

Jugo de Fique Químicamente Estabilizado para Uso como Aditivo en el Concreto

Kevin Mauricio Massey Espinosa, Carlos Andrés Galvis Santander

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil

Director

Ricardo Alfredo Cruz Hernández

Ingeniero Civil. MSc, PhD

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Ingeniería Civil

Bucaramanga

2023

Dedicatoria

En primera instancia a Dios por darme la vida y las ganas de siempre superarme por no dejarme desistir y darme la fortaleza suficiente para luchar contra toda adversidad.

A mi mamá Adriana, por su sacrificio y apoyo en todo momento, por brindarme su amor y su cariño, por nunca bajar los brazos y ser la primera persona que estuvo cuando sentía que no podía más.

A mi papá Carlos Massey por el apoyo incondicional, por los consejos e impulsos que me brindó durante este largo camino y su amor que nunca faltó, por enseñarme a luchar en los momentos más difíciles y sobre todo por enseñarme a salir de cualquier problema.

A mi hermana Nathaly por las sonrisas que lograba sacarme cuando más las necesitaba, por su ayuda brindada redactando los documentos y tomando datos para culminar este gran proyecto.

A mi gran amor Gabi, por estar siempre presente en mis noches de desvelo y de cansancio, por brindarme ese amor y cariño, su apoyo incondicional, por los pequeños detalles que hacía para que yo pudiera recuperar las ganas de seguir adelante con mis sueños.

A mi abuela Sonia y mis tías Goya y Tita que con su gran amor y apoyo aportaron un granito de arena en la realización de este proyecto, por los momentos de alegría que me brindaron y las sonrisas a lo largo de este proceso.

A mi abuelo Oki que desde el cielo me cuida y me apoya para que pueda tomar las mejores decisiones siempre, por ser mi ángel guardián y no permitir que pierda mi rumbo.

A Megan y Coni por ser mi mejor compañía, fieles e incondicionales, por su amor y brindarme su energía, por siempre cuidarme y alegrar mi vida.

A mi familia que nunca dudó ni un segundo de mí, porque siempre se preocuparon y me brindaron el apoyo moral en mi carrera.

A mi compañero de tesis Carlos Galvis, por su amistad y colaboración en cada momento durante el desarrollo en este gran proyecto.

Kevin M.

A Dios, por darme la vida y la fortaleza para superar cada obstáculo

*A mis padres, Humberto y Ester, por traerme al mundo y darme ese apoyo incondicional
en todo momento.*

*A mis tías, Isabel y Maria Eugenia, por ser parte fundamental en mi formación
como persona y como profesional.*

*A mi compañero Kevin Massey, por su apoyo, colaboración, confianza y amistad
en todos estos años de universidad.*

*A la Universidad Industrial de Santander por abrirme sus puertas para poder
Cursar y culminar mis estudios de pregrado como Ingeniero Civil.*

*A Jairo “Mechuda”, técnico del laboratorio de la UIS por brindarnos sus conocimientos
y apoyo en la realización de todas las pruebas de la investigación.*

Carlos G.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	12
1. Objetivos	15
1.1 Objetivo General	15
1.2 Objetivos Específicos.....	15
2. Metodología	16
2.1 Caracterización de los Materiales	16
2.1.1 Agua.....	16
2.1.2 Jugo de Fique	17
2.1.3 Cemento	21
2.1.4 Agregados Grueso y Fino	21
2.1.5 Biocida (Bioclear 2000).....	23
2.2 Tiempo de Fraguado	25
2.3 Determinación del Asentamiento en el Hormigón.....	26
2.4 Resistencia a la Compresión de Cilindros de Hormigón	27
3. Resultados y Análisis de Resultados.....	29
3.1 Caracterización del Jugo de Fique	29
3.1.1 Formación de Espuma.....	30
3.1.2 Pérdida por Calcinación.....	32
3.1.3 Determinación del Extracto Seco Convencional	32
3.1.4 Biocida	33
3.2 Tiempo de Fraguado	35

3.3 Ensayo de Asentamiento.....	37
3.4 Ensayo de Compresión	39
4. Conclusiones	41
Referencias Bibliográficas	43

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Diseño de mezcla, proporción de materiales por metro cúbico	16
Tabla 2 Resumen de las propiedades químicas del jugo de fique.....	32
Tabla 3 Medición de pH para Jugo de fique sin Biocida y con adición de Biocida	33
Tabla 4 Tiempos de fraguado inicial para las muestras ensayadas.....	35
Tabla 5 Tiempos de fraguado final para las muestras ensayadas	36
Tabla 6 Convenciones para mezclas de concreto con jugo de fique y Biocida	38
Tabla 7 Resultados de ensayo de compresión simple a los 7 días de curado	39
Tabla 8 Resultados de ensayo de compresión simple a los 28 días de curado	40

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Ensayo de formación de espuma	18
Figura 2 Probetas de jugo de fique con adición de Biocida para ensayo de pH.....	24
Figura 3 Masa de mortero con jugo de fique con adición de Biocida al 5%	24
Figura 4 Montaje para ensayo de tiempo de fraguado.....	26
Figura 5 Montaje de ensayo para determinar el asentamiento del hormigón	27
Figura 6 Proceso de curado para probetas a ensayar	29
Figura 7 Resultados ensayo de formación de espuma para jugo de fique con adición de Bioclear 2000.....	30
Figura 8 Resultados ensayo de formación de espuma para jugo de fique	31
Figura 9 Densidad de morteros con adición de Biocida para los porcentajes mencionados	34
Figura 10 Comparativa de tiempos de fraguado inicial para las muestras ensayadas	35
Figura 11 Comparativa de tiempos de fraguado final para las muestras ensayadas.....	36
Figura 12 Asentamiento para mezclas de concreto con jugo de fique y Biocida	38
Figura 13 Resistencia a los 28 días de curado	40

Lista de Apéndices

“Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS”

Apéndice A. Diseño Mezcla ACI211

Apéndice B. Ensayo Vicat Biocida

Apéndice C. Propiedades Arena

Apéndice D. Propiedades Grava

Apéndice E. Ensayo Visual Biocida

Resumen

Título: Jugo de Fique Químicamente Estabilizado para Uso como Aditivo en el Concreto *

Autor: Kevin Mauricio Massey Espinosa, Carlos Andrés Galvis Santander**

Palabras Clave: Jugo de fique, biocida, Bioclear 2000, asentamiento, compresión, fraguado, aditivo natural, hormigón armado.

Descripción: En el presente proyecto se llevó a cabo el estudio del comportamiento del Biocida *Bioclear 2000* al ser adicionado al jugo de fique y usado como aditivo en el concreto. Se diseñó una mezcla patrón con $f'c=25\text{ MPa}$ proyectando un asentamiento de 8 a 10 cm. Inicialmente se encontró que la adición del 10% de Bioclear 2000 con relación al volumen del jugo de fique aumentó 9.58% el pH de la solución, generó una disminución del 2.68% en la densidad del mortero y aumentó 15% la formación de espuma del jugo pasados 9 días de extracción. Las proporciones de jugo de fique empleadas fueron del 1%, 2% y 3% de la masa del cemento retirando la misma masa de agua sin variar la relación a/c. Se observó que todas las muestras analizadas tuvieron un aumento en el tiempo de fraguado en promedio de 48 min para cada mezcla con adición de Bioclear 2000 y sin aditivo. Se observó un aumento en los asentamientos generados por la mezcla de concreto con jugo de fique y Bioclear 2000 en 45% en promedio, mejorando la manejabilidad de la mezcla, arrojando resultados similares a los encontrados en estudios donde hubo presencia únicamente del jugo de fique. Se encontró una reducción del 31% en la resistencia a la compresión del hormigón con adición de jugo de fique respecto a la muestra patrón, para la mezcla que tuvo adición de Biocida, esta presentó un leve aumento en la resistencia a la compresión del 3% con respecto a las mezclas que sólo fue agregado jugo de fique. Los resultados de este ensayo arrojan que la mejor proporción de jugo de fique es del 1% con respecto a la masa de cemento del 10% de Biocida con respecto al jugo de fique, arrojando resistencias de hasta 22.96 MPa.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Ingeniería Civil. Director: Ricardo Alfredo Cruz Hernández. Ingeniero Civil, MSc, PhD.

Abstract

Title: Chemically Stabilized Figue Juice for Use as an Admixture in Concrete *

Author(s): Kevin Mauricio Massey Espinosa, Carlos Andrés Galvis Santander **

Key Words: Figue juice, biocide, Bioclear 2000, settlement, compression, setting, natural additive, reinforced concrete.

Description: In this project, the study of the behavior of Biocide Bioclear 2000 was carried out when it was added to figue juice and used as an additive in concrete. A pattern mixture design was carried out with $f'c = 25$ MPa projecting a settlement of 8 to 10 cm. Initially it was found that the addition of 10% of Bioclear 2000 in relation to the volume of figue juice increased the pH of the solution by 9.58%, generated a decrease of 2.68% in the density of the mortar and increased by 15% the foaming of the juice after 9 days of extraction. The proportions of figue juice used in this project were 1%, 2% and 3% of the mass of the cement removing the same mass of water in order not to vary the a/c ratio. It was observed that for all samples analyzed there was an increase in setting time by an average of 48 min for each mixture with the addition of Bioclear 2000 and without additive. An increase in settlements generated by mixing concrete with figue juice and Bioclear 2000 was observed by 45% on average, improving the manageability of the mixture, yielding results similar to those found in studies where only figue juice was present. A reduction of 31% was found in the compressive strength of concrete with the addition of figue juice with respect to the standard sample, for the mixture that had the addition of Biocide, this presented a slight increase in compressive strength of 3% with respect to the mixtures that only figue juice was added. The results of this test show that the best proportion of figue juice is 1% with respect to the mass of cement with 10% of Biocide with respect to figue juice, yielding resistances of up to 22.96 MPa.

* Degree Work

** Faculty of Físico-mecánicas Engineering. School of Civil Engineering. Director: Ricardo Alfredo Cruz Hernández, Civil Engineer. MSc. PhD.

Introducción

A lo largo de los últimos años se ha logrado evidenciar un constante aumento en la construcción, lo que conlleva al aumento en la fabricación y consumo de concreto y con ello la necesidad de mejorar las propiedades física y químicas. Esto permitió el ingenio y la creación de lo que hoy conocemos como aditivos químicos para uso en el concreto, pero estos son costosos y contaminan un poco, debido a estas condiciones, se ha creado una necesidad de los aditivos de origen natural.

Hoy en día son usados aditivos sintéticos en las mezclas de concreto y de mortero, pero algunos estudios realizados en algunos extractos de origen vegetal tales como el extracto de planta de cactus, otros aditivos basados en sapogeninas y algunos estudios realizados en aditivos proteicos de sangre animal, todos estos para el uso en materiales derivados del cemento, llegando a reportar resultados considerables para su aplicación en la construcción (Jaramillo, 2009).

El fique es una planta con origen en la América Tropical, específicamente en las regiones de Colombia y Venezuela. Actualmente en Colombia se cultiva fique y se extrae de ella la cabuya mediante procesos mecánicos (Cadena Productiva Nacional del Fique, 2006). Este cultivo se destaca en Colombia debido a la gran disponibilidad de la planta y por la variedad de propiedades mecánicas que posee esta, como la resistencia a la humedad y al calor (Herrera, 2020). Aproximadamente se producen treinta mil (30.000) toneladas de fibra de fique al año en el territorio nacional, los departamentos donde se encuentra la mayor producción en el país son: Cauca, Nariño, Antioquia y Santander (Cadena Productiva Nacional del Fique, 2006). Durante el proceso de beneficio únicamente el cuatro por ciento (4%) de lo producido es aprovechado como

fibra útil en la industria textil, dejando el otro 96% de residuo como jugo, bagazo y estopa (Herrera, 2020).

En las principales regiones donde se cultiva y produce el fique es muy común que se lave la cabuya después del proceso de desfibrado en los afluentes hídricos que rodeen dichas regiones, esto conlleva a una problemática ambiental debido a la contaminación del agua gracias a las propiedades fisicoquímicas del jugo, el cual posee un alto contenido en azúcares (Sacarosa, Glucosa y Fructuosa), algunas proteínas sapogénicas y demás. Todas estas son letales para los seres que habitan en estos afluentes (Cadena Productiva Nacional del Fique, 2006).

En investigaciones anteriores se ha determinado el uso de jugo de fique como aditivo natural en mezclas de concretos obteniendo como resultados un incremento significativo en el módulo de rotura, también se observó una, mayor formación de porosidad aislada, generando en la matriz cementicia poros, los cuales disminuyen la densidad del concreto (Herrera, 2020). En otros documentos donde también se ha estudiado el fique los resultados evidencian una mejora en la durabilidad de la mezcla del concreto a los agentes físicos y químicos (Ochoa & Jaramillo, 2007). Estudios realizados a concretos con adición de jugo de fique donde fueron sometidas las pruebas a condición de incendio, los resultados arrojaron un comportamiento aislante al fuego (Bayona & Castro, 2016).

Estos estudios de los cuales se basa este proyecto de investigación se toparon con una problemática en común, este problema radica en la rápida fermentación del jugo, esta fermentación varía entre 48 y 72 horas desde que el jugo ha sido extraído y no ha sido sometido a refrigeración alguna (Herrera, 2020). Esto radica en la formación de espuma del jugo, al pasar los días disminuye la cantidad de esta, esto conlleva a la pérdida de los poros en la matriz cementicia y a su vez contribuye a la pérdida de resistencia a la compresión en el concreto.

El fin de este proyecto de grado es la aplicación de un agente Biocida llamado Bioclear2000, un agente que puede llegar a controlar la fermentación del jugo. El agente Biocida es aplicado en cantidades de 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9% y 10% de la masa del jugo y luego es sometido a caracterización de las propiedades mecánicas del concreto diseñado con el fin de obtener resultados que consoliden un poco más las hipótesis que hasta el momento se tienen.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Aplicar jugo de fique de la variedad *Furcraea Cabuya Trel* químicamente estabilizado como aditivo plastificante y generador de poros en el concreto.

1.2 Objetivos Específicos

1. Determinar el efecto del jugo de fique sobre el asentamiento en concreto fresco para determinar su manejabilidad (Slump).
2. Analizar el efecto del jugo de fique estabilizado sobre el peso específico del concreto.
3. Determinar la influencia del jugo de fique estabilizado sobre la resistencia a la compresión.

2. Metodología

2.1 Caracterización de los Materiales

Para este estudio, se creó una mezcla de hormigón de referencia con una resistencia de 25 MPa con el fin de obtener un asentamiento promedio de entre 8 y 10 cm, siguiendo las especificaciones de la norma ACI 221 (ACI 211, 2002). El cemento usado en el diseño fue Portland tipo I de la marca Cemex. Los agregados empleados en este ensayo fueron suministrados por la Escuela de Ingeniería Civil y el grupo INME. A continuación, se presenta la proporción de cada material por metro cúbico en el diseño de mezcla.

A continuación, se presenta el diseño de mezcla realizado para este proyecto con la dosificación respectiva para cada material por metro cúbico.

Tabla 1

Diseño de mezcla, proporción de materiales por metro cúbico

DESCRIPCIÓN	DENSIDAD (kg/m ³)	PESO SIN JUGO (kg)	CON JUGO AL 1% (kg)	CON JUGO AL 2% (kg)	CON JUGO AL 3% (kg)
CEMENTO	3020	450	450	450	450
AIRE	0	0	0	0	0
AGUA	1000	225	222,75	220,5	218,25
GRAVA	2650	665	665	665	665
ARENA	2600	897	897	897	897
JUGO DE FIQUE	N/A	-	2,25	4,5	6,75
BIOCIDA	N/A	-	0,225	0,45	0,675

A continuación, se describe la caracterización de cada uno de los materiales:

2.1.1 Agua

Para lograr un diseño óptimo y alcanzar la resistencia de diseño establecida, se optó por el uso del preciado líquido proveniente del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga. Con el fin de

consultar el cumplimiento de la calidad fisicoquímica y microbiológica promedio se consultaron los parámetros mínimos establecidos por la NTC 3459 (NTC 3459, 2001). Esto con el fin de que las impurezas presentes en el agua no intervengas y/o afecten en el fraguado del concreto y en los valores de la resistencia final.

2.1.2 Jugo de Fique

El jugo de fique es el resultado de la producción de fibras a partir de la *Furcraea Cabuya* Trel, es un subproducto orgánico que representa aproximadamente el 96% del peso de la hoja (Cadena Productiva Nacional del Fique, 2006). En este proyecto se usó como aditivo natural en la mezcla de concreto con el fin de reemplazar una parte del agua de mezcla; su extracción fue manual, por medio de un trapiche artesanal, el cual exprimía las hojas de *Furcraea Cabuya* y arrojaba el jugo. Este jugo se recolectó en un recipiente y posteriormente se refrigeró a temperaturas inferiores a 5 °C para lograr conservar sus propiedades físicas y química (Herrera, 2020).

Para lograr una mejor caracterización al jugo de fique se le realizaron los siguientes ensayos:

2.1.2.1 Formación de Espuma.

Este ensayo se llevó a cabo según la ASTM D1173 (ASTM D1173-07, 2015), la cual consiste en realizar mediciones al volumen que genera la espuma después de que una solución de jugo fluya libremente desde una altura de 450 mm, estas mediciones se llevaron a cabo a los 0.30 segundos, 2 minutos, 5 minutos y 10 minutos. Se realizó la comparación de la formación de espuma tanto para el jugo de fique sin adición de Biocida, como para el jugo de fique con la adición de Biocida

Figura 1

Ensayo de formación de espuma



Nota. Tomado de Propuesta de Uso del Jugo de Fique como Plastificante del Concreto (2016).

Para lograr llevar a cabo este ensayo se debe tener a la mano los siguientes elementos: Probeta graduada de 200 mL, soporte metálico que logre una altura mínima de 450 mm para el montaje, bureta de 100 mL y un cronómetro.

Procedimiento

- Realizar debidamente el montaje de la estructura metálica que permitirá la caída del jugo de fique a unos 450 mm de altura.
- Se debe realizar el llenado de la bureta con 100 mL de jugo de fique sin Biocida y a la par agregar a la probeta unos 50 mL de jugo de fique sin Biocida teniendo cuidado de que no se genera espuma en el proceso de llenado.

- Se procede a ubicar la bureta a la altura de montaje, 450 mm con respecto a la mesa de referencia y se pone a circular la solución de fique midiendo su tiempo de caída con el cronómetro.
- Una vez termine el tiempo de caída de jugo se procede a medir el volumen de espuma formada en los intervalos de tiempo establecidos.
- Este procedimiento se debe repetir para la solución de jugo de fique con adición de Biocida.
- Una vez realizados los dos ensayos se proceden a comparar los resultados obtenidos.

2.1.2.2 Extracto Seco Convencional.

El objetivo de este ensayo es determinar el contenido de extracto seco del aditivo natural a una temperatura aproximada de 105 ± 3 °C. Para lograr llevar a cabo este procedimiento, se debe consultar y seguir la norma NTC 4601 (NTC 4601, 1999), la cual indica que:

- Se debe pesar una cantidad del aditivo natural que se encuentre entre 5 gr y 10 gr con una precisión de 0.001 gr.
- Luego, se debe colocar en una estufa precalentada a 105 ± 3 °C y mantenerla en su interior durante 6 horas.
- Después de este tiempo, se traslada el aditivo natural a un desecador y se pesa nuevamente.
- Este procedimiento se repite hasta obtener una masa constante del aditivo natural.

Una vez se realice el procedimiento anterior se calcula el porcentaje de extracto seco, utilizando la ecuación (1):

$$E_S(\%) = \frac{R}{M} * 100\% \quad (1)$$

Donde:

Es = Es el extracto seco en porcentaje.

R = Es la nada del residuo, en gramos.

M = Es la masa de la muestra del aditivo, en gramos.

2.1.2.3 Pérdidas por Calcinación.

El propósito de este ensayo es determinar la cantidad de masa que pierde el aditivo natural al exponerse a una temperatura de 1000 ± 25 °C hasta que alcanza un estado constante. El proceso se llevó a cabo de acuerdo con la norma ASTM C 114, la cual prescribe la colocación de la cápsula que contiene el residuo seco obtenido a 105 ± 3 °C en un horno de mufla a 1050 ± 25 °C durante una hora aproximadamente. Luego de retirar la cápsula del horno, se debe enfriar durante 30 minutos en un desecador antes de ser pesado en una báscula con una precisión de al menos 0.001 gr. Este proceso se repite hasta que se logre un estado constante.

El porcentaje de pérdida por calcinación se calcula mediante la ecuación (2):

$$P_C(\%) = \frac{M_3 - M_1}{M_2 - M_1} * 100\% \quad (2)$$

Donde:

Pc = Pérdida por calcinación en porcentaje.

M1 = Masa de la cápsula en gramos.

M2 = Masa de la cápsula con residuo seco a 105 °C.

M3 = Masa de la cápsula con sobrante de aditivo natural a 1050 °C.

2.1.3 Cemento

Para la elaboración de las probetas ensayadas en este documento se empleó cemento Portland tipo I de uso general, que cumple con las especificaciones físicas y mecánicas establecidas en la norma técnica colombiana, la NTC 121 (NTC 121, 2014), así como las especificaciones químicas establecidas en la norma técnica colombiana, la NTC 321 (NTC 321, 1982).

2.1.4 Agregados Grueso y Fino

Para la determinación de la granulometría, se siguió la norma técnica colombiana NTC 77 (NTC 77, 2017). Se seleccionó una muestra representativa de 1000 gramos del agregado fino y 7000 gramos del agregado grueso. Se utilizaron tamices No. 4,8, 16, 30, 50 y 100 para el agregado fino y tamices $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{8}$ y No. 4 para el agregado grueso, ordenados en forma descendente. La granulometría se prolongará mediante el análisis de la cantidad de material retenido en cada tamiz.

Para la determinación del contenido de materia orgánica en el agregado fino, se siguió la norma técnica colombiana NTC 127 (NTC 127, 2000). Se comparó la tonalidad del agregado con la escala de colorimetría de Gardner para determinar la cantidad de materia orgánica presente.

Para determinar la masa unitaria de los agregados, se seguirá el procedimiento de la norma técnica colombiana NTC 92 (NTC 92, 1995). La masa unitaria es un índice de la calidad del agregado y se determina mediante la ecuación (3), que relaciona la masa del agregado con su volumen.

$$Masa(M) = \frac{P_s - P_m}{V} \quad [3]$$

Donde:

M = Masa unitaria Kg/m³

P_s = Peso del medidor más el material s.s.s. suelto.

P_m = Peso del medidor.

Siguiendo la normativa NTC 176 (NTC 176, 1995) se adquirieron cuatro valores de densidad: La densidad aparente (D_{bulk}), la densidad aparente saturada superficialmente seca ($D_{A\,SSS}$), la densidad nominal (D_n) y el porcentaje de absorción. Estos valores se obtuvieron aplicando las siguientes ecuaciones (4), (5), (6) y (7):

$$Densidad\ aparente = \frac{C}{(A - B)} \quad [4]$$

$$Densidad\ aparente\ S.S.S = \frac{A}{(A - B)} \quad [5]$$

$$Densidad\ nominal = \frac{C}{(C * B)} \quad [6]$$

$$Absorción = \frac{(A - C)}{C} \quad [7]$$

Donde:

A = Es el peso de la muestra en condiciones S.S.S en el aire.

B = Peso de la muestra sumergida en agua.

C = Peso de la muestra secada en el horno, expuesta al aire.

Para la siguiente parte del ensayo y poder determinar la densidad y absorción del agregado fino se tomó como guía la norma técnica colombiana NTC 237 (NTC 237, 1995), donde se emplearon las ecuaciones (8), (9), (10) y (11) para obtener las siguientes propiedades: Densidad Nominal (D_n), Densidad aparente (D_{bulk}), la Absorción del material y la densidad aparente saturada superficialmente seca ($D_{A\,SSS}$).

$$Absorción\ (\%) = \frac{(B - D)}{C} \quad [8]$$

$$Densidad\ nominal = \frac{D}{(A - C + D)} \quad [9]$$

$$\text{Densidad aparente S.S.S} = \frac{B}{(A + B - C)} \quad [10]$$

$$\text{Densidad aparente} = \frac{D}{(A + B - C)} \quad [11]$$

Donde:

A = Es el peso del frasco con agua hasta la marca.

B = Peso de la muestra en condiciones S.S.S.

C = Peso de la muestra con el frasco y agua agregada hasta la marca.

D = Peso de la muestra secada al horno.

2.1.5 Biocida (Bioclear 2000)

Con el fin de lograr estabilizar las propiedades químicas del jugo de fique, se empleó el uso de un aditivo llamado Bioclear 2000, este aditivo fue suministrado por la escuela de Ingeniería Civil luego de haber realizado chequeos que confirmaran su posible uso en este proyecto.

El biocida Bioclear 2000 es un antimicrobiano superior que rápida y efectivamente protege contra muchos tipos de microorganismos incluyendo bacterias reductoras de sulfato y formadoras de limo de algas.

El Bioclear 2000 normalmente descontamina un sistema en una hora, es ideal para promover y mantener un ambiente controlado por bacterias al proporcionar manejabilidad, alta eficiencia y muerte rápida en el entorno.

Con el fin de encontrar una correcta dosificación para el uso del Biocida en este proyecto, se realizaron dos ensayos: pH de las probetas y densidad de mortero.

2.1.5.1 Ensayo de pH.

De acuerdo con la norma ASTM E70 (ASTM E70-07, 2015), se deben analizar tres muestras del jugo de fique a una temperatura de 20 ± 1 °C y diluirlas en 100 mL de agua

desionizada. Luego, se utiliza un electrodo conectado a un equipo medidor de pH con una precisión de 0.01 para medir el ph de cada una de las muestras. Es importante mencionar que antes de realizar las mediciones en las muestras, es necesario calibrar el equipo sumergiendo el electrodo en soluciones con pH conocido (pH= 7 y 4)

La figura 2, muestra las once probetas a las cuales se les realizó la medición del pH.

Figura 2

Probetas de jugo de fique con adición de Biocida para ensayo de pH



2.1.5.2 Densidad de la pasta de cemento.

La densidad de la pasta de cemento es una característica fundamental a tener en cuenta, es por esto que, con los porcentajes de Bioclear 2000 descritos en el numeral 2.1.5.1 los cuales fueron mezclados con el jugo de fique, se fabricaron probetas de mortero para medir su variación en cuanto a la densidad de cada una. Para la fabricación de las probetas se siguieron las pautas descritas en la NTC 112 (NTC 112, 1995).

El porcentaje de jugo de fique usado para este ensayo fue del 1% de la masa del cemento, el cual fue constante, la variable a tratar fue el aditivo Bioclear 2000.

Figura 3

Masa de mortero con jugo de fique con adición de Biocida al 5%



Para el cálculo de la densidad, se empleó la Ecuación 12:

$$D: \frac{M}{V} \quad (12)$$

Donde:

D = Densidad de la pasta de cemento.

M = Masa de la probeta de cemento.

V = Volumen de la probeta de cemento.

2.2 Tiempo de Fraguado

El tiempo de fraguado es un período durante el cual las reacciones químicas entre el cemento y el agua conducen a un proceso en el que se generan nuevos compuestos a diferentes velocidades de reacción, generando calor y permitiendo que la pasta de cemento se endurezca y aglutine los agregados de la mezcla de hormigón, lo que resulta en una estructura fuerte y densa.

Para calcular el tiempo de fraguado, se siguió la norma técnica colombiana NTC 118, que describe el método y ensayo para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico utilizando el aparato de Vicat. Para cumplir con esta norma y obtener el tiempo de fraguado del cemento con diferentes porcentajes de jugo de fique como aditivo, se utilizaron diversos elementos de laboratorio, tales como: Una balanza, Aparato de Vicat de uso manual brindado por la escuela

de Ingeniería Civil, una batidora mecánica industrial, un palustre y moldes metálicos para la mezcla (NTC 118, 2004).

Durante la prueba de tiempo de fraguado, se llevó a cabo la medición de la penetración de una aguja de 1 mm sobre la superficie de la pasta de cemento. La primera medición se llevó a los 30 minutos de su preparación y se realizó una medida cada 15 minutos hasta que la aguja ya no pudiera penetrar la pasta. Se registraron todas las mediciones y con interpolación se determinó el tiempo transcurrido para que la aguja penetre 25 mm que corresponde al fraguado inicial. El tiempo de fraguado final se determinó cuando la aguja ya no dejó marca visible en la superficie de la pasta. Para el montaje de la prueba y su desarrollo se siguió el procedimiento descrito en la NTC 118 (NTC 118, 2004) y se puede observar en la figura 4.

Figura 4

Montaje para ensayo de tiempo de fraguado



2.3 Determinación del Asentamiento en el Hormigón

Se puede conocer la manejabilidad de una mezcla a través de la medición indirecta de su fluidez, esto, por medio de la prueba de asentamiento, que se llevó a cabo de acuerdo con los parámetros de la norma NTC 396 (NTC 396, 2021).

Para llevar a cabo el ensayo de asentamiento se debe contar con el siguiente equipo: Cono estándar de forma cónica, varilla compactadora metálica de punta redonda, palustre y flexómetro.

Para el buen desarrollo del ensayo se deben llevar a cabo los siguientes pasos:

- Se debe disponer de una superficie plana y rígida, sobre ella se ubica el molde cónico.
- Sujetando firmemente se procede a vaciar la mezcla de concreto en tres capas de igual espesor, cada una debe ocupar aproximadamente un tercio de su volumen.
- Cada capa de mezcla debe ser compactada con 25 golpes de la varilla metálica.
- Al tener listo el molde con la mezcla compactada se retira el molde y se mide el asentamiento que presente la mezcla, este asentamiento es determinado por la diferencia de alturas entre el molde y la mezcla.

Figura 5

Montaje de ensayo para determinar el asentamiento del hormigón



2.4 Resistencia a la Compresión de Cilindros de Hormigón

El proceso de evaluación de la resistencia a la compresión del concreto se lleva a cabo mediante la implementación de las directrices establecidas en las normas ASTM C231 (ASTM

C231, 2022) Y ASTM C39 (ASTM C39, 2021). Este procedimiento implica la preparación y el curado de muestras de concreto en un ambiente de laboratorio controlado, seguido por la aplicación de una carga axial a los cilindros de concreto. El cilindro está sometido a una velocidad de carga que varía entre 0.14 MPa/seg y 0.35 MPa/seg hasta que se genera una falla en el material, lo que permite obtener su resistencia final a la compresión.

Para la correcta realización del ensayo es necesario contar el siguiente equipo: Moldes para probetas cilíndricas de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura, balanza de precisión, varilla metálica compactadora y prensa hidráulica.

- Inicialmente se llevó la dosificación de los materiales según el diseño de mezcla tanto para los agregados finos y gruesos, como para el agua, jugo de fique, biocida y cemento.
- Se incorporaron los materiales con su debido proceso con el fin de obtener el concreto a ensayar.
- Posteriormente se procedió a fabricar las probetas con el molde plástico cilíndrico, cabe resaltar que para cada tipo de mezcla se realizaron tres probetas (Muestra patrón, Adición de jugo al 1%, adición de jugo al 3%, adición de jugo al 1% con Biocida y adición de jugo al 3% con Biocida), estas probetas fueron falladas cumplidos los 7, 14 y 28 días de curado. La probeta se debe fabricar en tres capas, cada una ocupando un tercio de su volumen y compactando a 25 golpes.
- Pasadas 24 horas de realizadas las probetas en los moldes, se procedió a retirarlos y ubicarlos en el tanque de curado.
- Una vez haya transcurrido el tiempo de curado y dependiendo de los días del ensayo a realizar, se extrajeron las probetas del tanque de curado para su posterior fallo en

la prensa hidráulica, esta registró la carga máxima para el cálculo de la resistencia a la compresión, la cual se obtuvo mediante la siguiente ecuación (13):

$$R_c = \frac{F_c}{A} \quad (13)$$

Donde:

A = Área superficial de la probeta

F_c = Resistencia última del espécimen

R_c = Esfuerzo en kg/cm^2

Figura 6

Proceso de curado para probetas a ensayar



3. Resultados y Análisis de Resultados

3.1 Caracterización del Jugo de Fique

Al momento del desarrollo de la investigación, se seleccionaron cuatro aspectos principales para evaluar la calidad del jugo de fique como aditivo para concreto:

- Pérdida por calcinación
- Formación de espuma

- Extracto seco convencional

Estas pruebas sirven para realizar una caracterización físico-química del jugo en general, los resultados de las mismas se muestran a continuación:

3.1.1 Formación de Espuma

La estructura de poros en el hormigón endurecido está influenciada por la capacidad de formación de espuma del jugo y su estabilidad. Por lo tanto, se realizó una prueba para determinar el volumen de espuma formado a diferentes edades del jugo de fique con la adición del agente Biocida, para el desarrollo se siguió el procedimiento establecido en el numeral 2.1.2.1. Para este ensayo se utilizó jugo de fique puro al 100%. Con el fin de evitar la fermentación del jugo, este se mantuvo refrigerado el tiempo transcurrido desde su extracción.

Se midió la producción de espuma en los días 2, 9 y 15, agregando el 10% de Bioclear 2000 con respecto a la masa del jugo de fique.

En la Figura 7, se pueden apreciar los resultados obtenidos para mezcla de jugo de fique con aditivo Bioclear 2000 y en la Figura 8 se aprecian los resultados para la formación de espuma de sólo el jugo de fique.

Figura 7

Resultados ensayo de formación de espuma para jugo de fique con adición de Bioclear 2000

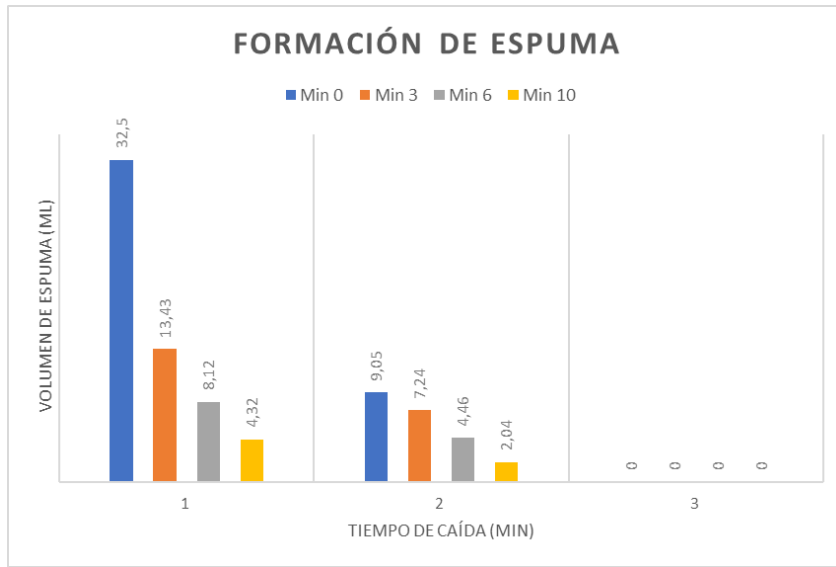
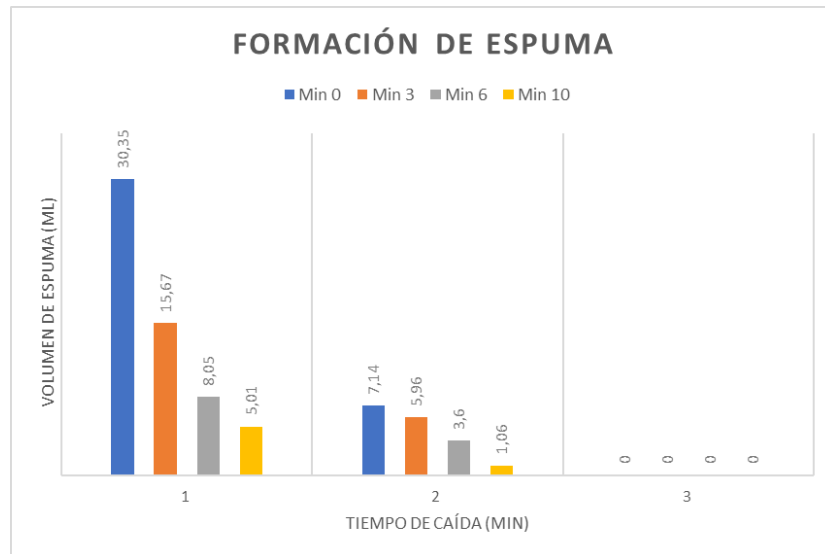


Figura 8

Resultados ensayo de formación de espuma para jugo de fique



En la figura 8 se logra observar que, a mayor maduración del jugo disminuye la formación de espuma, esto podría significar una afectación a la estructuración de poros en la matriz cementicia.

En cuanto a la figura 7, se concluye que la adición de Bioclear 2000 logra mejorar en un 24% la formación de espuma con respecto a la muestra que sólo posee jugo de fique tras pasar los primeros 9 días de extracción del jugo.

En cuanto al día 15 de extracción se evidencia que para las dos muestras no se cuenta con formación de espuma.

3.1.2 Pérdida por Calcinación

Con los resultados obtenidos en la toma de datos se calculó mediante la ecuación (2) el porcentaje que se obtiene de pérdidas por calcinación del aditivo natural sin adición de Biocida siendo este el 91.38% y el restante 8.62% corresponde a materia orgánica.

3.1.3 Determinación del Extracto Seco Convencional

Una vez realizada la toma de muestras y datos, se calculó el porcentaje de extracto seco convencional. Arrojando un porcentaje del 92.78% de contenido de agua y el restante 7.22% referente al extracto seco. Para el desarrollo de este ensayo se siguió el procedimiento explicado en el ítem 2.1.2.3. utilizando la ecuación (1).

A continuación, se presentan resumidas las propiedades químicas del jugo de fique obtenidas en los ensayos anteriores:

Tabla 2

Resumen de las propiedades químicas del jugo de fique

Característica	Valor sin Biocida	Valor con Biocida al 10%
pH de la solución	4.59	5,16
Pérdidas por calcinación	8.62%	N/A
Extracto seco convencional	7.22%	N/A

3.1.4 Biocida

A continuación, se presentan los resultados de la caracterización del Bioclear 2000 para uso en probetas de hormigón.

3.1.4.1 Ensayo de pH.

Con el fin de determinar si el jugo es ácido o alcalino, se llevó a cabo la ejecución del estudio comparando los resultados tanto para una muestra de jugo sin aditivo y muestras de jugo de fique con adición de Bioclear 2000 según los porcentajes expresados anteriormente.

Tabla 3

Medición de pH para Jugo de fique sin Biocida y con adición de Biocida

Descripción	Medición de pH
(1) Jugo de fique sin adición de Biocida	4.59
(2) Jugo de fique con adición de Biocida al 1%	4,56
(3) Jugo de fique con adición de Biocida al 2%	4,43
(4) Jugo de fique con adición de Biocida al 3%	4,71
(5) Jugo de fique con adición de Biocida al 4%	4,6
(6) Jugo de fique con adición de Biocida al 5%	4.57
(7) Jugo de fique con adición de Biocida al 6%	4,75
(8) Jugo de fique con adición de Biocida al 7%	4,67
(9) Jugo de fique con adición de Biocida al 8%	4,82
(10) Jugo de fique con adición de Biocida al 9%	4,78
(11) Jugo de fique con adición de Biocida al 10%	5,16

Se logra observar que, no hay gran variación del pH en las muestras que se les adicionó el Bioclear 2000 con respecto a la muestra patrón. La muestra que más variación tuvo fue la muestra donde la adición del Bioclear 2000 es mayor, llegando a un pH de 5,16 (Bioclear al 10% de la

masa de jugo de fique) marcando una diferencia y un posible punto para analizar en futuros ensayos.

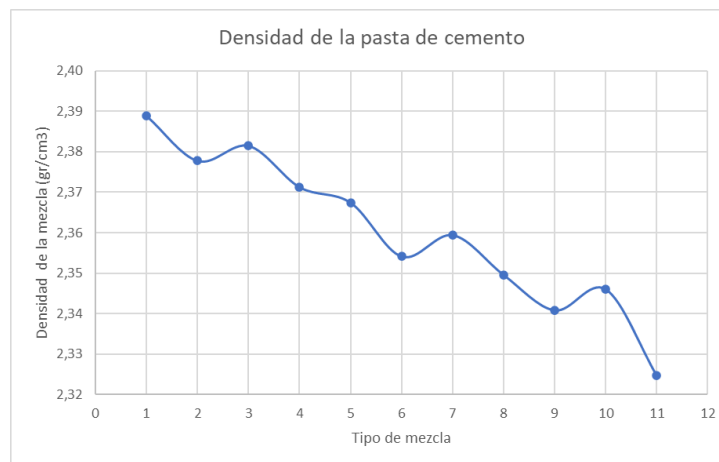
3.1.4.2 Densidad de la Pasta de Cemento.

Se llevó a cabo la realización de 11 probetas de mortero, siguiendo la NTC 112 (NTC 112, 1995) con el fin de validar la variación en la masa y la densidad del mortero variando el porcentaje de aditivo Bioclear 2000 para un mismo porcentaje de jugo de fique, en este caso, se agregó al mortero el 1% de jugo de fique en masa de cemento, retirando la misma cantidad de agua para no variar la relación de a/c.

En la Figura 9, se expresan los resultados del ensayo de densidad.

Figura 9

Densidad de morteros con adición de Biocida para los porcentajes mencionados



Se puede deducir que, el Bioclear 2000 logra disminuir la densidad del mortero, esta propiedad es directamente proporcional a la cantidad adicionada a la mezcla de mortero.

Se logra observar una reducción máxima del 2,7% en la densidad del mortero cuando se adicionó el 10% de Bioclear 2000 en relación con la masa de jugo de fique.

3.2 Tiempo de Fraguado

Se define al tiempo de fraguado inicial como el tiempo transcurrido en el cual la aguja de 1 mm logra penetrar hasta una profundidad de 25 mm la muestra, se realizó la toma de datos y aplicando la interpolación de estos se logró hallar estos tiempos para las muestras ensayadas, a continuación, en la Tabla 4 se presentan los tiempos de fraguados iniciales obtenidos.

Tabla 4

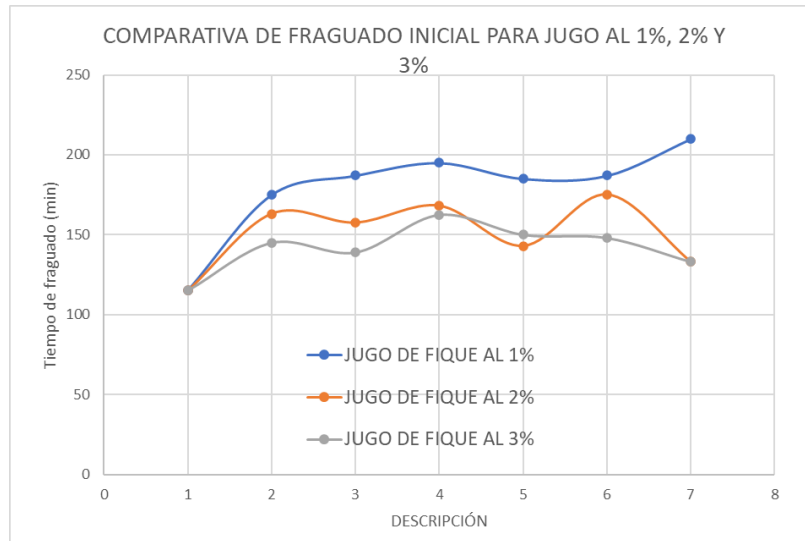
Tiempos de fraguado inicial para las muestras ensayadas

Descripción	Fraguado inicial jugo al 1% (min)	Fraguado inicial jugo al 2% (min)	Fraguado inicial jugo al 3% (min)
Muestra Patrón	115	115	115
Biocida al 0%	175	163	145
Biocida al 2%	187	157,5	139
Biocida al 4%	195	168	162,5
Biocida al 6%	185	143	150
Biocida al 8%	187	175	148
Biocida al 10%	210	133	133

En la figura 10, se presenta el gráfico comparativo para las muestras ensayadas.

Figura 10

Comparativa de tiempos de fraguado inicial para las muestras ensayadas



Se define al tiempo de fraguado final como el tiempo en el que la muestra ensayada presenta endurecimiento, es decir, la aguja no penetra la muestra ni deja marca visible. En la tabla 5 se expresan los resultados obtenidos del fraguado final.

Tabla 5

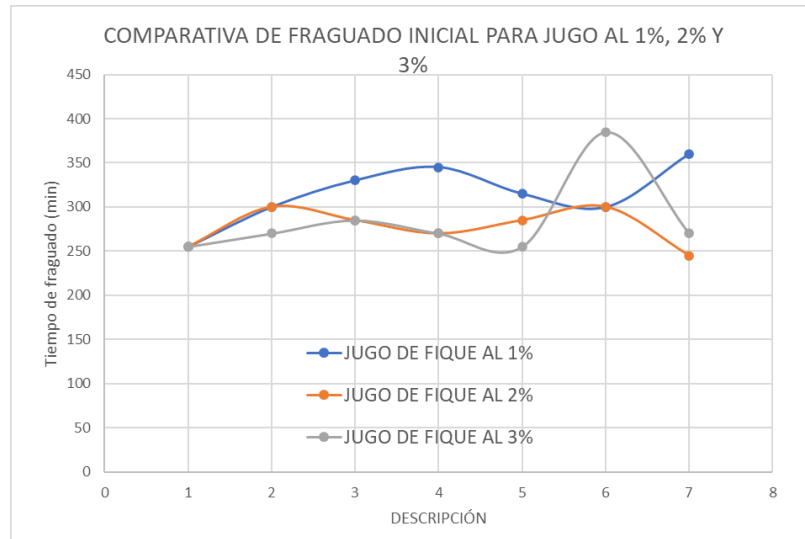
Tiempos de fraguado final para las muestras ensayadas

Descripción	Fraguado final jugo al 1% (min)	Fraguado final jugo al 2% (min)	Fraguado final jugo al 3% (min)
Muestra Patrón	255	255	255
Biocida al 0%	300	300	270
Biocida al 2%	330	285	285
Biocida al 4%	345	270	270
Biocida al 6%	315	285	255
Biocida al 8%	300	300	385
Biocida al 10%	360	245	270

En la figura 11, se presenta el gráfico comparativo del fraguado final para las muestras ensayadas.

Figura 11

Comparativa de tiempos de fraguado final para las muestras ensayadas



Según los resultados obtenidos, se logra observar que el jugo de fique sin aditivo genera un aumento en el tiempo de fraguado inicial y final en comparación con la muestra patrón, aunque este comportamiento no es lineal.

Por otro lado, el aumento en la proporción del jugo de fique genera que este aumento en los tiempos de fraguado disminuya progresivamente.

Al adicionar Biocida, se logra observar que disminuye, aunque muy poco notorio, los aumentos que ha generado la mezcla con jugo de fique.

Estos aumentos en los tiempos de fraguado pueden ser adjudicados a que este aditivo posee en su contenido, azúcares que actúan como retardantes del fraguado.

3.3 Ensayo de Asentamiento

Para este ensayo fueron elaboradas 3 mezclas, a las cuales se les agregó un porcentaje de jugo de fique y Biocida, con el fin de comparar su influencia en el asentamiento del hormigón, adicional se preparó una muestra patrón de hormigón con el fin de comparar los resultados.

En la Tabla 6 se presentan las convenciones usadas para estas mezclas:

Tabla 6

Convenciones para mezclas de concreto con jugo de fique y Biocida

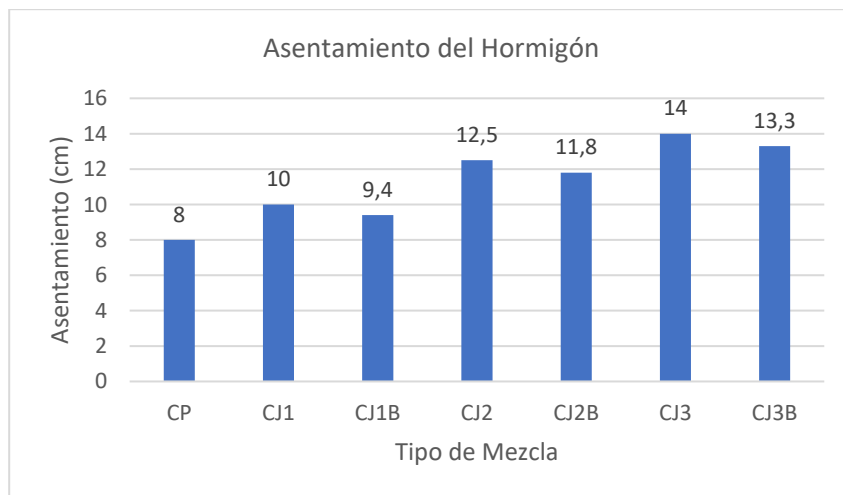
Tipo de Mezcla	Convención
Concreto de Patrón	CP
CP + 1% de jugo de fique	CJ1
CJ1 + Biocida	CJ1B
CP + 2% de jugo de fique	CJ2
CJ2 + Biocida	CJ2B
CP + 3% de jugo de fique	CJ3
CJ3 + Biocida	CJ3B

Para la evaluación del asentamiento de la mezcla, se utilizó el ensayo con cono de Abrams, el cual muestra la diferencia entre las alturas del cono de Abrams y la mezcla deformada luego de retirarlo. La diferencia entre estas dos medidas la llamamos asentamiento.

A continuación, en la Figura 12 se expresan los resultados del ensayo para las diferentes muestras:

Figura 12

Asentamiento para mezclas de concreto con jugo de fique y Biocida



Mediante los resultados obtenidos se observó que el jugo de fique mejoró el asentamiento de las mezclas de concreto. Esto significa que, al incrementar la cantidad del aditivo natural en la dosificación, su asentamiento aumentó, lo cual favorece la manejabilidad de la mezcla.

Para las mezclas a las cuales se les fue agregado el Biocida es visto que, aumenta el asentamiento de la mezcla con respecto a la muestra patrón (CP), pero, con respecto a las mezclas que sólo fue agregado jugo de fique, no varía mucho su resultado, se puede concluir que el Biocida no afecta en esta característica para las mezclas de concreto.

3.4 Ensayo de Compresión

Con relación a las propiedades mecánicas del hormigón en estado endurecido, se realizó el ensayo de compresión simple para las probetas con cada porcentaje de aditivo natural sin Biocida y las probetas con aditivo natural y adición de Biocida. Se tomaron datos de resistencia a los 7, 14 y 28 días de curado.

Para este ensayo se adicionó el 1, 2 y 3% en peso de cemento en jugo de fique a la mezcla, retirando el mismo gramaje de agua para conservar la relación a/c. Con respecto al Biocida, se adicionó el 10% en peso del jugo de fique.

En la Tabla 7 y Tabla 8 se observan los resultados mencionados anteriormente para los días 7 y 28 de curado respectivamente.

Tabla 7

Resultados de ensayo de compresión simple a los 7 días de curado

Convención	W (gr)	Rc (Mpa)
CP	3576	20,67
CJ1	3961	19,65
CJ1B	3522	19,37
CJ2	4052	17,88
CJ2B	3891	17,97

CJ3	3611	16,63
CJ3B	3595	16,82

Tabla 8

Resultados de ensayo de compresión simple a los 28 días de curado

Convención	W (gr)	Re (Mpa) 28 días
CP	3580	29,96
CJ1	3581	22,68
CJ1B	3490	22,96
CJ2	3608	21,92
CJ2B	3595	21,69
CJ3	3676	20,64
CJ3B	3608	20,89

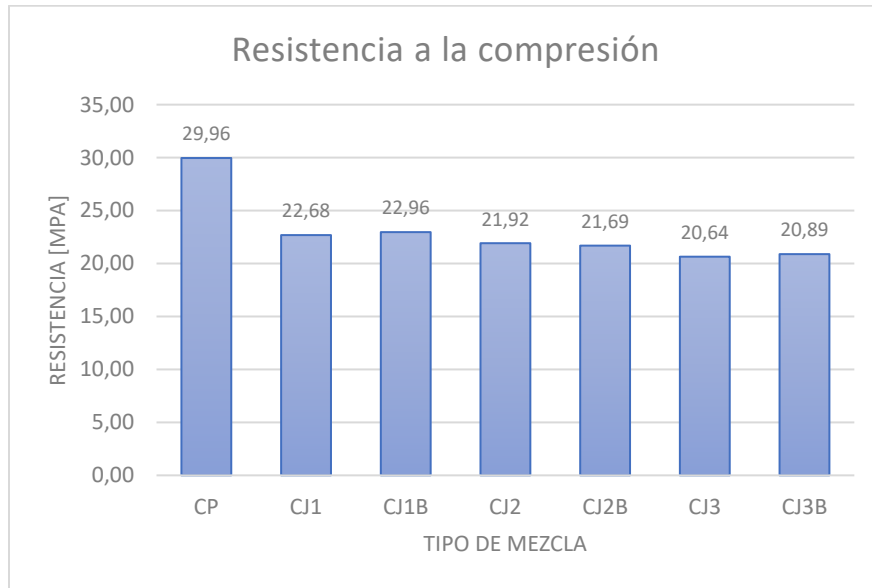
Se presentó pérdida en la resistencia a la compresión para todas las proporciones de jugo de fique estudiadas, llegando a obtener valores inferiores en un 31% con respecto a la muestra patrón.

Para las mezclas donde hay presencia de Biocida se logra observar una leve mejoría con respecto a las que no poseen Biocida, al igual, que se evidencia una disminución en el peso de la probeta como se ha mencionado anteriormente.

Esta pérdida en la resistencia se puede atribuir a la oclusión de aire y la presencia de azúcares en el jugo por consecuente se justifica la disminución en la densidad del mortero (Ochoa, 2009).

Figura 13

Resistencia a los 28 días de curado



4. Conclusiones

El uso de Biocida (Bioclear 2000) permite un aumento del 9,57% en el pH del jugo de fique para una dosificación del 10% con respecto al volumen del jugo.

Para esta misma proporción de Biocida se evidenció una disminución del 3% en la densidad del mortero ensayado con respecto a una muestra patrón.

La capacidad de generación de espuma aumentó en un 24% tras nueve días de la extracción del jugo cuando se agregó Bioclear 2000 al 10% en comparación con estudios realizados anteriormente para el jugo de fique.

La adición de jugo de fique al concreto mejoró su fluidez, aumentando y facilitando su manejabilidad, una vez se encontró en estado endurecido ayudó a la disminución de la densidad, esta misma tendencia se obtuvo a la hora de adicionar Biocida a la mezcla, concluyendo que la presencia del Biocida no afecta los resultados de la fluidez de la mezcla.

El jugo de fique no puede ser clasificado como aditivo retardante del concreto, pese a que prolongó los tiempos de fraguado para cualquiera de las dosificaciones y adicionando el Biocida, impidió que el concreto alcance la totalidad de la resistencia de diseño.

La resistencia a la compresión en las mezclas con presencia de jugo al 1%, 2% y 3% de la masa de cemento disminuyó en promedio un 30% con respecto a la muestra patrón.

Al adicionar Biocida a la mezcla con jugo de fique al 1%, 2% y 3% se obtuvo un leve aumento del 2,7% en la resistencia a la compresión con respecto a las mezclas que no lo poseían.

Según los resultados de esta investigación, el agente Biocida en cantidades del 10% mejora las propiedades químicas del jugo de fique (pH y formación de espuma a los 9 días de la extracción), generando pequeños aumentos en los tiempos de fraguados, asentamientos y ganando resistencia a la compresión.

Se recomienda seguir indagando en el mundo del jugo de fique, con el fin de lograr estabilizar la generación de espuma y prolongar su vida útil para que, en futuros diseños de mezcla, sea un material esencial y genere un impacto positivo para el medio ambiente.

Referencias Bibliográficas

- ACI 211. (2002). *Práctica Estándar para Seleccionar el Proporcionamiento de Concreto de Peso Normal, Pesado y Masivo.*
- ASTM C231. (2022). *Standard Test Method for Air Concrete of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method.*
- ASTM C39. (2021). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.*
- ASTM D1173-07. (2015). *Standard Test Method for Foaming Properties of Surface-Active Agents.*
- ASTM E70-07. (2015). *Standard Test Method for pH of Aqueous Solutions with the Glass Electrode.*
- Bayona, I. F., & Castro, N. (2016). *Evaluación de la Resistencia a Compresión de un Concreto Modificado con Jugo de Fique y Sometido a Condición de Incendio* (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Cadena Productiva Nacional del Fique. (2006). *Guía Ambiental del Subsector Fiquero*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12324/12855>
- Carreño, P. A., & Jacome, Y. S. (2016). *Propuesta de Uso del Jugo de Fique como Plastificante del Concreto* (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Cemex Colombia. (2014). *Catálogo Soluciones Cemex*. Obtenido de <https://www.cemexcolombia.com/documents/45752949/45757403/catalogo-soluciones.pdf>

- Herrera, J. O. (2020). *Desarrollo de un Concreto Convencional con Adición de Productos de Fique para el Empleo de Estructuras en Ambiente Agresivo* (Tesis doctoral). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Jaramillo, L. Y. (2009). *Evaluación del Jugo de Fique como Aditivo Oclisor de Aire y su Influencia en la Durabilidad y Resistencia del Concreto* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Kubissa, W., Jaskulski, R., & Grzelak, M. (2021). Torrent Air Permeability and Sorptivity of Concrete Made with the Use of Air Entraining Agent and Citric Acid as Setting Retardant. *Construction and Building Materials*, 268(121703), págs. 1-15. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121703>
- NTC 112. (1995). Ingeniería Civil y Arquitectura. Mezcla Mecánica de Pastas de Cemento Hidráulico y Morteros de Consistencia Plástica.
- NTC 118. (2004). Método de Ensayo para Determinar el Tiempo de Fraguado del Cemento Hidráulico mediante el Aparato de Vicat.
- NTC 121. (2014). Especificación de Desempeño para Cemento Hidráulico.
- NTC 127. (2000). Concretos. Método de Ensayo para Determinar las Impurezas Orgánicas en Agregado Fino para Concreto.
- NTC 176. (1995). Ingeniería Civil y Arquitectura. Método de Ensayo para Determinar la Densidad y la Absorción del Agregado Grueso.
- NTC 237. (1995). Ingeniería Civil y Arquitectura. Método para Determinar la Densidad y la Absorción del Agregado Fino.
- NTC 321. (1982). Ingeniería Civil y Arquitectura. Cemento Portland. Especificaciones Químicas.
- NTC 3459. (2001). Concretos. Agua para la Elaboración de Concretos.

- NTC 396. (1992). Ingeniería Civil y Arquitectura. Método de Ensayo para Determinar el Asentamiento del Concreto.
- NTC 396. (2021). Concretos. Método de Ensayo para Determinar el Asentamiento del Concreto.
- NTC 4601. (1999). Te. Determinación del Extracto Seco.
- NTC 77. (2017). Concretos. Método de Ensayo para Análisis por Tamizado de los Agregados Finos y Gruesos.
- NTC 92. (1995). Ingeniería Civil y Arquitectura. Determinación de la Masa Unitaria y los Vacíos entre Partículas de Agregados.
- Ochoa, J. C. (2009). *Uso del Licor de Plantas Agavaceas como Aditivo en Morteros y Hormigones* (Tesis doctoral). Universidad Politecnica de Valencia, Valencia, España.
- Ochoa, J. C., & Jaramillo, L. (2007). Uso del Fique como Aditivo Organico en el Hormigón. *Scientia et Technica*, 1(36). doi:<https://doi.org/10.22517/23447214.4997>
- Ortiz, C. E., & Ruiz, S. (2016). *Evaluación de las Propiedades Acústicas y de Conductividad Térmica de Morteros Modificados con Jugo de Fique* (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Saugo, A. V., Silvestro, L., Zunta, A. J., Agustini, M., Warsch, P., Longuini, W., & Gleize, P. J. (2020). Performance Evaluation of Commercial Superplasticizing Additives Based on Polycarboxylate on the Mechanical and Microstructural Properties of Portland Cement Pastes. *Revista Materia*, 25(4), págs. 1-18. doi:<https://doi.org/10.1590/S1517-707620200004.1203>
- Shah, H. A., Yuan, Q., & Zuo, S. (2021). Air Entrainment in Fresh Concrete and its Effects on Hardened Concrete-a Review. *Construction and Building Materials*, 274(121835), págs. 1-17. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121835>

- Tang, X., Zhao, C., Yang, Y., Dong, F., & Lu, X. (2020). Amphoteric Polycarboxylate Superplasticizers with Enhanced Clay Tolerance: Preparation, Performance and Mechanism. *Construction and Building Materials*, 252(119052), págs. 1-9. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119052>
- Wang, R., Han, K., Li, Y., & Jin, C. (2022). A Novel Anti-clay Silane-modified Polycarboxylate Superplasticizer: Preparation, Performance and Mechanism. *Construction and Building Materials*, 331(127311), págs. 1-11. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127311>
- Zeng, H., Lai, Y., Qu, S., & Yu, F. (2022). Exploring the Effect of Graphene Oxide on Freeze-thaw Durability of Air-entrained Mortars. *Construction and Building Materials*, 324(126708), págs. 1-15. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126708>