto N° 1 está representado por la obra La Riviere, la cual es el caso de estudio de esta investigación.

En la gráfica 9 se identifica que el sistema de construcción tradicional o aporricado tiene un promedio de 0,08 de consumo de agua por metro cubico (m^3) con respecto al metro cuadrado construido (m^2) y una desviación de 0.02; dado que este proceso requiere estructuras de grandes secciones y el cerramiento externo e interno es en mampostería, lo que implica una mayor preparación de concreto y morteros; se indica además, que este tipo proceso constructivo es el empleado en el proyecto La Riviere.

Gráfico 9. *Consumo de metros cúbicos en relación con los metros cuadrados construidos (m^3/m^2).*

Fuente: Elaboración propia



Por otro lado, para el sistema constructivo industrializado como se muestra en la tabla 9 y gráfico 9, se presenta un promedio 0.07 de consumo en metros cúbicos de agua por metros cuadrados construidos y desviación 0.02, se evidencia un consumo inferior asociado al metro cuadrado construido, esto se debe posiblemente a que muros y losas del sistema industrializado tienen bajos espesores y la instalación de poca mampostería al interior en los cerramientos; lo que implica menos consumo de agua en la confección de morteros y concretos para las actividades constructivas y los proyectos.

De acuerdo a lo anterior, se presenta una diferencia en el consumo de metros cúbicos de agua por metros cuadrados construidos entre el sistema tradicional (aporticado) y el industrializado; indicando que este último, genera un impacto en la demanda del recurso hídrico inferior al tradicional.

De igual forma, en la tabla 10 se relaciona el valor económico del consumo de agua por metro cúbico (m^3) en relación a los metros cuadrados construidos de los seis (6) proyectos evaluados.

Tabla 10 *Costo de agua potable en relación con los metros cuadrados construidos.*

Fuente: Elaboración propia.

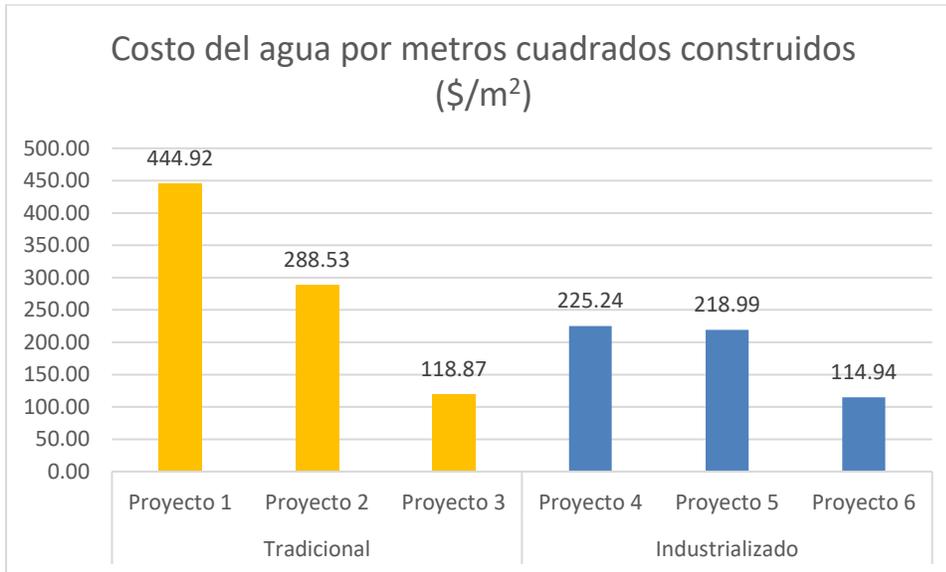
Obra	Sistema Constructivo	% Agua para confección	Valor promedio m³ de agua	Costo agua (\$)	Costo de agua por metro cuadrado construido (\$)/m²
Proyecto 1	Tradicional (Aporticado)	50,8%	\$ 4.683	\$ 32.449.166	\$ 444,9
Proyecto 2	Tradicional (Aporticado)	6,2%	\$ 3.122	\$ 3.072.512	\$ 288,5
Proyecto 3	Tradicional (Aporticado)	20,0%	\$ 2.186	\$ 3.308.939	\$ 118,9
Proyecto 4	Industrializado	19,4%	\$ 2.654	\$ 7.590.345	\$ 225,2
Proyecto 5	Industrializado	14,4%	\$ 2.946	\$ 7.542.224	\$ 219,0
Proyecto 6	Industrializado	11,5%	\$ 2.720	\$ 2.787.383	\$ 114,9

Para el sistema constructivo tradicional se tiene un promedio de \$284,11 del costo de agua por metro cuadro construido (m²) y una desviación de \$163.9, mientras en el sistema industrializado se tiene un promedio de \$186,39 y una desviación de \$61.69 del costo de agua por metro cuadro construido (m²); lo que conlleva que aparte del beneficio de disminuir la demanda de agua del sistema industrializado, se logra la disminución de inversión de capital para este sistema constructivo; contribuyendo significativamente a la sostenibilidad ambiental y económica en este tipo de proyectos de construcción.

En las gráficas 9 y 10 se observa que ambos indicadores son directamente proporcionales, es decir, el costo y consumo de agua por metro cuadrado es más significativo para el sistema constructivo tradicional o aporticado, que para el sistema industrializado.

Gráfico 10. *Costo de agua por metro cuadrado construido por sistema constructivo.*

Fuente: Elaboración propia.



En caso de reemplazar el agua potable por agua de reúso proveniente del lavado de la planta de concretos para la preparación de morteros en el proyecto La Riviere, se podría tener un ahorro aproximado en el costo de agua por \$32.449.166 para todo el proyecto, el cual tiene un costo por metro cuadrado (m²) de \$444,92 asociado al consumo de agua en la obra; esto tendría relación directa con la sostenibilidad del recurso hídrico evitando de esta manera el desperdicio y consumo del agua potable; lo que conlleva al beneficio de la comunidad en general, contribuyendo así al logro de los Objetivos del Desarrollo Sostenible – ODS; al aportar a la disponibilidad del agua potable para comunidades que pueden sufrir de estrés hídrico o acceso al agua para consumo humano y contribuir a tener ciudades y comunidades sostenibles y resilientes.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se considera que se puede alcanzar un ahorro de agua de 6.929,6 m³ empleando agua residual lavado de la planta de concreto en los 10 meses de análisis de la información; por lo tanto, considerando una dotación para consumo de agua potable de 140 L/persona/día desde la perspectiva social, se puede atender la demanda de agua potable de una población de 165 personas por un periodo 10 meses; tiempo de análisis y recolección de información de consumos de agua del presente proyecto.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- El agua de reúso proveniente del lavado de la planta de concretos de la obra La Riviere respecto a la calidad del agua analizado bajo los parámetros de la norma NTC 3459 de 2001, cumple en ambas muestras M1 y M2 respecto a las concentraciones de: nitritos, cloruros y sulfatos; mientras la concentración de sólidos totales no cumple lo especificado en la norma en ambas muestras.
- La alcalinidad del agua de reúso en la muestra M1 no cumple respecto a la especificación de la norma NTC 3459 de 2001, mientras en la muestra M2 cumple la concentración especificada en la norma, por lo tanto, el agua de reúso se encuentra en mejores condiciones de uso para la elaboración de morteros cuando tiene mayor tiempo de recirculación donde alcanza una estabilidad en los parámetros evaluados.
- En términos generales la calidad del agua evaluada no afecta la resistencia a la compresión del mortero preparado con agua de reúso teniendo en cuenta a la edad de 28 días alcanzo una resistencia de 31.1 Mpa superando el diseño de mezclas planteado de 12.5 Mpa.
- El mortero elaborado con el 100% de agua de reúso alcanzo la resistencia a compresión más alta de las combinaciones experimentales y en las diferentes edades evaluadas, mientras que la dosificación de 50% agua de reúso y 50% agua potable está por debajo de la resistencia esperado o del diseño de mezcla; sin embargo, el mortero preparado con agua potable está en un lugar intermedio entre las diferentes dosificaciones del agua, cumpliendo con la resistencia esperada del diseño de mezcla.
- El mortero con dosificación de 50% agua potable y 50% de agua de reúso obtiene una resistencia a la compresión a los 28 días de 10.4 Mpa, lo cual permite su empleo como morteros tipo revoque para cumplir con una resistencia de 7.5 Mpa.

- El mortero preparado con agua de reúso de acuerdo a la resistencia a la compresión obtenida a la edad de 28 días de 31.1 Mpa, por lo tanto, este tipo de mezcla puede ser utilizado para la confección de mortero tipo pega, grouting o de piso.
- Los proyectos con un sistema de constructivo tradicional tienen un consumo de agua (m^3) en relación a los metros cuadrados construidos (m^2) más alto respecto a un sistema de muros vaciados o industrializado, y de manera directamente proporcional está asociado el costo del agua ($\$/m^2$) por metro cuadrado construido (m^2) en cada uno de estos sistemas.
- El uso de agua de reúso proveniente de la planta de concretos en la obra La Riviere, podría ser utilizado para la preparación de mortero tipo grouting y generar un ahorro económico de \$32.449.166 para el proyecto, lo cual aporta a la sostenibilidad del recurso hídrico evitando el consumo de agua potable, beneficiando de esta manera a la comunidad cercana y mitigando los impactos ambientales generados por este proceso.

Recomendaciones

- Mejorar la metodología actual frente al consolidado de la información sobre el consumo de agua potable en los proyectos de construcción, de tal manera que se pueda obtener un dato más acertado sobre el consumo total; con el fin de aportar a tener información para la toma de decisiones en relación a los consumos y la sostenibilidad de los proyectos de construcción.
- Establecer una frecuencia de mantenimiento en los tanques de almacenamiento de agua recirculada en las plantas de concretos para tener un control frente al manejo de los sólidos y posibles descargar al sistema de alcantarillado.
- Los resultados obtenidos en términos de resistencia de morteros fabricados con agua de reúso del lavado de una planta de concretos puede ser una base para realizar otras investigaciones asociado a la calidad del material en la relación existente entre esfuerzo y la deformación, durabilidad, desgaste, entre otros parámetros de interés que pueden impactar los procesos constructivos, los materiales de la construcción y los proyectos de forma general.

Bibliografía

- Arroyave-Rojas, J.A. y Garcés-Giraldo, L.F. (2007) “Tecnologías ambientalmente sostenibles”. *Producción + Limpia* 1(2): 78–86
- Boaglio, A; Di Nanno, M y Menéndez, G (2017). Empleo de agua de reúso en la elaboración de morteros de cemento. *Proimca – Prodeca*.
- Buss, A. (2021). ¿Como afrontar el impacto ambiental desde el sector de la construcción? *Revista Urbana del gremio de la construcción Camacol*. Recuperado de <https://revistandc.camacolvalle.org.co/impacto-ambiental-el-sector-constructor/>
- Campuzano C, 2020. La gestión integral del recurso hídrico un asunto de corresponsabilidad. Medellín
- Cárdenas Saavedra, F. (2018). Sustitución del recurso agua potable en la fabricación del concreto por agua residual tratada en Lima Norte.
- Departamento Nacional de Planeación Colombiano (2022). Informe anual de avances en la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Colombia 2022.
- Dieguez, V. (2011). Propiedades físicas del concreto elaborado con agua residual tratada. Trabajo Especial de Grado no publicado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Castillo, J. (2019). Efecto del agua de mezclado proveniente del subsuelo (nivel freático) y mar en la resistencia a la compresión del concreto. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional De Trujillo, Trujillo, Perú.
- Coninsa Ramón H (2019). Recirculación de agua en lavado de Planta de concreto.
- Coninsa Ramón H (2020). Registro aprovechamiento de agua en Plante de concretos. Caso de estudio: La Riviere T3.
- Cruzado,J. y Li,M.(2015). Análisis comparativo de la resistencia de un concreto convencional teniendo como variable el agua utilizada en el mezclado (Tesis de pregrado). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.

-
- Diaz-Rodriguez, B., Rios-Alvinco, N., Murga-Alayo, K, y Roblez Gonzales, L. (2014). Influencia del agua potable, rio y mar en la resistencia a compresión de un concreto convencional no estructurado, para la construcción de aceras en la ciudad de Trujillo. *Influencia del agua potable, rio y mar*, 2(1),15-22.
 - Galván, J. y Guzmán, A. (2020). Influencia de la calidad del agua subterránea en la resistencia a la compresión de morteros hidráulicos (Tesis de pregrado). Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia.
 - García Ubaque, C.A y Lamprea Molina, L.C. (2019). Vertimientos en la industria de la construcción en Colombia. *Revista vínculos: Ciencia, Tecnología y Sociedad*, vol. 16, n° 1, enero-junio 2019, 184-189. <https://doi.org/10.14483/2322939X.15072>.
 - Guerra, F, Carranza, Y, Blanco, H y Peñuela, C. (2018). Efecto de los sólidos suspendidos en el agua de mezclado sobre las propiedades del concreto. Universidad Central de Venezuela.
 - Guterres, A. (2009). Cambio climático, desastres naturales y desplazamiento humano: la perspectiva del ACNUR. Pág. 3
 - Gutiérrez de López, L. (2003). El concreto y otros materiales para la construcción. Universidad Nacional de Colombia.
 - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2021). Estudio nación del agua.
 - Lizana Huacho, R. (2021). Influencia de la calidad del agua en las propiedades del concreto usando cemento Portland Tipo I, distrito de Socos, Ayacucho, 2021. (Tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú.
 - Medina Restrepo, C. A. Concreto confeccionado con aguas lluvia: un aporte a la disminución del impacto ambiental generado por la industria de la construcción. Escuela de Construcción.
 - Mejia, M, Chincilla, V y Mendoza, Clara. (2012). Determinación de la resistencia a compresión de mortero empleando especímenes cilíndricos y cúbicos, utilizando arena del occidente del país [Título profesional, Universidad de El Salvador]. Repositorio Académico de la Universidad de El Salvador

- Nan, S., Buquan, M. y Fu-shung, L.(2001). Effect of wash wáter and underground wáter on properties of concrete. *Cement and concrete research*, 32(2002),777-782.
- Norma Técnica Colombiana (NTC) 3459 de 2001. Agua para concreto
- Norma Técnica Colombiana (NTC) 174 de 2000. Especificaciones de los agregados para concretos.
- Norma Técnica Colombiana (NTC) 121 de 2014. Cemento Portland. Especificaciones físicas y mecánicas.
- Norma Técnica Colombiana (NTC) 4043 de 2021. Método de ensayo para el muestreo y ensayo de mortero de inyección (grout)
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2021). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2021. El valor del agua. UNESCO.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2020). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2020.
- Orozco, B. y Palacio, J. (2015). Influencia de las características del agua subterránea en la resistencia de las unidades de mampostería de concreto con perforaciones verticales de fabricación artesanal. Caso de estudio: Villanueva, Bolívar. (Tesis de pregrado). Universidad De Cartagena, Cartagena, Colombia.
- Porras, S. G. V., Serna, M. M., & García-Ubaque, C. A. (2016). Evaluación de la resistencia a la compresión en morteros de pega de acuerdo con la dosificación establecida por el código Sismo Resistente Colombiano. Estudio de caso. *Tecnura*, 20(48), 115-122.
- La construcción es la industria que más desperdicia agua potable (2018). *Revista Vector*. <http://www.revistavector.com.mx/2018/09/18/la-construccion-es-la-industria-que-mas-desperdicia-agua-potable/>
- Yepes, H; Blanco, H y Peñuela C (febrero, 2015). Mezclas de concreto elaboradas con agua residual doméstica tratada. *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V.* 81-86