

**DETERMINACIÓN DE LA COMBINACIÓN ÓPTIMA DE AGUA POTABLE Y
AGUA SUBTERRÁNEA PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO SIMPLE.**

(CASO DE ESTUDIO: VILLANUEVA-BOLÍVAR)



**Universidad de
Cartagena**

Fundada en 1827



**Programa de
Ingeniería Civil**

Fundado en 1949

**NESTOR JAVIER BUENO OSUNA
CRISTIAN CAMILO VALENCIA GIRALDO**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

REPUBLICA DE COLOMBIA 1827 UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.

2017

**DETERMINACIÓN DE LA COMBINACIÓN ÓPTIMA DE AGUA POTABLE Y
AGUA SUBTERRÁNEA PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO SIMPLE.
(CASO DE ESTUDIO: VILLANUEVA-BOLÍVAR)**

GRUPO DE INVESTIGACIÓN:

GIMA

AUTORES:

**NESTOR JAVIER BUENO OSUNA
CRISTIAN CAMILO VALENCIA GIRALDO**

DIRECTOR (A):

**EDGAR QUIÑONEZ BOLAÑOS
INGENIERÍA CIVIL, PhD**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

CARTAGENA DE INDIAS D. T. y C.

2017



NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del director
EDGAR QUIÑONES BOLAÑOS

Firma del Jurado
JAVIER MOUTHON BELLO

Firma del Jurado
MODESTO BARIOS FONTALVO

Cartagena de indias. D. T y C



DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

Este trabajo de grado va dedicado a Dios por permitirme culminar esta gran carrera y brindarme la paciencia y sabiduría necesaria para afrontar todos los retos presentados, también a mis padres, mis hermanos y mi novia por que este triunfo también es de ellos porque siempre estuvieron ahí para apoyarme incondicionalmente.

De igual manera agradezco a todas las personas que ayudaron y guiaron este trabajo de investigación, así como también a todas las personas que me brindaron su apoyo y me hicieron sentir como si estuviera en mi hogar y por último a la Universidad de Cartagena por permitirme formarme como Ingeniero Civil.

Nestor Bueno Osuna

Este trabajo de grado va dedicado principalmente a Dios, por permitirme terminar esta gran carrera y dar este primer gran paso en mi vida profesional, por brindarme la sabiduría y entendimiento necesaria a lo largo de esta Hermosa carrera. De igual manera, a mis Padres y mi hermano por su apoyo incondicional y sacrificio a lo largo de esta Carrera siempre estuvieron presentes.

Agradezco a los grandes amigos que me dejó el paso por la Universidad, a las personas que de una u otra manera me ayudaron a lo largo de la carrera y de este trabajo de investigación, principalmente a los Docentes que a lo largo de la carrera me enseñaron amar esta Hermosa Carrera, de igual manera a la Universidad de Cartagena por permitirme formarme como Ingeniero Civil.

Cristian Valencia Giraldo



TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCION.....	11
1. MARCO REFERENCIAL	13
1.1 ANTECEDENTES	13
1.2 ESTADO DEL ARTE	16
1.3 MARCO TEORICO	19
1.3.1 Concreto	19
1.3.2 Componentes del concreto.....	19
1.3.2.1 Cemento portland	19
1.3.2.3 Agregados.....	20
1.3.2.3.1 Agregado fino	20
1.3.2.3.2 Agregado grueso	21
1.3.2.4 Agua	21
1.3.2.4.1 Calidad del Agua	21
1.3.2.4.2 Agua de mezclado.....	23
1.3.3 Propiedades en estado endurecido del concreto	23
1.3.3.1 Resistencia.....	23
1.3.3.2 Resistencia mecánica.....	23
1.3.3.2.1 Resistencia a la Compresión.....	23
1.3.4 Factores que inciden en la resistencia.....	24
1.3.5 Agua subterránea	25
2. OBJETIVOS.....	28
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	28
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	28
3. ALCANCE.....	29
3.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL	29
3.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL.....	29



3.3	DELIMITACIÓN CONCEPTUAL.....	30
3.4	PRODUCTO FINAL A ENTREGAR.....	30
3.5	ASPECTOS QUE NO INCLUYE LA INVESTIGACIÓN	30
4.	METODOLOGIA	31
4.1	ADQUISICIÓN DE LAS FUENTES DE MATERIALES	32
4.2	ELABORACIÓN DE LOS CILINDROS DE CONCRETO.....	33
4.3	REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS	36
4.3.1	Ensayos de laboratorio al agua	36
4.3.2	Ensayo de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto (NTC 673)	37
4.4	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS.....	38
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
5.1	RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL AGUA ..	39
5.2	RESULTADOS DEL ENSAYO A LOS CILINDROS.....	40
6.	CONCLUSIONES	48
7.	RECOMENDACIONES	50
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	51



LISTA DE FIGURAS

	<i>Pág.</i>
<i>Figura 1. Tipos de pozo.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 2. Imagen satelital del municipio de Villanueva, Bolívar.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 3. Correspondiente a fases de la metodología.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 4. Recolección de las muestras</i>	<i>32</i>
<i>Figura 5. Elaboración de la mezcla de concreto</i>	<i>35</i>
<i>Figura 6. Elaboración de las probetas de concreto</i>	<i>35</i>
<i>Figura 7. Probetas de concreto para ensayos a la compresión</i>	<i>36</i>
<i>Figura 8. Ensayo a la compresión del concreto</i>	<i>38</i>
<i>Figura 9. Resistencia a los 7, 14 y 28 días para cada combinación (PSI).....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 10. Comparación entre la resistencia expresada en porcentajes, a los 28 días con la muestra patrón para cada tipo de agua</i>	<i>45</i>



LISTA DE TABLAS

	Pág.
<i>Tabla 1. Variables dependiente e independiente para el diseño experimental</i>	32
<i>Tabla 2. Combinaciones de agua potable y agua subterránea</i>	34
<i>Tabla 3. Análisis físico-químicas de las muestras de agua</i>	37
<i>Tabla 4. Propiedades fisico-quimicas de las muestras de agua</i>	39
<i>Tabla 5. Ensayos a compresión para resistencia de 3000psi</i>	41
<i>Tabla 6. Comparación de las propiedades físico-químicas de distintas aguas</i>	46
<i>Tabla 7. Coeficiente de correlación</i>	47



RESUMEN

Este proyecto de investigación se realizó con el fin de determinar la combinación óptima de agua potable y agua subterránea procedente del municipio de Villanueva-Bolívar, para elaborar concreto simple de 3000psi. Para llevar a cabo este proyecto se siguió la norma NTC 673 utilizando agregado caliza de la cantera Colón, China de la cantera Cemex en Parmarito, arena de la cantera de Argos y el cemento suministrado por Argos para este tipo de concreto y se elaboraron las mezclas y cilindros de concreto, seis por cada muestra con las combinaciones de agua potable y subterránea en proporciones de 10%, 15%, 20% y 30% de agua subterránea, y se midieron sus resistencias a la compresión en los cilindros a edades de 7, 14 y 28 días para corroborar si los cilindros llegaban a las resistencias esperadas y compararlos con los límites permitidos en la norma NSR 10. Al agua se le hicieron estudios físico-químicos para determinar el tipo de sustancias o agentes contaminantes se encontraban en está.

Los resultados mostraron que la resistencia se disminuye con el aumento de porcentaje (%) de agua subterránea agregada a las muestras. En las tres primeras combinaciones de agua (90%-10%, 85%-15%, 80%-20%) las resistencias a los 28 días, estas tienen unos resultados mayores del 90% de la resistencia a la compresión que la obtenida en la muestra patrón de 100% agua potable. Luego se puede notar que en la mezcla de 70% de agua potable y 30% de agua subterránea la disminución de la resistencia es drástica.

Se pueden elaborar un concreto apto para la construcción con cualquiera de las tres primeras combinaciones, pero como el objetivo de este proyecto de investigación es el mayor aprovechamiento del agua subterránea se recomienda usar la combinación de 80%AP – 20%AS.



ABSTRACT

This research project was carried out in order to determine the optimal combination of potable water and groundwater from the municipality of Villanueva-Bolívar to produce simple 3000psi concrete. In order to carry out this project, the NTC 673 standard was followed using aggregate limestone of the quarry Colón, China of the quarry CEMEX in Parmarito, sand of the quarry of Argos and the cement supplied by Argos for this type of concrete and the mixtures were elaborated And concrete cylinders, six (6) for each sample with potable and groundwater combinations in proportions of 10%, 15%, 20% and 30% of groundwater, and their compressive strengths were measured in the cylinders a Ages of 7, 14 and 28 days to corroborate if the cylinders reached the expected resistances and compare them with the limits allowed in the NSR 10 standard. The water was made physico-chemical studies to determine the type of substances or pollutants were found in this.

The results showed that the resistance is decreased with the percentage increase (%) of groundwater added to the samples. In the first 3 combinations of water (90% -10%, 85% -15%, 80% -20%) resistances at 28 days, these have a result greater than 90% of the resistance to compression than that obtained in the standard sample of 100% drinking water. Then it can be noticed that in the mixture of 70% of drinking water and 30% of groundwater the decrease of the resistance is drastic.

A concrete suitable for construction can be made with any of the first 3 combinations, but as the objective of this research project is the greater use of groundwater it is recommended to use the combination of 80% AP - 20% AS.



INTRODUCCION

El concreto es un material compuesto empleado en el campo de la construcción, está formado principalmente por un aglomerante al cual se le añaden una cierta cantidad de partículas o fragmentos de agregados y agua. Posee una alta resistencia a los esfuerzos de compresión y una característica importante es que puede adoptar distintas formas, la correcta elaboración de este material proporciona a las estructuras donde sea usada una mayor vida útil

El agua es uno de los componentes principales para las mezclas de concreto, ya que esta permite que el cemento desarrolle su capacidad ligante en dichas mezclas. Esta agua debe libre de sustancias que afecten su calidad. Al usar un agua no potable en la elaboración de mezclas de concreto, primero se deben hacer pruebas con cilindros de concreto, los cuales deben alcanzar a los 28 días un 90 % de resistencia comparado con los realizados con agua 100% potable (NTC 220). Por lo tanto, el agua será el tema de mayor interés y relevancia en esta investigación, por la importancia que tiene en las mezclas de cemento.

Estudios realizados anteriormente hablan de cómo puede influir el agua tratada correctamente en la resistencia del concreto (Vazquez, Gonzales, Rocha, & Flors, 2001). Un ejemplo de combinación fue el trabajo de grado que consistió en encontrar la proporción óptima entre Agua Potable y agua del Río Magdalena a la altura del municipio de Calamar, mediante combinaciones de éstas a distintas proporciones, para conocer los límites tolerables de algunos parámetros presentes en el agua del río Magdalena en mezclas de concreto para optimizar el uso del agua potable y mejorar la calidad de las obras de ingeniería y así mismo la calidad de vida de los habitantes de dicha región (Anaya Suarez & Suarez Torres, 2016).

Otro estudio realizado fue el efecto de la materia orgánica presente en un agua residual sintética preparada a partir de agua potable diluida con azúcar en la preparación de mezclas de concretos, para conocer hasta qué concentración de materia orgánica no se ve afectada la resistencia del concreto (Albis Mesa, 2016).

En el campo de la ingeniería civil será de gran utilidad el aprovechamiento de las aguas subterráneas en la construcción de vías, puentes y edificios resistentes especialmente para aquellas zonas donde el agua potable es muy limitada, disminuyendo los costos de



elaboración y generando un impacto ambiental positivo debido a la disminución del uso de agua potable.

Por lo anterior, el problema a resolver en este trabajo de investigación aplicada consistió en buscar la mezcla óptima de concreto hecha con agua subterránea del municipio de Villanueva-Bolívar mezclada con agua potable de este municipio teniendo en cuenta la influencia que tienen las características del agua subterránea tales como pH, Temperatura, Conductividad, Alcalinidad, Cloruros, Sulfatos, Solidos totales, Dureza, Nitratos y Materia orgánica, en la resistencia de la mezcla de concreto. Con respecto a la problemática se quiere resolver la siguiente pregunta: ¿Qué proporción de agua subterránea y agua potable será óptima como agua de amasado para la producción de concreto en el municipio de Villanueva?

El estudio se realizó en la ciudad de Cartagena a partir de ensayos a la compresión de cilindros a los de concreto 7, 14, y 28 días elaborados con las distintas combinaciones de agua potable y agua subterránea, para determinar si el concreto con estas mezclas de AP 90% - 10% AS, AP 85% - 15% AS, AP 80% - 20% AS, AP 70% - 30% AS logra adquirir la resistencia requerida para poder realizar cualquier tipo de obra civil. Los resultados se analizaron mediante graficas comparativas de los resultados de los ensayos a la compresión para establecer parámetros que pudieran servir de base para definir la mejor combinación de factores que garantizaran la resistencia adecuada del concreto elaborado.

Este trabajo de grado amplia las bases de datos de la Universidad de Cartagena, de este tipo de investigaciones relacionadas con la resistencia del concreto ante diferentes factores y proporciones en los componentes para su elaboración. También, para los ingenieros civiles es de gran ayuda como referencia en la elaboración y uso de este tipo de mezclas en el cemento por fuera de la ciudad de Cartagena.



1. MARCO REFERENCIAL

Además de conocer y estudiar la teoría necesaria para llevar a cabo el presente proyecto de investigación, es importante analizar estudios similares, porque, a medida que transcurren los años se han implementado muchos diseños de mezclas para la elaboración del concreto como alternativas de solución a problemas relacionados con la obtención de materiales.

1.1 ANTECEDENTES

En la elaboración de la mezcla de concreto, la relación entre cada uno de los materiales que hacen parte de ella es muy importante, es por esto que las características de los mismos son parte fundamental en la calidad de esta mezcla, siendo el agua uno de los elementos con mayor influencia por tener diversas características que afectan al resultado final. A continuación, se presentan diferentes estudios que se han hecho tanto en el ámbito nacional como en el internacional sobre esta temática.

Abad y Tous (2013) realizaron un estudio para comparar el comportamiento en la disminución de la resistencia de concretos de 3.000 y 4.000 psi preparados con agua del río Magdalena en el municipio de Calamar departamento de Bolívar y con diferentes marcas de cemento de la región. Se compararon las resistencias a compresión de mezclas de concreto de 3000 y 4000 psi, fabricados con cementos ARGOS, CEMEX y HOLCIM y utilizando el agua del Río Magdalena, para determinar su comportamiento mecánico, mediante análisis de resistencia de cilindros de concretos a edades de 7, 14 y 28 días y compararlos con los límites que permite la norma. Previamente se evaluaron las propiedades físico-mecánicas de los diferentes tipos de cemento, se hicieron estudios físico-químicos para determinar qué tipos de sustancias o agentes contaminantes se encontraban en el agua y se caracterizaron y determinaron las propiedades físicas de los agregados y se elaboraron cilindros con los diferentes diseños de mezcla. Los resultados determinaron que las resistencias obtenidas están en el rango de 84,01; 81,45 y 81,15 % para concretos de 3.000 psi y de 78,81; 76,33 y 75,58 %, para los de 4.000 psi concluyendo que definitivamente no es prudente el uso del agua del Río Magdalena para elaborar mezclas de concreto (Abad & Tous, 2013).

Para el mismo año se realizó un estudio con el fin de encontrar la posibilidad de utilizar un agua distinta a la potable para la elaboración de concreto. Donde se realizó un análisis



químico al agua extraída del río Magdalena para determinar algunas sustancias o impurezas que se encuentran presentes en el agua, las que con respecto al alcance del proyecto consideraron más perjudiciales en la modificación de la resistencia del concreto en contraste con los valores recomendados para impurezas en el agua de mezclado, con el propósito de tener una idea de los efectos finales en las propiedades de resistencia y manejabilidad del concreto. (Arraez Sanchez, 2013)

Después Arráez Sánchez realizó un análisis fisicoquímico a los agregados provenientes de canteras locales, luego se procedió a realizar los diseños de mezclas y la elaboración de cilindros de concreto a edades de 7 y 28 días; utilizando dos tipos de agua: agua potable y agua de río, realizando los diferentes ensayos establecidos para las propiedades descritas, y comparando los resultados por medio de la norma NSR 10. Los resultados mostraron que al momento de utilizar agua potable las diferentes resistencias adquiridas estaban cerca del 97% al 98% de las establecidas en las diferentes normas utilizadas; en cambio al utilizar el agua proveniente del río se notó que las propiedades se encontraban en un rango entre el 66% al 80%, estos últimos son considerados intolerables según los límites establecidos en las normas, lo que permite concluir que no es conveniente la utilización de este tipo de agua proveniente del río en la fabricación de elementos estructurales. Luego del análisis físico-químico hecho por el laboratorio, donde se analizaron algunas impurezas presentes dentro del agua de río Magdalena se concluyó que no existe correlación alguna entre los parámetros observados en este proyecto y la resistencia adquirida en concretos de 3000 y 4000 psi (Arraez Sanchez, 2013).

En el 2009, Álvarez, C. y Manjarrez, K., reconocen la importancia de las características del agua para la elaboración de concreto, es por esto que, en el proyecto de investigación, influencia de las características del agua de mezclado en la resistencia del concreto de 3.000 y 4.000 psi. Se analizaron los parámetros más representativos de acuerdo al tipo de agua. En este estudio se utilizaron varios tipos de aguas, una de ellas es el agua de mar para la cual los parámetros a analizar fueron el cloruro de sodio y el cloruro de calcio, otro tipo de agua fue el agua calcárea(Dura) para la cual los parámetros a analizar fueron el pH y la alcalinidad, otro tipo de agua fue el agua residual para la cual los parámetros a analizar fueron las partículas en suspensión y la materia orgánica, estos parámetros son los más representativos



de estos tipos de agua las cuales a su vez son las más comunes en la zona. Entre los resultados se tienen: el agua calcárea tuvo mejor comportamiento con el agregado calizo, con valores de resistencia cercanos a los de concretos de 3000 y 4000 psi para pH y alcalinidad en rangos dentro de establecido en la NTC 3459, mientras que el agregado de cantos rodados (china) presentó buenos resultados iniciales, pero bajó su resistencia a los 28 días tanto para 3000 y 4000 psi. Por lo anterior, se recomienda el uso de agregado calizo con este tipo de aguas y un aditivo que ayude a aumentar la resistencia final. El agua residual tuvo mejor comportamiento con agregado calizo que con china, la norma ASTM D-1888 establece concentraciones por debajo de 20 ppm de materia orgánica, pero el agua utilizada presentó concentraciones de 218.50 ppm, lo cual es un indicio del porque con china se vio afectada la resistencia al igual que con triturado para el diseño de 4000 psi; esta agua retarda el fraguado inicial del concreto, para el agua de mar los resultados obtenidos presentaron resistencia iniciales por encima del agua potable, pero con una reducción sustancial de la resistencia a los 28 días, el agregado calizo tuvo mejor comportamiento con el agua de mar al presentar resistencia muy buenas comparadas con la china. Se resalta la importancia de los diferentes tipos de agua que se usa, y la limitación de esta investigación se basa en el tipo de agua que es distinta al estudio a realizar (Alvarez Hadechiny & Manjarres Vergara, 2009).

En el año 2015, se realizó una investigación sobre el efecto del agua subterránea de Villanueva para la construcción, y su influencia en la resistencia de las unidades de mampostería de concreto con perforaciones verticales de fabricación artesanal.

Se elaboraron bloques No.4 y No.6, teniendo en cuenta el almacenamiento, el transporte y el curado. Se ensayaron todas las muestras mediante la NTC 4024 y se obtuvo como resultado que el agua subterránea tiene una influencia negativa en la resistencia, pero la cual no supera el 11% de la resistencia final que debe tener los bloques, por esto no es muy relevante y se aconseja utilizar arena de RIO y cementos ARGOS con el fin de que la disminución sea lo menos posible (Orozco Orozco y Palacio Bonfante, 2015).

En el año 2016, Bedoya, C. y Medina, C., realizaron una investigación sobre el concreto elaborado con aguas lluvia como aporte ambiental desde la construcción. Se aborda la confección del concreto con aguas lluvia y se compara su desempeño con respecto a los elaborados con agua potabilizada, empleada convencionalmente. Las muestras



confeccionadas se estudiaron en cuanto a la a compresión a edades de 1, 3, 7, 14, 28, 56 y 90 días.

El agua lluvia empleada en la presente investigación no afectó negativamente el comportamiento del concreto desde el punto de vista físico-mecánico. Estadísticamente hablando, las resistencias al esfuerzo de la compresión obtenidas a distintas edades son iguales en ambas mezclas. Si bien la relación A/C estuvo alta (0,60), las resistencias obtenidas estuvieron en los rangos del diseño de mezclas; sin embargo, se recomienda trabajar con relaciones A/C menores, en aras de una mayor durabilidad del concreto endurecido. En este trabajo se analizó especialmente la resistencia al esfuerzo de la compresión (Bedoya Montoya & Medina Restrepo, 2016).

Aunque en el país se han realizado distintas publicaciones donde se elaboran concretos con agua no potable, son escasas las investigaciones que analizan el agua subterránea, por lo que esta investigación no solo ampliaría este tema, sino que abriría campo a futuras investigaciones donde se planteé aprovechar este tipo de agua en las obras civiles y generar un concreto de buena calidad.

1.2 ESTADO DEL ARTE

Luego del análisis de la información secundaria directamente relacionada con los efectos de la combinación de agua para elaboración de Concreto, lo cual es de considerarse como parte esencial para una adecuada comprensión e interpretación sobre la problemática que abarca el proyecto de investigación que se pretende llevar a cabo, para lo cual se requiere de la revisión bibliográfica concerniente a la problemática planteada y así como también a las soluciones dadas a las mismas.

Es importante resaltar que, para el desarrollo de este proyecto de investigación, a continuación, se muestran estudios a nivel internacional con aspectos particulares, aspectos físico-químicos del agua y los tipos de aguas que se usan para elaborar mezclas de concreto.

Se buscó sustituir el agua potable con agua Residual para elaborar concreto, Se obtuvo que el agua tratada no causa efectos negativos en la reducción de la resistencia del concreto, por el contrario, el agua proveniente de las plantas de tratamiento obtuvo incrementos del 10 al



80% de la resistencia de diseño (Vazquez, Gonzales, Rocha, & Flors, 2001). En otro estudio, en la mezcla de concreto de alto desempeño elaborado con aguas con cloruros se presentó una pérdida importante de trabajabilidad lo que indirectamente afectó sus propiedades en estado endurecido (Guzman Gonzalez & Lopez Calvo, 2007). Se estudió la durabilidad del concreto, y el ataque de los ácidos, las propiedades mecánicas del hormigón, como la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad, se estudiaron también las características del lodo y se encontró que tenía una alta alcalinidad y el contenido de sólidos fue superior al establecido en la norma ASTM C94, contribuyendo a mezclas más porosas y débiles (Burachat Chatveera, Pusit Lertwattanakul, & Narongsak Makul, 2006).

En la ciudad de Muscat (Omán) ubicado en el continente de Asia se estudió el efecto del uso de agua residual en las propiedades de alta resistencia del hormigón, para lo cual se midió el pH, sólidos disueltos totales, cloruros, dureza, alcalinidad y sulfatos en tres tipos de muestra obtenidas en una estación de lavado de automóviles. Los resultados indicaron que el uso de las aguas residuales de las estaciones de lavado de automóviles tiene un efecto despreciable sobre la resistencia del hormigón ya que no hubo diferencia significativa en los ensayos de resistencia a la compresión del hormigón. Sin embargo, el estudio debe extenderse a investigar el efecto de las aguas residuales en la durabilidad del hormigón, ya que puede contener sustancias que afectan negativamente el hormigón después de tiempos de exposición prolongados, por otro lado todas las mezclas de hormigón con el reemplazo de aguas residuales mostraron tasas de absorción de agua similares a los de la mezcla de control (agua potable) lo que quiere decir que la absorción de agua del hormigón no se ve afectado con el agua residual (K.S. Al-Jabri, 2016).

En junio del 2014 en Venezuela se estudió la influencia del nitrato en el agua de mezclado sobre las propiedades físicas del concreto, que consistió en verificar si el nitrato presente en el agua de mezclado para la elaboración del concreto no afectará su comportamiento y de ser esto posible obtener un concreto de buena calidad con agua de mezclado no potable. Para esto se realizaron ensayos para caracterizar las propiedades físicas (tiempo de fraguado, absorción, erosión, peso unitario, ultrasonido y resistencia a la compresión). Se concluyó



que la única propiedad del concreto que no presento resultados favorables fue la resistencia a la compresión, con una diferencia del 15%; posiblemente por efecto de calcificación debido al fenómeno de lixiviación por la presencia del nitrato. La trabajabilidad, durabilidad y homogeneidad del concreto no presentaron diferencias relevantes (Ana Velezmoro, 2014).



1.3 MARCO TEORICO

Para el adecuado desarrollo del proceso investigativo, en este subcapítulo se realiza la descripción sobre generalidades del concreto y unidades conceptuales referentes al cemento, agregados, el agua y los respectivos costos que intervienen en el proceso de la elaboración del concreto.

1.3.1 Concreto

El concreto u hormigón es una mezcla de cemento, agua, arena y grava que se endurece o fragua espontáneamente en contacto con el aire o por transformación química interna hasta lograr consistencia pétreo.

Por su durabilidad, resistencia a la compresión e impermeabilidad se emplea para levantar edificaciones, y pegar o revestir superficies y protegerlas de la acción de sustancias químicas (Holcim, 2015).

1.3.2 Componentes del concreto

El concreto de uso común, o convencional, se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales, cemento, agua y agregados (Instituto Mexicano Del Cemento Y Del Concreto, 2004).

1.3.2.1 Cemento portland

El cemento Portland es un aluminio silicato de calcio, patentado por J. Aspdin en 1824, y denominado Portland por su semejanza a una piedra que abunda en esa localidad de Inglaterra. Se obtiene por calentamiento incipiente (aproximadamente 1300 °C) de una mezcla de minerales finamente molidos, formados por piedra caliza y arcilla. El calentamiento se efectúa en hornos giratorios levemente inclinados de 3m de diámetro y 100 m de largo. El Material obtenido denominado “Clinker” se muele finamente adicionándole de un 2% a 3% de yeso para evitar que fragüe instantáneamente.



1.3.2.2 Fraguado del cemento:

Se denomina fraguado al proceso químico por el cual el cemento adquiere dureza pétreo (proceso irreversible), a diferencia de las grasas el fraguado del cemento es hidráulico porque se produce por reaccionar con el agua que provoca el fenómeno de hidrólisis de algunos compuestos y posteriores hidrataciones y recombinaciones. El fraguado se produce en dos etapas:

- Fraguado: proceso que dura de minutos a 15 horas, en que la masa plástica adquiere rigidez.
- Endurecimiento: proceso en que la masa rígida aumenta su dureza y resistencia mecánica que demanda de 28 días a varios años. Las reacciones en que suceden en esta etapa son complejas, simplificadaamente pueden considerarse así:

1.3.2.3 Agregados

Los agregados del concreto son componentes derivados de la trituración natural o artificial de diversas piedras, y pueden tener tamaños que van desde partículas casi invisibles hasta pedazos de piedra (Solis Carcaño, Moreno, & Arjona Otero, 2012).

1.3.2.3.1 Agregado fino

Se considera como tal, a la fracción que pase el tamiz de 4.75 mm (No.4). Proviene de arenas naturales o de la trituración de rocas, gravas, escorias siderúrgicas u otro producto que resulte adecuado a juicio del Interventor. El porcentaje de arena de trituración no podrá constituir más de treinta por ciento (30%) del agregado fino.

En ningún caso, el agregado fino podrá tener más de cuarenta y cinco por ciento (45%) de material retenido entre dos tamices consecutivos.

Durante el período de construcción no se permitirán variaciones mayores de dos décimas (0.2) en el módulo de finura, con respecto al valor correspondiente a la curva adoptada para la fórmula de trabajo.



1.3.2.3.2 Agregado grueso

Se denominará agregado grueso la porción del agregado retenida en el tamiz 4.75 mm (No.4). Dicho agregado deberá proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. Estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan afectar adversamente la calidad de la mezcla. No se permitirá la utilización de agregado grueso proveniente de escorias de alto horno.

Nota: En caso de no cumplirse esta condición, el agregado se podrá aceptar siempre que, habiendo sido empleado para preparar concretos de características similares, expuestos a condiciones ambientales parecidas durante largo tiempo, haya dado pruebas de comportamiento satisfactorio.

La curva granulométrica obtenida al mezclar los agregados grueso y fino en el diseño y construcción del concreto, deberá ser continua y asemejarse a las teóricas obtenidas al aplicar las fórmulas de Fuller o Bolomey (INVIAS, 2007).

1.3.2.4 Agua

El agua es un integrante fundamental en las mezclas de concreto y morteros, pues al ser mezclado con el cemento reacciona químicamente con este para producir la parte sólida y desarrollar resistencia (Sanchez de Guzmán, 2001).

1.3.2.4.1 Calidad del Agua

Como norma general se considera que el agua es adecuada para producir mortero u hormigón si su composición química indica que es apta para el consumo humano, sin importar si ha tenido un tratamiento preliminar o no; es decir, casi cualquier agua natural que pueda beberse y que no tenga sabor u olor notable sirve para mezclar el mortero o el concreto. Sin embargo, el agua que sirve para preparar estas mezclas, puede no servir para beberla (Rivera L., 2010).

El agua utilizada en la elaboración del concreto y mortero debe ser limpia y de apariencia limpia, libre de cantidades perjudiciales como aceites, ácidos, sustancias alcalinas y materias orgánicas.



En caso de tener que usar en la dosificación del concreto, agua no potable o de calidad no comprobada, debe hacerse con ella cubos de mortero, que deben tener a los 7 y 28 días un 90% de la resistencia de los morteros que se preparen con agua potable.

Algunas de las sustancias que con mayor frecuencia se encuentran en las aguas y que inciden en la calidad del concreto se presentan a continuación:

- Las aguas que contengan menos de 2000 ppm. de sólidos disueltos generalmente son aptas para hacer concretos; si tienen más de esta cantidad deben ser ensayados para determinar sus efectos sobre la resistencia del concreto.
- Si se registra presencia de carbonatos y bicarbonatos de sodio o de potasio en el agua de la mezcla, estos pueden reaccionar con el cemento produciendo rápido fraguado; en altas concentraciones también disminuyen la resistencia del concreto.
- El alto contenido de cloruros en el agua de mezclado puede producir corrosión en el acero de refuerzo o en los cables de tensionamiento de un concreto pre esforzado.
- El agua que contenga hasta 10000 ppm. de sulfato de sodio, puede ser usada sin problemas para el concreto.
- Las aguas acidas con pH por debajo de 3 pueden crear problemas en el manejo u deben ser evitadas en lo posible.
- Cuando el agua contiene aceite mineral (petróleo) en concentraciones superiores a 2%, pueden reducir la resistencia del concreto en un 20%.
- Cuando la salinidad del agua del mar es menor del 3.5%, se puede utilizar en concretos no reforzados y la resistencia del mismo disminuye en un 12%, pero si la salinidad aumenta al 5% la reducción de la resistencia es del 30% (Arias, 2009).



1.3.2.4.2 Agua de mezclado

El agua de mezclado está definida como la cantidad de agua por volumen unitario de concreto que requiere el cemento, contenido en ese volumen unitario, para producir una pasta eficientemente hidratada, con la fluidez tal, que permita la lubricación adecuada de los agregados cuando la mezcla se encuentra en estado plástico. La pasta de cemento, inmediatamente se mezclan los materiales, es una mezcla Plástica de cemento y agua que va adquiriendo nueva estructura conforme se produce la hidratación del cemento (Sanchez de Guzmán, 2001).

1.3.3 Propiedades en estado endurecido del concreto

Existen dos propiedades importantes. La primera tiene que ver con el proceso de curado de la mezcla y la resistencia obtenida después de fraguado (Linier, 1994).

1.3.3.1 Resistencia

Es la propiedad más importante del concreto, ya que en forma directa influye en las demás características de significado práctico. Los concretos más resistentes son más densos, menos permeables y más resistentes a la intemperie y ciertos agentes destructivos. Por otro lado, los concretos resistentes usualmente exhiben mayor contracción por fraguado y menor extensibilidad, por lo tanto, son más propensos al agrietamiento. El concreto presenta una alta resistencia a los esfuerzos de compresión y muy poca a los esfuerzos de tracción, razón por la cual la resistencia a la compresión simple es la propiedad más importante (Linier, 1994).

1.3.3.2 Resistencia mecánica

Se dice que una estructura de concreto se encuentra bajo diversos estados de sollicitación (compresión, tracción, entre otros), con el fin de llevar a cabo ensayos de control que analicen todos los estados tensionales (Charris Rodríguez, 2002).

1.3.3.2.1 Resistencia a la Compresión

La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro



cuadrado (Kg/Cm²) a una edad de 28 días. Con esta se mide o verifica la calidad del cemento y varía según las especificaciones. La resistencia se puede medir a través de cilindros normalizados que tiene un Diámetro de 6” y una altura de 12”. La cual se encuentra especificada en la Norma Técnica Colombiana (NTC 673).

Se llena el molde en tres capas y se compacta con una varilla lisa y de punta redondeada, se espera 24 horas para desencofrarlas y posteriormente someterlas ha curado, referenciándolas con fecha y elemento.

Según la resistencia a la compresión, el concreto se clasifica en: Normal 14 a 42 Mpa Resistente 42 a 100 Mpa Ultra resistente > 100 Mpa.

1.3.4 Factores que inciden en la resistencia

La resistencia del concreto depende de numerosas variables y resultan muy diferentes entre unos y otros concretos. La resistencia del concreto aumenta con la proporción de cemento en la mezcla, hasta que se alcanza la resistencia del cemento o el agregado, según el que sea más débil (Sanchez de Guzmán, 2001). Otro aspecto es la relación agua-cemento (A/C), en la mezcla influirá mucho sobre la resistencia del hormigón endurecido con un envejecimiento dado. Una mezcla dada puede tener una resistencia relativamente buena o mala, dependiendo de la cantidad de agua que se agregue. Una mayor relación A/C dará una menor resistencia, esto quiere decir que, a mayor cantidad de agua, menos resistencia.

Por otro lado, las características de los agregados que influyen sobre la resistencia del hormigón son el tipo, la forma, textura, tamaño máximo, solidez, gradación y limpieza de la partícula (Sanchez de Guzmán, 2001).



1.3.4.1 Tipo de agregado

Por lo general, el efecto sobre la resistencia del hormigón del tipo de agregado con peso normal, propiedades y gradación satisfactorias, es pequeño, debido a que los agregados son más fuertes que la pasta de cemento (Sanchez de Guzmán, 2001).

1.3.4.2 Tamaño máximo

Conforme se aumenta el tamaño máximo del agregado en una mezcla de hormigón de un revenimiento dado, se disminuyen los contenidos de agua y de cemento, en kg/m³ de hormigón (Sanchez de Guzmán, 2001).

1.3.4.3 Fraguado del concreto

Es un factor importante en la resistencia del concreto, ya que es necesario determinar el tiempo del fraguado para saber si es necesario utilizar aditivos que controlen la velocidad del fraguado con el fin de regular los tiempos de mezclado y transporte (Sanchez de Guzmán, 2001).

1.3.4.4 Curado del concreto

Este factor aumenta o disminuye la resistencia del concreto de acuerdo a la intensidad del secamiento con que se efectúe el proceso de fraguado (Sanchez de Guzmán, 2001).

1.3.5 Agua subterránea

Es el agua que se filtra a través de grietas y poros de las rocas y sedimentos que yacen debajo de la superficie de la tierra, acumulándose en las capas arenosas o rocas porosas del subsuelo. El agua se almacena y mueve en las formaciones geológicas que tienen poros o vacíos (Otálvaro, 2011).

Usos:

El agua subterránea se utiliza principalmente para abastecimiento doméstico, uso industrial y riego.



Composición:

La composición del agua subterránea depende de:

1. Tipo y características de la roca (tipos de suelo)
2. Composición del agua infiltrada (agua lluvia)
3. Procesos microbiológicos y químicos del suelo

Extracción

Puede extraerse a partir de condiciones dadas espontáneamente por la naturaleza, como es el caso de los manantiales o las descargas subterráneas a un río o al mar.

Para extraer el agua subterránea de los acuíferos por medios artificiales, es necesario construir una captación, es decir una instalación que permita poner a disposición del usuario el agua contenida en los acuíferos. Entiéndase por acuíferos, las rocas que tienen agua y que a su vez permiten su movimiento, bajo la acción de las fuerzas de gravedad, de tal manera que puede explotarse en cantidades apreciables.

Las captaciones se clasifican de la siguiente manera:

- a. Pozos: perforación mecánica vertical, por lo regular en forma cilíndrica (diámetro 2 a 16 pulgadas) revestidos de tubería metálica o PVC. Se realizan mediante hincados de tubería o perforación con taladros y se dotan de sistemas de extracción (electrobombas o compresores).
- b. Aljibes: Receptáculo hallado mediante excavación, que almacena agua subterránea con profundidades pequeñas (5 a 10 metros) y diámetros grandes (hasta 1 metro), cuyas paredes se revisten con ladrillo, tubería de cemento o concreto para evitar su derrumbamiento. Para extraer el agua contenida, se puede hacer uso de bombas manuales o sistema de bombeo muy simples.



- c. Manantiales: Es una sugerencia del agua que emerge de las rocas y están concentrados en la zona de descarga del agua subterránea, y cuando brota a la superficie, se convierte en un afluente temporal o permanente. Generalmente se realizan galerías y drenes, las cuales son perforaciones horizontales de baja pendiente de sección circular que interceptan el flujo de agua subterránea en el acuífero, permitiendo que el agua salga a la superficie del terreno por gravedad (Instituto Colombiano De Geología Y Minería Ingeominas, 2011).

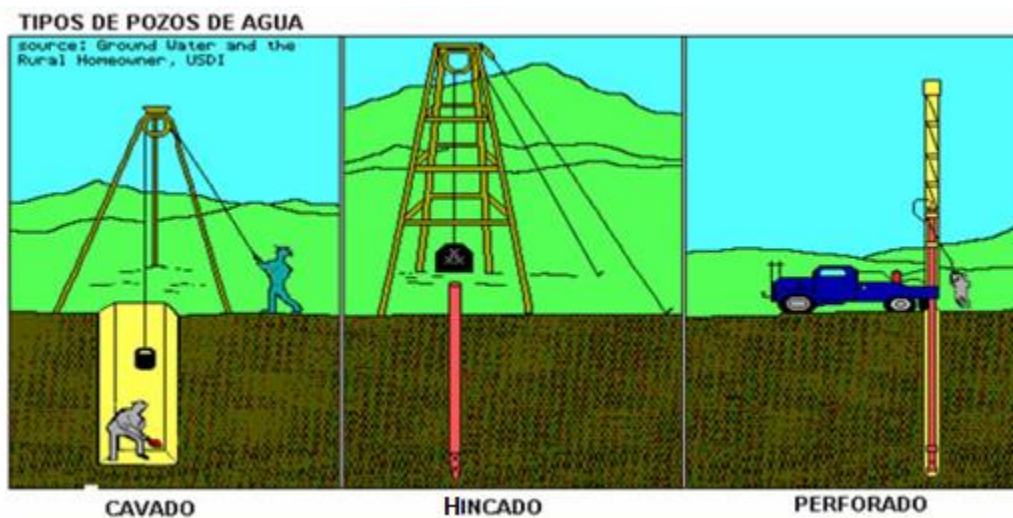


Figura 1. Tipos de pozo

Fuente: (Instituto Colombiano De Geología Y Minería Ingeominas, 2011)



2. OBJETIVOS.

2.1 OBJETIVO GENERAL.

Determinar, comparando la resistencia a la compresión de diferentes especímenes elaborados en laboratorio, la proporción óptima entre agua potable y agua subterránea del municipio de Villanueva-Bolívar para la producción de concreto simple, con el fin de viabilizar técnicamente los proyectos de infraestructura de la región.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1-** Analizar las características físico-químicas del agua potable, agua subterránea y de las combinaciones de estas para identificar cuál de los parámetros como pH, Temperatura, Conductividad, Alcalinidad, Cloruros, Sulfatos, Solidos totales, Dureza, Nitratos y Materia orgánica es el que podría tener mayor incidencia en la resistencia a la compresión del concreto elaborado.
- 2-** Evaluar la resistencia a la compresión de las diferentes combinaciones de agua potable y agua subterránea, con el objeto de identificar la condición óptima.
- 3-** Determinar estadísticamente el grado de incidencia de los parámetros identificados en las mezclas de agua, además, realizar recomendaciones acerca del tratamiento del agua subterránea.



3. ALCANCE

Esta investigación se realizó con el objetivo de hallar la combinación óptima de agua potable con agua subterránea del municipio de Villanueva para su uso en mezclas de concreto sin que afecte su resistencia, todo esto se hizo a través de ensayos y pruebas de laboratorio necesarias.

3.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL

Las muestras del agua subterránea fueron extraídas del municipio de Villanueva, Bolívar el cual se encuentra en las coordenadas $10^{\circ}26'38,9''N$ $75^{\circ}16'23,8''W$ y se ubica 35 km de la ciudad de Cartagena de Indias y los ensayos se realizaron en los laboratorios de la empresa BSV BETON S.A.S y los diferentes estudios, análisis de resultados fueron realizados en los laboratorios de la universidad de Cartagena campus Piedra Bolívar. En la figura 2 se observa más detallada la zona de estudio.

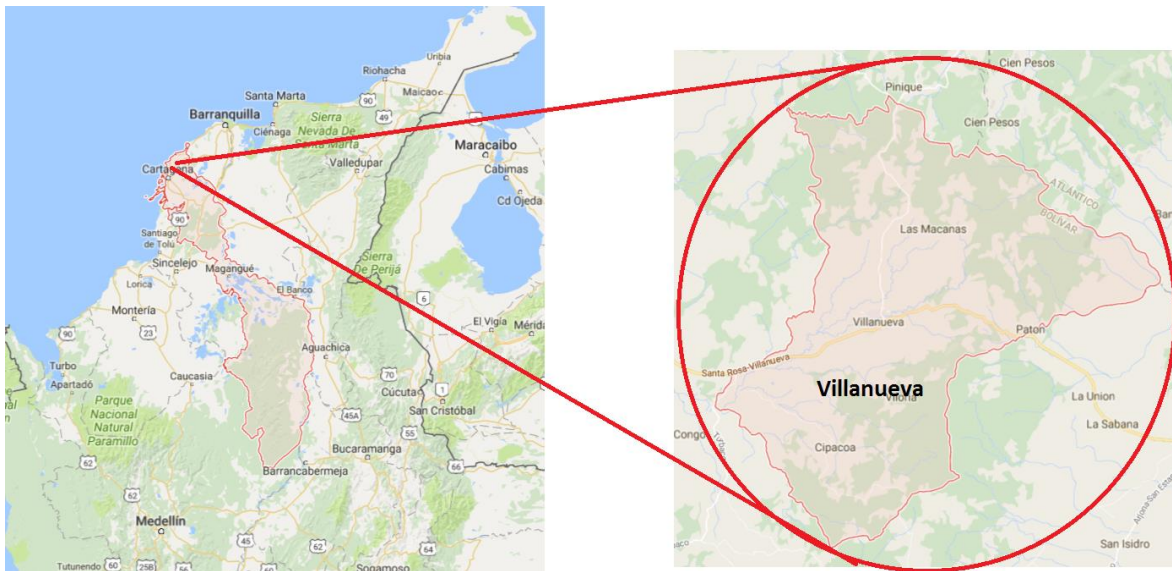


Figura 2. Imagen satelital del municipio de Villanueva, Bolívar, Colombia. (2016)

Fuente: *Google Maps.*

3.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL

Se llevaron a cabo los estudios mencionados en el primer periodo del año 2017, con una duración aproximada de 12 semanas, comprendida entre el mes de febrero y mayo. Se hicieron actividades pertinentes tales como la visita de campo al lugar exacto donde extraer



el agua subterránea, caracterización de las combinaciones de agua, realización de ensayos, etc.

3.3 DELIMITACIÓN CONCEPTUAL

En esta investigación se buscó una proporción óptima entre agua potable y agua subterránea del municipio de Villanueva (Bolívar) de manera en que no se afecte la resistencia a la compresión de las mezclas de concreto realizadas con dicha proporción, favoreciendo a las poblaciones aledañas en donde el agua potable se pueda aprovechar para usos más importantes. El estudio muestra las diferentes variaciones de la resistencia a la compresión cuando se use las distintas proporciones de agua potable y agua subterránea en los cuales se realizaron 6 muestras por cada combinación para realizar los ensayos a los 7,14 y 28 días, los cuales se realizaron con equipos de laboratorio.

Todos los ensayos realizados dieron lugar a comparaciones, que a su vez permitieron establecer parámetros, conclusiones y recomendaciones que podrán usarse para investigaciones futuras.

3.4 PRODUCTO FINAL A ENTREGAR

Con esta investigación se dio a conocer si existe una combinación óptima de agua subterránea con agua potable para la realización de mezclas de concreto sin afectar su resistencia a la compresión.

Se entregó un informe en el que se analizaron todos los ensayos realizados, se hicieron graficas donde se compararon las distintas combinaciones que se realizaron y se concluyó sobre los efectos de la combinación de aguas.

3.5 ASPECTOS QUE NO INCLUYE LA INVESTIGACIÓN

No se tuvo en cuenta las propiedades del concreto como la manejabilidad, slump, permeabilidad, solo se tuvo en cuenta la resistencia a la compresión en concretos de 3000 psi. Con respecto a los agregados de la mezcla no entraron en el estudio, por lo que se utilizaron agregados utilizados para hacer mezclas de uso comercial.



4. METODOLOGIA

Esta investigación es de tipo experimental, donde principalmente se buscó determinar a través de una serie de ensayos las propiedades físicas y mecánicas de los cilindros elaborados con combinaciones de agua potable y agua subterránea, con el fin de darle cumplimiento a los objetivos trazados previamente y darle una solución a la pregunta de investigación.

Para la elaboración de este proyecto se aplicó una metodología que consta de cinco fases: identificación de las fuentes de materiales, elaboración de los cilindros, realización de los ensayos pertinentes, análisis e interpretación de resultados obtenidos, y en última instancia la preparación del informe final que se representa en la figura 3.

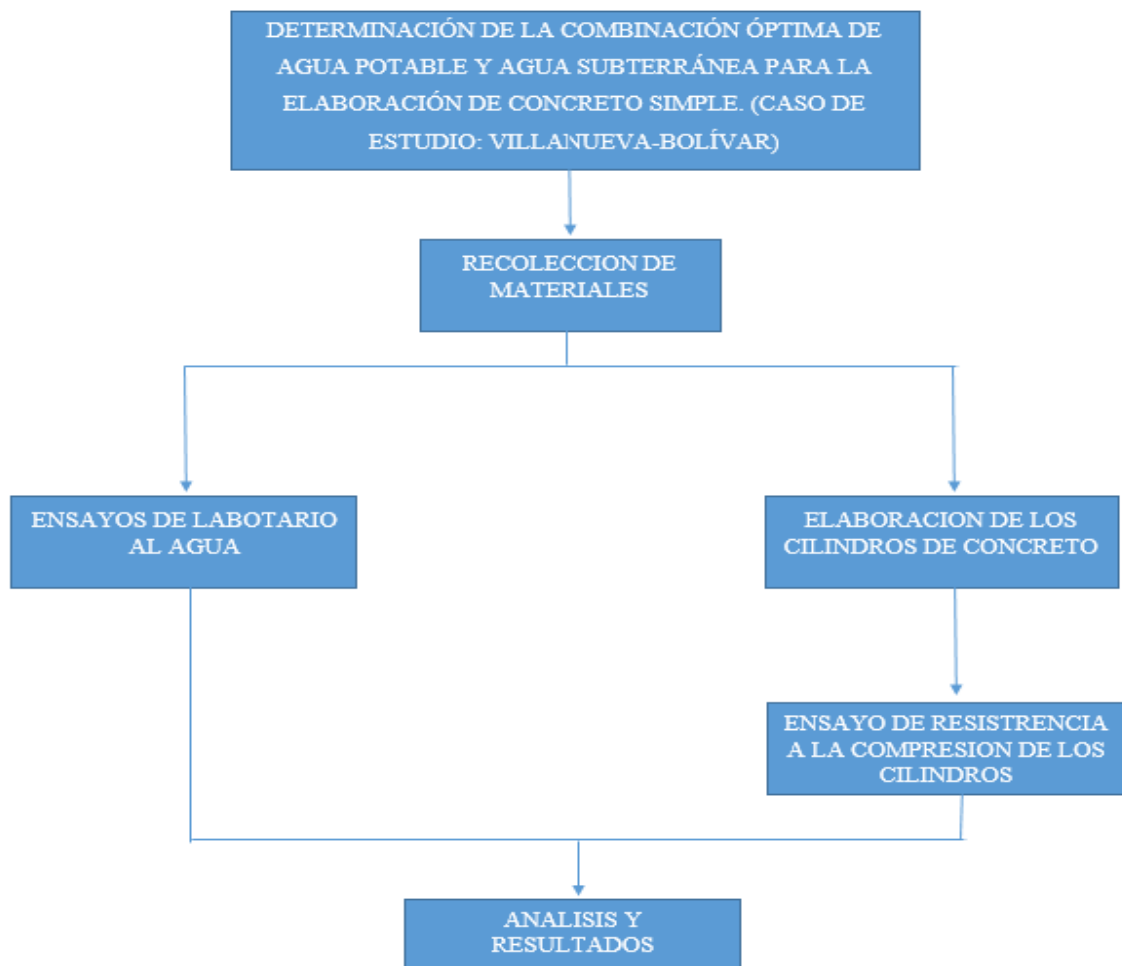


Figura 3. Correspondiente a fases de la metodología

Fuente: Autor



Las variables que se tuvieron en cuenta para esta investigación se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 1. Variables dependiente e independiente para el diseño experimental.

Variable	Nombre	Definición	Unidad
Variable dependiente	Resistencia mecánica	Resistencia que tiene el concreto a la ruptura.	Psi
Variable independiente	Porcentaje de agua subterránea en la mezcla	Cantidad de agua subterránea en la combinación de esta con agua potable	Porcentaje (%)

Fuente: Autor

A continuación, se describirán cada una de las fases planteadas con las que se desarrolló el proyecto de investigación.

4.1 ADQUISICIÓN DE LAS FUENTES DE MATERIALES

Para la elaboración de los cilindros se contó básicamente con tres materiales: agua, cemento y agregados. Como el agua subterránea es la base de este proyecto, esta se adquirió en un pozo ubicado en la Calle 15 #16-25(10°26'37.3"N 75°16'29.7"W) del municipio de Villanueva-Bolívar como se puede observar en la figura 4, en cuanto al cemento y agregados fueron adquiridos en la empresa BSV BETON S.A.S.



Figura 4. Recolección de las muestras.

Fuente: Autor



4.2 ELABORACIÓN DE LOS CILINDROS DE CONCRETO

El método de elaboración de los cilindros fue el indicado en la norma **NTC 550**. Se elaboraron mezclas de concreto con un diseño de mezcla de 1:2:3 y una relación A/C de 0,58; con 100% de agua potable y 100% de agua subterránea como pruebas iniciales como se observa en la figura 5. Después se realizaron combinaciones remplazando el agua potable por agua subterránea en proporciones de 10%, 15%, 20% y 30% para la fabricación de mezclas de concreto como se observa en la Tabla 2, donde también se muestran los valores teóricos de concentración de algunas sustancias para cada combinación, luego se llenaron los moldes en tres capas apisonando cada capa con una varilla dando 25 golpes como se puede apreciar en la figura 6.

Después de la compactación se procedió a retirar el concreto sobrante alisando su superficie y manipulándose lo menos posible para dejar la cara lisa de tal forma que tuviera un buen acabado, los moldes se dejaron quietos, sin tocarse hasta que estos estuvieran endurecidos lo suficiente para resistir el manejo como logra ver en la figura 7, después de 24 horas de su elaboración se quitaron los moldes y se colocaron en ambiente de saturación.



Tabla 2. Combinaciones de agua potable y agua subterránea.

CARACTERÍSTICAS		MUESTRA			
		1	2	3	4
Agua potable Porcentaje		90%	85%	80%	70%
Agua Subterránea Porcentaje		10%	15%	20%	30%
Concentración	Materia Orgánica (mg/l)	19,18	28,39	37,6	56,03
	Sulfatos (mg/l)	38,28	52,82	67,36	96,44
	Cloruros (mg/l)	100,53	132,44	164,36	228,19
	Dureza (mg/l)	185,4	255,1	324,8	464,2
	Conductividad (us/cm)	591,44	816,36	1041,28	1491,12

Fuente: Autor

Los porcentajes de las combinaciones de aguas se tomaron como punto de partida teniendo presente los resultados del proyecto de grado evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones (Anaya Suarez & Suarez Torres, 2016), y del proyecto efectos de la materia orgánica del agua en la resistencia del concreto (Albis Mesa, 2016), donde se concluyó que al aumentar los porcentajes de agua distinta a la potable los resultados de la resistencia a compresión de los cilindros de concreto no cumplen con lo estipulado.



Figura 5. Elaboración de la mezcla de concreto

Fuente: Autor.



Figura 6. Elaboración de las probetas de concreto.

Fuente: Autor.



Figura 7. Probetas de concreto para ensayos a la compresión

Fuente: Autor.

4.3 REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS

Para esta fase se llevaron a cabo los ensayos físicos y mecánicos propuestos tanto en la norma NSR-10 como en las Normas Técnicas Colombianas NTC del ICONTEC. Esto con el propósito de tener sus propiedades y poder hacer una comparación entre los resultados obtenidos y los aceptados en dichos documentos. Los cilindros serán ensayados de acuerdo a la norma **NTC 673** con probetas de dimensiones 4” por 8” con base en la norma **NTC 550**.

Se procedió a realizarse ensayos de resistencia a los 7, 14 y 28 días a los cilindros para cada combinación, después que se tuvieron los resultados de estos ensayos se compararon para estimar si la resistencia obtenida del concreto fabricado con alguna de las combinaciones es óptima o no.

Estos ensayos fueron realizados en los laboratorios de la Universidad de Cartagena y en las instalaciones del laboratorio de la empresa BSV BETON S.A.S.

4.3.1 Ensayos de laboratorio al agua

Las muestras de agua fueron analizadas en los laboratorios de la facultad de Ciencias Farmacéuticas en la sede de Zaragocilla, en la Tabla 3 se indica el método utilizado para la determinación de sus parámetros (pH, Conductividad, Alcalinidad, Cloruros, Sulfatos, Solidos totales, Dureza, Nitratos y Materia orgánica.)



Tabla 3. Análisis físico-químicas de las muestras de agua

Parámetro	Método
DBO (mg/l)	Reflujo abierto
Sulfatos (mg/l)	Nefelometría
Cloruros (mg/l)	Argento métrico(Titulación)
Dureza (mg/l)	Titulo métrico con EDTA
Conductividad (us/cm)	Electrométrico
pH	Potencio métrico
Nitratos (mg/l)	Espectroscopia UV-BIS
Solidos Totales (mg/l)	Gravimetría

Fuente: Autor.

4.3.2 Ensayo de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto (NTC 673)

Los ensayos de compresión a los cilindros de concreto de 3000 psi se realizaron a las edades de 7, 14 y 28 días por medio de una máquina de compresión en las instalaciones del laboratorio de la empresa BSV BETON S.A.S, apoyándonos en la NTC 673.

Se empezó el ensayo tan pronto como el cilindro de concreto fue sacado del curado conservando sus condiciones de humedad, se limpiaron las superficies de los soportes (bandas de neopreno) de la máquina, tanto el inferior como el superior asegurando de que no haya ningún tipo de sucio que impida el pleno contacto entre las bandas y el cilindro. Se colocó el espécimen en la maquina alineándolo y verificando que esté estuviera centrado, se verifico que el indicador de carga estuviera en cero, seguido de esto se puso la maquina en movimiento de una manera lenta hasta que el bloque tenga contacto con el plato de compresión de la prensa, aplicando una carga de manera continua (sin choque) manteniendo una velocidad constante durante el ensayo, la carga sobre el bloque se aplicó hasta que este falló por completo como se observa en la figura 8, luego se registró la máxima carga soportada por el cilindro. Por último, la resistencia a la compresión del espécimen se calculó



dividiendo la máxima carga alcanzada durante el ensayo entre el área de la sección transversal del espécimen.



Figura 8. Ensayo a la compresión del concreto.

Fuente: Autor.

4.4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez obtenidos los datos de la fase anterior, se procedió a efectuar el análisis de los mismos; se utilizaron herramientas como Excel para facilitar el desarrollo de todo el proyecto. En esta fase se analizaron los datos obtenidos de los ensayos realizados a los cilindros, este análisis dio bases para realizar el estudio comparativo que permitió establecer si el concreto elaborado con alguna de las combinaciones de agua potable y agua subterránea cuenta con las características y propiedades necesarias para ser utilizado en la construcción de obras civiles.



5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de efectuar los ensayos de laboratorio pertinentes para el desarrollo de la investigación se obtuvieron una serie de resultados que se consignan a continuación.

5.1 RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL AGUA

Durante las caracterizaciones o ensayos realizados a cada una de las muestras de agua subterránea, potable y distintas combinaciones entre éstas, se obtuvieron resultados que serán mostrados a continuación en la Tabla 4 y se comparan con los límites permitidos por la norma NTC 3459 según Resolución 2115 de 2007 para Agua Potable, como soporte para determinar la posible utilización en mezclas de concreto de las muestras estudiadas en esta investigación. El agua subterránea utilizada para realizar dichas caracterizaciones fue sustraída de un pozo del municipio de Villanueva-Bolívar.

Tabla 4. Propiedades fisico-químicas de las muestras de agua.

Muestra	1	2	3	4	5	6	Norma según Resolución 2115 de 2007 para Agua Potable	
Agua potable	100%	90%	85%	80%	70%	-		
Agua Subterránea	-	10%	15%	20%	30%	100%		
Concentración	DBO (mg/l)	0,23	18,99	27,68	36,15	48,82	167	5
	Sulfatos (mg/l)	7,51	35,33	47,62	59,64	77,08	247	250
	Cloruros (mg/l)	36,70	87,07	107,39	127,41	154,63	445	250
	Dureza (mg/l)	46,00	140,82	181,02	220,46	276,06	840	300
	Conductividad (us/cm)	144,52	598,19	796,84	991,22	1271,48	4026	1000
	pH	7,02	7,10	7,10	7,12	7,16	7,32	6,5 - 9
	Nitratos (mg/l)	0,11	0,70	0,96	1,22	1,60	5,23	10
	Solidos Totales (mg/l)	64,30	314,29	425,04	533,32	690,65	2220	5000
	Alcalinidad (mg/l)	32,00	48,06	52,85	57,70	62,56	140	135

Fuente: Autor.



El agua utilizada para la preparación de la mezcla de concreto debe ser clara y de apariencia limpia, libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, sales, materiales orgánicos y otras sustancias que puedan ser dañinas para el concreto o el refuerzo. Si contiene sustancias que le produzcan color, olor o sabor inusuales, objetables o que causen sospecha, el agua no se debe usar a menos que existan registros de concretos elaborados con ésta, o información que indique que no perjudica la calidad del concreto. (NTC 3459)

Comparando los resultados de los ensayos realizados a cada una de las muestras de agua con lo anteriormente dicho, se puede deducir que el agua subterránea del municipio de Villanueva-Bolívar no se encontró en condiciones óptimas para su utilización en obras de ingeniería, ya que algunos de los resultados arrojados por las caracterizaciones realizadas se encuentran por fuera de los límites permitidos por las normas para la realización de mezclas de concreto, como DBO, Cloruros, Conductividad, Dureza.

Cabe destacar que el estado natural en que fue encontrada el agua subterránea no fue el mejor, ya que se notaba un agua muy turbia y de color no agradable a la vista ni conveniente para las mezclas de concreto, lo cual fue corroborado en los análisis realizados a dicha agua, siendo esto una limitante puesto que no sería un agua subterránea común, sino que esta se encuentra contaminada.

Al combinar el agua subterránea con agua potable los parámetros físico-químicos de esta mejoran, ya que, como se puede notar en la Tabla 4, la mayoría de las concentraciones para las combinaciones se encuentran dentro de los valores máximos permitidos por la norma según la resolución 2115 de 2007 para agua potable, como viable para la elaboración de concreto a excepción de la conductividad y el DBO los cuales pasan el rango que nos ofrece la norma lo cual nos indica que disminuirá la resistencia a la compresión del concreto, pero esto solo puede ser verificado con los ensayos realizados.

5.2 RESULTADOS DEL ENSAYO A LOS CILINDROS

Las pruebas para determinar la resistencia del concreto se obtuvieron utilizando la máquina universal, que está compuesta por un equipo principal, una fuente hidráulica, un controlador y un sistema de control computarizado. Su placa móvil es accionada por energía eléctrica, hasta lograr ajustar la zona con la compresión deseada. Las probetas cilíndricas ensayadas fueron de 4 pulg por 8 pulg para una resistencia de 3000psi.



Tabla 5. Ensayos a compresión para resistencia de 3000psi

EDAD (DIAS)	MUESTRA	RESISTENCIA REQUERIDA (PSI)	RESISTENCIA OBTENIDA (PSI)			PROMEDIO (PSI)
			CILINDRO #1	CILINDRO #2	CILINDRO #3	
7	AP 100%	1800	1875	1860	1871	1869
	AP 90%-10% AS		1793	1774	1789	1785
	AP 85%-15% AS		1679	1732	1701	1704
	AP 80%-20% AS		1677	1695	1680	1684
	AP 70%-30% AS		1567	1579	1572	1573
	100% AS		1318	1321	1326	1322
14	AP 100%	2400	2367	2452	2407	2409
	AP 90%-10% AS		2371	2396	2410	2392
	AP 85%-15% AS		2375	2392	2385	2384
	AP 80%-20% AS		2369	2360	2358	2362
	AP 70%-30% AS		2227	2232	2236	2232
	100% AS		2089	2081	2074	2081
28	AP 100%	3000	2993	2982	3013	2996
	AP 90%-10% AS		2984	2979	2893	2952
	AP 85%-15% AS		2874	2965	2972	2937
	AP 80%-20% AS		2910	2928	2915	2918
	AP 70%-30% AS		2647	2636	2629	2637
	100% AS		2345	2337	2340	2341

Fuente: Autor



A continuación, se muestran las gráficas donde se presentan las barras comparativas de las resistencias obtenidas de los cilindros de concreto de 3000 PSI elaborados con el agua potable, agua subterránea, y las diferentes combinaciones de estas.

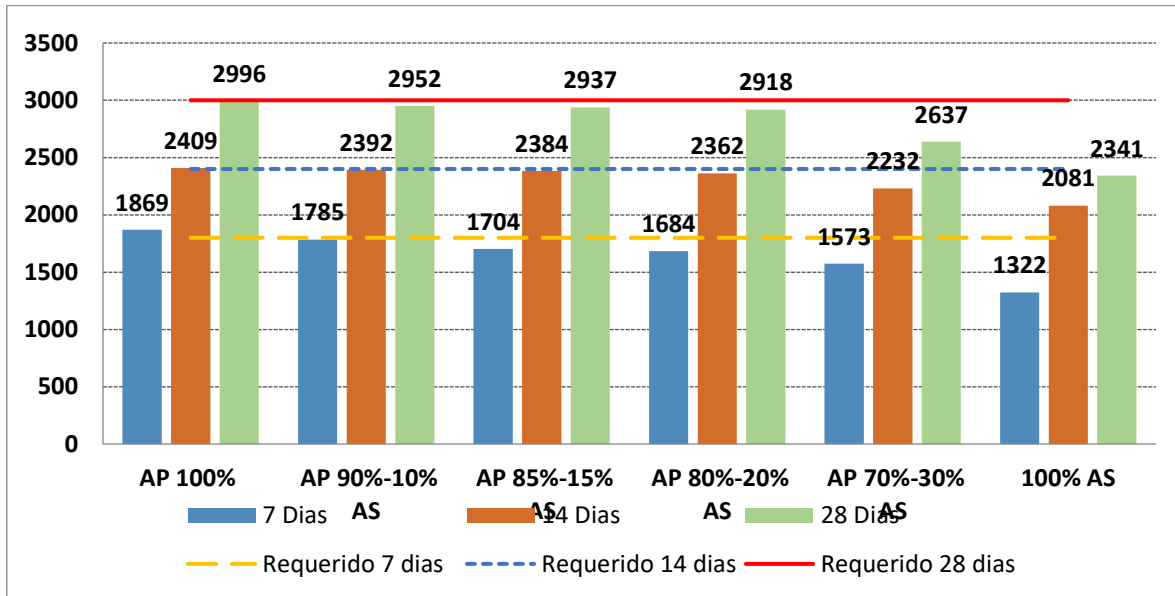


Figura 9. Resistencia a los 7, 14 y 28 días para cada combinación (PSI).

Fuente: Autor

La Figura 9 muestra una comparación de los resultados obtenidos a los 7, 14 y 28 días de la resistencia a la compresión del concreto con diferentes combinaciones de agua potable y agua subterránea, Analizando los resultados mostrados en la gráfica podemos deducir que la resistencia tuvo un comportamiento inversamente proporcional con respecto al agua subterránea, es decir que entre más agua subterránea tenía la mezcla, la resistencia a la compresión disminuía.

En esta gráfica se muestra que para un concreto elaborado con agua potable las resistencias a los 7, 14 y 28 días es de 1869, 2409 y 2996 psi respectivamente, mientras que para las muestras elaborados con 100% agua subterránea las resistencias obtenidas fueron de 1322, 2081 y 2341psi, con una disminución de la resistencia en comparación del agua potable de 28%, 13% y 21% respectivamente. Dicho cambio decreciente se debe a las concentraciones de los parámetros estudiados.



En la Figura 10 se observa que en las tres primeras combinaciones de agua potable y agua subterránea (90%-10%, 85% - 15%, 80%-20%) las resistencias a los 28 días, son decrecientes cuando se aumenta el porcentaje de agua subterránea, estas tienen unos resultados mayores del 90% de la resistencia a la compresión que la muestra patrón elaborada con el 100% de agua potable, por lo tanto, con estas combinaciones se puede elaborar un concreto apto para la construcción.

Se puede notar que en la mezcla de 70% de agua potable y 30% de agua subterránea la disminución de la resistencia es drástica, más del 12% en comparación con la muestra patrón y de esto podemos concluir que es debido a las altas concentraciones de los parámetros estudiados en el agua subterránea.

Analizando algunos de los parámetros estudiados tenemos que el sulfato genera una reducción en la resistencia mecánica del concreto debido a la pérdida de cohesión en la pasta de cemento, lo anterior también conlleva una pérdida de adherencia entre la pasta y las partículas de los agregados (Gómez, 2011). Los cloruros aunque en las mezclas de concreto no afectan directamente su resistencia a la compresión, lo hacen indirectamente al ocasionar pérdida de trabajabilidad, principalmente en el concreto de alto desempeño. (Guzman Gonzalez & Lopez Calvo, 2007). Cerca de 2,000 mg/L de partículas de arcilla o limos suspendidos en el agua de mezclado se pueden tolerar, cantidades más altas pueden no afectar la resistencia, pero sí influir en otras propiedades del concreto (Vázquez Rojas, 2001).

Por otro lado, en el año 2001 en la ciudad de México se realizó una investigación donde se realizaron pruebas de resistencia en cilindros de concreto fabricado con aguas tratadas de diferentes lugares con características físico-químicas como se muestra en la Tabla 6, arrojando resistencias de 2560, 2375 y 2916 psi para la muestra 1, 2 y 3 respectivamente (Vazquez, Gonzales, Rocha, & Flors, 2001). Se observa que para las dos primeras muestras las resistencias obtenidas fueron bajas esto debida a las altas concentraciones de los parámetros estudiados principalmente la conductividad y los sólidos totales, mientras que la muestra 3 la resistencia fue optima a pesar de tener altas concentraciones de alcalinidad, sulfatos y cloruros, de esto se deduce que estos parámetros no afectan significativamente la resistencia a la compresión del concreto (Vázquez Rojas, 2001).



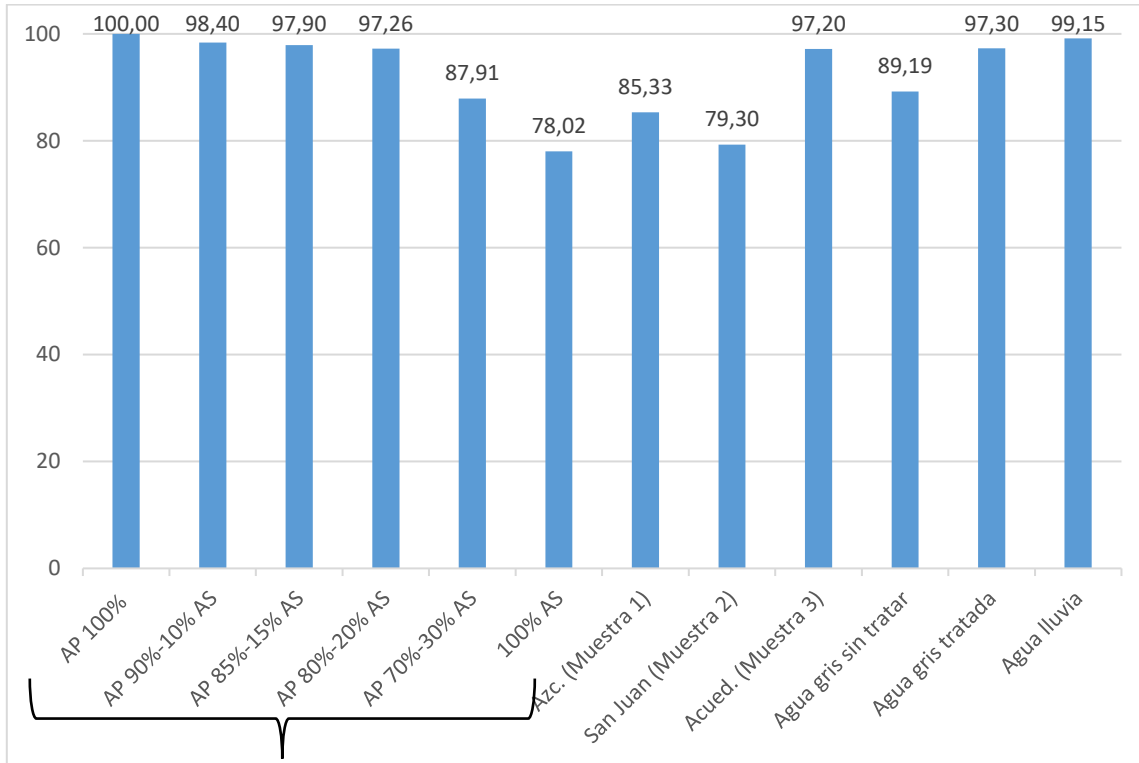
En noviembre del 2015 en la ciudad de Medellín – Colombia se aborda la confección del concreto con aguas lluvia y se compara su desempeño con respecto a los elaborados con agua potabilizada, empleada convencionalmente. Las muestras confeccionadas se estudiaron en cuanto a la resistencia a compresión y caracterizando el agua involucrada, analizando los parámetros de pH, Sulfatos, Cloruros, y Solidos totales como se puede observar en la Tabla 6. Los resultados obtenidos en este estudio fueron de una resistencia a los 28 días de 4023psi y 3989psi para el agua potable y el agua lluvia respectivamente. Analizando los resultados se concluyó que es factible la utilización del agua lluvia para la elaboración de concreto, se puede notar que el agua lluvia no afecta la resistencia debido a que las concentraciones de los parámetros analizadas son bajas y no representen ningún inconveniente (Bedoya Montoya & Medina Restrepo, 2016).

Para el año 2016 el Centro de Investigación Científica de la Real Sociedad Científica realizó un estudio para la elaboración de concreto con agua gris y agua gris sin procesar y agua potable, para lo que se realizó un análisis del pH, cloruro, solidos totales, DBO y sulfatos como se observa en la Tabla 6, obteniendo una resistencia a la compresión a los 28 días de 4786psi, 5221psi y 5366psi respectivamente. Se puede notar que para el agua gris sin tratar y debido a las concentraciones de los parámetros del agua estudiada la resistencia de esta es menor que el 90% de la muestra patrón como se observa en la gráfica 2, concluyendo que estos parámetros tienen un efecto significativo en la reducción del concreto. Como también se pudo notar en los especímenes realizados en el presente trabajo de grado con la combinación de 70% agua potable y 30% agua subterránea y 100% agua subterránea donde también se redujo considerablemente la resistencia del concreto. Sin embargo, aunque en la investigación se obtuvieron resistencias superiores a la de esta investigación, se debe a que su muestra patrón es de 5366psi mientras que para esta investigación fue de 3000psi. (K.S. Al-Jabri, 2016)

Por lo tanto, se logra notar la posibilidad de utilizar un agua distinta a la potable para la elaboración de concreto, puesto que las resistencias obtenidas se encontraban muy cercanas a la muestra patrón cuando las concentraciones de los parámetros físico-químicas de algunas de estas no eran muy altas. De ser esto posible, se generaría un menor impacto ambiental, y



contribuiría a la utilización de otro tipo de agua en aquellos lugares donde no existe un acueducto.



Caso de Estudio: Agua Subterránea
Villanueva-Bolívar.

Figura 10. Comparación entre la resistencia expresada en porcentajes, a los 28 días con la muestra patrón para cada tipo de agua

Fuente: Autor



Tabla 6. Comparación de las propiedades físico-químicas de distintas aguas.

		Agua potable - Agua subterránea - Villanueva-Bolívar						Azc. (Mtra.1)	San Juan (Mtra. 2)	Acued. (Mtra. 3)	Agua gris sin tratar	Agua gris tratada	Agua lluvia
		100%	90%	85%	80%	70%	-						
		-	10%	15%	20%	30%	100%						
Concentración	DBO (mg/l)	0,23	18,99	27,68	36,15	48,82	167	73,85	63	----	900	6,97	----
	Sulfatos (mg/l)	7,51	35,33	47,62	59,64	77,08	247	----	----	235	222	137	5
	Cloruros (mg/l)	36,7	87,07	107,39	127,41	154,63	445	----	230	125	243	208	16,3
	Dureza (mg/l)	46	140,82	181,02	220,46	276,06	840	----	----	----	----	----	----
	Conductividad (us/cm)	144,52	598,19	796,84	991,22	1271,48	4026	718	1183	----	----	----	----
	pH	7,02	7,1	7,1	7,12	7,16	7,32	7,7	7,6	----	7,5	7,9	5,1
	Nitratos (mg/l)	0,11	0,7	0,96	1,22	1,6	5,23	----	----	----	----	----	----
	Solidos Totales (mg/l)	64,3	314,29	425,04	533,32	690,65	2220	492,6	1065	----	1416	804	29
	Alcalinidad (mg/l)	32	48,06	52,85	57,7	62,56	140	250,68	379	634,78	----	----	----
Resistencia 28 días (psi)		2996	2952	2937	2918	2637	2341	2560	2379	2916	4786	5221	3990

Fuete: Autor



Tabla 7. Coeficiente de correlación

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN ENTRE LAS RESISTENCIA DEL CONCRETO Y LOS DISTINTOS TIPOS DE CONCENTRACIÓN DE LAS SUSTANCIAS.										
Coeficiente de correlación (psi; concentraciones)		-0,9363415	-0,93495447	-0,93217435	-0,93370742	-0,93468354	-0,96653241	-0,93557992	-0,93503053	-0,92155593
Porcentaje	Resistencia (psi)	DBO (mg/l)	Sulfatos (mg/l)	Cloruros (mg/l)	Dureza (mg/l)	Conductividad (us/cm)	pH	Nitratos (mg/l)	Sólidos Totales (mg/l)	Alcalinidad (mg/l)
100% AS	2341	167	247	445	840	4026	7,32	5,23	2220	140
90% AP- AS 10%	2952	18,99	35,33	87,07	140,82	598,19	7,1	0,7	314,29	48,06
85% AP - AS 15%	2937	27,68	47,62	107,39	181,02	796,84	7,1	0,96	425,04	52,85
80% AP - AS 20%	2918	36,15	59,64	127,41	220,46	991,22	7,12	1,22	533,32	57,7
70% AP - AS 30%	2637	48,82	77,08	154,63	276,06	1271,48	7,16	1,6	690,65	62,56

Fuente: Autor

En la Tabla 7, muestra las diferentes concentraciones físico-químicas de agua y las resistencias obtenida a los 28 días, además muestra los diferentes coeficientes de correlación comparando la resistencia con cada una de las concentraciones físico-químicas. Como resultado se muestra que las variables se correlacionan en sentido inverso.



6. CONCLUSIONES

Después de realizar los ensayos propuestos en nuestro trabajo de investigación, como lo fueron los estudios físico-química del agua y los ensayos de resistencia a la compresión de muestras de concreto, podemos concluir:

- Las tres primeras combinaciones de agua potable y agua subterránea (90%-10%, 85% - 15%, 80%-20%) obtuvieron unas resistencias a la compresión muy cercanas que la muestra patrón de 100% agua potable, las cuales fueron 1,6%, 2,1 % y 2,7% respectivamente, mientras que la combinación de 70% agua potable – 30% agua subterránea tuvo una reducción de la resistencia en comparación con la muestra patrón del 13%, por lo que se puede concluir que se puede elaborar un concreto apto para la construcción con cualquiera de las 3 primeras combinaciones, pero como el objetivo de este proyecto de investigación es el mayor aprovechamiento del agua subterránea se recomienda usar la combinación de 80% agua potable – 20% agua subterránea, la que produce una reducción en la resistencia a los 28 días del 2,7%.
- La resistencia a la compresión disminuía en cuanto mayor era el porcentaje de agua subterránea que se añadía a la mezcla, esto se debe a las concentraciones de los parámetros presentes en el agua de amasado como la conductividad, DBO y los sólidos totales, que ocasionaban un efecto negativo en la resistencia a compresión de la muestra.
- Comparando los resultados obtenidos con otros estudios, se encontró que la resistencia del concreto a la compresión elaborado con las dos primeras muestras de agua tratada tuvo una disminución debido a las concentraciones principalmente de sólidos totales y conductividad, dichos parámetros también son altos en las combinaciones de agua de la presente investigación que no tuvieron una resistencia mayor al 90% de la muestra patrón, mientras que la tercera muestra que contenía concentraciones altas de cloruro, sulfatos y alcalinidad su resistencia fue cercana a la muestra patrón, lo mismo sucedió con las tres primeras combinaciones de la actual



investigación, deduciendo que si es posible realizar concreto con agua diferente a la potable y obtener resistencia cercanas a los 3000 psi.

- Para las investigaciones realizadas en los años 2015 y 2016 las resistencias para los concretos elaborados con agua lluvia y agua residual tratada respectivamente se encontraron cercanas a la muestra patrón, por lo que sí es posible realizar concreto con agua diferente a la potable mientras las concentraciones de los parámetros físico-químicos de estas como Sulfatos, Cloruros y Sólidos totales no sean muy altas.
- Mediante el Coeficiente de Correlación se determinó el grado de incidencia de las diferentes concentraciones físico-químicas presentes en las diferentes combinaciones de agua, las de mayores incidencias son: pH: - 0,9665; Solidos Totales: -0,9350; son correlaciones inversas, es decir, que el aumento de concentración de estas sustancias disminuyen la resistencia final del concreto.
- Este proyecto es importante porque busca disminuir el uso del agua potable para la preparación del concreto utilizando combinaciones de agua potable y agua subterránea, generando un menor impacto ambiental, y contribuir con las comunidades permitiendo la utilización del agua subterránea en aquellos lugares donde no se cuenta con acueducto o el volumen de agua potable suministrada no es permanente. Además, podría servir de base para futuras investigaciones donde busquen analizar los parámetros físico-químicos del agua subterránea, hasta llegar a un concreto con agua subterránea que se pueda utilizar en la industria de la construcción.



7. RECOMENDACIONES

- De acuerdo a los datos obtenidos del estudio del agua subterránea para la elaboración del concreto, se sugiere realizar investigaciones independientes para cada uno de los parámetros físico-químico del agua subterránea, con el fin de conocer cómo afectan éstos la resistencia del concreto.
- Aunque es posible obtener un concreto de 3000 psi con combinaciones de agua potable y agua subterránea (90%-10%, 85% - 15%, 80%-20%), es recomendable realizar ensayos en el concreto reforzado, y verificar si ésta afecta o no el acero estructural.
- Por otro lado, es importante realizar investigaciones que se enfoquen en la durabilidad del concreto preparado con estas combinaciones de agua potable y agua subterránea, ya que es parte fundamental en el proceso constructivo.
- Después de realizar este proyecto de investigación, se recomienda que trabajos como esté, que utilizo agua del municipio de Villanueva-Bolívar se realicen en otros municipios, ya que proveen a la población de una información importante de cómo aprovechar el agua subterránea en la realización de obras civiles.



8. BIBLIOGRAFÍA

- Abad, O., & Tous, J. (2013). *Análisis comparativo del comportamiento en la disminución de la resistencia de concretos de 3.000 y 4.000 psi con diferentes marcas de cemento de la región, preparados con agua del río Magdalena en el municipio de Calamar departamento de Bolívar*. Trabajo de Grado, Universidad de Cartagena, Cartagena. Recuperado el 12 de Diciembre de 2015
- Albis Mesa, Y. (2016). *Efectos de la materia organica del agua en la resistencia del concreto*. Trabajo de Grado, Cartagena. Recuperado el 2 de julio de 2016
- Alvarez Hadechiny, C. A., & Manjarres Vergara, K. (2009). *Influencia de las características del agua de mezclado en la resistencia del concreto de 3000 y 4000 psi*. Trabajo de Grado, Cartagena. Recuperado el 4 de Noviembre de 2015
- Ana Velezmoro, H. A. (2014). Influencia del nitrato presente en el agua de mezclado sobre las propiedades físicas del concreto. *Facultad de Ingenieria Universidad Central de Venezuela vol.29 no.2 Caracas* .
- Anaya Suarez, E. J., & Suarez Torres, O. D. (2016). *Evaluación de la resistencia para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones*. Trabajo de GRado, Cartagena. Recuperado el 25 de Agosto de 2016
- Arias, J. A. (14 de 01 de 2009). *El Concreto*. Recuperado el 17 de 08 de 2017, de <http://elconcreto.blogspot.com.co/2009/01/el-agua-del-concreto.html>
- Arraez Sanchez, L. (2013). *Correlacion Entre Los Parametros Fisisoquimicos Y La Resistencia A La Compresion Del Concreto Elaborado Con Agua Del Rio Magdalena*. Trabajo de Grado, Cartagena. Recuperado el 4 de Noviembre de 2015
- Bedoya Montoya, C. M., & Medina Restrepo, C. A. (2016). Concrete prepared with rain water as an environmental contribution from the construction. *Facultad De Ingenieria*.
- Burachat Chatveera, Pusit Lertwattananuruk , & Narongsak Makul. (2006). Effect of sludge water from ready-mixed concrete plant on properties and durability of concrete. *Cement and Concrete Composites*, 5. Recuperado el 14 de Enero de 2016
- Castellon Corales, H., & De La Ossa Arias, K. (2013). *Estudio Comparativo De La Resistencia A La Compresión De Los Concretos Elaborados Con Cementos Tipo I Y*



- Tipo III, Modificados Con Aditivos Acelerantes Y Retardantes*. Trabajo de Grado, Cartagena. Recuperado el 15 de Febrero de 2016
- Charris Rodriguez, F. J. (2002). *Diseño de concreto de alta resistencia mecánica utilizando cemento tipo III*. Cartagena. Recuperado el 14 de Marzo de 2016
- Gómez, E. L. (12 de Diciembre de 2011). *360° EN CONCRETO*. Recuperado el Abril de 2017, de <http://blog.360gradosenconcreto.com/lo-que-debes-saber-sobre-el-ataque-de-sulfato-en-el-concreto/>
- Guzman Gonzalez, O., & Lopez Calvo, H. (2007). *Propiedad en estado endurecido del Concreto preparado con agua contaminada de Cloruros*. Oaxaca. Recuperado el 25 de Abril de 2016
- Holcim. (2015). *Holcim*. Recuperado el 17 de 03 de 2016, de <http://www.holcim.com.co/productos-y-servicios/concretos-y-morteros.html>
- Instituto Colombiano De Geología Y Minería Ingeominas. (2011). *Las Aguas Subterráneas Un Enfoque Practico*. Bogota. Recuperado el Mayo de 2016
- Instituto Mexicano Del Cemento Y Del Concreto. (2004). *Propiedades del Concreto*. Recuperado el Marzo de 2016
- INVIAS. (2007). *Artículo 630-07 - Concreto Estructural*. Popayan, Colombia: Norma INVIAS. Recuperado el 5 de Mayo de 2016
- K.S. Al-Jabri, A. A.-S.-K. (2016). Effect of using Wastewater on the Properties of High Strength Concrete. *procedia Engineering*, 370-376.
- Linier, D. (1994). *Tecnología y propiedades mecánicas del hormigón*. 2da. Recuperado el 4 de Junio de 2016
- NTC 3459. (s.f.). Agua Para La Elaboración De Concreto. *ICONTEC*.
- Orozco Orozco y Palacio Bonfante, B. y. (2015). *Influencia de las características del agua subterránea en la resistencia de las unidades de mampostería del concreto*. Trabajo de grado, Villanueva-Bolívar. Recuperado el 25 de Agosto de 2016
- Otálvaro, M. V. (2011). Las aguas subterráneas un enfoque practico. En C. O. Pimient, *Las aguas subterráneas un enfoque practico*. Bogota: Ingeominas. Recuperado el 14 de Julio de 2016
- Rivera L., G. A. (2010). *Tecnología del Concreto y Mortero*. Popayan: Universidad del Cauca. Recuperado el 19 de Febrero de 2017



- Sanchez Arraez, L. J. (2013). *Correlación Entre Los Parámetros Fisicoquímicos Y La Resistencia A La Compresión Del Concreto Elaborado Con Agua Del Rio Magdalena*. Trabajo de Grado, Cartagena. Recuperado el 15 de Febrero de 2016
- Sanchez de Guzmán. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. SantaFe de Bogotá: Bhandar Editoriales Ltda. Recuperado el 25 de Septiembre de 2016
- Sanchez, N. L. (09 de Abril de 2012). *Civilgeek ingenieria y construccion*. Recuperado el 15 de Marzo de 2016, de Civilgeek: <http://civilgeeks.com/2012/04/09/aditivos-del-concreto/>
- Solis Carcaño, R., Moreno, E., & Arjona Otero, E. (2012). Evaluación del concreto con bajas relaciones agua/cemento y agregados calizos de alta absorción. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2015
- Universidad Nacional del Nordeste. (2015). *Cemento Portland*. Resistencia, Provincia del Chaco: Universidad Nacional del Nordeste. Recuperado el 15 de Julio de 2016
- Vázquez Rojas, A. (Abril de 2001). Elaboración de concretos con agua tratadas. *Revista Construcción y Tecnología*. Recuperado el Marzo de 2017, de Elaboración de concretos con agua tratadas.
- Vazquez, A., Gonzales, F., Rocha, L., & Flors, A. (Abril de 2001). *Elaboración de concreto con agua tratada*. Recuperado el 05 de junio de 2016, de <http://www.imcyc.com/revista/2001/abril2001/concretos.htm>