

**INFLUENCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS HIDRÁULICOS**



**JUAN CAMILO GALVAN ROMERO**

**ANDREA CAROLINA GUZMAN JULIO**

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL**

**BARRANQUILLA**

**2020**

**INFLUENCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA EN LA  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS HIDRÁULICOS**

**JUAN CAMILO GALVÁN ROMERO**

**ANDREA CAROLINA GUZMAN JULIO**

**DIRECTOR**

**HEIDIS PATRICIA CANO CUADRO PhD.**

**CODIRECTOR**

**ADRIANA MATTOS RODRIGUEZ**

**PROYECTO PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL EN INGENIERIA  
CIVIL**

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL**

**BARRANQUILLA**

**2020**

NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

(nombre en minúscula)

PRESIDENTE DEL JURADO

---

(nombre en minúscula)

JURADO

---

(nombre en minúscula)

JURADO

### **Dedicatoria**

Agradecemos a Dios todo poderoso, por permitirnos trabajar en este proyecto, darnos sabiduría, tiempo, y disciplina para llevar a cabo esta investigación.

A la Ing. Yoleimy Ávila, por habernos entusiasmado a realizar el proyecto de grado, por su dedicación, orientación y asesoramiento en la elaboración del proyecto.

Al Ing. Fabricio De Paoli por su disponibilidad, apoyo y colaboración prestada.

A la Ing. Heidis Cano, por su orientación, apoyo y colaboración constante.

A la Universidad de la costa por su colaboración y disposición con los equipos para llevar a cabo los ensayos.

A la empresa Ultracem de Colombia, por el suministro de material para llevar a cabo los ensayos experimentales.

Por último agradecemos a todos esos compañeros que en algún momento dedicaron un poco de su tiempo y conocimiento para el desarrollo del proyecto.

### **Agradecimientos**

Primeramente, a Dios, a mi familia, por su apoyo incondicional y constante, mi madre que siempre tiene respuestas sabias a mis dudas, mis amigos por darme ánimo y no dejarme desfallecer, mi compañero de vida quien siempre apoya mis proyectos, mi bebe que en estos últimos meses me dio la fuerza para poder culminar con esta meta.

Gracias a mis profesores, compañeros y amigos en la Universidad de la Costa, por brindarme un poco de su conocimiento, tiempo y dedicación, quienes día a día aportan grandes cosas para mi vida como profesional y como persona.

Insistan, persistan y nunca desistan por más duro o difícil que sea el camino o la situación.

*Andrea Carolina Guzman Julio*

A Dios primero que todo, porque vimos su ayuda en medio de cada dificultad que se nos presentó, a mi familia por mantenerme sano para que cumpliera con mis labores, a mis profesores de la Universidad De La Costa por aportar sus conocimientos y hacerme crecer en conocimiento, a mi compañera de tesis por su esmero, dedicación y compañerismo, a mis amigos por sus buenos deseos y palabras de aliento.

*Juan Camilo Galván Romero*

### **Resumen**

En este trabajo de investigación se prepararon cubos de mortero hidráulico, utilizando agua subterránea para la elaboración de la mezcla, evaluando su resistencia mediante ensayos de compresión y comparándolos frente a cubos de mortero de control preparados con agua potable. Los resultados indicaron que el agua subterránea utilizada es apta como agua para concretos , ya que el promedio de las resistencias de los cubos de mortero elaborados con este tipo de agua fue de un 96,5% de resistencia a los 7 días con respecto a la muestra patrón , encontrándose así dentro de los límites permisibles por la norma NTC 3459; por otra parte al caracterizar el agua potable y el agua subterránea, se pudo observar que estos dos tipos de agua poseen valores similares en la mayoría de los parámetros fisicoquímicos medidos, excepto en el oxígeno disuelto y la dureza.

***Palabras clave:*** Mortero, Agua subterránea, Agua potable, Resistencia a la Compresión

**Abstract**

In this research work, hydraulic mortar cubes were prepared, using groundwater to prepare the mixture, evaluating its resistance through compression tests and comparing them against control mortar cubes prepared with drinking water. The results indicated that the groundwater used is suitable as water for concrete, since the average resistance of the mortar cubes made with this type of water was 96.5% resistance at 7 days with respect to the standard sample, thus being within the limits allowed by NTC 3459; On the other hand, when characterizing drinking water and groundwater, it was observed that these two types of water have similar values in most of the physicochemical parameters measured, except in dissolved oxygen and hardness.

***Keywords:*** Mortar, Groundwater, Drinking water, Compressive Strength

**Contenido**

Lista de tablas y figuras.....	10
1. Introducción .....	12
1.1. Planteamiento del problema .....	13
1.2. Justificación.....	14
1.3. Objetivo general .....	15
1.3.1. Objetivo específico: .....	15
2. Marco Teórico .....	15
2.1. Generalidades del agua subterránea .....	15
2.1.1. El agua subterránea .....	15
2.1.2. Características .....	16
2.1.3. Usos .....	16
2.1.4. Composición .....	16
2.2. Análisis físico para caracterización del agua subterránea .....	17
2.2.1. Turbidez .....	17
2.2.2. Color .....	17
2.2.3. Temperatura .....	17
2.2.4. Conductividad .....	18
2.3. Análisis químico para caracterización del agua subterránea .....	18
2.3.1. Alcalinidad.....	18
2.3.2. Dureza .....	19
2.3.3. Acidez .....	19
2.3.4. Oxígeno disuelto .....	20
2.4. Mortero .....	21
2.4.1. Usos del mortero .....	21
2.4.2. Propiedades de los morteros en estado plástico .....	21



2.4.3.	Propiedades de los morteros en estado endurecido.....	23
2.4.4.	Tipos de Mortero según el Conglomerante.....	25
2.4.5.	Tipos de Mortero según su Dosificación .....	26
2.4.6.	Materiales para la elaboración del mortero.....	28
2.5.	Estado del arte .....	30
3.	Metodología .....	34
3.1.	Toma de muestra de agua subterránea.....	34
3.2.	Caracterización del agua subterránea y potable .....	36
3.2.1.	Ensayos realizados .....	37
3.3.	Elaboración y sellado de formaletas.....	43
3.4.	Diseño del mortero .....	44
3.5.	Ensayo tiempo de fraguado. ....	46
3.6.	Elaboración de mezcla para cubos.....	47
3.7.	Desencofrado y curado de los cubos .....	50
3.8.	Ensayo a la compresión de los cubos .....	51
4.	Resultados y discusión .....	52
4.1.	Análisis fisicoquímico de agua subterránea y potable.....	52
4.2.	Análisis granulométrico.....	54
4.3.	Análisis tiempos de fraguado del cemento .....	55
4.4.	Comportamiento a la compresión.....	58
5.	Conclusión.....	64
6.	Referencias .....	66
7.	Anexos.....	69

### Lista de tablas y figuras

#### Tablas.

Tabla 1. Escalas de dureza.....	19
Tabla 2. Niveles de OD de referencia.....	20
Tabla 3. Fluidez recomendada para diversos tipos de estructura y condiciones de colocación .....	22
Tabla 4. Clasificación de los morteros de pega por propiedad o por proporción .....	26
Tabla 5. Requisitos para la arena normalizada .....	29
Tabla 6. Ensayos para caracterización de muestras de agua .....	36
Tabla 7. Composición de mortero .....	45
Tabla 8. Resultados del análisis fisicoquímico del agua potable y el agua subterránea.....	53
Tabla 9. Análisis granulométrico.....	54
Tabla 10. Análisis tiempo de fraguado del cemento .....	56
Tabla 11. Resistencias obtenidas .....	60
Tabla 12. Variacion entre la resistencia del agua potable y del agua subterranea, con respecto a la media. ....	61

#### Figuras.

Figura 1. Escalas del pH.....	20
Figura 2. Ubicación geográfica de vereda de palo seco jurisdicción del municipio de sabana larga, Atlántico. ....	35

CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA	11
Figura 3. Vista frontal de pozo artesanal Sabanalarga .....	35
Figura 4. Transporte del agua hasta laboratorio CITA.....	36
Figura 5. Ensayo para color del agua subterránea y agua potable.....	38
Figura 6. Ensayo para determinar cantidad de hierro.....	39
Figura 7. Ensayo para determinar pH, Conductividad, Temperatura y oxígeno.....	41
Figura 8. Ensayo para determinar alcalinidad y dureza del agua .....	43
Figura 9. Fabricación de formaletas .....	44
Figura 10. Sellado de formaletas con ACRONALT 2950.....	44
Figura 11. Muestra de arena .....	45
Figura 12. Proceso de tamizado.....	46
Figura 13. Ensayo tiempo de fraguado.....	47
Figura 14. Elaboración de mezcla para 48 cubos con agua subterránea .....	48
Figura 15. Marcación de formaletas, cubos realizados con agua subterránea.....	49
Figura 16. Etapa de fraguado de mezcla.....	49
Figura 17. Proceso de desencofrado.....	50
Figura 18. Etapa de curado de cubos .....	51
Figura 19. Máquina para ensayo a la compresión .....	52
Figura 20. Curva granulométrica.....	55
Figura 21. Tiempos de fraguado de muestras de mortero .....	58
Figura 22. Curva análisis de resistencia .....	64

## 1. Introducción

El agua subterránea es parte de la precipitación que se filtra a través del suelo hasta llegar al material rocoso que está saturado de agua, se mueve lentamente hacia los niveles bajos, generalmente en ángulos inclinados (debido a la gravedad) y eventualmente llegan a los arroyos, los lagos y los océanos. (Aqua, s.f)

El agua subterránea constituye un recurso del subsuelo que brinda oportunidades de desarrollo a la sociedad, además de ser una alternativa para consumo humano en las zonas con demanda de agua potable y útil para llevar a cabo proyectos agroindustriales, mineros y de hidrocarburos.

Del agua total que hay en la tierra alrededor de un 97% es salada, del agua dulce total, un 2,14% está confinada en los glaciares y la nieve y un 0,61% se encuentra en forma de agua subterránea. Las fuentes superficiales de agua dulce, como lagos y ríos, solamente corresponde a unos 93.100 kilómetros cúbicos. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el agua de las capas de hielo y glaciares no está disponible para uso. (Ingeominas, 2011)

Lo que se busca con el presente proyecto, es determinar la influencia en este caso del agua subterránea en la resistencia a la compresión de morteros hidráulicos. El agua subterránea extraída del pozo artesanal en la vereda Palo Seco jurisdicción del municipio de Sabanalarga Atlántico, a la cual se le realizaron las pruebas correspondientes de caracterización de agua en el laboratorio CITA de la Universidad de la Costa (Centro de investigaciones en Tecnologías Ambientales).

### 1.1. Planteamiento del problema

El agua es un recurso vital para la subsistencia de los seres humanos, para su desarrollo y para el crecimiento de las urbes. Además de ser utilizada para usos domésticos, es una de las materias primas principales para construir las estructuras que conforman las ciudades del mundo.

Este preciado líquido cubre el 70% de la superficie de la tierra y su volumen está cuantificado en 1.400.000.000 kilómetros cúbicos, de los cuales solo un 2.5% es agua dulce. Aunque parece haber gran cantidad de agua en la tierra, no será así para siempre, pues factores como el crecimiento demográfico, la contaminación por parte de las industrias y el calentamiento global, causan que este recurso sea cada vez más escaso y costoso (Moura,Chavez,Noblecilla,Sanchez,Torero y Gamarra,2005).

Es por esto que ante esta situación, constructores artesanales de Sabanalarga (Atlántico) han optado por utilizar el agua subterránea en sus construcciones para elaborar mortero e incluso bloques, con el propósito de disminuir altos costos generados por el excesivo consumo de agua, ya que por cada metro cubico de agua utilizado deben pagar hasta 4400 pesos más un cargo fijo mensual, dependiendo del estrato socioeconómico (AAA, 2020).

Sin embargo, pasan muy por alto el hecho de que la calidad del agua subterránea no es igual a la calidad del agua potable, pues sus parámetros tanto físicos como químicos son muy diferentes y pueden influir en las propiedades fundamentales del mortero, como lo es la resistencia.

Por lo anterior el problema se establece en un solo sentido ¿Cómo influye la calidad del agua subterránea en la resistencia a la compresión de morteros hidráulicos? De esta manera se podrá determinar si verdaderamente es aconsejable utilizar el agua subterránea en la construcción de obras civiles del municipio.

## **1.2. Justificación**

El municipio de Sabanalarga atlántico tiene como principales actividades económicas la agricultura y la ganadería, aunque actualmente poseen servicio de acueducto, se abastecen de agua subterránea, por medio de pozos artesanales para realizar estas actividades; al ser el agua subterránea un recurso abundante en este lugar, y muy económico, incluso es utilizado por constructores artesanales para fabricar mortero y bloques en sus construcciones, sin embargo pasan por alto la influencia que los parámetros físicos y químicos del agua subterránea puedan tener en la resistencia a la compresión del mortero.

En medio de esta situación y ante la ausencia de estudios que respalden el uso del agua subterránea para elaborar mortero en las construcciones de este municipio, surge la idea de fabricar un mortero hidráulico con agua subterránea y otro con agua potable para posteriormente por medio de ensayos de resistencias a la compresión, comparar resultados entre ambos morteros, y demostrar si es aconsejable el uso del agua subterránea en la elaboración de mortero.

### **1.3. Objetivo general**

Determinar la influencia que ejerce el agua subterránea en la resistencia a la compresión de morteros hidráulicos.

#### **1.3.1. Objetivo específico:**

- I. Caracterizar los materiales de partida para la fabricación de morteros con agua subterránea y agua potable.
- II. Caracterizar física y químicamente el mortero.
- III. Preparar cubos de mortero con agua subterránea y cubos de mortero con agua potable.
- IV. Analizar la variación de la resistencia a la compresión de los cubos de mortero elaborados con agua subterránea, con respecto a los cubos del mortero de control.

## **2. Marco Teórico**

### **2.1. Generalidades del agua subterránea**

#### **2.1.1. El agua subterránea**

El 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 (Velez, 2011). El agua subterránea constituye un recurso del subsuelo que brinda oportunidades de desarrollo a la sociedad, además de ser una alternativa para consumo humano en las zonas con demanda de agua potable y útil para

llevar a cabo proyectos agroindustriales, mineros y de hidrocarburos. El agua subterránea representa más del 30% de las reservas de agua dulce del planeta (Bogotá, 2019).

### **2.1.2. Características**

Los procesos y factores que influyen en la evolución de la calidad de las aguas subterráneas pueden ser intrínsecos o extrínsecos al acuífero. En principio, el agua subterránea tiende a aumentar las concentraciones de sustancias disueltas a medida que se infiltra y aumenta su recorrido en los distintos acuíferos. Además de otros factores que interfieren en la composición del agua, como clima, composición del agua de recarga, tiempo de contacto del agua con el medio físico, etc., además de la contaminación causada por el hombre (Collazo, 2012).

### **2.1.3. Usos**

El agua subterránea se utiliza principalmente como abastecimiento doméstico, uso industrial y riego. En el mundo, el uso de las aguas subterráneas en las actividades mencionadas es intensivo: el 50% para consumo humano, el 20% para riego y el 40% para la industria. A partir del conocimiento de la composición del agua, es decir la identificación de las sustancias presentes en ella, se define la posibilidad de utilizar el agua en casos concretos (Ingeominas, 2011).

### **2.1.4. Composición**

La composición del agua subterránea depende del tipo y características de la roca, de la composición del agua infiltrada y de procesos microbiológicos del suelo. En el momento en que el agua precipitada se infiltra y pasa a través del suelo y la roca, hay disolución de los materiales con el agua subterránea, cambiando su composición (Ingeominas, 2011).



## **2.2. Análisis físico para caracterización del agua subterránea**

### **2.2.1. Turbidez**

Define cuan clara o cuan oscura o saturada de sólidos disueltos está el agua. Es la que causa que los rayos de luz se dispersen y absorban el lugar de transmitirlos en línea recta a través de la muestra (Ingeominas, 2011).

### **2.2.2. Color**

Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, maderas, raíces, etc., en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácidos húmicos y algunos residuos industriales. El color natural en el agua existe principalmente por efecto de partículas coloidales cargadas negativamente; debido a esto, su remoción puede lograrse con ayuda de un coagulante de una sal de ion metálico trivalente como el Al o el Fe.

Dos tipos de color se reconocen en el agua; el color verdadero o sea el color de la muestra una vez que se ha removido su turbidez, y el color aparente, que incluye no solamente el color de las sustancias en solución y coloidales sino también el color debido al material suspendido. El color aparente se determina sobre la muestra original, sin filtración o centrifugación previa

(Romero, 2009).

### **2.2.3. Temperatura**

La determinación exacta de la temperatura es importante para diferentes procesos de tratamiento y análisis de laboratorios, puesto que, por ejemplo, el grado de saturación de OD, la actividad biológica y el valor de saturación con carbonato de calcio se relacionan

con la temperatura. En estudios de polución de ríos, estudios limnológicos y en la identificación de la fuente de suministro en pozos, la temperatura es un dato necesario. Para obtener buenos resultados, la temperatura debe tomarse en el sitio de muestreo. Normalmente, la determinación de la temperatura puede hacerse con un termómetro de mercurio de buena calidad. El termómetro debe sumergirse en el agua, preferiblemente con el agua en movimiento, y efectuar la lectura después de un lapso suficiente que permita la estabilización del nivel del mercurio. Como el mercurio es venenoso, hay que prevenir cualquier posible rotura del termómetro en agua utilizada para consumo (Romero, 2009).

#### **2.2.4. Conductividad**

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica, que depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Por tanto, cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia, implica un cambio en la conductividad. Por esta razón, el valor de la conductividad se usa mucho en análisis de aguas para obtener un estimativo rápido del contenido de sólidos disueltos. La forma más usual de medir la conductividad en aguas es mediante instrumentos comerciales de lectura directa en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a  $25^\circ\text{C}$ , con un error menor del 1% (Romero, 2009).

### **2.3. Análisis químico para caracterización del agua subterránea**

#### **2.3.1. Alcalinidad**

La alcalinidad en un agua puede definirse como su capacidad para neutralizar ácidos, como su capacidad para reaccionar con iones hidrógenos, como su capacidad para aceptar protones o como la medida de su contenido total de sustancias alcalinas (OH). La determinación de la alcalinidad total y de las distintas formas de alcalinidad es importante en los procesos de coagulación química, como ablandamiento, control de corrosión y evaluación de la capacidad tapón de un agua. En aguas naturales, la alcalinidad se debe generalmente a la presencia de tres clases de compuestos: Bicarbonatos, carbonatos, hidróxidos (Romero, 2009).

### 2.3.2. Dureza

Como aguas duras se consideran aquellas que requieren grandes cantidades de jabón para generar espuma y producen incrustaciones en las tuberías de agua caliente, calentadores, calderas y otras unidades en las cuales se incrementa la temperatura del agua (Romero, 2009).

En términos de dureza, las aguas pueden clasificarse así:

Tabla 1

#### *Escalas de dureza*

Blanda (mg/l)	Moderadamente blanda (mg/l)	Dura (mg/l)	Muy dura (mg/l)
0-75	75-150	150-300	>300

Nota: fuente:(Romero,1999)

### 2.3.3. Acidez

La acidez de un agua puede definirse como su capacidad para neutralizar bases, como su capacidad para reaccionar con iones hidróxidos, como su capacidad para ceder protones o como la media de su contenido total de sustancias acidas. (Romero, 2009)

A este proceso también se le conoce como pH: este mide la cantidad de iones de hidrogeno que contiene una solución determinada como se muestra en la escala de pH de la Figura 1.



Figura 1. Escalas del pH, Fuente: Carbotecnia, 2014

### 2.3.4. Oxígeno disuelto

Se define como la cantidad de oxígeno que hay disuelta en el agua. La determinación de OD sirve como base para cuantificar la demanda biológica de oxígeno y es un indicador de la existencia de condiciones aeróbicas o anaeróbicas en el agua. (Huerta, 2009)

Tabla 2

#### Niveles de OD de referencia

OD (MG/l)	Condición	Consecuencias
0	Anoxia	Muerte de microorganismos
0-5	Hipoxia	Desaparición de microorganismos y muerte de microorganismos sensibles
5-8	Aceptable	OD adecuado para la vida (peces y organismos acuáticos)

8-12	Buena	OD adecuado para la vida (peces y organismos acuáticos)
>12	Sobresaturada	Es un sistema que está en plena producción fotosintética

---

Nota: fuente: (Romero,1999)

### **2.3.5. Mortero**

Es una mezcla homogénea de un materia cementante (cemeneto), un material de relleno (agregado fino o arena), agua y en algunas ocasiones aditivos, prácticamente es el hormigón sin el agregado (Guzmán, 2001).

### **2.3.6. Usos del mortero**

Los morteros pueden tener una función estructural, y pueden usarse entonces en la construcción de elementos estructurales, o en la mampostería estructural en donde puede ser de pega o de relleno en las celdas de los muros. Existen otros morteros que no tienen función estructural y se destinan a recubrimiento como pañetes, repellos o revoques.(Sanchez, 2000)

### **2.3.7. Propiedades de los morteros en estado plástico**

#### **2.3.7.1.Manejabilidad**

Especialmente importante en morteros de relleno de celdas. Depende principalmente del contenido de agua, del uso de aditivos, de la forma y la textura de los agregados y de la

finura del cemento. Se evalúa mediante el ensayo de la mesa de flujo o método del cono de penetración (NTC 3696). En la Tabla 3 se recomienda una manejabilidad para diferentes tipos de mortero de acuerdo a los tipos de construcción y a los sistemas de colocación. (Salamanca, 2001).

Tabla 3

*Fluidez recomendada para diversos tipos de estructura y condiciones de colocación*

Consistencia	Fluidez %	Condición de colocación	Ejemplo de tipos de estructura	Ejemplo de sistema de colocación
Dura (seca)	80-100	Secciones sujetas a vibración	Reparaciones, recubrimiento de túneles, galerías, pantallas de cimentación, pisos	Proyección neumática, con vibradores de formaleta
Media(plástica)	100-120	sin vibración	Pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos	Manual con palas y palustres
Fluida(húmeda)	120-150	sin vibración	pañetes, rellenos de mampostería estructural, morteros autonivelantes para pisos	Manual, bombeo, inyección

Nota: fuente: Adaptado de "Tecnología del concreto y mortero", Sanchez (2000)

### 2.3.7.2. Retención de agua

Se refiere a la capacidad que posee un mortero de retener el agua cuando entra en contacto con agentes externos como el viento, sol, temperatura, entre otros; o cuando entra en

contacto con otra superficie, por ejemplo, con los bloques de mampostería. Esta propiedad es importante debido a que una pérdida acelerada de humedad podría ocasionar una pérdida de trabajabilidad en el mortero, lo que dificultaría el proceso constructivo. Asimismo, se podría presentar contracción en el mortero, lo que a su vez llevaría a un potencial agrietamiento o desprendimiento de las unidades de la mampostería (Navas y Arias, 2015).

### **2.3.7.3. Velocidad de endurecimiento**

Los tiempos de fraguado final e inicial de un mortero están entre 2 y 24 horas; dependen de la composición de la mezcla y de las condiciones ambientales como el clima y humedad (Vasquez y Villadiego, 2018).

### **2.3.8. Propiedades de los morteros en estado endurecido**

#### **2.3.8.1. Retracción**

Se debe principalmente a la retracción de la pasta de cemento, sobretodo en pastas de alta relación agua-cemento. De cierta manera el agregado soluciona el problema, ya que forma un esqueleto que evita los cambios de volumen y el peligro de agretamiento. El agua de mezclado tiende a evaporarse muy rápidamente en zonas calurosas y de muchos vientos, produciendo así tensiones internas en el mortero, lo cual se manifiesta en grietas visibles. Para evitar la retracción es conveniente usar cementos de baja retracción al secado (puzolánicos o con adición inerte) y agregados de buena granulometría con poco finos. (Mejía, Chinchilla y Mendoza, 2012)

#### **2.3.8.2. Adherencia**

Es la propiedad de los morteros de adhesión, enlace y de inyección con las unidades de mampostería, el refuerzo y los conectores. La adherencia también es un indicativo de la

capacidad de los morteros para atender esfuerzos normales y tangenciales a las superficies con las cuales se une (Mejía, Chinchilla y Mendoza, 2012).

### **2.3.8.3. Resistencia**

La resistencia de un mortero usando cemento de uso general aumenta con la edad, este aumento se ve en gran medida durante los primeros días de creación del material y teniendo un aumento gradual disminuido al pasar del tiempo cerca a los 28 días de creado, obteniendo así su mayor resistencia a tal fecha. Si el mortero es utilizado como pega, debe proporcionar una unión resistente, si el mortero va a ser utilizado para soportar cargas altas y sucesos, tal es el caso de la mampostería estructural, debe poseer una alta resistencia a la compresión. Para diseñar morteros de alta resistencia se debe tener en cuenta que para un mismo cemento, y un mismo tipo de agregado fino, el mortero más resistente, y más impermeable, será aquel que contenga mayor contenido de cemento para un volumen dado de mortero (Rivera y Leal, 2018).

### **2.3.8.4. Durabilidad**

La durabilidad del mortero se refiere a la capacidad que tiene este de mantener substancialmente sus características originales que permiten su uso, como son su apariencia original, su resistencia y solidez, principalmente frente a la acción del interperismo. (De la sotta, 2010)

### **2.3.8.5. Apariencia**



La apariencia del mortero después de fraguado juega un importante papel en las mamposterías de ladrillo a la vista; para lograr una buena apariencia es necesario aplicar morteros de buena plasticidad. (Vasquez y Villadiego, 2018)

### **2.3.9. Tipos de Mortero según el Conglomerante**

#### **2.3.9.1. Mortero de yeso**

Se preparan con yeso hidratado con agua. El contenido de agua es variable según el grado de cocción, calidad y finura de molido del yeso. En obras corrientes se agrega el 50%, para estucos el 60% y para moldes el 70%. El mortero se prepara a medida que se necesita, pues comienza a fraguar a los cinco minutos y termina mas o menos en un cuarto de hora (Gutiérrez, 2003).

#### **2.3.9.2. Mortero de cal**

Los que interviene la cal como aglomerante, se distinguen, según el origen de ésta en aéreos e hidráulicos. Las cales aéreas mas conocidas son la cal blanca y la cal gris (dolomítica); en los morteros aéreos la arena tiene como objetivo principal evitar el agrietamiento por las contracciones del mortero al ir perdiendo el agua de amasado. Se recomienda que la arena sea de partículas angulares y que esté libre de materia orgánica. La proporción de cal-arena mas usada para revoque es de 1 -2 y para mampostería simple de 1-3 o de 1-4. Si la proporción aumenta el mortero pierde ductilidad y trabajabilidad. En Colombia sólo se utiliza este mortero en trabajos de embellecimiento de interiores que requieren esquinas perfectas (Gutiérrez, 2003).

### **2.3.9.3. Mortero de cemento**

Los morteros de cemento se caracterizan por tener una alta resistencia, la mezcla debe ser aplicada de modo continuo debido al rápido fraguado del cemento. Su uso es aconsejable cuando se busca gran trabajabilidad, buena retención de agua y alta resistencia. El tipo de cemento empleado en los morteros es el cemento portland (Castro, 2016).

### **2.3.10. Tipos de Mortero según su Dosificación**

La dosificación de los componentes de los morteros de pega debe basarse en ensayos previos de laboratorio o en experiencia de campo en obras similares y se clasifican como H, M, S o N de acuerdo con la dosificación mínima de sus componentes y con la resistencia a la compresión, según la Tabla 4. La denominación de morteros tipo H, M, S o N es exclusiva para morteros de pega de mampostería y no deberá emplearse para designar otros tipos de morteros. La resistencia a la compresión se mide a los 28 días sobre probetas tomadas en cubos de 50mm de lado, o en cilindros de 75mm de diámetro por 150 mm de altura. Los diferentes tipos de mortero deben de cumplir con las condiciones mínimas de flujo inicial y retención de agua establecidos en la tabla 4. Para cada uno de los tipos de mortero, en la tabla 4 se indican dos alternativas de dosificación, una utilizando cemento portland y cal hidratada, y la otra utilizando cemento portland y cemento para mampostería. Pueden emplearse cualquiera de las dos alternativas de dosificación, pero no se permiten dosificaciones que empleen simultáneamente cal hidratada y cemento de mampostería (NSR10, 2010).

Tabla 4

*Clasificación de los morteros de pega por propiedad o por proporción*

Mortero tipo	Especificación de los morteros por propiedad			Especificación de los morteros por proporción					
	Resistencia mínima a la compresión Mpa	Flujo en %	Retención mínima de agua	Cemento portland	Cal hidratada	Cemento para mampostería	Arena/Material cementante		
							Min.	Max	
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 0.5	no aplica	2.5	3.5	
				0.5	no aplica	1	2.5	3.0	
N	7.5	105-115	75%	1	0.5 a 1.25	no aplica	3.00	4.5	
				0	no aplica	1	3.00	4.0	

Nota: fuente: Adaptado de " reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10 título D: mortero de pega".

**2.3.10.1. Mortero tipo H**

Es el mortero utilizado en edificaciones que requieran una mezcla consistente liviana y de alta resistencia a la compresión (Salamanca, 2001).

**2.3.10.2. Mortero tipo M**

Es una mezcla de alta resistencia, ofrece más durabilidad que otros morteros, se recomienda para mampostería reforzada, o sin refuerzo, pero sometida a grandes cargas de compresión para cuando se prevea congelamiento, altas cargas laterales de tierra, vientos fuertes, temblores. Se debe usar en estructuras en contacto con el suelo: cimentaciones, muros de contención, aceras, tuberías de aguas negras, pozos, etc (Salamanca, 2001).

**2.3.10.3. Mortero tipo S**

Es un mortero que alcanza la más alta característica de adherencia que un mortero puede alcanzar. Debe usarse para las estructuras sometidas a cargas de compresión normales, pero que requieran a la vez de una alta característica de adherencia. Debe usarse en aquellos casos en los que el mortero es el único agente de adherencia con la pared, como en el caso de revestimientos cerámicos, baldosines de barro cocido, etc. (Salamanca, 2001).

#### **2.3.10.4. Mortero tipo N**

Es un mortero de propósito general, para ser utilizado en estructuras de mampostería sobre el nivel del suelo, es bueno en enchapes de mampostería, paredes internas y divisiones, representa la mejor combinación de resistencia, trabajabilidad y economía. Usualmente las mezclas de tipo N, alcanzan cerca de 125 kg/cm<sup>2</sup> (1800 psi) de resistencia a la compresión, en los ensayos de laboratorio. Debe tenerse presente que la calidad de mano de obra, la succión propia de los elementos de mampostería y otras variables afectan su resistencia una vez colocado (Salamanca, 2001).

### **2.3.11. Materiales para la elaboración del mortero**

#### **2.3.11.1. Cemento**

Es un conglomerante hidráulico, esto es, material artificial de naturaleza inorgánica y mineral, que finamente molido y convenientemente amasado con agua forma pastas que fraguan y endurecen a causa de las reacciones de hidrólisis e hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables, tanto al aire como al agua. Este endurecimiento hidráulico se debe principalmente a la formación de silicatos cálcicos hidratados y de aluminatos hidratados como resultado de la reacción entre el agua y los constituyentes del cemento. Esta propiedad de conglomerante

hidráulico le ha convertido en un material básico en la construcción, imprescindible para la edificación y la realización de infraestructuras

(San Juan,2014).

### **2.3.11.2. Cal**

Compuesto químico cuya presencia es el óxido de calcio, de tipo alcalino, común de color blanco obtenido a partir de la calcinación de la piedra caliza calentándolas a temperaturas de superiores a los 900°C. Se usa mezclándola con agua y pigmentos para preparar pinturas o bien mezclándola con arena para preparar morteros (San Juan,2014).

### **2.3.11.3. Agregados**

Los agregados para el mortero de pega deben estar libres de materiales contaminantes o deleznable que puedan deteriorar las propiedades del mortero de pega. (NSR 10, 2010, T.D.)

En el caso de la arena para que sea considerada como apta para ser utilizada en ensayos de cementos hidráulicos, debe cumplir con los requisitos de la tabla 5, expuestos en la norma NTC 3937 (Arena normalizada para ensayos de cemento hidráulico).

Tabla 5

#### *Requisitos para la arena normalizada*

<u>Características</u>	<u>Arena 20-30</u>	<u>Arena Gradada</u>
Gradación, porcentaje que pasa a través del tamiz		
1,18 mm (No. 16)	100	100
850 µm (No. 20)	85 a 100	
600 µm (No. 30)	0 a 5	96 a 100
425 µm (No. 40)		65 a 75
300 µm (No. 50)		20 a 30

---

150  $\mu\text{m}$  (No. 100)

0 a 4

Nota. Fuente: Adaptado de NTC 3937, arena normalizada para ensayos de cemento hidráulico.

#### **2.3.11.4. Agua**

El agua utilizada para el mortero de pega debe estar limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, alcoholes, sales, materias orgánicas u otras sustancias que puedan ser dañinas para el mortero o refuerzo embebido (NSR 10, 2010).

#### **2.3.11.5. Colorantes y aditivos**

Los colorantes y aditivos que se utilicen en la preparación del mortero de pega deben someterse a la aprobación previa del supervisor técnico y debe demostrarse mediante realización de ensayos de laboratorio o evidencia confiable de obras similares, que no deterioran ninguna de las propiedades deseables del mortero ni de las unidades de mampostería, ni causan corrosión del refuerzo embebido (NSR 10, 2010).

### **2.4. Estado del arte**

El uso de aguas subterráneas en los procesos constructivos, es de gran importancia para la disminución considerable del aprovechamiento de agua potable, es por esto que se han llevado a cabo investigaciones de nivel mundial y nacional para analizar el efecto de la calidad del agua subterránea en las propiedades de mezclas de concreto y mortero, y de esta manera determinar si su uso es beneficioso o perjudicial. A continuación, se citarán investigaciones en las cuales se trata de analizar cómo influye la calidad del agua subterránea en las propiedades del concreto y mortero.

- 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).
- Castillo Jhordan (2019), realizaron 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), ellos elaboraron cilindros de concretos los cuales fallaron a las edades de 7,14,21, y 28 días. Caracterizaron las 3 muestras de agua y encontraron 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/cm<sup>2</sup> y el agua subterránea 197 kg/cm<sup>2</sup>, en conclusión, en conclusión, estas dos son aceptables ya que cumplen con la resistencia de diseño mientras que el agua de mar se aleja de la resistencia diseñada, siendo esta

de  $179 \text{ kg/cm}^2$  por la cual no es recomendable usarla para la elaboración de concreto (Castillo,2019).

- 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 ya que contiene mayor turbidez y sólidos suspendidos. La resistencia a la compresión diseñada fue de  $210 \text{ kg/cm}^2$  y los resultados, indican que el agua subterránea obtuvo la mayor resistencia, alcanzando la resistencia promedio de  $238 \text{ kg/cm}^2$ , el agua potable alcanzó la resistencia promedio de  $226 \text{ kg/cm}^2$ , mientras que la resistencia obtenida utilizando el agua de río Moche fue de  $186 \text{ kg/cm}^2$ , siendo esta la opción menos apropiada a utilizar en concretos sin previo tratamiento (Cruzado y Li, 2016).
- 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. Estos 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 cuantía no es aceptable usar este tipo de agua subterránea debido a la alta concentración de cloruros y sulfatos que posee (Orozco y Palacio, 2015).

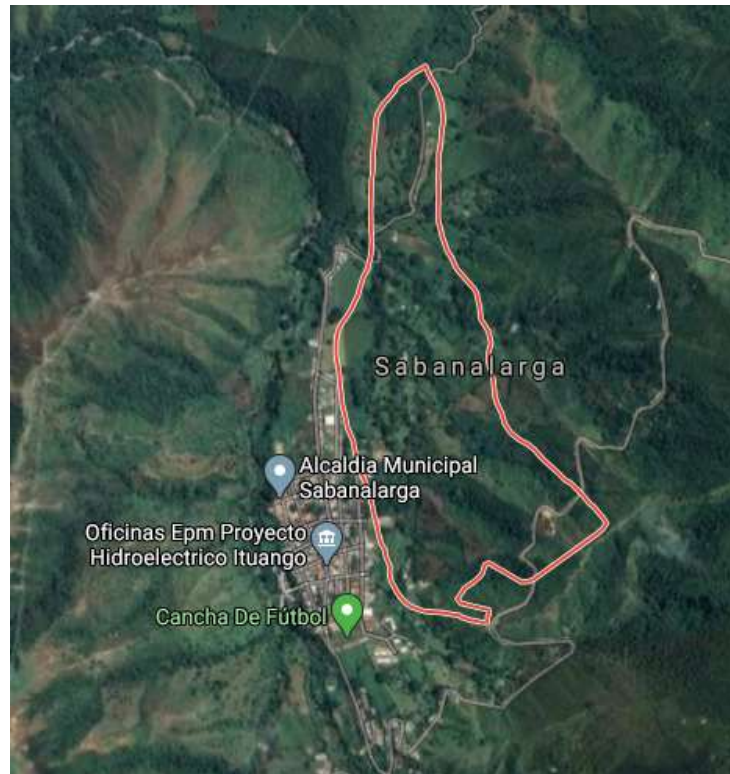
- Breitner Díaz, Nicolás Rios, Kevin Murga y Lizbeth Robles (2014), buscaron determinar la Influencia del agua potable, río y mar en la resistencia a compresión de un concreto convencional no estructurado, para la construcción de aceras en la ciudad de Trujillo-Perú. Para esto elaboraron 36 probetas, 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 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 la 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,Ríos,Murgas y Robles, 2014).

### **3. Metodología**

#### **3.1. Toma de muestra de agua subterránea**

El agua subterránea utilizada en esta investigación proviene de un pozo artesanal en la vereda Palo Seco jurisdicción del municipio de Sabanalarga Atlántico (Figura 2). Esta vereda es poblada en su mayoría por fincas y parcelas para la realización de cultivos y ganadería. El día 31 de marzo del año 2019 (Figura 3) se recogieron aproximadamente 6 litros de agua, la cual se transportó en un recipiente de espuma de poliestireno (Figura 4) para mantener su temperatura hasta llegar al laboratorio CITA (Centro de investigaciones en Tecnologías Ambientales).



*Figura 2* Ubicación geográfica de vereda de palo seco jurisdicción del municipio de sabana larga, Atlántico.  
*Fuente:* Google maps



*Figura 3.* Vista frontal de pozo artesanal Sabanalarga: *Fuente* propia



*Figura 4.* Transporte del agua hasta laboratorio CITA (Centro de investigaciones en Tecnologías Ambientales). *Fuente propia*

### 3.2. Caracterización del agua subterránea y potable

Para la caracterización del agua subterránea y agua potable se realizaron ocho ensayos de laboratorio mediante guía suministrada en el laboratorio CITA, y de acuerdo a normatividad vigente. En la tabla 6 se muestra el listado de ensayos realizados.

Tabla 6

<i>Ensayos para caracterización de muestras de agua</i>		
Ensayo	Norma utilizada	Valor máximo permisible agua potable
Conductividad (us)	NTC 4531	1000
PH	NTC 3651	9
Alcalinidad (mg/l)	NTC 4803	200
Color(UPC)	NTC 813	15
Oxígenos disueltos (mg/l)	NTC 4705	de 5 a 6

Dureza (Mg/l)	NTC 4706	300
Temperatura (°C)	N/A	25
Hierro (mg/l)	NTC 4754	0,3

---

Nota: Valores maximos permisibles para agua potable. Adaptado de “resolucion 2115 del 2007: Características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano ”

### **3.2.1. Ensayos realizados**

#### **3.2.1.1. Colorimetría:**

Este ensayo tiene como objeto la determinación del color que posee cada una de las muestras de aguas de estudio. El equipo utilizado fue un equipo Aqua Tester (Figura 5). Para la realización de este ensayo se llenó 3 tubos de ensayos (los cuales hacen parte del equipo Aqua Tester), con agua destilada, agua subterránea y agua potable respectivamente. Se introdujo el tubo de ensayo con agua destilada en el equipo Aqua Tester (la cual en este caso fue la muestra blanca), al igual que los tubos de ensayo con agua potable y agua subterránea. Para determinar el color de las muestras de agua se compararon los colores de cada muestra, observándolas por medio de dos lentes que podían graduarse hasta conseguir que las muestras parecieran tener un color similar a la muestra blanca. Al final se tomaron los números de los últimos lentes utilizados, para denotar el número del color de cada muestra (Clesceri, 2012).



*Figura 5.* Ensayo para color del agua subterránea y agua potable, laboratorio CITA (Centro de investigaciones en Tecnologías Ambientales). *Fuente* propia.

### 3.2.1.2. Hierro total

Este ensayo tiene como objeto la determinación del contenido de hierro en agua por medio del método colorímetro. Los equipos utilizados fueron: 1 balanza analítica, 1 espectrofotómetro, 1 balón aforado de 1000 ml, 7 matraces, y para reactivos: sulfato ferroso amoniacal, acetato de sodio 10%, 1.10 fenantrolina, cloruro de hidroxilamina, ácido sulfúrico. Para la realización de este ensayo como primera fase: Se preparó una solución en agua destilada de 0.7g del reactivo sulfato ferroso amoniacal, con 2.5 ml de ácido sulfúrico, luego esta solución se vertió en un balón aforado de 1000ml, para preparar una solución llamada standard stock de hierro.

En la segunda fase: se preparó en un matraz, una muestra blanca con agua destilada y los diferentes reactivos de color, seguido a esto se elaboraron soluciones de 100 ml agua destilada con reactivos de color y standard stock en un volumen de 1,5,10,25, 50 y 75 ml cada uno respectivamente; Cada solución adquirió una tonalidad de color anaranjado. A estas soluciones se les llamó estándares de trabajo. Cada estándar de trabajo se envasó en celdas de cristal al igual que la muestra blanca y se ingresaron dentro del espectrofotómetro

(Figura 6), se programó el espectrofotómetro para que generara una curva estándar a una longitud de onda de 470 nm para determinar la concentración de hierro, posteriormente se extrajeron las celdas con las soluciones de estándares de trabajo y se ingresó una celda con el agua subterránea, al presionar la tecla enter se calculó la concentración de hierro en la muestra de agua, se realizó el mismo proceso para la muestra de agua potable (Clesceri, 2012).



*Figura 6.* Ensayo para determinar cantidad de hierro del agua subterránea y agua potable, laboratorio CITA (Centro de investigaciones en Tecnologías Ambientales). *Fuente:* Google imágenes

### 3.2.1.3. pH

Este ensayo tiene como objeto la determinación del pH en una muestra de agua. Los equipos utilizados fueron: 1 peachimetro digital ecosense y 6 beaker. Para la realización de este ensayo se midieron 3 muestras de 100ml de agua subterránea y 3 muestras de 100ml de agua potable en sus respectivos beakers, se introdujo el sensor del peachimetro en cada muestra de agua, hasta que el valor de pH mostrado en la pantalla se estabilizara (Figura 7); Finalmente los resultados se promediaron para hallar el valor del pH (Clesceri, 2012).

#### **3.2.1.4. Conductividad**

Este ensayo tiene como objeto la determinación de la conductividad eléctrica en una muestra de agua. Los equipos utilizados fueron: 1 peachimetro digital ecosense y 6 beaker. Para la realización de este ensayo se midieron 3 muestras de 100ml de agua subterránea y 3 muestras de 100ml de agua potable en sus respectivos beakers, se introdujo el sensor del peachimetro en cada muestra de agua, hasta que el valor de la conductividad mostrado en la pantalla se estabilizara (Figura 7); Finalmente los resultados se promediaron para hallar el valor de la conductividad (Clesceri, 2012).

#### **3.2.1.5. Oxígeno disuelto**

Este ensayo tiene como objeto la determinación del oxígeno disuelto en una muestra de agua. Los equipos utilizados fueron: 1 peachimetro digital ecosense y 6 beaker. Para la realización de este ensayo se midió 3 muestras de 100ml de agua subterránea y 3 muestras de 100ml de agua potable en sus respectivos beakers, se introdujo el sensor del peachimetro en cada muestra de agua, hasta que el valor del oxígeno disuelto mostrado en la pantalla se estabilizara (Figura 7); Finalmente los resultados se promediaron para hallar el valor del oxígeno disuelto (Clesceri, 2012).

#### **3.2.1.6. Temperatura**

Este ensayo tiene como objeto la determinación de la temperatura en una muestra de agua, los equipos utilizados fueron: 1 termómetro de laboratorio y 6 beaker. Para la realización de este ensayo se midió 3 muestras de 100ml de agua subterránea y 3 muestras de 100ml de agua potable en sus respectivos beakers, se introdujo un termómetro calibrado en cada muestra hasta que este marcara la temperatura, como muestra la Figura 7 (Clesceri, 2012).





*Figura 7.* Ensayo para determinar pH, Conductividad, Temperatura y oxígeno disuelto del agua subterránea y agua potable, laboratorio CITA (Centro de investigaciones en Tecnologías Ambientales. *Fuente:* propia.

### 3.2.1.7. Alcalinidad

Este ensayo tiene como objeto la determinación de la alcalinidad en una muestra de agua, los equipos utilizados fueron: 1 bureta, 6 erlenmeyer, 1 indicador naranja de metilo y 1 titulante llamado ácido sulfúrico. Para la realización de este ensayo, en primer lugar se llenó la bureta con ácido sulfúrico 0.01N, se tomaron 3 muestras de 100ml de agua subterránea y 3 muestras de 100ml de agua potable en sus respectivos Erlenmeyer (estas muestras de agua no fueron diluidas en ningún porcentaje con agua destilada), se les agregó 0.1ml de indicador naranja de metilo a cada muestra para comenzar el proceso de titulación, se procedió a abrir la válvula de la bureta para así dejar caer gotas de ácido sulfúrico en las muestras de agua, en este proceso se iban mezclando las muestras hasta que estas tomaran un color anaranjado. Finalmente se midió el volumen ( $V = \frac{A*N*50000}{v}$ , donde  $A =$  mililitros del titulante,  $N =$  normalidad titulante y  $V =$  volumen de la muestra)

de ácido sulfúrico utilizado para este ensayo pues ese fue el volumen que correspondió a la alcalinidad. Como muestra la Figura 8 (Clesceri, 2012).

### 3.2.1.8. Dureza

Este ensayo tiene como objeto la determinación de dureza total en una muestra de agua, los instrumentos utilizados fueron 1 bureta, 6 erlenmeyer, 1 indicador llamado Negro de Eriocromo T y 1 titulante llamado Acido Etilendiaminotetraacético (EDTA). Para la realización de este ensayo, en primer lugar, se llenó la bureta con EDTA, se midió 3 muestras de 100ml de agua subterránea y 3 muestras de 100ml agua potable en sus respectivos Erlenmeyer (estas muestras de agua no fueron diluidas en ningún porcentaje con agua destilada), se les agregó una cucharadita de indicador Negro de Eriocromo T a cada muestra, se mezclaron hasta que se disolviera el indicador. Para comenzar el proceso de titulación, se abrió la válvula de la bureta para así dejar caer gotas de EDTA en las muestras de agua, en este proceso se iban mezclando las muestras de agua hasta que tomaran un color azul claro. Finalmente se midió el volumen ( $V = \frac{A*N*50000}{V}$ , donde  $A =$  mililitros del titulante,  $N =$  normalidad titulante y  $V =$  volumen de la muestra) de EDTA utilizado para este ensayo, pues ese fue el volumen que correspondió a la dureza. Como muestra la Figura 8 (Clesceri, 2012).



*Figura 8. Ensayo para determinar alcalinidad y dureza del agua subterránea y agua potable, laboratorio CITA (Centro de investigaciones en Tecnologías Ambientales). Fuente: propia.*

### **3.3. Elaboración y sellado de formaletas**

Para la elaboración de las formaletas (figura 9) se tuvo en cuenta las especificaciones dadas por la norma técnica Colombiana (NTC 220, 2017), donde se indica que las dimensiones de cada molde debe ser de 50mm por cada lado. Para el sellado (figura 10) se utilizó un impermeabilizante comercial ACRONALT 2950.



Figura 9. Fabricación de formaletas Magangue, Bolívar. Fuente propia.



Figura 10. Sellado de formaletas con ACRONAL 2950. Fuente: Google imágenes.

### 3.4. Diseño del mortero

Para la elaboración del mortero se tuvo en cuenta lo descrito en la norma (NTC 220, 2017), las proporciones en masa para formar un mortero normal deben ser de una parte de cemento por 2.75 partes de arena gradada y debe emplearse una relación agua cemento de 0.485 ver tabla 7 para las cantidades usadas.

Tabla 7

*Composición de mortero*

<b>Material</b>	<b>6 cubos</b>
Cemento, g	500
Arena, g	1375
Agua, ml	242

Nota: fuente: Adaptado de NTC 220, determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm ó 50,8 mm de lado

Para el ensayo granulométrico de la arena se tuvo en cuenta la norma (I.N.V. E-123-07,2007) y la norma (NTC 3937, 2007), este ensayo se realizó en el laboratorio de tecnología de materiales estructurales de la universidad de la costa (CUC), tomando una muestra de arena de aproximadamente 1 kilogramo (figura 11), la cual pasó por un proceso de lavado, secado y tamizado (figura 12).



*Figura 11.* Muestra de arena, laboratorio de tecnología de materiales estructurales universidad de la costa CUC. Fuente propia



*Figura 12.* Proceso de tamizado, laboratorio de tecnología de materiales estructurales universidad de la costa CUC. Fuente propia.

### **3.5. Ensayo tiempo de fraguado.**

Se elaboró una pasta de cemento con 650 g de cemento y 180 ml de agua, para obtener consistencia normal, siguiendo el procedimiento descrito en la NTC 110. Después se moldeó la pasta de cemento con las manos, elaborando una esfera, la cual se pasó de una mano a otra 6 veces como lo indica la norma (NTC 118, 2004), una vez se terminó el procedimiento anterior, se introdujo en un anillo troncocónico hasta rellenarlo totalmente, se quitó el exceso de la pasta con un palustre, teniendo cuidado de no ejercer demasiada presión sobre ésta. Una vez estuvo lleno el molde se colocó en una placa de vidrio, donde permaneció durante todo el tiempo de fraguado, colocándose este en el aparato de Vicat, hasta que la aguja no penetrara más se dio por terminado el ensayo. (este procedimiento se realizó con agua potable y agua subterránea) observar figura 13.



*Figura 13.* Ensayo tiempo de fraguado, laboratorio de tecnología de materiales estructurales universidad de la costa CUC. *Fuente propia.*

### **3.6. Elaboración de mezcla para cubos.**

Se utilizó la dosificación dada en la norma técnica colombiana (NTC 220, 2017), se elaboraron 48 cubos de morteros, de los cuales 24 correspondían al agua potable y los otros 24 al agua subterránea. Para la elaboración de 24 cubos se necesitó: 2000 g de cemento, 5.500 g de arena, 968 ml de agua subterránea, tiempo de mezclado manual de 24.2 minutos, (figura 14) ( se utilizó la misma cantidad para la mezcla con agua potable y elaborar la misma cantidad de cubos), una vez se realizó la mezcla ,se rellenó la formaleta hasta la mitad y se le aplicaron 8 golpes en los extremos y 8 golpes en el centro, esto con el fin de que la mezcla se compactara y recubriera los espacios vacíos, se repitió nuevamente el procedimiento hasta estar completamente lleno el cubo, una vez terminado el proceso se

marcaron las formaletas para diferenciar el tipo de agua utilizada (figura 15) por último se dejó en un lugar con temperatura ambiente para la etapa de fraguado (figura 16).

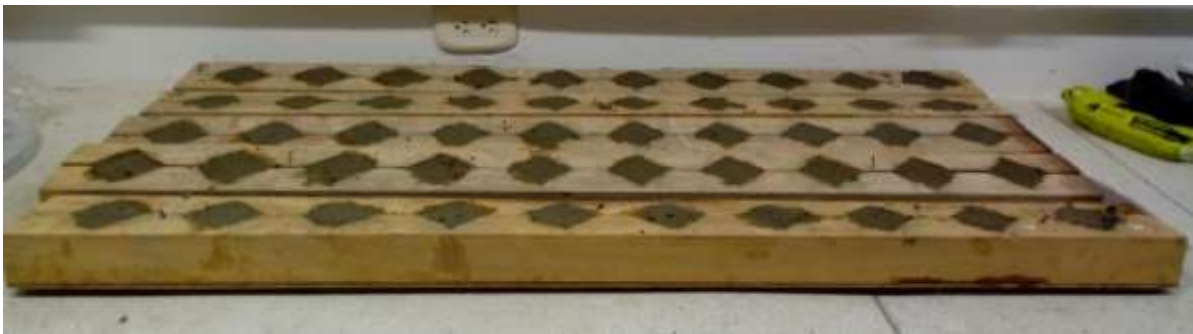


*Figura 14.* Elaboración de mezcla para 48 cubos con agua subterránea, laboratorio de tecnología de materiales estructurales universidad de la costa (CUC): *Fuente propia.*





*Figura 15.* Marcación de formaletas, cubos realizados con agua subterránea. Laboratorio de tecnología de materiales estructurales Universidad de la Costa (CUC): *Fuente propia.*



*Figura 16.* Etapa de fraguado de mezcla laboratorio de tecnología de materiales estructurales Universidad de la Costa (CUC): *Fuente propia.*

### 3.7. Desencofrado y curado de los cubos

Una vez pasaron 24 horas del fraguado de la mezcla, se desencofraron los cubos y se marcaron para distinguir los elaborados con agua potable de los elaborados con agua subterránea (figura 17), para la etapa de curado se vertieron en dos recipientes con agua potable (figura 18), a estos se les vertieron 100 g de cal para que ayudaran en su etapa de maduración así lo describe la norma (NTC 220, 1998) en el numeral 3.1, se dejaron en un lugar a temperatura no mayor a 26°.

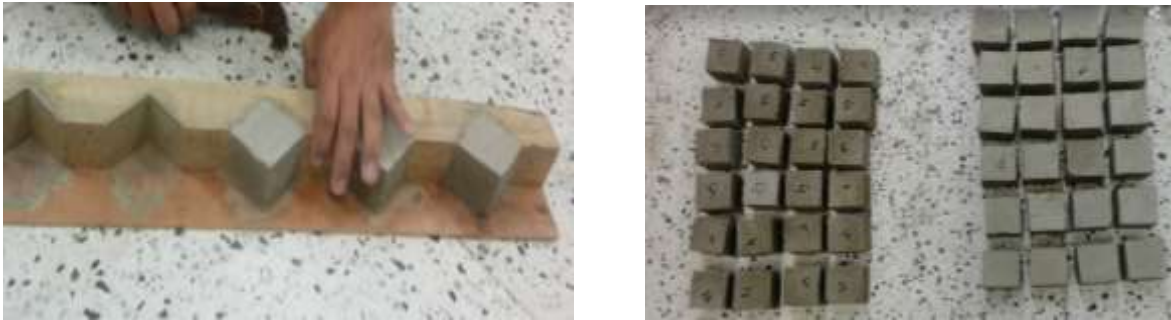


Figura 17. Proceso de desencofrado laboratorio de tecnología de materiales estructurales Universidad de la Costa (CUC): *fuentes* propia.



*Figura 18.* Etapa de curado de cubos laboratorio de tecnología de materiales estructurales Universidad de la Costa (CUC): *fuentes* propia

### **3.8. Ensayo a la compresión de los cubos**

Cuando los cubos cumplieron las edades de: 1,3,7 y 28 días, fueron llevados al laboratorio para realización de ensayo a la compresión utilizando la máquina (súper-automática para ensayos a compresión y flexión) para ensayo a la compresión de cubos, cilindros y bloques (figura 19) cuya ficha técnica se observa en el anexo A . El ensayo fue realizado según la norma técnica Colombia (NTC 220, 1998) por cada edad de curado se tomaron 6 cubos de cada muestra (muestra patrón y muestra experimental), el bloque superior de apoyo debe estar firmemente asegurado a la cabeza superior de la maquina por el sistema de rotula,de forma que quede libre para inclinarse en cualquier dirección. El centro de la cabeza superior de la maquina debe estar sobre la perpendicular levantada en el centro de la superficie del bloque en contacto con el cubo.la diagonal o diámetro de la superficie de apoyo debe ser ligeramente mayor que la diagonal de la cara del cubo (50mm ó 50.8mm) para que se facilite el centrado de este.



Figura 19. Máquina para ensayo a la compresión, laboratorio de tecnología de materiales estructurales universidad de la costa (CUC): fuente propia.

## 4. Resultados y discusión

### 4.1. Análisis fisicoquímico de agua subterránea y potable

La tabla 8 muestra los resultados obtenidos al caracterizar las muestras de agua, subterránea y potable. Se observa que estos dos tipos de agua poseen valores similares en la mayoría de los parámetros fisicoquímicos medidos, excepto en la dureza y en los oxígenos disueltos; Por otra parte, se evidencia que el agua potable utilizada excede los valores permisibles para alcalinidad y hierro en el agua potable,

Las aguas subterráneas generalmente presentan ausencia de oxígeno al no estar en contacto con el aire (Espinosa,2004). En este caso el valor de oxígeno disuelto en el agua subterránea se encuentra dentro del rango de 0-5 mg/l de OD, dándole una condición de hipoxia, probablemente por la poca aireación que llega hasta la superficie la lámina de agua del pozo, la cual se encuentra a 48 m por debajo de la superficie. A diferencia del agua potable, el agua subterránea es más dura, debido a que generalmente este tipo de agua presenta minerales disueltos provenientes del subsuelo ,en particular sales de magnesio y calcio, gracias a la infiltración del agua a través de formaciones geológicas (Ingeominas, 2011). Sánchez de Guzmán (2000) afirma “Los carbonatos de calcio y de magnesio rara vez se encuentran en concentraciones tales que puedan afectar la resistencia del concreto.” Además, Ing. Gerardo A. Rivera (2013) afirma “Los mayores iones que se presentan usualmente en aguas naturales son calcio, magnesio....y menos frecuente carbonato. Las aguas que contengan un total combinado de estos iones comunes que no sea mayor a 2000 mg/l, son generalmente adecuadas como aguas de mezcla”; En este caso la dureza del agua subterránea utilizada está muy por debajo del límite antes mencionado, por lo tanto, no afecta la mezcla de mortero.

Tabla 8

*Resultados del análisis fisicoquímico del agua potable y el agua subterránea.*

<b>Parametro</b>	<b>Agua Subterranea</b>	<b>Rango</b>	<b>Agua Potable</b>	<b>Rango</b>
Conductividad (us)	6,41	Aceptable	182,1	Aceptable
pH	6,34	Aceptable	7,2	Aceptable

Alcalinidad (mg/l)	253,33	Muy alcalina	240	Muy alcalina
Color(UPC)	10	Normal	10	Normal
OD (mg/l)	3,9	Hipoxia	5,65	Aceptable
Dureza (mg/l)	410	Dura	290	Blanda
Temperatura °C	15	Aceptable	17	Aceptable
Hierro(mg/l)	0,78	No Aceptable	0,8	No Aceptable

Nota: fuente: propia

#### 4.2. Análisis granulométrico

De acuerdo a los datos mostrados en la tabla 9 se puede deducir que la arena utilizada en esta investigación (obsequiada por ULTRACEM), se encuentra gradada predominantemente entre el tamiz No.30 y el tamiz No.100. La curva granulométrica observada en la Figura 20 muestra que la gradación se encuentra dentro de los límites exigidos por la norma utilizada (NTC 3937, 2007). De esta manera cumple el requisito para ser clasificada como arena gradada, la cual, según dicha norma, es un tipo de arena normalizada apta para realizar ensayos de cemento hidráulico.

Tabla 9

*Análisis granulométrico, (peso de la muestra seca (gr): 1000 )*

Tamiz	Abertura(mm)	W.ret(gr)	% retenido	% retenido Acumulado	% pasa	L.inferior NTC 3937	L.superior NTC 3937
Nº.16	1.18	0.00	0	0	100	100	100
Nº.20	0.85	0.00	0	0	100		

N°.30	0.6	30.00	3	3	97	96	100
N°.40	0.425	529.00	25,9	28,9	71,1	65	75
N°.50	0.3	445.00	44,5	73,4	26,6	20	30
N°.100	0.15	230.00	23	96,4	3,6	0	4
Fondo		36	3,6	100	0		
<b>Σ W. Retenido</b>		<b>1000</b>					

Nota: Fuente: Propia

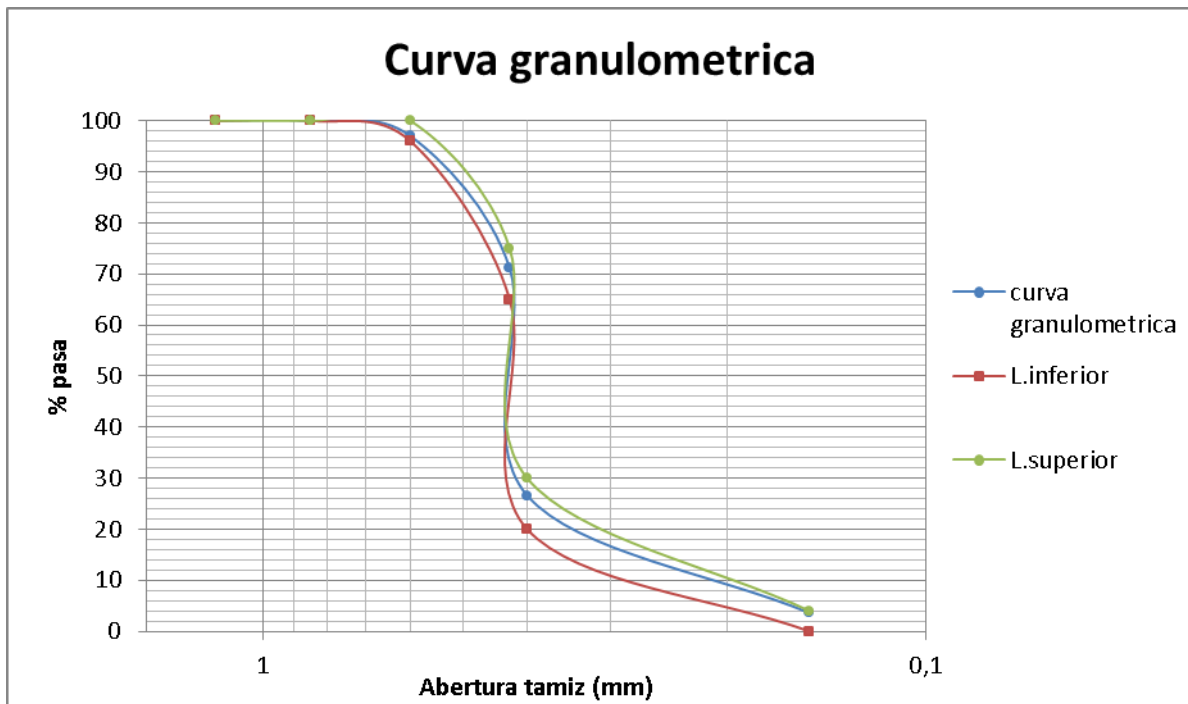


Figura 20. Curva granulométrica: Fuente propia.

### 4.3. Análisis tiempos de fraguado del cemento

En la tabla 10 se observan las mediciones obtenidas en el ensayo de tiempos de fraguado.

Tal como lo indica la norma NTC 118, se calcularon los tiempos de fraguado inicial por

medio de interpolación para una penetración de 25mm, los cuales fueron, 189 minutos para el mortero fabricado con agua potable y 165 minutos para el fabricado con agua subterránea; por otra parte se obtuvieron los tiempos de fraguado final por medio de la última medición tomada, los cuales fueron 245 minutos para ambas muestras de mortero.

Tabla 10

*Análisis tiempo de fraguado del cemento*

Agua potable			Agua subterránea		
Tiempo (hora)	Tiempo (minutos)	Penetración (milímetro)	Tiempo (hora)	Tiempo (minutos)	Penetración (milímetro)
9:05	5	41	3:07	5	41
9:20	20	41	3:22	20	41
9:35	35	41	3:37	35	41
9:50	50	41	3:52	50	41
10:05	65	41	4:07	65	40
10:20	80	41	4:22	80	40
10:35	95	41	4:37	95	40
10:50	110	40	4:52	110	40
11:05	125	40	5:07	125	39
11:20	140	38	5:22	140	37
11.35	155	37	5:37	155	35
11:50	170	36	5:52	170	20
12:05	185	35	6:07	185	12
12:20	200	3	6:22	200	5



12:35	215	3	6:37	215	3
12:50	230	1	6:52	230	3
1:05	245	0	7:07	245	0

---

Nota: Fuente: propia.

De la Figura 21 se observa que las muestras de mortero tuvieron un comportamiento similar antes de llegar al tiempo de fraguado inicial y que los dos tipos de muestras de mortero coinciden en su tiempo de fraguado final.

Benigno Orozco y Jeison Palacio (2015) afirman “se considera que el agua no tiene un efecto significativo en las características de fraguado y resistencia del concreto, si al realizar el ensayo especificado en la NTC 118, se obtiene que los tiempos de fraguado inicial del cemento, determinados a partir de muestras elaboradas con agua de ensayo y agua testigo, no difieren entre si en mas de 30 minutos”

Por lo tanto el agua subterránea utilizada para elaborar mortero en esta investigación no genera un efecto significativo para los tiempos de fraguado, ya que la diferencia entre los tiempos de fraguado inicial de las muestras elaboradas con agua de ensayo y testigo es de 24 minutos.

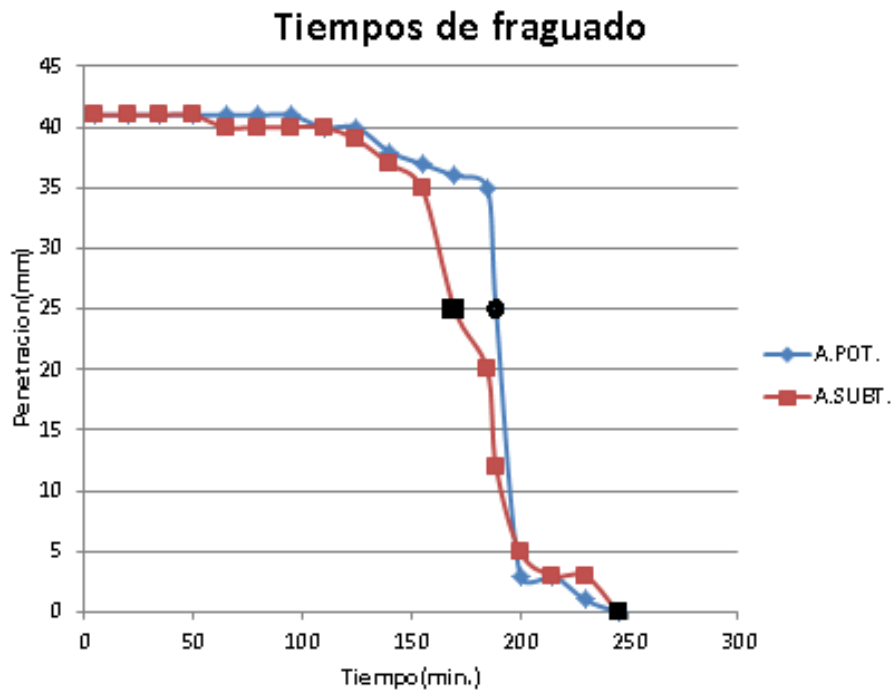


Figura 21. *Tiempos de fraguado de muestras de mortero fabricadas con agua subterránea y agua potable.*

Nota: Fuente: propia.

#### 4.4. Comportamiento a la compresión y análisis estadístico

La Tabla 11 muestra las resistencias a la compresión obtenidas para 48 cubos de mortero hidráulico, de los cuales 24 fueron elaborados con agua subterránea (Asub) y 24 con agua potable (Apot), estos últimos son considerados como muestra patrón o blanco.

El promedio de la resistencia a la compresión de los cubos de mortero fabricados con agua subterránea, evaluada a los 7 días, es equivalente al 96% de la resistencia promedio de los cubos de mortero fabricados con agua testigo o potable, cumpliendo así los requisitos físicos expuestos en el numeral 2.2.2.2 de la norma (NTC 3459, 2001) lo que quiere decir que el agua subterránea utilizada es aceptable como agua para concretos.

Por otra parte teniendo en cuenta los datos estadísticos, se pudo analizar que:

- La dispersión de los datos de resistencia de las muestras de agua potable y subterránea, es significativa con respecto a la media en cada edad de curado, sin embargo, al extraer los promedios de resistencia de las muestras de agua potable y subterránea y realizar el análisis estadístico correspondiente, se evidenció que existe muy poca dispersión entre la media de los dos tipos de muestra en cada edad de curado, es decir que los valores promedios entre las resistencias de las muestras de mortero fabricadas con agua subterránea y potable son muy cercanos entre sí.
- Al comparar los coeficientes de variación máximos establecidos para la edad de 3 y 7 días en la Tabla A1 de la norma NTC 220, con los coeficientes de variación obtenidos del análisis estadístico de resistencias medias en la Tabla 12, se observó que los coeficientes obtenidos a los 3 y 7 días, no exceden los límites establecidos por la norma antes mencionada, siendo así un resultado aceptable; Para cada edad de curado, se fabricaron 3 cubos de mortero además a los que establece la norma, con el propósito de obtener un resultado más preciso, cabe resaltar que los valores de los coeficientes de variación establecidos en la Tabla A1 de la norma NTC 220 fueron desarrollados para ensayos de tres cubos hechos de la misma batchada.

Un resultado similar se observó en la investigación realizada por (Julio y Morales, 2018), donde al realizar el análisis estadístico de las resistencias de cubos de mortero elaborados con agua potable y agua lluvia, se evidenció una variación significativa con respecto a la media, en cada edad de curado; A pesar de ello, al realizar el análisis estadístico con los promedios de resistencia de los dos tipos de muestras, se obtuvo una dispersión mínima, cumpliendo sus coeficientes de variación con los límites establecidos en la norma ASTM C109.

Tabla 11

*Resistencias obtenidas para muestras elaboradas con agua subterránea y con agua potable (muestra patrón) a los distintos días de curado.*

Edad (Días)	Cubos agua potable				Cubos agua subterránea				
	Resistencia (PSI)	Promedio (PSI)	Desviación estándar	CV	Resistencia (PSI)	Promedio (PSI)	Desviación estándar	CV	% Resistencia
1	472,88				509,87				
	645,83				488,87				
	927,76				959,75				
	593,85	670,16	152,98	23	587,85	606,51	178,81	29	90,5
	642,83				499,87				
	737,81				592,85				
	1583,4				1423,9				
3	1798				1381,85				
	1529,75				1287,6				
	1249,9	1423,9	254,83	18	1387,65	1400,22	130,03	9	98,38
	1260,05				1638,5				
	1122,3				1281,8				
	1360,1				2056,1				
7	2260,55				1249,9				
	2234,45				1914				
	1879,2	1928,5	335,53	17	2141,65	1861,08	320,05	17	96,5
	1789,3				1813,95				
	2047,4				1990,85				
	3045				2682,5				
28	2270,7				2212,7				
	2260,55	2720,2	468,65	17	2312,75	2548,38	237,53	9	93,68
	3414,75				2799,95				
	2878,25				2553,45				

2451,95

2728,9

---

 Nota: Fuente elaboración propia Galván Juan, Guzmán Andrea

Tabla 12

*Variación entre la resistencia del agua potable y del agua subterránea, con respecto a la media.*

Edad	Ref.	Resistencia media	Promedio	Desviación estándar	%CV
1	A.pot	670,16	638,34	45,01	7
	A.subt	606,51			
3	A.pot	1423,9	1412,06	16,74	1
	A.subt	1400,22			
7	A.pot	1928,5	1894,79	47,67	3
	A.subt	1861,08			
28	A.pot	2270,02	2634,29	121,50	5
	A.subt	2548,53			

---

 Nota: Fuente elaboración propia Galván Juan, Guzmán Andrea

De acuerdo al comportamiento de los morteros observados en la Figura 22, se puede observar que:

- Las resistencias de los cubos elaborados con agua subterránea y potable van aumentando con respecto pasan los días.
- Los porcentajes de resistencias de los cubos de mortero elaborados con agua subterránea, tuvieron una disminución con respecto a las muestras patrón de 9.5%, 1.6%, 3.5% y 6.3% a los 1, 3, 7 y 28 días de edad, respectivamente.

- Las resistencias alcanzada a los 28 días por los dos tipos de mortero, 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)

Un comportamiento similar se observó en el trabajo realizado por (Orozco y Palacio, 2015) donde al fabricar bloques con mezcla de concreto elaborada con agua subterranea y fallarlos a la compresion, se pudo analizar que la resistencia disminuyó en un rango de 11 a 16 por ciento con respecto a la muestra patron, sin embargo se concluyó que era aceptable para la elaboracion de bloques de concreto pero no para elementos de mayor cuantia.

De igual forma (Nan, Buquan y Fu-shung, 2001) en su trabajo de investigacion, al realizar muestras de mortero con agua potable, subterranea y de lavado, se pudo dar cuenta que la resistencia a la compresion del mortero elaborado con agua subterranea fue menor comparada con la muestra patron, pero aceptable por la normativa utilizada ASTM C94.

Y asimismo (Castillo,2019) obtuvo como resultado, al fallar a la compresion cilindros elaborados con agua subterranea y de mar, que la resistencia de los cilindros elaborados con el agua subterranea y de mar, fueron menor con respecto a la muestra patron, pero solo los elaborados con agua subterranea alcanzaron la resistencia de diseño.

Teniendo en cuenta el presente trabajo y las investigaciones antes mencionadas, se puede evidenciar que aunque todas las investigaciones se realizaron en distintos lugares del mundo, se observa que las resistencias obtenidas en los morteros y concretos elaborados con agua subterranea fueron menor con respecto a las obtenidas de las muestras patrón.

Una posible razón por la cual la resistencia a la compresión del mortero de estudio fue menor con respecto al mortero de control, es la presencia de sulfatos (cabe resaltar que para esta investigación no se realizó ensayo de sulfatos a las muestras de agua empleadas), ya que según (Orozco y Palacio, 2015) las aguas subterráneas poseen una alta cantidad de ellos.

Al entrar en contacto los sulfatos con los compuestos hidratados del cemento, se generan dos reacciones involucradas en el ataque a la resistencia del mortero.

- La primera es la reacción del sulfato con hidróxido de calcio liberado durante la hidratación del cemento, formando sulfatos de calcio (yeso).
- Y la segunda reacción es la formación de sulfoaluminato de calcio (Ettringita), al reaccionar sulfato de calcio con el aluminato de calcio hidratado.

Estas dos reacciones dan como resultado una expansión o incremento de volumen en los especímenes de mortero y crea una presión capaz de causar fisuras, lo que al final produciría una pérdida en la resistencia (Garzon, 2013).

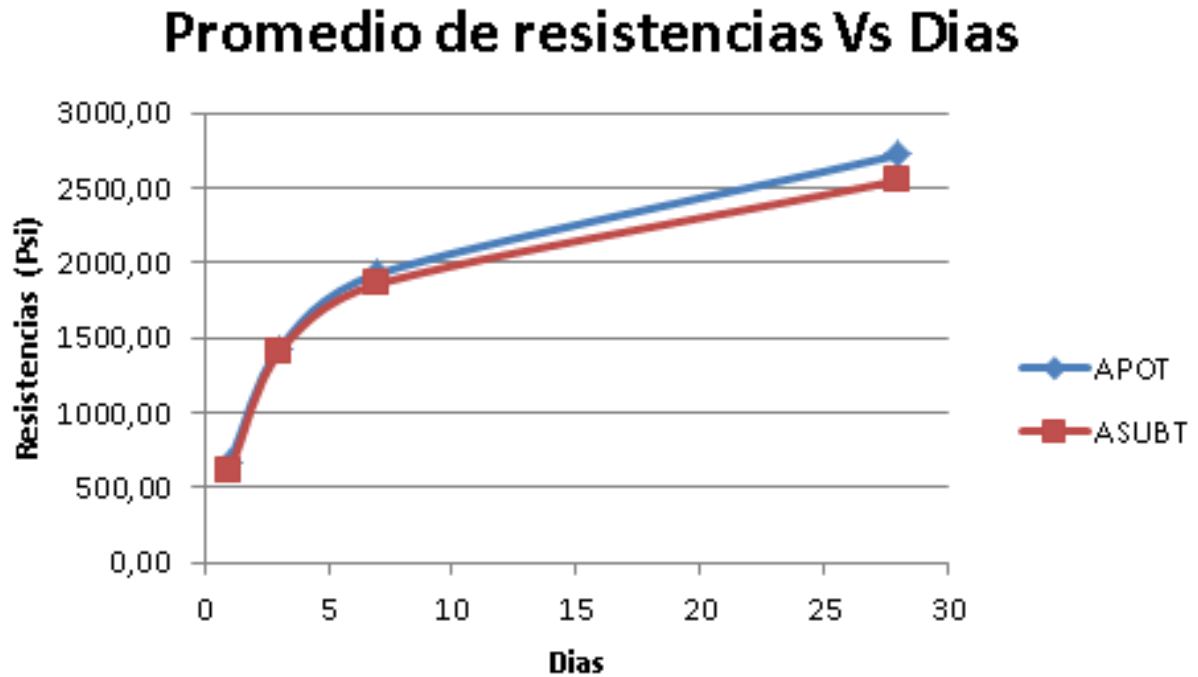


Figura 22. Curva análisis de resistencia: *fuentes* propia.

## 5. Conclusión

Por medio de la de investigación desarrollada se ha podido llegar a las siguientes

conclusiones:

- La resistencia de la muestras producidas con agua subterránea, evaluada a los 7 días es igual al 96% de la resistencia de la muestra patrón, siendo así aprobada como agua para concretos según la norma (NTC 3459,2001) de esta manera puede emplearse como recurso para producir mortero hidráulico.



- Aunque la resistencia del mortero elaborado con agua subterránea presentó una disminución en las diferentes edades de curado, la resistencia que alcanzó a los 28 días, cumple con la resistencia mínima para morteros tipo M, exigida por el título D (mortero de pega) de la norma (NSR10, 2010). Por lo tanto el mortero elaborado con agua subterránea, puede utilizarse como mortero de pega.
- La mezcla de mortero hidráulico elaborada con agua subterránea al igual que la elaborada con agua potable, tuvo el mismo tiempo de fraguado, por lo tanto el agua subterránea, no altera el tiempo de fraguado.
- Los valores medios de resistencia para cada tipo de mortero en cada edad de curado, son cercanos entre sí, y no sobrepasan los valores máximos de coeficientes de variación establecidos por la norma NTC 220, por lo cual se puede concluir que al realizar este ensayo con 6 especímenes de mortero por edad de curado, se obtuvo más precisión en los resultados.
- Al revisar literatura existente y comparar con los datos obtenidos en la caracterización de las muestras de agua se puede concluir que los valores obtenidos no tienen algún efecto adverso en la resistencia o tiempos de fraguado del mortero; sin embargo según lo analizado en la literatura, se presume que el parámetro sulfato que no se determinó en esta investigación, puede ser el causante de la disminución en la resistencia del mortero fabricado con agua subterránea, es por esto que para futuros estudios sobre influencia del agua en la resistencia del mortero se sugiere determinar este parámetro también.
- Por último, se responde a la pregunta problema de la presente investigación al concluir que, el agua subterránea tiene una influencia negativa en la resistencia a la

compresión del mortero, provocando una reducción mínima en la resistencia a la compresión.

## 6. Referencias

- AAA. (1 de enero de 2020). triple a s. a e.s.p. Barranquilla, Colombia, dé triple a s.a e.s.p. Recuperado de <https://www.aaa.com.co/tarifas/>
- Aquae, F. ( s.f). Fundación aquae. Madrid, España, Fundacion aquae. Recuperado de <https://www.fundacionaquae.org/wiki-aquae/como-se-forma-agua-subterranea/>
- Bogotá, s. d. (1 de 11 de 2019). Secretaria Distrital De Ambiente Bogotá. Bogotá, Colombia, Alcaldía De Bogotá. Recuperado de <http://ambientebogota.gov.co/aguas-subterraneas>

- 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.
- Castro,A.(2016).*Las fibras de vidrio, acero y polipropileno en forma de hilachas, aplicadas como fibras de refuerzo en la elaboración de morteros de cemento.*(Tesis de pregrado).Universidad Técnica De Ambato,Ambato,Ecuador.
- Cedeño,A.(Diciembre,2011)Aglomerantes, morteros y aplanados adecuados para proteger.*Revista de arquitectura.*(13),pp.111.
- Clesceri,L.(2012). *Standard Methods. Estados Unidos: American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation.*United States: American Water Works Association.
- Collazo,M., y Montaña,J.(2012).*Manual de aguas subterránea.*Montevideo,Uruguay:Denad Internacional S.A.
- Cruzado,J. y Li,M.(2015). Analisis 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.
- De la sotta, J.(2010). *Análisis comparativo entre mortero de junta para albañilería fabricado en obra y mortero premezclado húmedo para albañilería*(Tesis de pregrado).Universidad Austral De Chile,Valdivia,Chile.
- 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.
- Espinosa,C.(2004).*Hidraulica de aguas subterráneas y su aprovechamiento.*Santiago de Chile,Chile:Universidad De Chile.
- Garzon,W.(2013). *Estudio de durabilidad al ataque de sulfatos del concreto con agregado reciclado*(Tesis de maestria).Universidad Nacional De Colombia, Bogotá, Colombia.
- Gomez-Zamorano,L.Y., y Castillo-Linton,C.E.(2016). Modificación de las propiedades de matrices cementantes mediante la adición de nano partículas de sílice.*Alconpat*,6(2),101-115.
- Gorgas, J. (2011). *Estadística básica para estudiantes de ciencias.* Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Gutiérrez,L.(2003).*El concreto y otros materiales para la construcción.*Manizales,Colombia:Universidad Nacional De Colombia.
- Huerta,G.(2009).Hidrogeoquímica de aguas subterráneas en la cuenca del estero punitaqui,iv región.(Tesis de pregrado).Universidad De Chile,Santiago de Chile,Chile.

- Ingeominas. (2011). *Las aguas subterráneas: Un enfoque práctico*. Medellín, Colombia: Imprenta Nacional De Colombia.
- Instituto Nacional De Vías (INVIAS). (2007). I.N.V.E-123-07. *Análisis granulométrico de suelo por tamizado*. Bogotá, Colombia.
- Instituto Colombiano De Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2007). Norma técnica colombiana NTC 3937. *Arena normalizada para ensayos de cemento hidráulico*. Bogotá, Colombia.
- Instituto Colombiano De Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2004). Norma técnica colombiana NTC 118. *Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado hidráulico mediante el aparato de vicat*. Bogotá, Colombia.
- Instituto Colombiano De Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2001). Norma técnica colombiana NTC 3459. *Agua para la elaboración de concretos*. Bogotá, Colombia.
- Instituto Colombiano De Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2017). Norma técnica colombiana NTC 220. *Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico a la compresión, usando cubos de 50mm o 2 pulgadas de lado*. Bogotá, Colombia.
- Julio, D., Morales, L. (2018). *Influencia de la calidad del agua lluvia en la resistencia a compresión de morteros hidráulicos* (Tesis de pregrado). Universidad De La Costa, Barranquilla, Colombia.
- Lozano, w. (2013). *calidad fisicoquímica del agua*. Bogotá, Colombia: Universidad piloto de Colombia.
- Mejía, M., Chinchilla, V. y Mendoza, C. (2012). *Determinación de la resistencia a la compresión de mortero empleando especímenes cilíndricos y cúbicos, utilizando arena del occidente del país* (Tesis de pregrado). Universidad De El Salvador, Santa Ana, El Salvador.
- Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Reglamento Colombiano De Construcción Sismoresistente NSR-10*. Bogotá, Colombia.
- Molina, K. (2006). *Evaluación de morteros para albañilería y revestimientos elaborados a base de cementos mezclados con escorias de horno* (Tesis de pregrado). Universidad De San Carlos De Guatemala, Ciudad de Guatemala, Guatemala.
- Moura, F., Chavez, S., Noblecilla, W., Sanchez, I., Torero, P., y Gamarra, M. (2005). *Desafíos del derecho humano al agua en el Perú*. Lima, Perú: Grafica Loro's S.A.
- Murphy, T. (1 de diciembre de 2008). *ASTM standardization news*. Obtenido de ASTM standardization news: <http://www.astm.org>
- Nan, S., Buquan, M. y Fu-shung, L. (2001). *Effect of wash water and underground water on properties of concrete*. *Cement and concrete research*, 32(2002), 777-782.

- Navas-Carro,A., y Arias-Barrantes,E.(2015).Propiedades del mortero empacado en seco para pega de bloques de manposteria.*Ingenieria*,25(2),45-58.
- Orozco,B. y Palacio,J.(2015).Influencia de las características del agua subterránea en la resistencia de las unidades de manposteria de concreto con perforaciones verticales de fabricación artesanal.Caso de estudio:Villanueva,Bolivar.(Tesis de pregrado).Universidad De Cartagena,Cartagena,Colombia.
- Rivera,G.(2013). “ Agua De Mezcla”,*Concreto Simple*(pp. 77-82).Popayan,Colombia:Editorial Universidad Del Cauca.
- Rivera,N., y Leal,J.(2018). *Análisis estadístico de la resistencia a compr esión del mortero empleado en losa de piso por medio de especímenes cilíndricos*(Tesis de pregrado).Universidad Piloto De Colombia,Bogotá,Colombia.
- Romero,J.A.(2009).*Calidad del agua*,Bogotá,Colombia:Escuela Colombiana De Ingenieria.
- Romero,J.A.(1999).*Calidad del agua.*,United States:Alfaomega grupo editor.
- Salamanca,R.(Diciembre,2001).La tecnología de los morteros.*Ciencia e ingeniería neogranadina*.11(1),41-48.
- Sánchez,D. (2000). Tecnología del Concreto y del Mortero.Bogota,Colombia: Bhandar Editores.
- San Juan,M., y Chinchon,S.(2014).*Introduccion a la fabricación y normalización del cemento portland*.Alicante,España:Union De Editoriales Universitarias Españolas.
- Vasquez,L., y Villadiego,N.(2018).*Caracterización mecánica y química del sistema mortero-poliurea*(Tesis de pregrado).Universidad De La Costa,Barranquilla,Colombia.
- USAT. (2014). Aplicaciones del agua en la ingenieria civil. Chiclayo.

## 7. Anexos

**Para Cubos y cilindros según EN 12390-4**

Modelos 50 -	C46D02 C46D04	C56D02 C56D04	C68D02** C68D04**
Capacidad	2000	3000	4000
Dimens. Platos (mm)	300 diám.	300 diám.	300x300 cuadrado
Recorrido pistón (mm)	50	50	50
Luz vertical máx. (mm)*	350	350	520
Luz horizontal (mm)	350	370	425
Para especímenes: Cubos (cm): Cilindros (cm):	10, 15, 20 10x20, 15x30, 16x32	10, 15, 20 10x20, 15x30, 16x32	10, 15, 20, 30 10x20, 15x30, 16x32, 25x50
Dimensiones totales (lxdxh) mm	895x410x1440	980x465x1460	1095x560x1500
Peso aprox. (kg)	760	1120	2040

*Anexo A: Ficha técnica Máquina para ensayo a la compresión, laboratorio de tecnología de materiales estructurales universidad de la costa (CUC): fuente propia.*

### **8.Recomendaciones:**

- Hacer un ensayo de concentración de sulfatos en el agua subterránea y potable, ya que estos influyen en la resistencia y durabilidad de elementos a base de cemento portland.
- Estudiar más a fondo los niveles de hierro del agua potable, ya que en este laboratorio (CITA), se realizan la mayoría de las investigaciones y trabajos de grados.

