



**Uso del hongo *Laetiporus sulphureus* como aditivo para modificar las propiedades reológicas
(trabajabilidad) en las pastas de cemento utilizado en construcciones civiles**

Tupiza Cabrera, Jonathan Miguel

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería en Biotecnología

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Biotecnología

Trujillo Toledo, Luis Enrique Ph.D

21 de enero 2022

Informe Copyleaks



Tesis escrita 71 a Miguel Tupiza 0995340719 (Recuperado a...)
Scanned on: 15:15 January 20, 2022 UTC



Identical Words	143
Words with Minor Changes	27
Forbidden Words	01
Omniskid Words	0



Firmado digitalmente por:
**LUIS ENRIQUE
TRUJILLO
TOLEDO**

Trujillo Toledo, Luis Enrique, Ph. D.

C. C.: 1755850276



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería en Biotecnología

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, denominado **“Uso del hongo *Laetiporus sulphureus* como aditivo para modificar las propiedades reológicas (trabajabilidad) en las pastas de cemento utilizado en construcciones civiles”** fue realizado por el señor **Tupiza Cabrera, Jonathan Miguel** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 21 de enero del 2022



LUIS ENRIQUE
TRUJILLO
TOLEDO

Trujillo Toledo, Luis Enrique, Ph. D.

C. C.: 1755850276



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería en Biotecnología

Responsabilidad de autoría

Yo, **Tupiza Cabrera, Jonathan Miguel**, con C.C. 1722412978, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"Uso del hongo *Laetiporus sulphureus* como aditivo para modificar las propiedades reológicas (trabajabilidad) en las pastas de cemento utilizado en construcciones civiles"** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 21 de enero del 2022

J.M. Tupiza II

Tupiza Cabrera, Jonathan Miguel

C.C.: 1722412978



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería en Biotecnología

Autorización de publicación

Yo, **Tupiza Cabrera, Jonathan Miguel**, con C.C. 1722412978, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: "**Uso del hongo *Laetiporus sulphureus* como aditivo para modificar las propiedades reológicas (trabajabilidad) en las pastas de cemento utilizado en construcciones civiles**" en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 21 de enero del 2022

J.M. Tupiza

Tupiza Cabrera, Jonathan Miguel

C.C.: 1722412978

Dedicatoria

Esta tesis se la dedico a la vida, para demostrar que alguien con poco talento en matemáticas puede ser un ingeniero si se esfuerza día a día noche tras noche.

Miguel Tupiza

Agradecimientos

A todas las personas que me dieron su apoyo para llegar hasta este nivel, desde aquellos que me dieron un lápiz para ir a la escuela hasta aquellos que me prestaron el reómetro de miles de dólares para los análisis de viscosidad les doy las gracias, el ingeniero que soy ahora es gracias a ustedes, nada es mío todo lo que aprendí será para mi sociedad y poder tener un futuro más próspero.

Miguel Tupiza

Índice de contenidos

Informe Copyleaks	2
Certificado del director	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimientos	7
Índice de contenidos	8
Índice de tablas	13
Índice de figuras	15
Listado de abreviaturas y notaciones	19
Resumen	20
Abstract.....	21
Capítulo I-Introducción	22
Antecedentes.....	22
Justificación	22
Objetivos.....	24
Objetivo general	24
Objetivos específicos	24
Hipótesis	24
Capítulo II- Marco referencial	25

Cemento Selvalegre	25
Aditivos modificadores de viscosidad (VMA)	25
Aditivos biológicos	26
Goma de polisacáridos (PSG)	27
Polisacáridos en la pasta de cemento	27
Lignosulfonatos y su relación con la viscosidad aparente	28
Policarboxilatos y su relación con la viscosidad	28
Los hongos	28
Datos sobre los <i>Laetiporus sulphureus</i>	29
Polisacáridos de hongos.....	30
Límite de resistencia a la compresión	30
Reología	30
Flujo de cizallamiento	31
La trabajabilidad del cemento	31
Mecanismo de acción de los plastificantes	32
Ventajas de utilizar plastificantes	32
Límite de fluencia.....	32
Fluidos no newtonianos.....	32
Modelo de Bingham modificado.....	32
Observaciones en el modelo de Bingham modificado	33

	10
La viscosidad plástica	34
Viscosidad aparente.....	34
Relación entre viscosidad aparente y viscosidad plástica en Bingham modificado	35
Capítulo III-Materiales y métodos	36
Ubicación y zona de estudio	36
Ubicación política	36
Recolección de setas de <i>Laetiporus sulphureus</i>	36
Identificación macromorfológica y micromorfológica	36
Preparación de la muestra	36
Extracción de sacáridos de la seta	37
Determinación de la concentración de humedad en el concentrado de sacáridos	37
Fundición del cemento con agregados biológicos de hongos	37
Pruebas reológicas.....	38
Pruebas de resistencia a la compresión	40
Diseño experimental para pruebas reológicas y de resistencia mecánica	40
Bioaditivos	41
Concentraciones de los aditivos	41
Tratamientos	42
Repeticiones	42
Unidad experimental	42

	11
Variables.....	43
Capítulo IV-Resultados y discusión.....	44
Recolección de setas de <i>Laetiporus sulphureus</i>	44
Identificación macromorfológica y micromorfológica	44
Mezclas de los bioaditivos con el cemento	46
Análisis de la viscosidad	48
Factores que alteran la viscosidad y límite de fluencia.....	49
Tratamientos con biomasa	54
Tratamientos con sacáridos.....	62
Tratamientos con residuos	75
Tratamientos con Policarboxilatos	80
Comparación de los aditivos a 0,25%	85
Comparación de los aditivos a 0,5%	87
Comparación de los aditivos a 1%	89
Comparación de los aditivos a 1,5%	91
Comparación de los aditivos a 2%	93
Viscosidad plástica a diferentes concentraciones de diferentes aditivos	95
Límite de fluencia de diferentes aditivos a diferentes concentraciones	96
Análisis estadístico para la viscosidad plástica	97
Análisis estadístico para el límite de fluencia	99

Resistencia mecánica	101
Límite de resistencia a la compresión de los tratamientos	102
Análisis estadístico para el límite de RC de los tratamientos al 2%	103
Capítulo V-Conclusiones y recomendaciones	105
Conclusiones	105
Recomendaciones	105
Bibliografía	106

Índice de tablas

Tabla 1 Factor controlable de aditivo	41
Tabla 2 Factor controlable de concentración de aditivo	41
Tabla 3 Tratamientos de las pruebas reológicas	42
Tabla 4 Resumen de la regresión parabólica de los controles con diferente gap y volumen de llenado a $\gamma > 3,76(1/s)$ y su variación de la viscosidad plástica respecto al control 1	53
Tabla 5 Resumen de la regresión parabólica de los controles con diferente gap y volumen de llenado a $\gamma < 3,76(1/s)$ y su variación del límite de fluencia respecto al control 1	54
Tabla 6 Resumen de la regresión parabólica de los tratamientos con B a $\gamma > 3,76(1/s)$ y su variación de la viscosidad plástica respecto al control	58
Tabla 7 Resumen de la regresión parabólica de los tratamientos con B a $\gamma < 3,76(1/s)$ y su variación del límite de fluencia respecto al control 1	58
Tabla 8 Resumen de la regresión parabólica para B0,5% con tres repeticiones a $\gamma > 3,76(1/s)$ y su variación de la viscosidad plástica respecto al control	61
Tabla 9 Resumen de la regresión parabólica para B0,5% con tres repeticiones a $\gamma < 3,76(1/s)$ y su variación del límite de fluencia respecto al control 1	61
Tabla 10 Resumen de la regresión parabólica de los tratamientos con S a $\gamma > 3,76(1/s)$ y su variación de la viscosidad plástica respecto al control	70
Tabla 11 Resumen de la regresión parabólica de los tratamientos con S a $\gamma < 3,76(1/s)$ y su variación del límite de fluencia respecto al control	70
Tabla 12 Resumen de la regresión parabólica para S0,5% con dos repeticiones a $\gamma > 3,76(1/s)$ y su variación de la viscosidad plástica respecto al control	72
Tabla 13 Resumen de la regresión parabólica para S0,25% con dos repeticiones a $\gamma < 3,76(1/s)$ y su variación del límite de fluencia respecto al control	72

Tabla 14 Resumen de la regresión parabólica de los tratamientos con R a $\gamma > 3,76(1/s)$ y su variación de la viscosidad plástica respecto al control	78
Tabla 15 Resumen de la regresión parabólica de los tratamientos con R a $\gamma < 3,76(1/s)$ y su variación del límite de fluencia respecto al control	79
Tabla 16 Resumen de la regresión parabólica de los tratamientos con P a $\gamma > 3,76(1/s)$ y su variación de la viscosidad plástica respecto al control	84
Tabla 17 Resumen de la regresión parabólica de los tratamientos con P a $\gamma < 3,76(1/s)$ y su variación del límite de fluencia respecto al control	84
Tabla 18 Resumen de la prueba ANOVA para el análisis de la viscosidad plástica con un nivel de confianza del 95%	98
Tabla 19 Resumen de la prueba Tukey para el análisis de la viscosidad plástica con un nivel de confianza del 95%	99
Tabla 20 Resumen de la prueba ANOVA para el análisis del límite de fluencia con un nivel de confianza del 95%	100
Tabla 21 Resumen de la prueba Tukey para el análisis del límite de fluencia con un nivel de confianza del 95%	100
Tabla 22 Límites de resistencia a la compresión de los tratamientos B, S, R y P al 2% después de 21 días de la fundición y su variación respecto al control	103
Tabla 23 Resumen de la prueba ANOVA para límite de resistencia a la compresión de los tratamientos B, S, R y P al 2% con un nivel de confianza del 95%	104
Tabla 24 Resumen de la prueba Tukey para límite de resistencia a la compresión de los tratamientos B, S, R y P al 2% con un nivel de confianza del 95%	104

Índice de figuras

Figura 1 Requisitos físicos, químicos y de resistencia del cemento Selvalegre	25
Figura 2 Cuantificación de la velocidad de corte y el esfuerzo cortante para capas de fluido que se deslizan una sobre otra.	31
Figura 3 Modelos reológicos	33
Figura 4 Cola formada en el diagrama de esfuerzo contra tasa de corte a bajas velocidades de corte.....	34
Figura 5 Diagrama de viscosidad aparente contra tasa de corte para Bigham, dilatante, newtoniano, pseudoplástico	35
Figura 6 Procesos que se hicieron para a la biomasa antes de ser utilizada en los tratamientos experimentales	37
Figura 7 Fundición del cemento.....	38
Figura 8 Equipos para la reometría	39
Figura 9 Equipo para las pruebas de compresión	40
Figura 10 <i>L. sulphureus</i> de los bosques de Eucaliptos de la Parroquia de Guangopolo	45
Figura 11 Identificación microscópica de <i>L. sulphureus</i>	46
Figura 12 Mezcla de los aditivos con el cemento.....	47
Figura 13 Tratamiento P2% a las 24 h de la fundición sin fase líquida.....	48
Figura 14 Fase sólida del tratamiento S2% después de 96 h de la fundición, sin la capa blanda ..	48
Figura 15 Algunos elementos del reómetro.....	50
Figura 16 Diagramas de esfuerzo contra tasa de corte de los controles con diferentes parámetros de gap y llenado con $w/c=0,40$	52
Figura 17 Esfuerzo contra tasa de corte para los tratamientos con B a diferentes concentraciones con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a 300 μm	56

Figura 18 Viscosidad plástica a diferentes concentraciones de B con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a $300\ \mu\text{m}$	57
Figura 19 Límite de fluencia a diferentes concentraciones de B con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a $300\ \mu\text{m}$	57
Figura 20 Esfuerzo contra tasa de corte para B0,5% con tres repeticiones a $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor igual a $300\ \mu\text{m}$	60
Figura 21 Viscosidad aparente contra tasa de corte para B a diferentes concentraciones a $w/c=0,40$ con tamaño de partícula menor igual a $300\ \mu\text{m}$	62
Figura 22 Esfuerzo contra tasa de corte para los tratamientos con S a diferentes concentraciones con $w/c=0,40$	63
Figura 23 Viscosidad plástica a diferentes concentraciones de S con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a $300\ \mu\text{m}$	64
Figura 24 Límite de fluencia a diferentes concentraciones de S con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a $300\ \mu\text{m}$	65
Figura 25 Esfuerzo contra tasa de corte para los tratamientos con S2,5% y S3% a diferentes concentraciones con $w/c=0,40$	66
Figura 26 Esfuerzo contra tasa de corte para S2,5% con tres repeticiones individuales para una sola curva con $w/c=0,40$	67
Figura 27 Esfuerzo contra tasa de corte para S3% con tres repeticiones individuales para una sola curva con $w/c=0,40$	68
Figura 28 Mezcla de cemento con S2,5% con $w/c=0,40$ en la reometría	69
Figura 29 Esfuerzo contra tasa de corte para S0,25% con dos repeticiones con $w/c=0,40$	71
Figura 30 Viscosidad aparente contra tasa de corte para S a diferentes concentraciones a $w/c=0,40$ con tamaño de partícula menor igual a $300\ \mu\text{m}$	73

Figura 31 Viscosidad aparente contra tasa de corte para S2,5% y S3% a $w/c=0,40$ con tamaño de partícula menor igual a 300 micrómetros	74
Figura 32 Viscosidad aparente contra tasa de corte para S2,5% con tres repeticiones individuales para una sola curva con $w/c=0,40$	74
Figura 33 Viscosidad aparente contra tasa de corte para S3% con tres repeticiones individuales para una sola curva con $w/c=0,40$	75
Figura 34 Esfuerzo contra tasa de corte para los tratamientos con R a diferentes concentraciones con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a 300 μm	76
Figura 35 Viscosidad plástica a diferentes concentraciones de R con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a 300 μm	77
Figura 36 Límite de fluencia a diferentes concentraciones de R con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a 300 μm	77
Figura 37 Viscosidad aparente contra tasa de corte para R a diferentes concentraciones a $w/c=0,40$ con tamaño de partícula menor igual a 300 micrómetros	80
Figura 38 Esfuerzo contra tasa de corte para los tratamientos con P a diferentes concentraciones con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a 300 μm	81
Figura 39 Viscosidad plástica a diferentes concentraciones de P con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a 300 μm	82
Figura 40 Límite de fluencia a diferentes concentraciones de P con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a 300 μm	82
Figura 41 Viscosidad aparente contra tasa de corte para P a diferentes concentraciones a $w/c=0,40$ con tamaño de partícula menor igual a 300 micrómetros	83
Figura 42 Esfuerzo contra tasa de corte para los tratamientos con aditivos al 0,25% con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a 300 μm	86

Figura 43 Viscosidad aparente contra tasa de corte para aditivos al 0,25% con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor igual a 300 micrómetros.....	87
Figura 44 Esfuerzo contra tasa de corte para los tratamientos con aditivos al 0,5% con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a 300 μm	88
Figura 45 Viscosidad aparente contra tasa de corte para aditivos al 0,5% con $w/c=0,40$ con tamaño de partícula menor igual a 300 micrómetros.....	89
Figura 46 Esfuerzo contra tasa de corte para los tratamientos con aditivos al 1% con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a 300 μm	90
Figura 47 Viscosidad aparente contra tasa de corte para aditivos al 1% con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor igual a 300 micrómetros	91
Figura 48 Esfuerzo contra tasa de corte para los tratamientos con aditivos al 1,5% con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a 300 μm	92
Figura 49 Viscosidad aparente contra tasa de corte para aditivos al 1,5% con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor igual a 300 micrómetros	93
Figura 50 Esfuerzo contra tasa de corte para los tratamientos con aditivos al 2% con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a 300 μm	94
Figura 51 Viscosidad aparente contra tasa de corte para aditivos al 2% con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor igual a 300 micrómetros	95
Figura 52 Viscosidad plástica a diferentes concentraciones de diferentes aditivos con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a 300 μm	96
Figura 53 Límite de fluencia de diferentes aditivos a diferentes concentraciones con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a 300 μm	97
Figura 54 Límites de resistencia a la compresión de los tratamientos B, S, R y P al 2% después de 21 días de la fundición, $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor igual a 300 micrómetros.....	102

Listado de abreviaturas y notaciones

τ : Esfuerzo en (Pa)

τ_0 : Límite de fluencia en (Pa)

μ_p : Viscosidad plástica (Pa.s)

μ_a : Viscosidad aparente (Pa.s)

$\dot{\gamma}$: Velocidad de corte (1/s)

c : Constante (Pa.s²)

B: Biomasa

S: Sacáridos

R: Residuos

P: Policarboxilato sintético (Sika ViscoCrete 4100)

A: Aditivo

H₀: Hipótesis nula

H_a: Hipótesis alternativa

SC Ajust=Suma ajustada de los cuadrados

MC Ajust= Suma ajustada de las medias cuadradas

GL: Grados de libertad

w/c: Relación agua cemento

% Δ : Porcentaje de variación

RC: Resistencia a la compresión

R²: Velocidad de corte (1/s)

Resumen

Se recolectaron setas del bosque de Guangopolo ubicado al este de Quito y se procedieron a identificar macroscópicamente y microscópicamente confirmando que se trataba de *L.sulphureus* posteriormente se la secó a 35 °C , trituro y tamizo, se extrajo los sacáridos por medio del método de agua hervida. Se mezcló el agua con el cemento en una proporción de 0,40, posteriormente se le agregó B, S, R en concentraciones que variaron entre 0 y 2 %. En la evaluación de las propiedades reológicas, los tratamientos con B, S y R siguieron un modelo de Bingham modificado a tasas de corte mayores a 3,76 1/s, todos aumentaron la viscosidad plástica, pero se saturaron en B0,5% y R0,5%, a concentraciones mayores empezó a disminuir dicho parámetro excepto los S el cual presentó una proporcionalidad directa entre la viscosidad plástica y la concentración, pero los S2,5% de concentración tornaron seco el tratamiento y ya no se puede medir. Todos los tratamientos a tasas de corte menores a 3,76 1/s siguieron un modelo parabólico, además tendieron a disminuir el límite de fluencia a medida que aumenta la concentración de los mismos, la B y R empezaron a saturarse al 1%, la mezcla con S no se satura, pero a partir de 2,5 % se torna seca la mezcla. Los S2% fueron los mejores aditivos porque modificaron las propiedades del cemento con un aumento de la viscosidad plástica del 217,35 % y el límite de fluencia disminuyó en 75,37 % respecto al control. Todos los tratamientos al 2 % de concentración no modificaron la resistencia mecánica del cemento excepto B2% el cual mostró una disminución del 19,59 % respecto al control. Además, se realizó contrastes con P con los tratamientos.

Palabras claves:

- **LÍMITE DE FLUENCIA**
- **VISCOSIDAD PLÁSTICA**
- **RESISTENCIA MECÁNICA**

Abstract

Mushrooms were collected from the Guangopolo forest located east of Quito and they were identified macroscopically and microscopically, confirming that it was *L.sulphureus*, then dried at 35 °C, crushed and sieved, the saccharides were extracted by means of the method of boiled water. The water was mixed with the cement in a proportion of 0.40, later B, S, R was added in concentrations that varied between 0 and 2%. In the evaluation of the rheological properties, the treatments with B, S and R followed a modified Bingham model at shear rates greater than 3.76 1/s, all increased the plastic viscosity, but were saturated in B0.5% and R0.5%, at higher concentrations, this parameter began to decrease except for the S, which presented a direct proportionality between the plastic viscosity and the concentration, but the S2.5% concentration made the treatment dry and it can no longer be measured. All treatments at shear rates less than 3.76 1/s followed a parabolic model, in addition they tended to decrease the yield point as their concentration increases, the B and R began to saturate at 1%, the mixture with S is not saturated, but from 2.5% the mixture becomes dry. The S2% were the best additives because they modified the properties of the cement with an increase in the plastic viscosity of 217.35% and the yield point decreased by 75.37% compared to the control. All treatments at 2% concentration did not modify the mechanical resistance of the cement except B2%, which showed a decrease of 19.59% compared to the control. In addition, contrasts were made with P with the treatments.

Keywords:

- **LIMIT OF FLUENCE**
- **PLASTIC VISCOSITY**
- **MECHANICAL STRENGTH**

Capítulo I-Introducción

Antecedentes

Desde tiempos antiguos, los humanos han utilizado materiales procedentes de seres vivos para mejorar la calidad de los mismos, por ejemplo: la paja era adicionada en la fabricación de adobes en Mesopotamia hace más de 3000 años antes de Cristo, el betún era utilizado como aglutinante orgánico para repeler el agua, entre otros (Artioli et al., 2019). Los romanos utilizaban biopolímeros como proteínas, para el retardo del fraguado de la construcción, ellos mezclaban yeso con sangre seca de cordero, para obtener arrastre de aire en la estructura (Vitruvius, 2001).

Actualmente, las industrias cementeras requieren mejoras en sus materiales de construcción, por ejemplo: En la plastificación, retención de agua, adhesión, reducción de contracción, dureza etc. (Plank, 2004). En los últimos años, los ingenieros buscan agregados biológicos provenientes de desechos o plagas, para disminuir costos (Trujillo, 2019).

Recientemente, los peptidoglicanos junto con paredes celulares han sido utilizados para alterar las propiedades del cemento, de acuerdo a las necesidades industriales (Pei & Liu, 2015). En el año 2020 se publicó un estudio “New area of application and research in bio-processes: Biotechnologies in civil construction”, en la que alteraban los materiales de construcción con paredes celulares de microorganismos (Barberán et al., 2020). También, la nanocelulosa bacteriana ha sido utilizada para mejorar el mortero (Solís et al., 2019).

Justificación

En los últimos años, el concreto ha sido alterado para satisfacer las diferentes demandas en el mercado de la construcción, por ejemplo, la trabajabilidad del cemento mejora cuando se utilizan aditivos modificadores de la viscosidad (VMA) (Lachemi et al., 2004). Gran parte de dichos agregados son de origen inorgánico, tales como: melaninas, naftalenos, silicatos,

aluminatos, nitratos, formiatos, hidróxido de aluminio, tiocianatos entre otros; estos son tóxicos para el medio ambiente, así como los desechos que se generan al producirlos (Khayat, 1998). Por este motivo, las constructoras buscan VMA de carácter orgánico para ahorrar costos en la remediación ambiental y multas por parte del gobierno.

Los aditivos de origen biológico son otra opción para mejorar el cemento, estos han sido utilizados desde tiempos antiguos, por ejemplo, en Roma la sangre de cordero era adicionada a la mezcla de cemento para cambiar satisfactoriamente la trabajabilidad y prevenir el asentamiento (Vitruvius, 2001). En la actualidad, un estudio se está realizando para mejorar la reología (fluidez y dureza) del cemento utilizando células de *S. cerevisiae* (levadura de pan), los resultados previos muestran que la resistencia mecánica aumenta el doble (Vizuite, 2020). Esto se debe a que existen polímeros de azúcares en la célula de levadura, las observaciones de Lachemi (2004), han mostrado que la viscosidad plástica y el límite elástico del concreto aumenta, al adicionar polisacáridos a la mezcla, provocando que estos se adhieran a las moléculas de agua, reduciendo su movimiento formando un gel, otorgando robustez y trabajabilidad por causa de sangrado y segregación (Azima & Basaran, 2019).

El hongo *Laetiporus sulphureus* es una plaga, considerada parásito de los troncos de árboles vivos, produce una seta de gran tamaño de aproximadamente 30 cm de diámetro y de 1 kg de peso, muy grande en comparación a champiñones y hongos ostra (Luangharn et al., 2014). Dicho organismo es considerado el más fácil de domesticar y producir debido a que posee amplios rangos de temperaturas, cantidad de agua, humedad y luz, pero es tóxico para algunas personas cuando las ingieren (Akavia & Eden, 2017). Además, esta especie se la puede encontrar en la provincia de Pichincha en el Valle de los Chillos (Ordoñez, 2019). Lo que significa que el hongo es industrialmente viable porque se puede contar con mucha cantidad del mismo.

Según Kovács & Vetter (2015), *L. sulphureus* posee polisacáridos en sus células entre el 60 a 70 % exactamente, los que más destacan son quitina, beta-glucano (1→3) y heterogalactanos. Lo que muestra que el espécimen es un candidato potencial para uso industrial.

El proyecto se debe realizar por la gran demanda de un VMA a menor costo, amigable con el medio ambiente y más sostenible para mejorar las propiedades reológicas de las pastas de cemento; con estas finalidades, se propone usar células (o su pared), que provenga de setas de hongos *L. sulphureus*.

Objetivos

Objetivo general

Usar el hongo *Laetiporus sulphureus* como aditivo para modificar las propiedades reológicas (trabajabilidad) en las pastas de cemento utilizado en construcciones civiles.

Objetivos específicos

- Recolectar e identificar las setas naturales en la Parroquia de Guangopolo, por medio de su morfología macroscópica y microscópica.
- Mezclar a diferentes concentraciones el cemento con: las setas del hongo y agua, mediante el método de fundición.
- Evaluar las propiedades viscosas al suministrar componentes biológicos a la mezcla de cemento con agua y sus respectivas interacciones, mediante reometría.
- Evaluar la resistencia mecánica del cemento fundido con componentes biológicos, por medio de compresión mecánica.

Hipótesis

La seta de *Laetiporus sulphureus* funciona como un aditivo modificador de la viscosidad y resistencia para materiales a base de cemento.

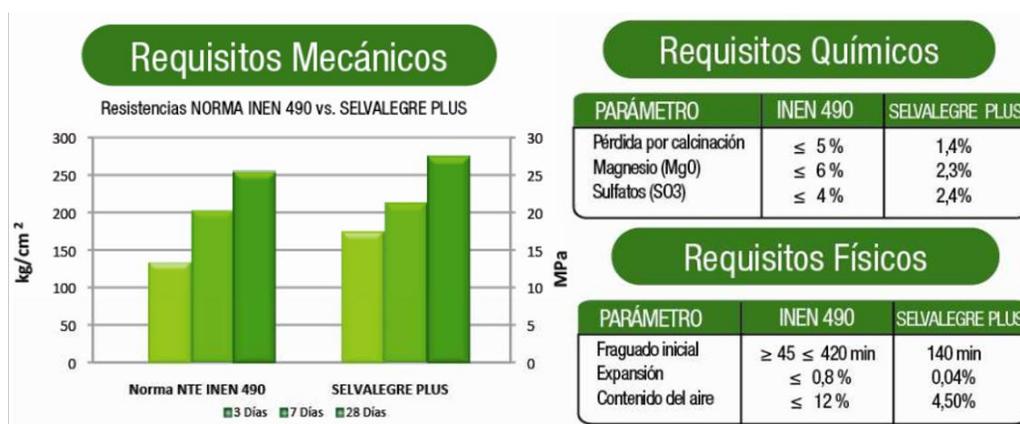
Capítulo II- Marco referencial

Cemento Selvalegre

El cemento Selvalegre es un material de construcción muy destacado en el Ecuador, es utilizado en obras civiles, viales, hidráulicas entre otras, es Portland Puzolánico Tipo IP, cumple con las normas INEN 490, puede soportar entre 35-50MPa, su fraguado es alrededor de 140 min, posee sulfatos alrededor del 2,4% (Figura 1) (Selvalegre, 2018).

Figura 1

Requisitos físicos, químicos y de resistencia del cemento Selvalegre



Nota. Reproducido de ficha técnica Selvalegre, de Selvalegre, 2018

(<https://ferrigonz.com.ec/wp-content/uploads/2018/01/Selvalegre.pdf>).

Aditivos modificadores de viscosidad (VMA)

Los aditivos modificadores de la viscosidad (VMA) son sustancias que alteran la reología de una mezcla, una de sus características es aumentar la viscosidad y la cohesión del concreto autocompactante (SCC) (Guo et al., 2011).

El SCC tiene la ventaja de poder rellenar las secciones fuertemente reforzadas de estructuras de una construcción sin aplicar vibración, con excelente deformabilidad y alta resistencia a la segregación (Kashani & Ngo, 2020). En la actualidad, este tipo de concreto es muy utilizado en diversas estructuras, su uso va aumentando desde su creación en Japón en los

años 1980 (Lachemi et al., 2004). Los materiales tales como polisacáridos, derivados de celulosa y polímeros a base de acrílico son muy frecuentes en los agregados de cemento (Kawai, 1987).

Diferentes tipos de VMA han dado buenos resultados, por ejemplo, la goma Welan está formada a base de polisacáridos naturales y modifica positivamente las propiedades reológicas de la lechada y el SCC (Sonebi, 2006). En otros casos, los VMA aumentan la rapidez de corte, ya que la viscosidad aparente disminuye, porque provoca que la mezcla exhiba un comportamiento de adelgazamiento por corte, debido a que se enreda las cadenas del polímero del VMA a una velocidad de cizallamiento baja (Lachem et al., 2004).

Aditivos biológicos

Los aditivos biológicos son aquellos que alteran las propiedades de los materiales de construcción, son de origen orgánico, una rama son los biopolímeros que pueden ser de: carácter natural, biotecnológico y biodegradable, estos aditivos orgánicos poseen moléculas funcionales que forman parte de varias sustancias que se encuentran en los seres vivos por ejemplo: lignosulfonatos, sodio, gluconato, extracto de raíz de pino, hidrolizados de proteínas y goma de mascar Welan (Plank, 2004). Existen otros agregados de base biológica que se adicionan al mortero entre ellos están: metil hidroxipropil celulosa, hidroxipropil almidón, goma guar, ácido tartárico, caseína, succinoglicano y goma xantana (Faris et al., 2020). En la actualidad, los biopolímeros son muy importantes debido a que son materiales biodegradables, cuya propiedad se puede transferir a una mezcla con cemento y agua, también dichos polímeros se encuentran en las estructuras de la célula (Plank, 2004).

Los romanos utilizaban biopolímeros como proteínas, para el retardo del fraguado de la construcción, mezclando yeso con sangre seca de cordero, obteniéndose arrastre de aire en la estructura (Vitruvius, 2001). También se ha observado la utilización de nanocelulosa bacteriana para mejorar el mortero (Solís et al., 2019).

Goma de polisacáridos (PSG)

Los polisacáridos son sustancias que están formadas por unidades monoméricas de azúcares, pertenecen a la familia de las aldosas o las cetosas dependiendo del grupo funcional, según su estructura se clasifican en lineales o cíclicas o ambas, pueden formar polímeros, entre ellos están la glucosa, xilosa etc., en los de origen natural destacan: el glucógeno, quitina hemicelulosa y celulosa etc. (Navarro et al., 2019). Los polisacáridos poseen uniones entre sus cadenas poliméricas que proporcionan diferencias en las propiedades químicas y físicas, como por ejemplo entre el glucógeno y el almidón (Moreno & Peinado, 2012). Los biopolímeros presentes en los hongos *Laetiporus sulphureus* son los beta-glucanos (1→3), heterogalactanos con fucosa, fucomannogalactano entre otros (Alquini et al., 2004).

Los polisacáridos poseen distintas propiedades físicas y químicas, debido a los diferentes grupos funcionales, estos en ciertas condiciones de concentración y temperatura, cambian la viscosidad cuando son agregados a otras sustancias debido a la interacción de cargas de las moléculas presentes en la mezcla y los polisacáridos (Whistler & Daniel, 1985).

Polisacáridos en la pasta de cemento

Los polisacáridos son sustancias que se obtienen de seres vivos, por ejemplo: de plantas, hongos, algas, microorganismos entre otros (Sánche et al., 2014). La principal función de estos en la construcción es la modificación de las propiedades reológicas del cemento que se ve reflejado en el antisangrado, antilavado; además es un aditivo para la resistencia y trabajabilidad (Badui, 2006).

Las gomas varían respecto a sus propiedades físicas las cuales influyen en la aireación, dependiendo de las velocidades de viscosidad de corte bajas o grandes, también se puede obtener comportamiento tixotrópico para recompensar la viscosidad aparente, esta última propiedad se puede aumentar si se combina gomas de polisacáridos y reductores de alto rango

(Bartholin et al., 2016). Los polisacáridos más utilizados como aditivos del cemento son: celulosa, quitina, polímeros sulfonados etc. (Karababa & Coskuner, 2013).

Cuando la velocidad de corte disminuye, varios hidrógenos del polímero se desenredan, en consecuencia, el polímero se envuelve con las partículas de la mezcla de cemento provocando que aumente la viscosidad, pero cuando la velocidad de corte aumenta ocurre lo contrario, debido a que las moléculas empiezan a alinearse en dirección al flujo hasta obtener la viscosidad original, por estas razones, cambia la reología significativamente en la mezcla (Ghio et al., 1994).

Lignosulfonatos y su relación con la viscosidad aparente

Los lignosulfonatos poseen grupos funcionales hidroxilo (-OH) y sulfatos (-SO₄) los cuales confieren polaridad negativa y cuando se acercan a un floculo de cemento se genera una repulsión electrostática dejando en disponibilidad el agua dentro del floculo volviendo la mezcla menos viscosa (Huang et al., 2018).

Policarboxilatos y su relación con la viscosidad

Los policarboxilatos poseen una cabeza de moléculas las cuales se adhieren a las partículas de cemento también tienen largas cadenas denominadas peines que impiden que se acerquen otras partículas de cemento en consecuencia torna a la mezcla más fluidizada (Javadi et al., 2021).

Los hongos

Los hongos son organismos que antiguamente eran considerados plantas debido a que poseían pared celular, pero fueron cuestionados, porque poseen glucógeno, un polisacárido que se encuentra en los animales por estos motivos, y otros más, se les creó un propio reino, el reino fungí (Ruiz & Ortiz, 2019).

Los hongos pueden clasificarse de acuerdo a su función: La primera corresponde a los que degradan la materia orgánica, por ejemplo: troncos, hojas secas, rastrojo entre otros sustratos, los segundos son de carácter parasitario o simbiótico debido a que se aferran a un ser vivo, y lo pueden ayudar como en algunos casos, como por ejemplo las trufas, estas dan azúcares y minerales a los árboles o pueden ser parásitos que se alimentan de la savia de las plantas aún viva, un ejemplo es el hongo a utilizar en este proyecto (Rytioja & Hildén, 2014).

Los hongos constan de varias partes entre ellas el micelio, la cual es la más grande pero poco visible, constituido de hifas, y luego está la seta que es la parte más visible de donde se distinguen partes, tales como sombrero, cutícula, himenóforo, anillo, pie, valva (Purchase, 2016).

Datos sobre los *Laetiporus sulphureus*

Es un hongo de carácter parasitario de color amarillo, por la presencia de azufre y fósforo, posee setas de hasta 35 cm de diámetro en promedio y pueden llegar a pesar hasta un kilogramo, aunque se ha registrado un ejemplar de 45kg, se le conoce vulgarmente como pollo del bosque debido a que posee sabor a pollo frito, crece en climas templados, se lo ha observado en América del norte y el mediterráneo, pero también se ha encontrado en las partes templadas de Sur América, entre esas regiones están los valles de la provincia de Pichincha, en los árboles de Eucalipto (Ordoñez, 2019). Dicho organismo es considerado el más fácil de domesticar y producir debido a que posee amplios rangos de temperaturas, cantidad de agua, humedad y luz; para su crecimiento (Akavia & Eden, 2017).

El hongo posee varias macromoléculas en diferentes concentraciones, entre ellas 10,61% de proteína cruda, 2,96% de grasa bruta, 5,55% de fibra cruda, 6,39% de ceniza bruta, 74,47% de carbohidratos y el resto de minerales, las cuales las más destacables son: potasio en 28940 mg, de fósforo en 4890 mg, 32,11% de oligosacáridos solubles, 25,14% de polisacáridos solubles y 57,25% de sacáridos solubles totales (Kovács & Vetter, 2015).

Las diferentes proteínas halladas son: 62,81% de albúminas, 13,59% de globulinas, 5,40% de prolamina, 3,58% de sustancias similares a la prolamina, glutaminas 20,90% y 16,1% de sustancias similares al gluten (Alquini et al., 2004).

Polisacáridos de hongos

Los azúcares más representativos en los hongos son: beta-glucano (1→3), heterogalactanos con fucosa, fucomannogalactano, manita y quitina, el contenido de carbohidratos puede oscilar entre 64,90 a 74,47 dm% y el de agua entre 66,6 a 72,79 dm% (Kovács & Vetter, 2015).

Límite de resistencia a la compresión

Es la presión máxima que puede soportar un material el cual se fracciona porque ya no resiste las cargas de compresión, se puede obtener dividiendo la fuerza o carga para el área del sólido donde se aplica dicha fuerza hasta que se rompa el material (Broughton, 2012).

$$RC = P/A \quad (1)$$

Donde P es la carga máxima aplicada en kg, A es el área de la sección transversal en cm² y RC es la resistencia a la compresión del cilindro en kg/cm² (Páez et al., 2020).

Reología

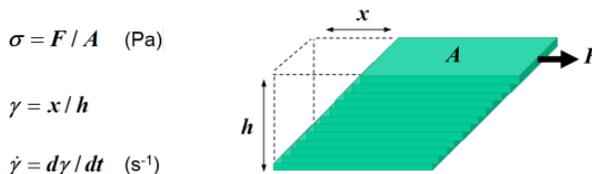
La reología se encarga de estudiar los fenómenos del flujo de la materia (sólidos, líquidos y gases) dependiente del tiempo bajo la influencia de tensiones (Eliades & Zinelis, 2017). También se define como, la aplicación de fuerzas cortantes en el reómetro, para medir los cambios en la viscosidad en una mezcla, es utilizado en la fabricación de plásticos en: coextrusión, termosellado y fundición (Páez et al., 2020). El tipo de reómetro que se necesita para medir estas propiedades dependen con frecuencia de las velocidades de cizallamiento y períodos de tiempo pertinentes, así como del tamaño de la muestra y de la viscosidad (Malvern, 2019).

Flujo de cizallamiento

El esfuerzo cortante (τ o σ) se define como una fuerza (F) que se aplica en paralelo o tangencial a una cara de un material o área (A), en oposición a un esfuerzo normal que se aplica perpendicularmente (Fancher & Levitan, 2020). La deformación cortante (γ) es la relación del desplazamiento para la altura (x/h) y su derivada respecto al tiempo es la velocidad de corte o tasa de deformación (Figura 2) (Malvern, 2016).

Figura 2

Cuantificación de la velocidad de corte y el esfuerzo cortante para capas de fluido que se deslizan una sobre otra.



Nota. Reproducido de Quantification of shear rate and shear stress for layers of fluid sliding over one another, de Malvern, 2016.

La trabajabilidad del cemento

La consistencia y trabajabilidad del hormigón fresco son parámetros importantes para: el diseño de la mezcla del hormigón, proporciones (relación agua/cemento/aditivos) y propiedades que afectan la colocación del hormigón en obra y posterior ejecución del estado de endurecido del hormigón (Bhattarai, 2019). La trabajabilidad implica ciertas características del hormigón fresco como: cohesión y consistencia, la primera (estabilidad) es una medida de la compactibilidad y capacidad de acabado, la segunda es la movilidad del hormigón recién mezclado para fluir (Páez et al., 2020). La trabajabilidad requerida depende del tipo de construcción, método de colocación, método de consolidación, forma del encofrado y diseño estructural (Khayat, 1998). Por ejemplo, en las construcciones de edificios se requiere bombear

cemento a gran altura y para ello es conveniente un cemento con baja resistencia al fluir y al contraste en una construcción de túneles se requiere cementos más viscosos, porque se pega mucho más rápido (Páez et al., 2020).

Mecanismo de acción de los plastificantes

Las partículas de cemento en un medio acuoso forman flóculos debido a las fuerzas electrostáticas y las fuerzas de Van der Waals (Páez et al., 2020). Los grumos atrapan en su interior moléculas de agua, en consecuencia, el líquido no puede reaccionar con más partículas de cemento lo que provoca una baja trabajabilidad de la mezcla (Yong et al., 2014). Los plastificantes suelen romper los flóculos por medio de repulsión o por medio de impedimento estérico (Páez et al., 2020).

Ventajas de utilizar plastificantes

Los plastificantes disminuyen la cantidad de agua en la mezcla, favorecen el bombeo a grandes distancias, retardan el fraguado o aumentan la resistencia mecánica, facilitan la colocación y vibración del hormigón (Sika, 2020).

Límite de fluencia

El límite de fluencia es la propiedad de un material, definida como: la tensión en la que un material comienza a deformarse plásticamente (Elfetori & Abdewi, 2017).

Fluidos no newtonianos

Los fluidos no Newtonianos son aquellos que cambia su viscosidad a medida que cambia la tasa de corte (Alexander, 2017)

Modelo de Bingham modificado

El modelo Bingham modificado es cuando el diagrama de esfuerzo contra tasa de corte se ajusta a una parábola que corta en el eje “y” positivo (límite de fluencia) (Figura 3) (Rafiqul & Enamul, 2021).

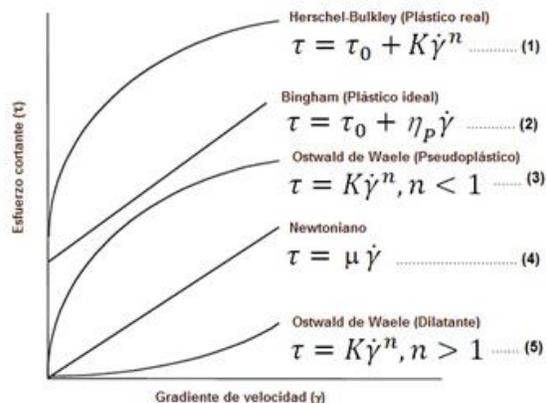
$$\tau = \tau_0 + \mu_p \dot{\gamma} \quad (2)$$

$$\tau = \tau_0 + \mu_p \dot{\gamma} + c \dot{\gamma}^2 \quad (3)$$

Donde τ es el esfuerzo cortante (Pa), τ_0 es el límite elástico (Pa), μ_p es la viscosidad plástica (Pa s), $\dot{\gamma}$ es la velocidad de corte (s^{-1}), c es una constante (Pa s^2) (Páez et al., 2020).

Figura 3

Modelos reológicos



Nota. Reproducida de modelos reológicos independientes del tiempo de Arias et al., 2018.

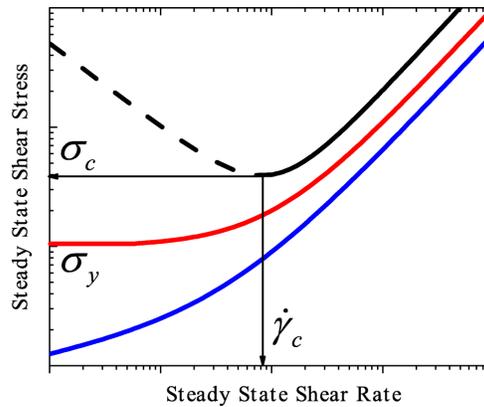
Observaciones en el modelo de Bingham modificado

A tasas de corte bajas se forma una curva que no pertenece al lugar geométrico del modelo de Bingham modificado esto se debe a que anteriores reómetros no eran muy exactos, el límite de fluencia se obtiene por medio de un modelo parabólico (Ecuación 2) (Figura 4) (Joshi & Petekidis, 2018).

Los modelos como: Herschel Bulkley (plástico real), Bingham modificado, Casson, De Kee, Robertson Stiff y Yahia khayat se ajustan mejor a los datos (esfuerzo contra tasa de corte) en comparación a Bingham, la variante modificada es la más adecuada porque de su ecuación se puede extraer datos reológicos como viscosidad plástica (coeficiente de la variable dependiente) y límite de fluencia (corte en el eje γ) (Páez et al., 2019).

Figura 4

Cola formada en el diagrama de esfuerzo contra tasa de corte a bajas velocidades de corte



Nota. Reproducido de Prediction of the fluidity models depending on relationship between fluidity and rheological parameters, de Joshi & Petekidis, 2018.

La viscosidad plástica

La viscosidad plástica es la resistencia de un material a fluir, en una mezcla acuosa es causada por la fricción entre el líquido que sufre deformación bajo esfuerzo cortante y las partículas presentes en la misma (Micelli et al., 2021). En la gráfica viscosidad plástica contra tasa de corte correspondiente al modelo de Bingham modificado es decreciente y convexa en contraste a los otros modelos (López, 2014).

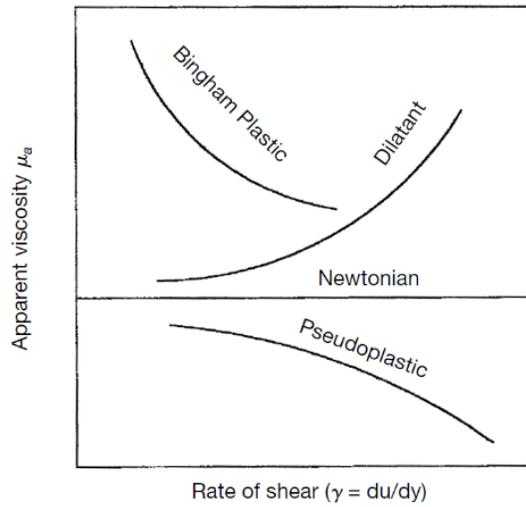
Viscosidad aparente

Es la división entre el esfuerzo cortante y la tasa de corte, en los fluidos newtonianos es constante y en los no newtonianos depende de la tasa de corte (Figura 5) (Páez et al., 2019). En el caso de los polímeros tiende a disminuir la viscosidad aparente, al inicio se encuentran enrollados como espaguetis, pero cuando se le somete a un esfuerzo cortante a una velocidad de corte estos empiezan a desenrollarse y alinearse disminuyendo la viscosidad aparente (Crow, 2022).

$$\mu_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (4)$$

Figura 5

Diagrama de viscosidad aparente contra tasa de corte para Bingham, dilatante, newtoniano, pseudoplástico



Nota. Reproducido de Curvas teóricas de Viscosidad Aparente y Velocidad de Corte para pulpas, de López, 2014 (https://www.researchgate.net/figure/Curvas-teoricas-de-Viscosidad-Aparente-y-Velocidad-de-Corte-para-pulpas_fig6_300147792).

Relación entre viscosidad aparente y viscosidad plástica en Bingham modificado

La ecuación (5) se obtiene al sustituir la ecuación (3) en la (4), tomando en cuenta que el coeficiente del término cuadrático del modelo de Bingham modificado tiende a cero. La viscosidad aparente es inversamente proporcional a la tasa de corte, es decir, si aumenta la tasa de corte la viscosidad aparente disminuye (Crow, 2022).

$$\mu_a = \mu_p + \frac{\tau_0}{\dot{\gamma}} \quad (5)$$

Capítulo III-Materiales y métodos

Ubicación y zona de estudio

Ubicación política

El proyecto se realizó en el laboratorio de mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en la sede matriz de Sangolquí y en el laboratorio Id-Gen de la ciudad de Quito

*Recolección de setas de *Laetiporus sulphureus**

El espécimen que se utilizó en este estudio fue *L. sulphureus*, la seta fue recolectada en el bosque de Eucaliptos ubicado en la Parroquia de Guangopolo, al este de Quito de coordenadas 0°15' 33,48" S y 78°27'8.04" W, en las temporadas de septiembre-octubre, se observó que en los troncos más viejos o heridos o que tenían quemaduras previas el hongo se encontraba ahí.

Identificación macromorfológica y micromorfológica

La identificación de macromorfológica y micromorfológica se realizó de acuerdo a la revista forestal venezolana (Holmquist et al., 2009). Se observó el basidiocarpo, consistencia, color del himenio y presencia o ausencia de estípite, posteriormente se sometió un gramo de hongo a K(OH) al 2%, se fijó en la placa y se procedió a observar en el microscopio a 10X,40X, después las imágenes se compararon con bibliografía (Holmquist et al., 2009).

Preparación de la muestra

La seta fue recolectada en una funda a granel de plástico, se lavó con agua destilada, posteriormente se procedió a secar a temperatura de 35 grados centígrados hasta tener una masa seca (Kovács & Vetter, 2015). Luego con un bisturí se tomó las células de la parte interior de la seta, pero también se utilizaron cuerpos enteros, después se trituró en un molino, posteriormente se tamizó con una malla de 300 micrómetros y se pesó en una balanza analítica (Figura 6).

Figura 6

Procesos que se hicieron para a la biomasa antes de ser utilizada en los tratamientos experimentales



Nota. a) Secado en la estufa. b) Trituración en la licuadora. c) Tamiz de 300 micrómetros.

Extracción de sacáridos de la seta

A 300 gramos de seta se la sometió a 3 litros de agua hirviendo durante 3 horas, posteriormente se le filtró con una tela estéril, después se concentró el filtrado a 90 grados centígrados, después se refrigeró a 4 grados centígrados y a los residuos se les secó en una estufa a 50 grados centígrados durante 24 horas, se repitió todo el procedimiento por 3 veces (Alquini et al., 2004).

Determinación de la concentración de humedad en el concentrado de sacáridos

Se pesó una muestra X del concentrado de sacáridos, después se sometió a 25 grados centígrados en una estufa con aire seco durante 24 horas hasta que cristalizó los sacáridos, se pesó el deshidratado y posteriormente se determinó el porcentaje en masa (López et al., 2015).

Fundición del cemento con agregados biológicos de hongos

Se utilizó un cemento Selva Alegre (Portland Puzolanico Tipo IP), cuya mezcla tuvo como relación agua/cemento 0,40 (relación en peso). Se pesó setas enteras (biomasa), sacáridos y residuos en concentraciones de 0,25%; 0,5 y 1% respecto al peso del cemento véase la Tabla 1,

Tabla 2 y Tabla 3. Posteriormente se disolvieron en la pasta de cemento respectivamente, después se mezcló con agua purificada, se agitó de manera vigorosa a 200 rpm por 10 minutos, se vertió en un molde cúbico de 5 centímetros de arista totalmente sellado y aceitado previamente, se sacó del molde a las 24 horas y se sumergió en agua durante 21 días para que fragüe el cemento, se realizó 3 repeticiones por cada concentración de agregado biológico (Figura 7) (Páez et al., 2020).

Figura 7

Fundición del cemento



Nota. a) Cemento Selva Alegre. b) Mezcla del cemento y moldes cúbicos

Pruebas reológicas

Se tomó un recipiente y se añadió las mezclas especificadas anteriormente en la fundición y se batió a 200 rpm durante 15 minutos, después se trasladó a la cámara de recepción de muestra del reómetro, se llenó con la mezcla hasta llenar la geometría superior (paleta) al ras.

Las mezclas fueron estudiadas en un reómetro DISCOVERY HR-2 (Figura 8) que tenía un receptor de muestra llamado copa (de diámetro interno 30,37 mm, altura de 44 mm y volumen de muestra de 40 ml) y una geometría superior (paleta). Los parámetros operativos fueron de:

velocidad de corte de 150 hasta 1 (1/s), cinco puntos por cada década, un tiempo de equilibrio de 120 s, tiempo de recolección de datos cada 30 s, un porcentaje de tolerancia del 10% con una precizalla de: 25 grados centígrados de temperatura, 150 1/s de velocidad de corte y duración de 120 segundos.

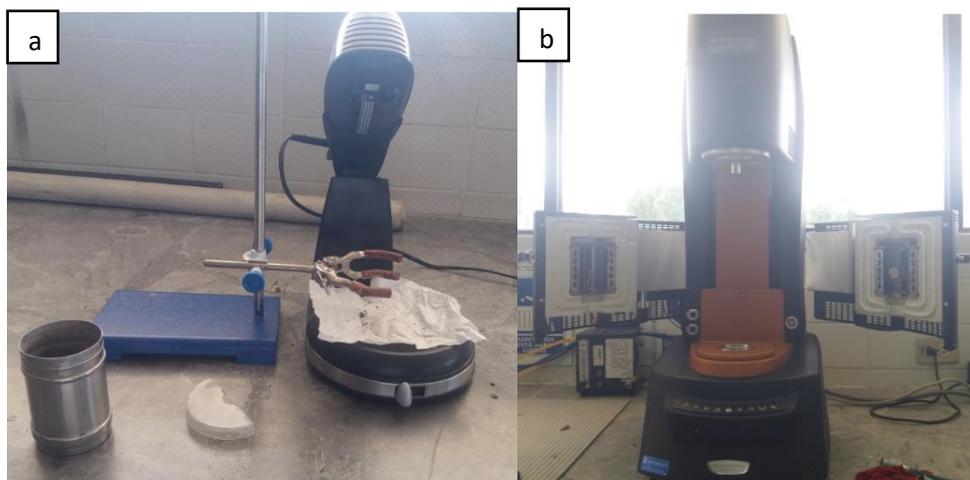
Se utilizó un gap (distancia entre la geometría superior y la copa) de 1000 μm para evitar que se trabe la hélice de vanos, los demás bioaditivos se operaron con los mismos parámetros para facilitar la comparación de tratamientos.

Los datos recolectados de estrés y viscosidad aparente a diferentes velocidades de corte siguieron los modelos lineales de Bingham en el control y Bingham modificado en las mezclas véase la ecuación (1) y (2) respectivamente.

Los datos reológicos serán tratados en Microsoft Excel y Origin Pro 8 para realizar regresiones lineales (Páez et al., 2020).

Figura 8

Equipos para la reometría



Nota. a) Batidora. b) Reómetro Trios

Pruebas de resistencia a la compresión

En moldes cúbicos de 5cm de lado se vertió la pasta de cemento. Después se retiró del molde a las 24 h para ser sumergidos en agua, posteriormente se sacó los cubos a los 21 días para realizar las pruebas de compresión (Figura 9) por triplicado para cada tratamiento (mezclas). Para la compresión se suministrará una carga a una velocidad constante ($1,4$ a $3,5$ $\text{kg}/\text{cm}^2/\text{s}$) en un equipo digital para luego reemplazar datos en la ecuación (3).

Figura 9

Equipo para las pruebas de compresión



Diseño experimental para pruebas reológicas y de resistencia mecánica

Se utilizó un diseño multifactorial con 2 factores, el primero es correspondiente al bioaditivo y el segundo es la concentración tendrá véase la Tabla 1y Tabla 2 respectivamente. Y respecto al control se utilizó el símbolo w/c.

Bioaditivos

Se utilizó 3 tipos, biomasa (zeta del hongo seco), sacáridos (mezcla de azúcares hidrosolubles extraídas del hongo) y residuos (Residuos sólidos de la extracción de sacáridos del hongo) véase Tabla 1.

Tabla 1

Factor controlable de aditivo

Código	Aditivo
B	Biomasa (Seta del hongo seco)
S	Sacáridos (Mezcla de azúcares hidrosolubles extraídas del hongo)
R	Residuos (Residuos sólidos de la extracción de sacáridos del hongo)
P	Policarboxilatos sintético comercial (Sika ViscoCrete 4100)

Concentraciones de los aditivos

Los bioaditivos se agregaron al cemento en diferentes concentraciones véase la Tabla 2.

Tabla 2

Factor controlable de concentración de aditivo

Código	Concentración
C1	0,1%
C2	0,25%
C3	0,05%
C4	1%

Tratamientos

El número de tratamientos fueron 12(4x3), el control(w/c) simplemente es agua cemento en relación de 0,40 véase la Tabla 3.

Tabla 3

Tratamientos de las pruebas reológicas

Tratamientos	Código	Aditivo	Concentración
T1	B0,1%	Biomasa	0,1%
T2	B0,25%	Biomasa	0,25%
T3	B0,5%	Biomasa	0,5%
T4	B1%	Biomasa	1%
T5	S0,1%	Sacáridos	0,1%
T6	S0,25%	Sacáridos	0,25%
T7	S0,5%	Sacáridos	0,5%
T8	S1%	Sacáridos	1%
T9	R0,1%	Residuos	0,1%
T10	R0,25%	Residuos	0,25%
T11	R0,5%	Residuos	0,5%
T12	R1%	Residuos	1%

Repeticiones

En cada tratamiento se realizó 3 repeticiones.

Unidad experimental

La unidad experimental fue la mezcla (aditivo con cemento).

Variables

La alteración de la viscosidad plástica y la resistencia en las mezclas fueron las variables de respuesta.

Capítulo IV-Resultados y discusión

Recolección de setas de *Laetiporus sulphureus*

La seta del espécimen *L. sulphureus* fue recolectada en el bosque de Eucaliptos ubicado en la Parroquia de Guangopolo, al este de Quito de coordenadas 0°15' 33,48" S y 78°27'8.04" W. Ordoñez (2019) reportó que en la provincia de Pichincha habita *L. sulphureus*, los resultados corroboraron dicha afirmación.

Identificación macromorfológica y micromorfológica

La identificación macromorfológica y micromorfológica se realizó de acuerdo a la revista forestal venezolana (Holmquist et al., 2009). Se observó el basidiocarpo, consistencia, color del himenio y presencia o ausencia de estípite, posteriormente se sometió un gramo de hongo a K(OH) al 2%, se fijó en la placa y se procedió a observar en el microscopio a 10X,40X, después las imágenes se compararon con bibliografía.

Los basidiocarpos (seta) presentaban un gran tamaño, pesaban aproximadamente un kilo, poseía entre 3 a 5 estructuras en forma de platos apilados con 5 a 2 cm de largo, 15 a 20 cm de ancho y 1 a 3 de espesor cada una, los bordes eran en forma de abanico, margen ondulado, mostraba un color amarillo a naranja, su cubierta era semi arrugada, presentaba poros pequeños en los bordes de 3-4 mm de diámetro, algunos eran sésiles o con estípite ancho, los bordes tenían mayor espesor que los estípites (Figura 10). Los resultados de Holmquist et al., (2009) son semejantes a los que se obtuvo en las setas de Guangopolo.

Figura 10

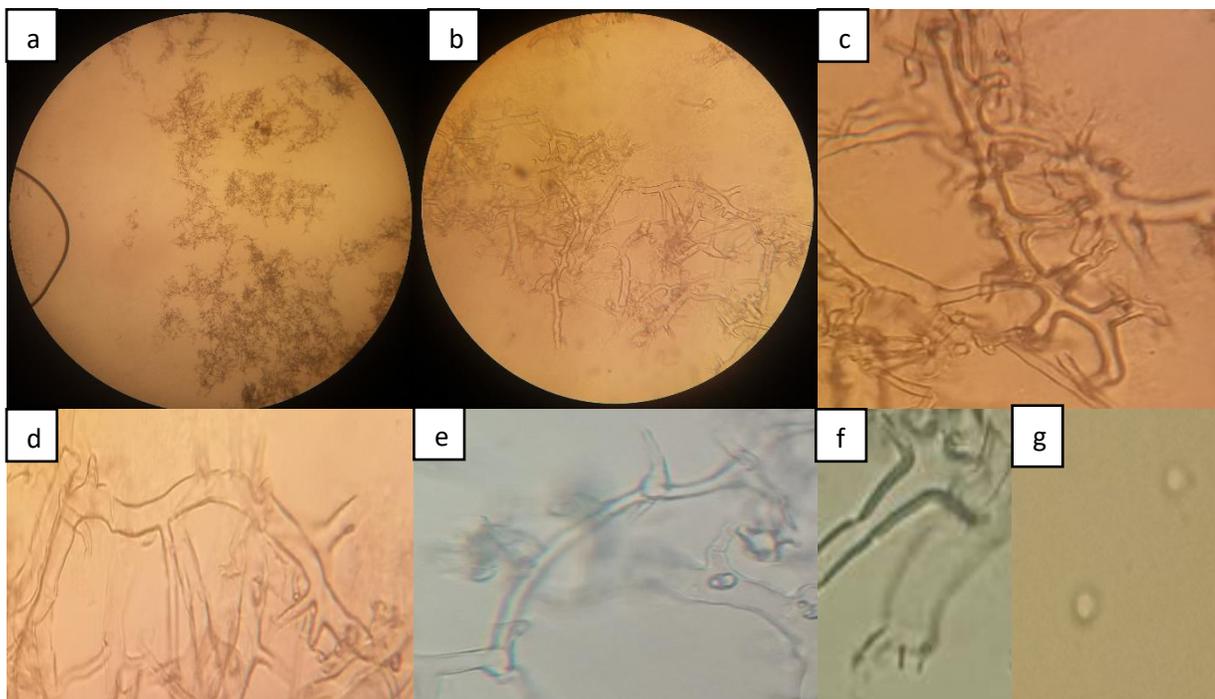
L. sulphureus de los bosques de Eucaliptos de la Parroquia de Guangopolo



El sistema hifal hallado fue dimítico tanto en el contexto como en el himenio, el primero tenía generativas y conectivas y el segundo generativas y esqueléticas. Se observó las estructuras microscópicas del cuerpo fructífero (Figura 11 a). Las hifas se visualizaron de mejor manera con un mayor objetivo del lente (Figura 11 b). Existió la presencia de hifas esqueléticas con: formas más sinuosas, ramificaciones más cortas y espacios entre ramificaciones más cercanas respecto a las otras (Figura 11 c). Se encontró estructuras de carácter conectivo que eran más gruesas respecto a las otras, no presentaron septos, a simple vista tenían doble pared más delgada que la esquelética (Figura 11 d). Las hifas generativas eran más finas respecto a las otras, eran casualmente septadas, no poseía fíbulas (Figura 11 e). Se halló basidios periformes alargados con tres o cuatro filamentos en su vértice (Figura 11 f). Las basidiosporas tenían forma ovoide (Figura 11 g). Burdsall et al. (2001) obtuvo los mismos resultados en setas recolectadas en EEUU.

Figura 11

Identificación microscópica de L. sulphureus



Nota. a) Cuerpo fructífero de *L. sulphureus* a 10X. b) Muestra del cuerpo fructífero de *L. sulphureus* a 40X. c) Hifa esquelética a 40X y 50% de zoom. d) Hifa de carácter conectivo a 40X y zoom de 50%. e) Hifa generativa a 40X y zoom de 50%. f) Basidio a 40X y zoom del 50%. g) Basidiosporas a 40X y zoom de 87%.

Mezclas de los bioaditivos con el cemento

La metil celulosa (MC) es un aditivo que aumenta la viscosidad, es de carácter orgánico, proviene de las algas y no se diluye en agua caliente (Researchgate, 2022).

La B y los R se diluyeron en agua a los 5 segundos con 3 agitaciones de la mezcla, presentaron una parte soluble y una insoluble. Los S a una concentración del 10% se disolvieron a los 60 segundos con una agitación moderada, pero los S deshidratados se solubilizaron a las 2 horas con una temperatura de 60°C y una agitación moderada. Los P se diluyeron de manera

rápida en un tiempo de 1 segundo con una agitación escasa. Todas las observaciones de solubilidad de los tratamientos se realizaron a temperatura ambiente de 19°C en promedio.

Los bioaditivos a diferentes concentraciones se adicionaron con cemento y agua tal y como se especifica en la Tabla 3. Los tratamientos al 0,1% y S1,5% se omitieron porque dieron resultados que no variaban respecto al control y porque la muestra de sacáridos era limitada respectivamente. Inicialmente se observó una sola fase en las diferentes mezclas a concentraciones entre 0 a 2% (Figura 12 a), el tratamiento S2,5% se tornó seco, por lo cual no se tomó en consideración (Figura 12 b).

Figura 12

Mezcla de los aditivos con el cemento



Nota. a) Mezcla de B, S, R y P con cemento al 2% en moldes cúbicos. b) Tratamiento con S2,5% en la hélice del reómetro.

Los P2% poseían dos fases una sólida y una líquida cuyas dimensiones eran de (50x50x8) mm en la fase líquida, después de las 24 horas, en la Figura 13 se ve la parte sólida retenida.

Figura 13

Tratamiento P2% a las 24 h de la fundición sin fase líquida



Los S2% presentaron una película blanda e hidrosoluble de (50x50x7) mm a los 4 días de la fundición, en la Figura 14 se observa la parte sólida restante.

Figura 14

Fase sólida del tratamiento S2% después de 96 h de la fundición, sin la capa blanda

**Análisis de la viscosidad**

Todos los tratamientos siguieron un modelo de Bingham modificado, la viscosidad plástica se calculó a tasas de corte mayores a 3,76 1/s. El límite de fluencia se determinó con un modelo cuadrático a velocidad de cizalla inferior a la mencionada anteriormente.

No se encontró trabajos previos que utilicen B, S y R del hongo *Laetiporus sulphureus* como aditivo del cemento que modifiquen la viscosidad plástica y el límite de fluencia, por lo cual se tomó más en cuenta la comparación entre tratamientos y el control. Además, los S del

hongo aún no han sido caracterizados en su totalidad debido a que poseen polisacáridos de gran tamaño molecular (Kovács & Vetter, 2015).

Antiguamente, los reómetros no eran tan precisos a tasas de corte tan bajas (Páez et al., 2020). Actualmente, los datos de estrés contra tasa de corte son tratados con una función por partes (Joshi & Petekidis, 2018). La separación de las dos funciones se realizó a una velocidad de cizalla de 3,76(1/s) porque a valores mayores la pendiente era positiva y a menores la pendiente era negativa.

Los logaritmos no tienen unidades, pero en este trabajo se las pusieron alado de los símbolos de esfuerzo, viscosidad y velocidad de corte solo para hacer referencia con que unidades se trabajaron.

Las viscosidades plásticas de cada una de las repeticiones individuales se promediaron, además se calcularon errores estándares, se observó que no varían mucho con los promedios obtenidos por medio de la regresión lineal de los datos promediados.

Las gráficas de viscosidad plástica a diferentes concentraciones de aditivo y límite de fluencia a diferentes proporciones de aditivo se realizaron con los promedios de las repeticiones individuales.

De manera general se observó que: el aumento de la concentración de los aditivos B, S, R aumenta la viscosidad plástica y disminuye el límite de fluencia hasta una cierta concentración.

Factores que alteran la viscosidad y límite de fluencia

El esfuerzo cortante (τ o σ) se define como una fuerza(F) que se aplica en paralelo o tangencial a una cara de un material o área(A), en oposición a un esfuerzo normal que se aplica perpendicularmente (Fancher & Levitan, 2020).

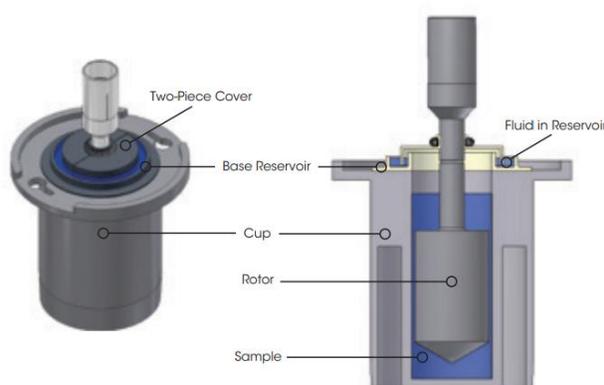
El llenado de la copa influyó en la viscosidad plástica (Tabla 4) y en el límite de fluencia (Tabla 5), la muestra por encima del rotor de la máquina necesitó más fuerza para girar dicha

hélice y menos cuando se llenó por debajo del ras de la paleta por lo cual todos los tratamientos se realizaron al mismo volumen.

Los elementos del reómetro (Figura 15) a la hora de operar estuvieron estrechamente relacionados con la estandarización del proceso. El gap es la distancia entre el rotor y el piso de la copa.

Figura 15

Algunos elementos del reómetro



Nota. Reproducido de Concentric cylinder accessories & applications, de TA instrument, 2018.

Se realizaron controles a diferentes condiciones. El 1 se trabajó con un gap de $101,2 \mu\text{m}$ y con llenado al ras (hasta el borde superior de la paleta), los 1 y 3 se procesaron con un gap de $1000 \mu\text{m}$ y llenados en exceso (más arriba del borde superior de la paleta), los 4 y 5 operaron con un gap de $1000 \mu\text{m}$ y llenado hasta el ras con la diferencia que el 4 es cemento de junio del 2021 (presentó grumos después de 3 meses de uso) y el 5 es de septiembre del 2021 (tenía días de ser elaborado).

El cemento es higroscópico, es almacenado aislado de la humedad, se recomienda no ponerlo en contacto al piso ni a las paredes directamente, se lo debe utilizar en un tiempo máximo de 60 días (Holcim, 2022).

Las variables de respuesta como: viscosidad plástica y límite de fluencia no variaron significativamente cuando se mantuvieron constantes el gap y el llenado obsérvese el control 4 y 5 (Figura 16), la diferencia de edades no influyó en los resultados.

La estandarización de los resultados garantizó que la comparación de los tratamientos sea efectiva y confiable además que otros investigadores puedan replicar la experimentación en cualquier laboratorio y obtener los mismos resultados.

Las condiciones para la experimentación estandarizada fueron un gap de 1000 micrómetros y llenado en la copa hasta el ras de la paleta del rotor con un volumen de 45m, se utilizaron tasas de corte de 160 a 1 (1/s).

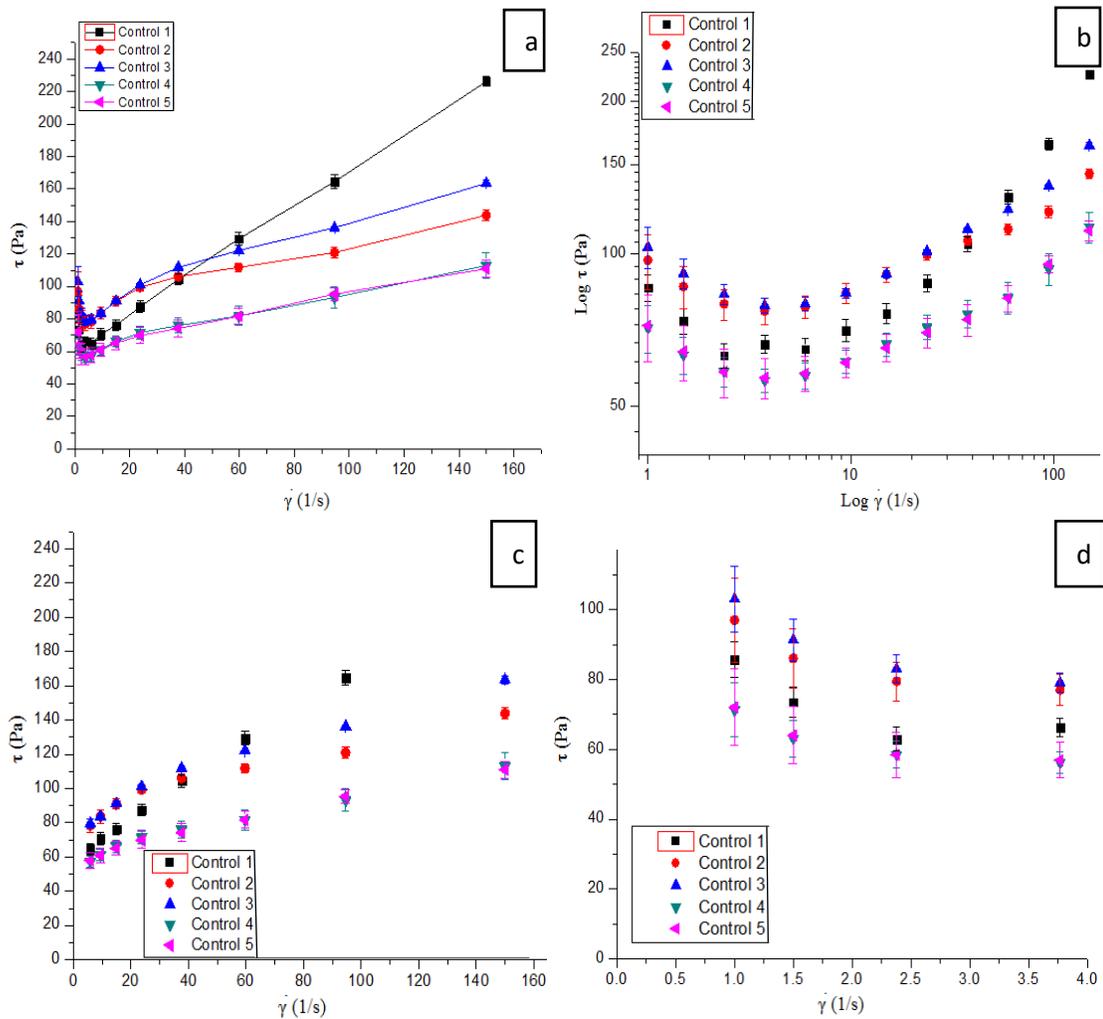
Los controles 2 y 3 se comportaron de manera semejante, pero de forma diferente respecto a los controles 4 y 5 demostrando que el llenado si influye.

El esfuerzo cortante del control 1 a velocidades de corte altas (próximas a 150 1/s) fue mayor a los demás controles mostrando que a menor gap se requiere mayor esfuerzo.

El esfuerzo de cizalla de los controles 2 y 3 a velocidades de corte bajas (próximas a 1 1/s) fueron semejantes y fueron mayores al control 1 demostrando que el aumento del gap y llenado en exceso requiere mayor esfuerzo. Los controles 4 y 5 en las mismas condiciones de velocidad de corte fueron semejantes y eran menores al control 1 revelando que el aumento del gap disminuye el esfuerzo, también fueron menores a los controles 2 y 3 indicando que el llenado de la copa al ras requiere menos esfuerzo.

Figura 16

Diagramas de esfuerzo contra tasa de corte de los controles con diferentes parámetros de gap y llenado con $w/c=0,40$.



Nota. a) Diagrama general. b) Gráfica logarítmica. c) Diagrama para $\dot{\gamma} > 3,76(1/s)$. d) diagrama para $\dot{\gamma} < 3,76(1/s)$.

En todos los controles se determinó la variación de viscosidad plástica respecto al control 1. En la Tabla 4, se observó que los controles 4 y 5 son semejantes en las viscosidades plásticas con $0,53 \pm 0,09$ y $0,49 \pm 0,04$ Pa.s y sus variaciones porcentuales de -56,14 y -59,18 % respectivamente, además se superponen al tomar en cuenta el error estándar afirmando que el

gap y el llenado si influyen, pero la edad del cemento no cuando hay una variación de edades de 3 meses. El control 1 dio valores muy diferentes a los demás controles por lo cual el gap si influye en la experimentación. Se observó que si no se estandarizan los factores experimentales se puede obtener un error de hasta del 59,18 % en la viscosidad plástica respecto al control 1.

Tabla 4

Resumen de la regresión parabólica de los controles con diferente gap y volumen de llenado a $\dot{\gamma} > 3,76(1/s)$ y su variación de la viscosidad plástica respecto al control 1

Concentración	$\tau_0(Pa)$	$\mu_p(Pa.s)$	$c(Pa.s^2)$	R^2	$\% \Delta \mu_p$
Control 1	58,75±1,03	1,20±0,04	0,00±0,00	0,9995	0,00
Control 2	82,28±3,98	0,59±0,15	0,00±0,00	0,9324	-50,63
Control 3	84,43±4,14	0,74±0,12	0,00±0,00	0,9575	-38,46
Control 4	56,79±1,73	0,53±0,09	0,00±0,00	0,9610	-56,14
Control 5	56,80±0,94	0,49±0,04	0,00±0,00	0,9944	-59,18

En la Tabla 5 se observó que los controles 1,2 y 3 son semejantes y no tienen diferencia significativa en los límites de fluencia con valores de 117,74±2,37; 115,79±7,10 y 123,91±6,69 con variaciones porcentuales respecto al control 1 de 0,00; -1,66 y 5,24 %, pero contrastan respecto a los controles 4 y 5 con valores de 84,49±6,14 y 88,09±4,36 Pa.s con variaciones de -28,24 y -25,18 % respectivamente. También los últimos dos controles son semejantes.

El llenado en exceso del control 2 y 3 es como que recompensaron el gap del control 1 obteniéndose el mismo valor del límite de fluencia.

Tabla 5

Resumen de la regresión parabólica de los controles con diferente gap y volumen de llenado a $\dot{\gamma} < 3,76(1/s)$ y su variación del límite de fluencia respecto al control 1

Concentración	$\tau_0(Pa)$	$\mu_p(Pa.s)$	$c(Pa.s^2)$	R^2	$\% \Delta \tau_0$
Control 1	117,74±2,37	-39,33±2,12	6,81±0,41	0,9942	0,00
Control 2	115,79±7,10	-24,28±5,94	3,72±0, 1,12	0,9326	-1,66
Control 3	123,91±6,69	-26,62±5,51	3,90±0, 1,02	0,9627	5,24
Control 4	84,49±6,14	-17,28±5,25	2,60±0, 1,00	0,9151	-28,24
Control 5	88,09±4,36	-20,09±3,82	3,13±0, 0,73	0,9603	-25,18

Tratamientos con biomasa

Los aditivos tienen un punto de saturación si se supera dicho límite cambia la proporcionalidad concentración-viscosidad plástica o concentración-límite de fluencia o se mantiene constante la viscosidad plástica y el límite de fluencia (Páez et al., 2020)

El esfuerzo disminuyó a tasas de corte bajas (cerca de 1 1/s) y aumentó en altas (cerca de 150 1/s) al aumentar la concentración de B.

El análisis de esfuerzo contra velocidad de corte a diferentes concentraciones de biomasa. Se observó que a medida que aumenta la concentración del aditivo aumenta la viscosidad plástica excepto la concentración al 0,5% la cual se asemeja más a las concentraciones de 1,5 y 2% (Figura 17).

El límite de fluencia disminuye a medida que aumenta la concentración de B. Se observó que B2% aumenta más que B1% lo que sugiere que el aditivo ya se saturó (Figura 17d).

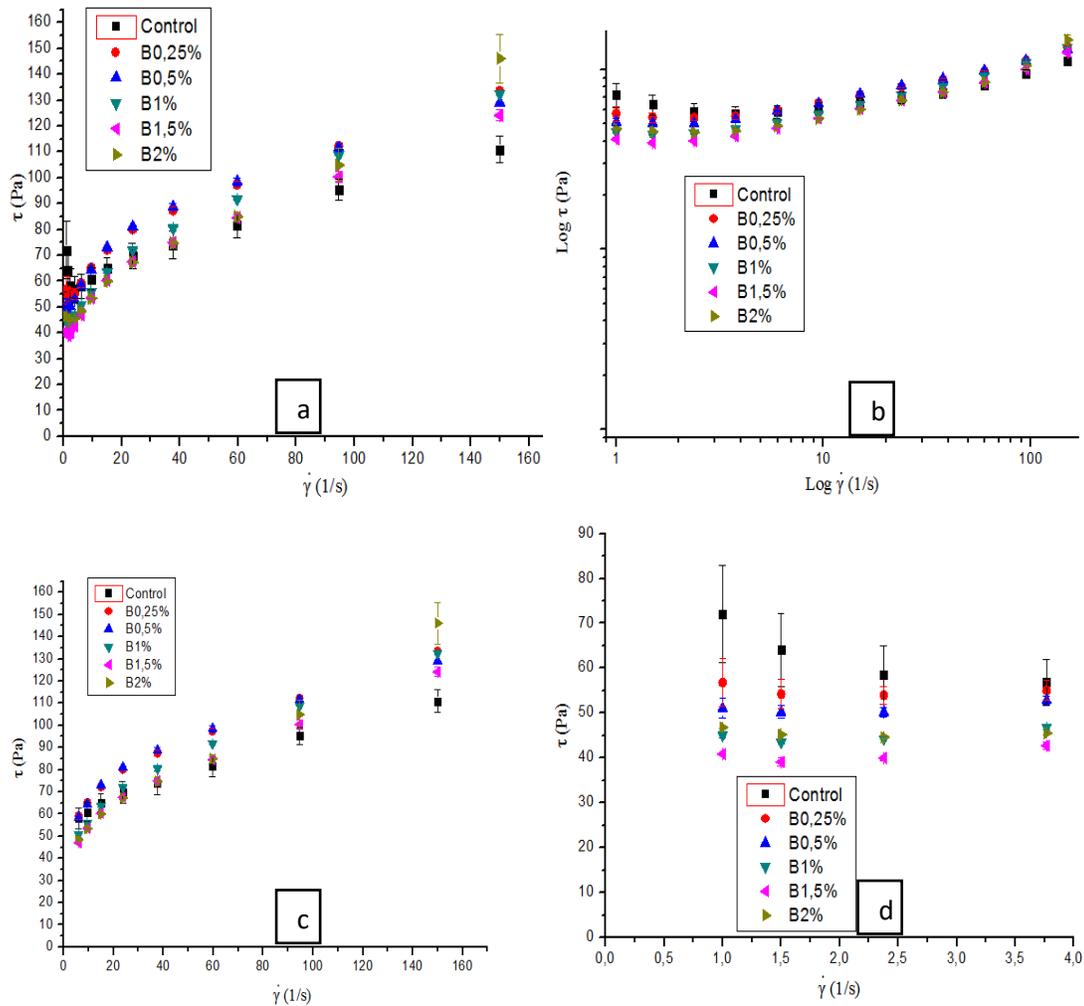
Las cotas de error van disminuyendo de tamaño a medida que aumenta la concentración de B (Figura 17) lo cual demuestra que el aditivo estabiliza al cemento en su comportamiento reológico en las repeticiones experimentales.

En todos los tratamientos el esfuerzo incrementaba a medida que aumentaba la velocidad de corte excepto a velocidades de corte bajas (cerca de 3,76 1/s).

El esfuerzo disminuyó a tasas de corte bajas (cerca de 1 1/s) y aumentó en altas (cerca de 150 1/s) al aumentar la concentración de B. El cambio de viscosidad aparente de mayor a menor siguió el siguiente orden: Control; B0,25%; B0,5%; B2%; B1% y B1,5% a tasas de corte bajas (cerca de 1 1/s), B2% y B1% se superpusieron por medio del error estándar lo que sugiere que se saturó. El esfuerzo a tasas de corte altas (cerca de 150 1/s) se tuvo el siguiente orden de mayor a menor: B2%; B0,25%; B1%; B0,5%, B1,5% y control, todos los tratamientos fueron superiores al control, B0,25%; B0,5% y B1% se superpusieron por medio del error estándar, el de mayor esfuerzo fue el de B2% (Figura 17).

Figura 17

Esfuerzo contra tasa de corte para los tratamientos con B a diferentes concentraciones con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a $300\ \mu\text{m}$

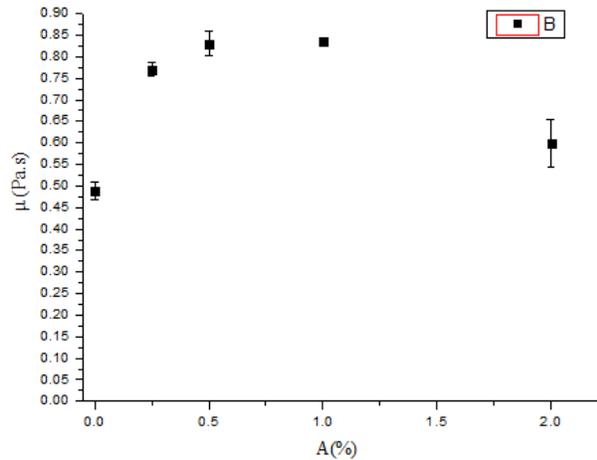


Nota. a) Diagrama general. b) Gráfica logarítmica. c) Diagrama para $\dot{\gamma} > 3,76$ (1/s). d) diagrama para $\dot{\gamma} < 3,76$ (1/s).

Se observó que a B0,5% se llega a un máximo de la viscosidad plástica con un valor de $0,83 \pm 0,03$ Pa.s; a B1% se mantiene constante con $0,83 \pm 0,00$ Pa.s y al 2% empieza a decaer con $0,60 \pm 0,06$ Pa.s (Figura 18). Además, todos se diferencian del control cuyo valor es de $0,49 \pm 0,02$ Pa.s.

Figura 18

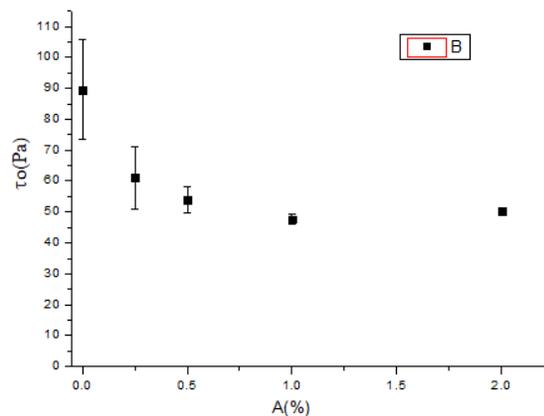
Viscosidad plástica a diferentes concentraciones de B con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a $300\ \mu m$



Se observó que el límite de fluencia va disminuyendo a medida que aumenta la concentración de B. B0,5% caen en el error de B0,25% con valores de $53,84 \pm 4,15$ y $61,18 \pm 10,08$ Pa respectivamente también B1% es semejante a B2% con $47,66 \pm 1,73$ y $50,45 \pm 0,28$ Pa por lo cual sugiere que se satura en esa concentración al mantener constante el límite de fluencia (Figura 19).

Figura 19

Límite de fluencia a diferentes concentraciones de B con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a $300\ \mu m$



La viscosidad plástica aumentaba al aumentar la concentración de aditivo B excepto B0,5%. Los tratamientos de B0,25%; B0,5%; B1%; B1,5% y B2% siguieron un orden creciente en la viscosidad plástica con valores de $0,72\pm 0,09$; $1,06\pm 0,17$; $0,79\pm 0,08$; $1,03\pm 0,17$ y $1,08\pm 0,16$ Pa.s con variación porcentual respecto al control 1 de 46,83; 116,20; 62,49; 110,70; 120,98 % respectivamente, pero se observó que el tratamiento a B0,5% no cumple el patrón. La viscosidad plástica máxima obtenida fue con el tratamiento B2% (Tabla 6).

Tabla 6

Resumen de la regresión parabólica de los tratamientos con B a $\dot{\gamma} > 3,76(1/s)$ y su variación de la viscosidad plástica respecto al control

Concentración	$\tau_0(Pa)$	$\mu_p(Pa.s)$	$c(Pa.s^2)$	R^2	$\% \Delta \mu_p$
Control	$56,80\pm 0,94$	$0,49\pm 0,04$	$0,00\pm 0,00$	0,9944	0,00
B0,25%	$60,30\pm 2,40$	$0,72\pm 0,09$	$0,00\pm 0,00$	0,9820	46,83
B0,5%	$55,61\pm 2,46$	$1,06\pm 0,17$	$0,00\pm 0,00$	0,9344	116,20
B1%	$50,07\pm 2,04$	$0,79\pm 0,08$	$0,00\pm 0,00$	0,9894	62,49
B1,5%	$42,30\pm 1,64$	$1,03\pm 0,17$	$0,00\pm 0,00$	0,9352	110,70
B2%	$42,91\pm 1,49$	$1,08\pm 0,16$	$0,00\pm 0,00$	0,9367	120,98

El límite de fluencia disminuyó al aumentar la concentración de aditivo B (Tabla 7). Los tratamientos de B0,25%; B0,5%; B1%; B1,5% y B2% siguieron un orden decreciente de límite de fluencia con valores de $59,53\pm 2,73$; $53,64\pm 0,44$; $46,78\pm 2,56$; $44,24\pm 1,51$ y $50,29\pm 0,91$ Pa con su variación porcentual respecto al control de -32,41; -39,10; -46,89; -49,76; -42,90 % excepto B2% el cual disminuye cerca de B0,5%.

Tabla 7

Resumen de la regresión parabólica de los tratamientos con B a $\dot{\gamma} < 3,76(1/s)$ y su variación del límite de fluencia respecto al control 1

Concentración	$\tau_0(Pa)$	$\mu_p(Pa.s)$	$c(Pa.s^2)$	R^2	$\% \Delta \tau_0$
Control	$88,07\pm 4,32$	$-20,07\pm 3,80$	$3,13\pm 0,73$	0,9608	0,00
B0,25%	$59,53\pm 2,73$	$-4,46\pm 2,23$	$0,87\pm 0,42$	0,4467	-32,41

Concentración	τ_0 (Pa)	μ_p (Pa.s)	c (Pa.s ²)	R^2	$\% \Delta \tau_0$
B0,5%	53,64±0,44	-3,58±0,37	0,89±0,07	0,9950	-39,10
B1%	46,78±2,56	-3,26±2,32	0,88±0,46	0,7534	-46,89
B1,5%	44,24±1,51	-4,51±1,76	1,09±0,39	0,7030	-49,76
B2%	50,29±0,91	-4,47±0,85	0,86±0,18	0,9078	-42,90

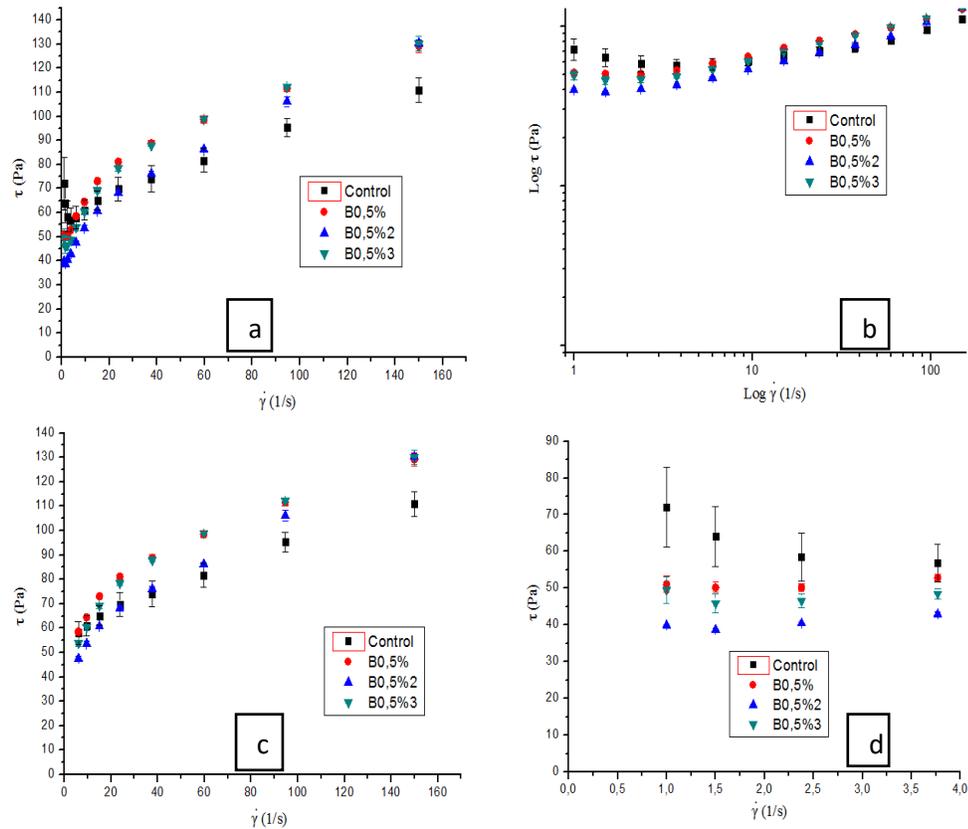
Heterogeneidad de la muestra

En los aditivos de origen biológico poseen metabolitos distribuidos de manera heterogénea en su estructura en consecuencia, los VMA orgánicos o sus derivados suelen ser heterogéneos y pueden dar valores variables en la viscosidad plástica y el límite de fluencia (Páez et al., 2020).

Se procedió a realizar las repeticiones para B0,5% (Figura 20). B0,5% y B0,5%3 se solaparon y se diferenciaron de B0,5%2, pero las tres convergen a en la velocidad de corte de 160 1/s con el límite de fluencia sucedió exactamente lo mismo con la diferencia que no convergieron a tasas de corte bajas.

Figura 20

Esfuerzo contra tasa de corte para B0,5% con tres repeticiones a $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor igual a 300 micrómetros



Nota. a) Diagrama general. b) Gráfica logarítmica. c) Diagrama para $\dot{\gamma} > 3,76(1/s)$. d) diagrama para $\dot{\gamma} < 3,76(1/s)$.

B0,5% se superpone con B0,5%3 con viscosidades plásticas de $1,06 \pm 0,17$ y $1,01 \pm 0,13$ Pa.s con variaciones porcentuales respecto al control de 116,20 y 107,40 % respectivamente y contrastan con B0,5%2 de viscosidad plástica de $0,79 \pm 0,09$ Pa.s con variación porcentual de 60,79% (Tabla 8). Demostrando que la proporcionalidad directa entre viscosidad plástica-concentración de B fue alterada por heterogeneidad en la muestra de biomasa.

Tabla 8

Resumen de la regresión parabólica para B0,5% con tres repeticiones a $\dot{\gamma} > 3,76(1/s)$ y su variación de la viscosidad plástica respecto al control

Concentración	$\tau_0(Pa)$	$\mu_p(Pa \cdot s)$	$c(Pa \cdot s^2)$	R^2	$\% \Delta \mu_p$
Control	56,80±0,94	0,49±0,04	0,00±0,00	0,9944	0,00
B0,5%	55,61±2,46	1,06±0,17	0,00±0,00	0,9344	116,20
B0,5%2	47,00±2,23	0,79±0,09	0,00±0,00	0,9827	60,79
B0,5%3	53,68±3,32	1,01±0,13	0,00±0,00	0,9642	107,40

Se observó que en B0,5% y B0,5%3 los coeficientes de determinación son muy diferentes con valores de 0,9950 y 0,2646 respectivamente, pero dan mismos valores semejantes en límite de fluencia con 53,64±0,44 y 52,62±5,17 Pa correspondientemente de variaciones porcentuales respecto al control de -39,10 y -40,26 % respectivamente mostrando que el R^2 bajo puede dar valores confiables al igual que uno cercano a 1. B0,5%2 contrasta con las demás repeticiones con su límite de fluencia de 41,46±2,00 Pa y su variación respecto al control de -52,93% (Tabla 9).

Tabla 9

Resumen de la regresión parabólica para B0,5% con tres repeticiones a $\dot{\gamma} < 3,76(1/s)$ y su variación del límite de fluencia respecto al control 1

Concentración	$\tau_0(Pa)$	$\mu_p(Pa \cdot s)$	$c(Pa \cdot s^2)$	R^2	$\% \Delta \tau_0$
Control	88,07±4,32	-20,07±3,80	3,13±0,73	0,9608	0,00
B0,5%	53,64±0,44	-3,58±0,37	0,89±0,07	0,9950	-39,10
B0,5%2	41,46±2,00	-2,34±2,38	0,74±0,56	0,4319	-52,93
B0,5%3	52,62±5,17	-5,53±4,47	1,18±0,85	0,2646	-40,26

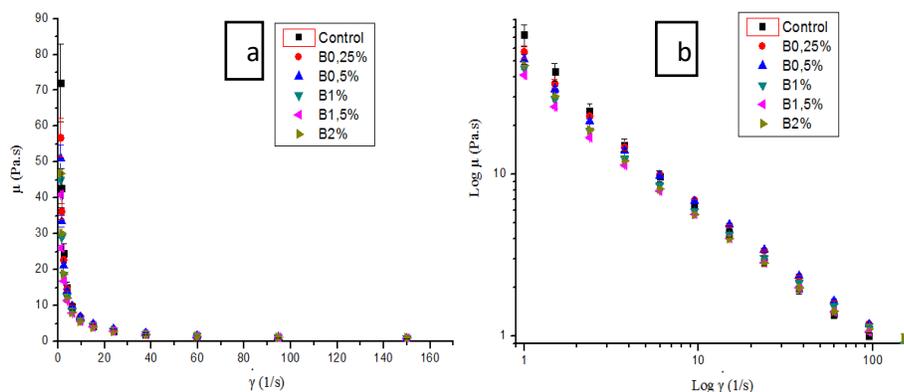
Las variaciones y coincidencias en las repeticiones de B0,25% se debió a que: la muestra era de origen silvestre y no criado en condiciones controladas, los seres vivos tienen la concentración de metabolitos en diferentes concentraciones distribuidos en su estructura física.

Pero se mantuvo la tendencia de aumentar la viscosidad plástica y la de disminuir el límite de fluencia a medida que aumenta la concentración de biomasa.

Para biomasa a diferente concentración se hizo la gráfica viscosidad aparente vs tasa de corte. La viscosidad aparente disminuyó a medida que aumentó la concentración de B a tasas de corte bajas excepto B2% el cual cae en el error estándar de B1,5% sugiriendo que ya se saturó (Figura 21).

Figura 21

Viscosidad aparente contra tasa de corte para B a diferentes concentraciones a $w/c=0,40$ con tamaño de partícula menor igual a 300 micrómetros



Nota. a) Diagrama general. b) Gráfica logarítmica.

Tratamientos con sacáridos

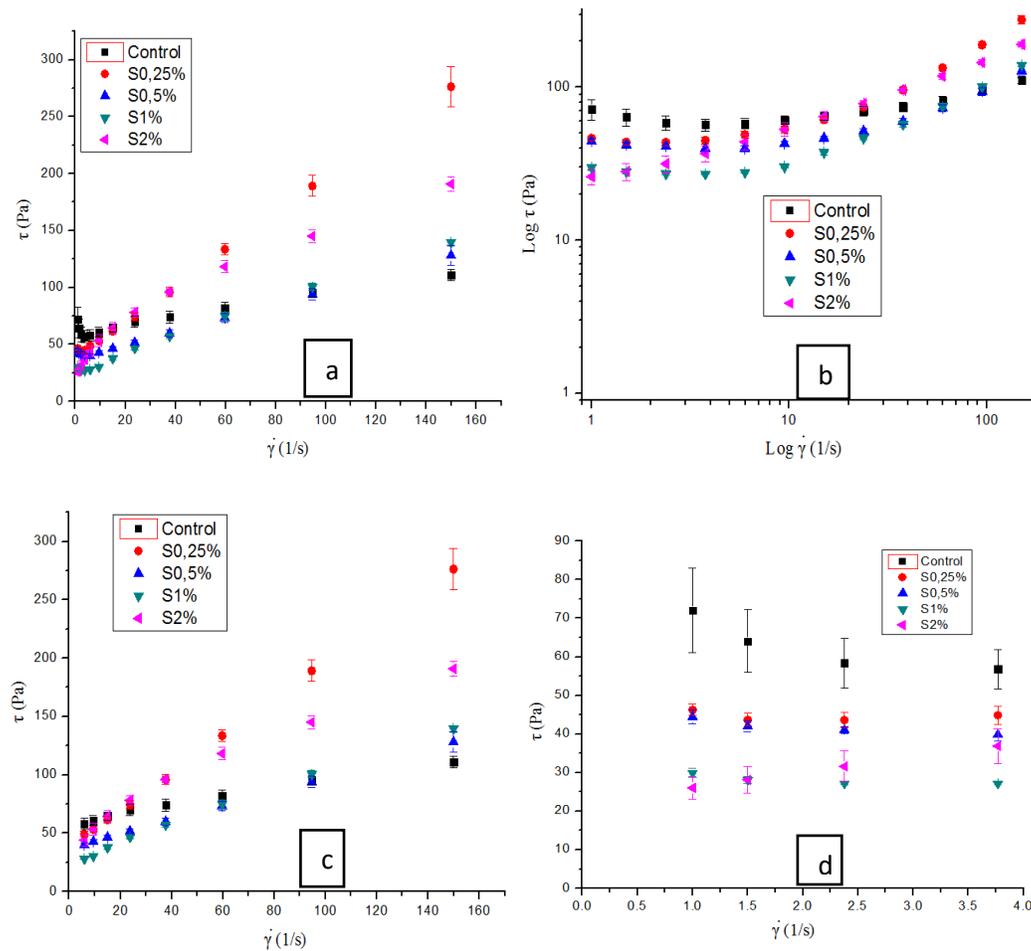
Los resultados del análisis de la viscosidad con sacáridos se ven a continuación. Se realizó un ajuste no lineal de los datos de esfuerzo contra tasa de corte a través del modelo de Bingham modificado con dos funciones (Figura 22).

El esfuerzo disminuyó a tasas de corte bajas (cerca de 1 1/s) y aumentó en altas (cerca de 150 1/s) al aumentar la concentración de S. El cambio de viscosidad aparente de mayor a menor siguió el siguiente orden: Control; S0,25%; S0,5%; S1% y S2%, a tasas de corte bajas (cerca de 1 1/s), S0,25% y S0,5% se superponían por medio del error estándar. El

esfuerzo a tasas de corte altas (cercasas a 150 1/s) se tuvo el siguiente orden de mayor a menor: S0,25%; S2%; S1%; S0,5% y control, todos los tratamientos fueron superiores al control (Figura 22).

Figura 22

Esfuerzo contra tasa de corte para los tratamientos con S a diferentes concentraciones con $w/c=0,40$



Nota. a) Diagrama general. b) Gráfica logarítmica. c) Diagrama para $\dot{\gamma} > 3,76(1/s)$. d) diagrama para $\dot{\gamma} < 3,76(1/s)$.

Las viscosidades plásticas fueron de $0,49 \pm 0,02$; $1,47 \pm 0,11$; $0,60 \pm 0,05$; $0,93 \pm 0,07$; $1,47 \pm 0,02$ Pa.s para Control, S0,25%, S0,5%, S1%, S2% respectivamente mostrando que la

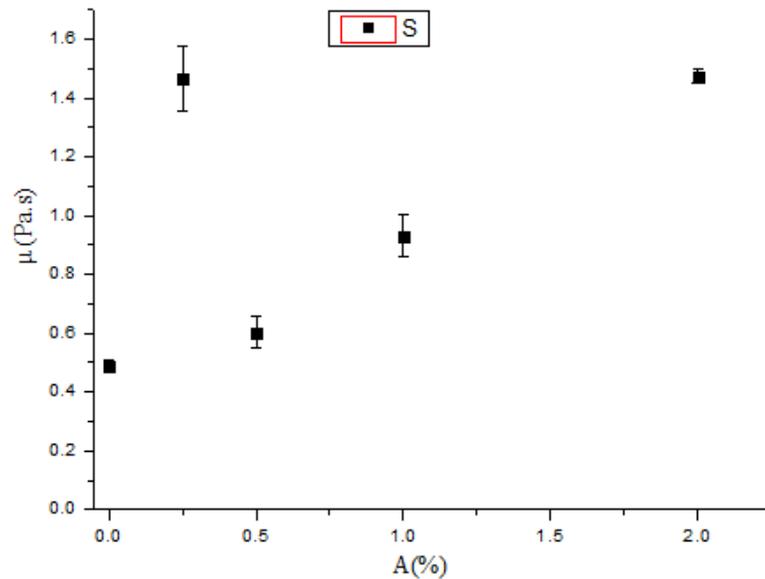
viscosidad plástica aumentó al aumentar la concentración de S excepto S0,25% (Figura 23). La ecuación que describe dicho comportamiento fue la siguiente.

$$y = 0,57378X + 0,32622 \quad (1)$$

Donde Y es la viscosidad plástica y X es la concentración de sacáridos, con un coeficiente de correlación de 0,99827 en el programa Origin pro 8.

Figura 23

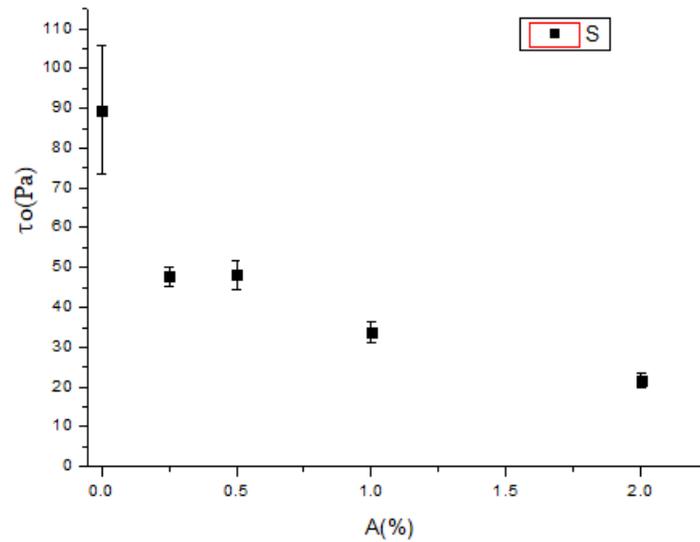
Viscosidad plástica a diferentes concentraciones de S con w/c=0,40 y tamaño de partícula menor o igual a 300 μm



Los límites de fluencia fueron 89,51±16,09; 47,79±2,48; 48,14±3,60; 33,61±2,59; 21,70±1,96 Pa para Control, S0,25%; S0,5%; S1%; S2% respectivamente mostrando que el límite de fluencia disminuye al aumentar la concentración de S. excepto S0,5% que se encuentra en el mismo nivel de S0,5% (Figura 24).

Figura 24

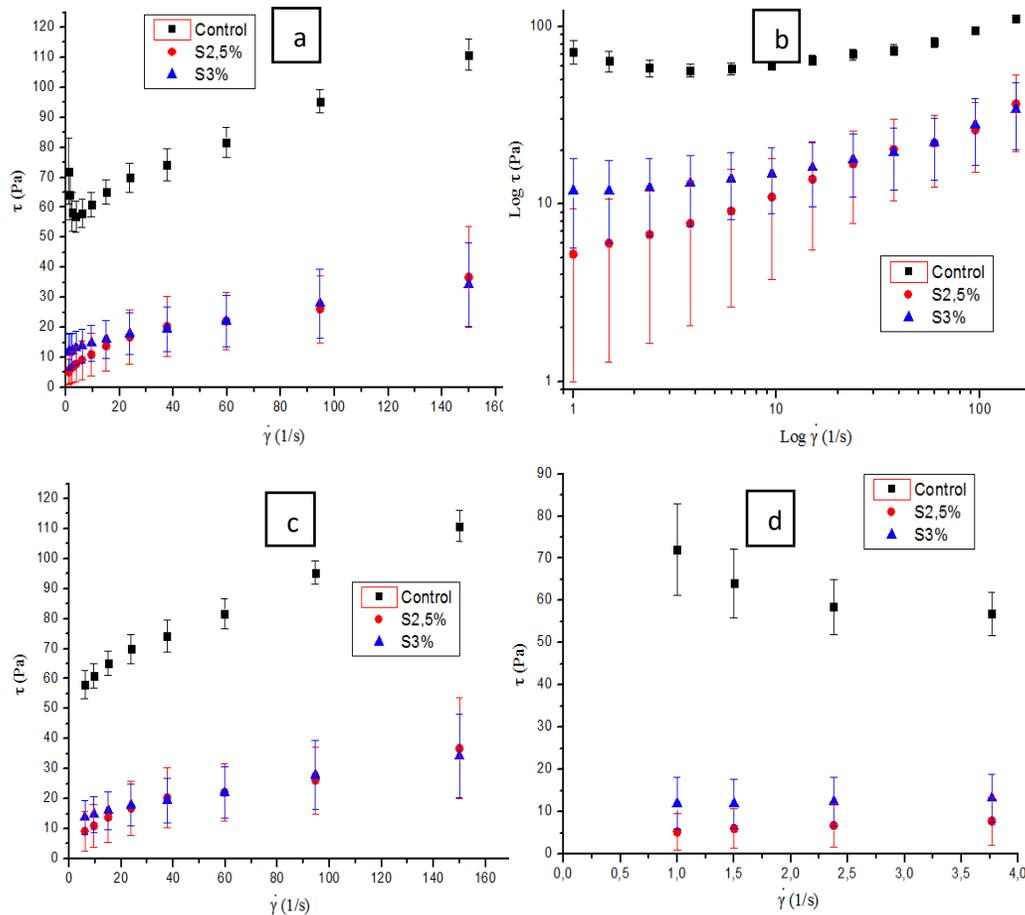
Límite de fluencia a diferentes concentraciones de S con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a $300\ \mu m$



El esfuerzo disminuyó a tasas de corte bajas (cerca de $1\ 1/s$) y aumentó en altas (cerca de $150\ 1/s$) al aumentar la concentración de S 2,5% y 3% (Figura 25), las muestras estaban muy secas y en la segunda corrida se salía de la copa, el error estándar fue muy grande .

Figura 25

Esfuerzo contra tasa de corte para los tratamientos con S2,5% y S3% a diferentes concentraciones con $w/c=0,40$



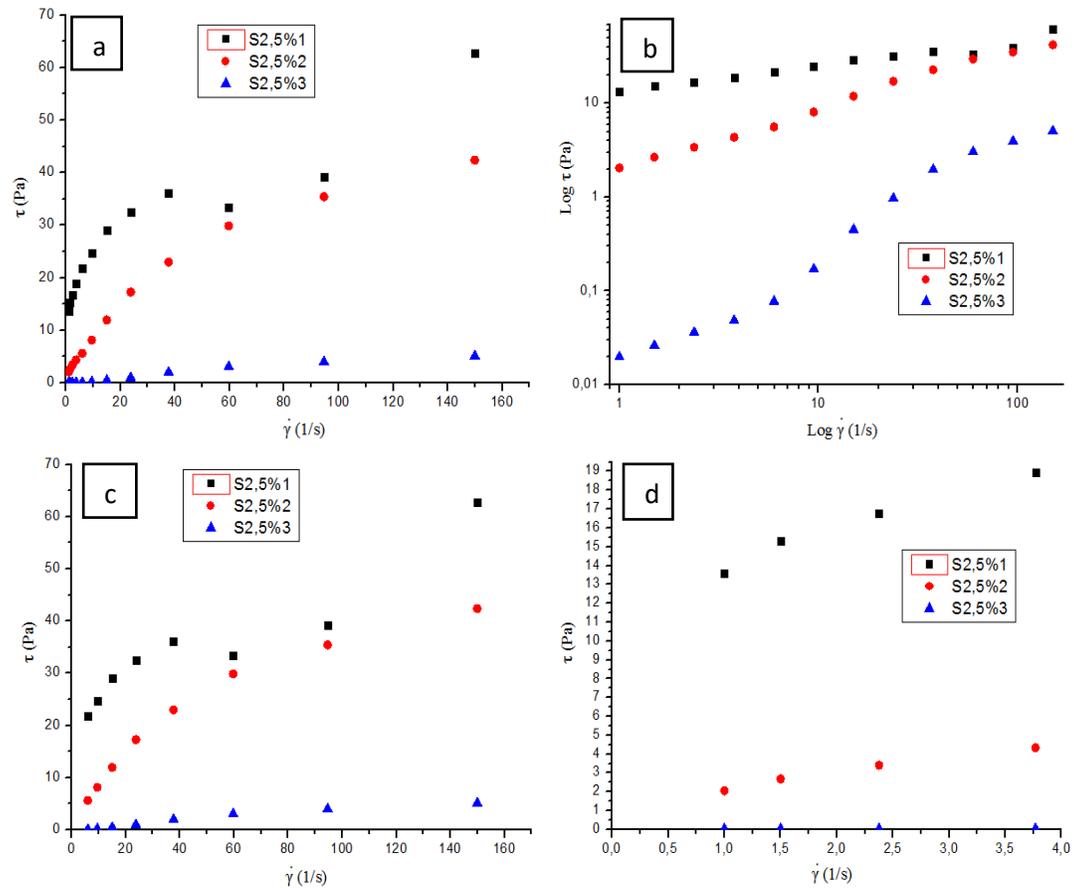
Nota. a) Diagrama general. b) Gráfica logarítmica. c) Diagrama para $\dot{\gamma} > 3,76$ (1/s). d) diagrama para $\dot{\gamma} < 3,76$ (1/s).

Para 2,5% las gráficas individuales de las 3 mediciones de la misma muestra, en la tercera corrida se observa que ya no hay oposición es decir que el esfuerzo es muy pequeño, posteriormente se observó que la mezcla de cemento fue desplazada a la parte superior de la hélice por lo cual con seguridad podemos decir que el reómetro ya no estaba midiendo la viscosidad de la mezcla y eso se vió reflejado en la tercera corrida. En S2,5%1 no sigue un

comportamiento de Bingham ordinario ni modificado, los otros si, las gráficas de esfuerzo no se superponen (Figura 26).

Figura 26

Esfuerzo contra tasa de corte para S2,5% con tres repeticiones individuales para una sola curva con $w/c=0,40$



Nota. a) Diagrama general. b) Gráfica logarítmica. c) Diagrama para $\dot{\gamma} > 3,76$ (1/s). d) diagrama para $\dot{\gamma} < 3,76$ (1/s).

Los policarboxilatos con cemento volvieron más fluido a la mezcla tornandola líquida pero jamas se observó que la muestra se pusiera encima de la paleta pero en contraste los sacáridos al 2% con cemento tornaba a la muestra como plastilina pero después la muestra ya se salia de la copa

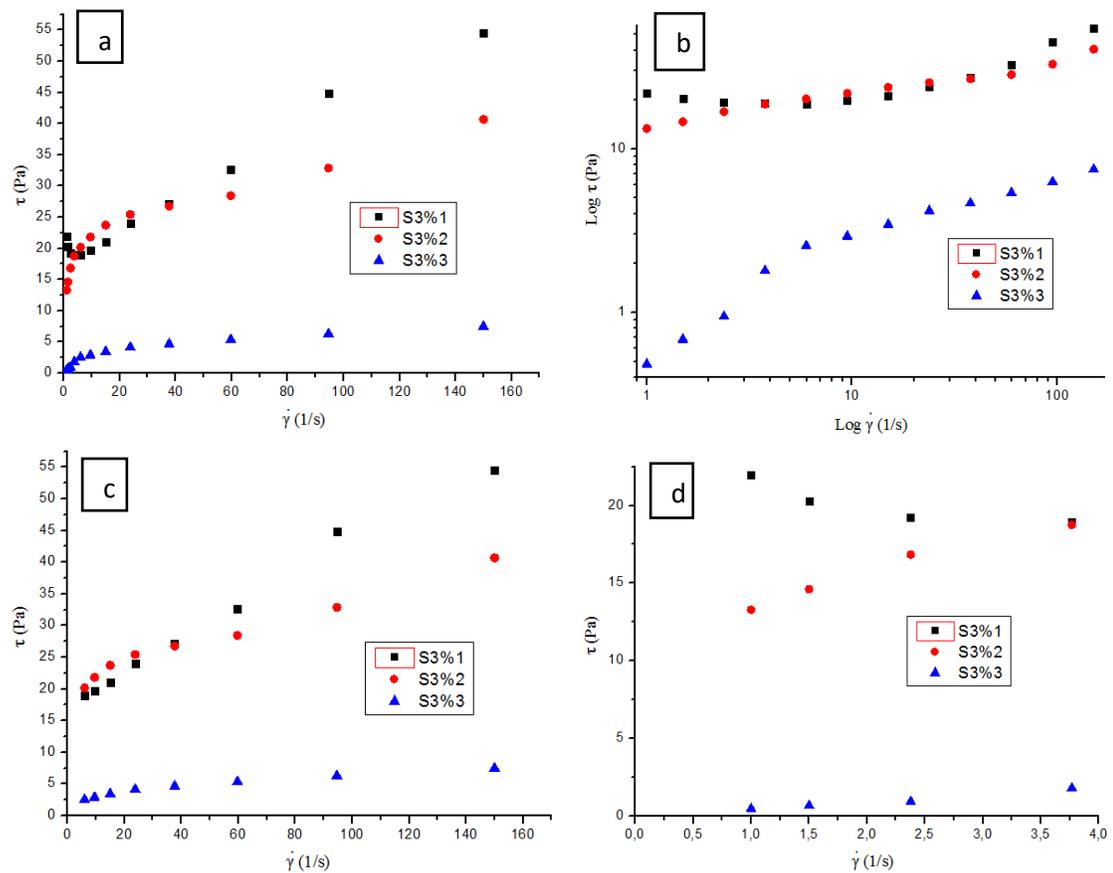
lo que nos hace tomar en cuenta que los sacáridos pueden hacer fluir al cemento cuando posee poca cantidad de agua y eso también se ve reflejada en la corrida 3.

El aire es un fluido newtoniano (Alexander, 2017).

Las curvas de esfuerzo de S3%1; S3%2; S3%3 son muy diferentes entre sí y no se superponen, las dos primeras siguieron el modelo de Bingham modificado, la última describe un comportamiento newtoniano el cual corresponde al del aire (Figura 27).

Figura 27

Esfuerzo contra tasa de corte para S3% con tres repeticiones individuales para una sola curva con $w/c=0,40$

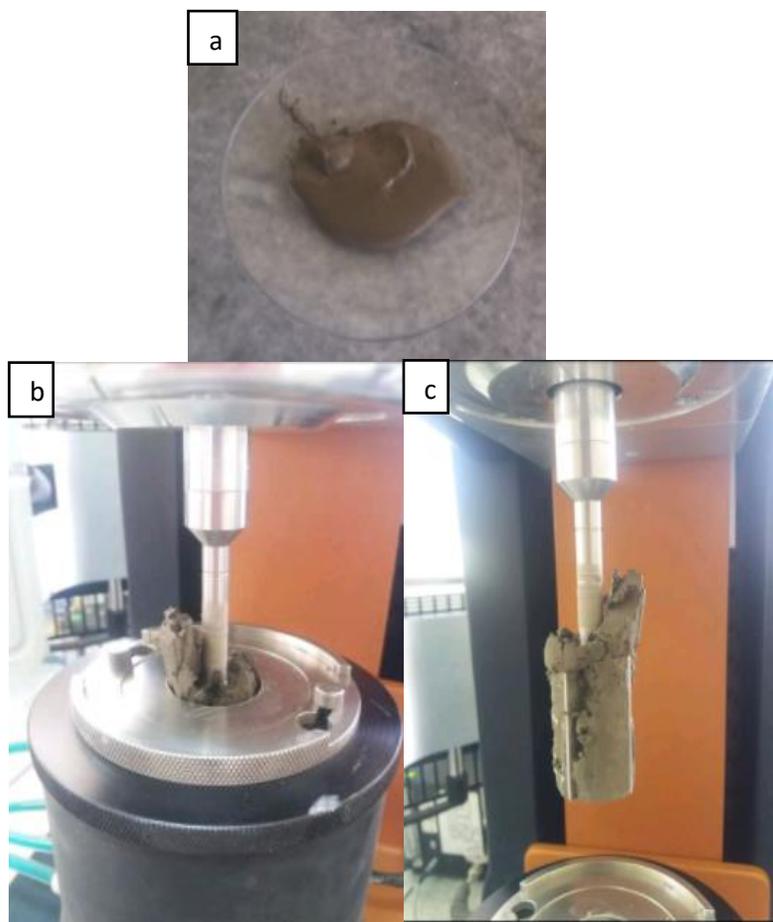


Nota. a) Diagrama general. b) Gráfica logarítmica. c) Diagrama para $\dot{\gamma} > 3,76(1/s)$. d) diagrama para $\dot{\gamma} < 3,76(1/s)$.

También cabe destacar que la mezcla al S2,5% al inicio de poner en la copa era mojada pero después de la corrida 3 se observó que ya era menos húmeda pero sin embargo maleable (Figura 28).

Figura 28

Mezcla de cemento con S2,5% con $w/c=0,40$ en la reometría



Nota. a) Mezcla antes de la reometría. b) Mezcla saliendo de la copa. c) Mezcla seca en la paleta.

La viscosidad plástica aumentaba al aumentar la concentración de aditivo S excepto S0,25%. Los tratamientos de S0,25%; S0,5%; S1% y S2% siguieron un orden creciente en la viscosidad plástica con valores de $1,51 \pm 0,05$; $0,63 \pm 0,02$; $1,01 \pm 0,06$ y $1,55 \pm 0,15$ Pa.s con variación porcentual respecto al control fue de 209,53; 28,07; 107,51 y 217,35 % respectivamente, pero se observó que el tratamiento a S0,25% no cumple el patrón sus valores son semejantes a los

tratamientos de S2% (Tabla 10). Los coeficientes de determinación en todos los casos fueron mayores a 0,9865, los valores de c tendieron a cero sugiriendo que eran más lineales que parabólicos.

Tabla 10

Resumen de la regresión parabólica de los tratamientos con S a $\dot{\gamma} > 3,76(1/s)$ y su variación de la viscosidad plástica respecto al control

Concentración	$\tau_0(Pa)$	$\mu_p(Pa \cdot s)$	$c(Pa \cdot s^2)$	R^2	$\% \Delta \mu_p$
Control	56,80±0,94	0,49±0,04	0,00±0,00	0,9944	0,00
S0,25%	38,87±0,78	1,51±0,05	0,00±0,00	0,9988	209,53
S0,5%	36,68±0,33	0,63±0,02	0,00±0,00	0,9986	28,07
S1%	21,61±0,55	1,01±0,06	0,00±0,00	0,9951	107,51
S2%	40,56±3,73	1,55±0,15	0,00±0,00	0,9865	217,35

El límite de fluencia disminuyó al aumentar la concentración de S. Los tratamientos de S0,25%; S0,5%; S1%; S2% siguieron un orden decreciente de límite de fluencia con valores de 51,10±2,89; 47,42±2,27; 32,92±1,22; 21,69±0,04 Pa con su variación porcentual respecto al control de -41,98; -46,16; -62,63; -75,37 %. El coeficiente de determinación más bajo fue en S0,25% con 0,5046 y el más alto en S2% con 1 (Tabla 11).

Tabla 11

Resumen de la regresión parabólica de los tratamientos con S a $\dot{\gamma} < 3,76(1/s)$ y su variación del límite de fluencia respecto al control

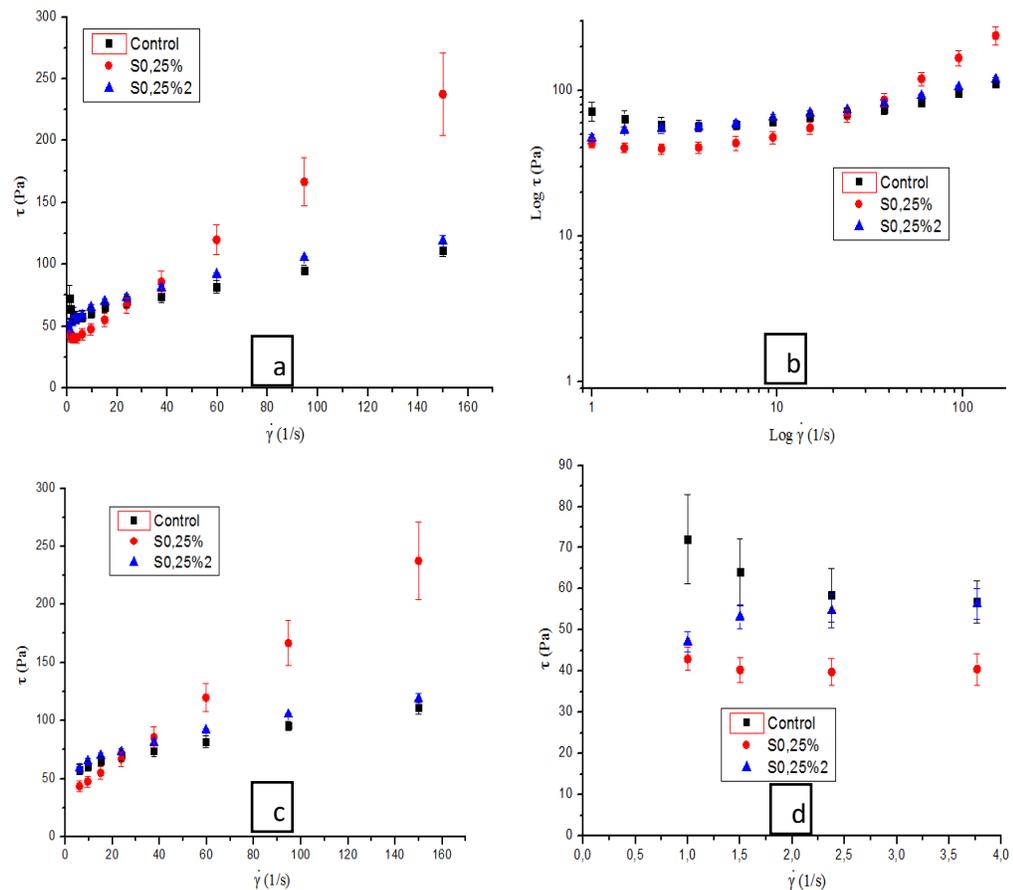
Concentración	$\tau_0(Pa)$	$\mu_p(Pa \cdot s)$	$c(Pa \cdot s^2)$	R^2	$\% \Delta \tau_0$
Control	88,07±4,32	-20,07±3,80	3,13±0,73	0,9608	0,00
S0,25%	51,10±2,89	-6,40±2,95	1,27±0,62	0,5046	-41,98
S0,5%	47,42±2,27	-3,97±2,00	0,52±0,41	0,8060	-46,16
S1%	32,92±1,22	-4,00±0,95	0,65±0,17	0,8924	-62,63
S2%	21,69±0,04	4,42±0,04	-0,11±0,01	1,0000	-75,37

Heterogeneidad de la muestra

El esfuerzo en el Control y S0,25% tuvieron una ligera diferencia a altas tasas de corte, pero ambos fueron menores a S0,25%2 a unas tasas de corte mayores a 40 1/s. S0,25% y S0,25%2 fueron menores al control a velocidades de cizalla menores a 40 1/s (Figura 29), Los S tuvieron heterogeneidad en S0,25%.

Figura 29

Esfuerzo contra tasa de corte para S0,25% con dos repeticiones con $w/c=0,40$



Nota. a) Diagrama general. b) Gráfica logarítmica. c) Diagrama para $\dot{\gamma} > 3,76(1/s)$. d) diagrama para $\dot{\gamma} < 3,76(1/s)$.

Las viscosidades plásticas para los tratamientos de S0,25% y S0,25%2 fueron de $1,39 \pm 0,05$; $0,66 \pm 0,04$ Pa.s con sus variaciones porcentuales respecto al control de -39,26 y 3,23 % respectivamente (Tabla 12), S0,25%2 y el control son semejantes pero diferentes a S0,25%.

Los valores del coeficiente de determinación son mayores a 0,99 y los valores de c tendieron a cero lo cual siguieron más un modelo lineal que parabólico.

Tabla 12

Resumen de la regresión parabólica para S0,5% con dos repeticiones a $\dot{\gamma} > 3,76(1/s)$ y su variación de la viscosidad plástica respecto al control

Concentración	$\tau_0(Pa)$	$\mu_p(Pa.s)$	$c(Pa.s^2)$	R^2	$\% \Delta \mu_p$
Control	56,80±0,94	0,49±0,04	0,00±0,00	0,9944	0,00
S0,25%	34,50±0,68	1,39±0,05	0,00±0,00	0,9986	-39,26
S0,25%2	58,64±1,19	0,66±0,04	0,00±0,00	0,9950	3,23

Los límites de fluencia para los tratamientos de S0,25% y S0,25%2 fueron de 48,08±2,72; 35,93±6,54 Pa con sus variaciones porcentuales respecto al control de -45,41 y -59,20 Pa respectivamente (Tabla 13), S0,25% y S0,25%2 son semejantes pero diferentes al control. Los valores del coeficiente de determinación son mayores a 0,65.

Tabla 13

Resumen de la regresión parabólica para S0,25% con dos repeticiones a $\dot{\gamma} < 3,76(1/s)$ y su variación del límite de fluencia respecto al control

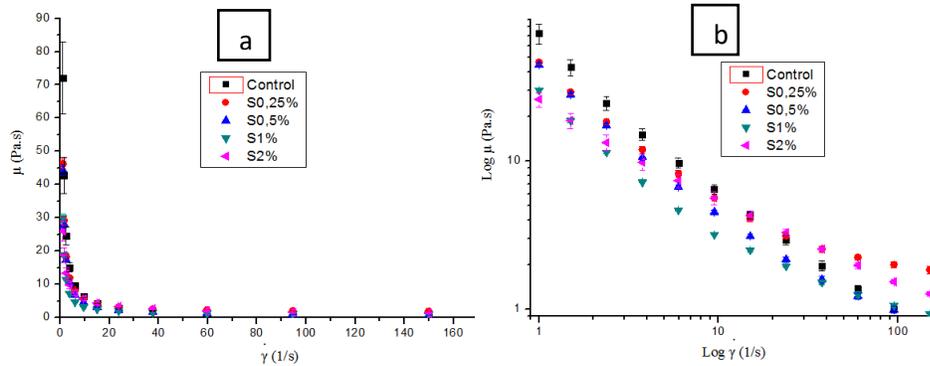
Concentración	$\tau_0(Pa)$	$\mu_p(Pa.s)$	$c(Pa.s^2)$	R^2	$\% \Delta \tau_0$
Control	88,07±4,32	-20,07±3,80	3,13±0,73	0,9608	0,00
S0,25%	48,08±2,72	-6,62±2,73	1,23±0,57	0,6585	-45,41
S0,25%2	35,93±6,54	14,07±6,86	-2,32±1,43	0,7596	-59,20

En todos los tratamientos la viscosidad aparente disminuyó a medida que aumentaba la velocidad de corte siguiendo el modelo Bingham modificado. La viscosidad aparente mostró el siguiente orden decreciente S0,25%; S2%; S1%; S0,5% y Control a tasas de corte alta (cerca de 120 1/s) mostrando que la viscosidad aparente aumenta a medida que aumenta la concentración de S a esas condiciones de velocidad de cizalla, pero S0,25% es la excepción por que posee heterogeneidad en la muestra. La viscosidad aparente disminuyó al incrementar la

concentración de sacáridos. Se observó el siguiente orden decreciente Control, S0,25%; S0,5%; S1% y S2% a tasas de corte bajas (cercasas a 1 1/s) (Figura 30).

Figura 30

Viscosidad aparente contra tasa de corte para S a diferentes concentraciones a $w/c=0,40$ con tamaño de partícula menor igual a 300 micrómetros

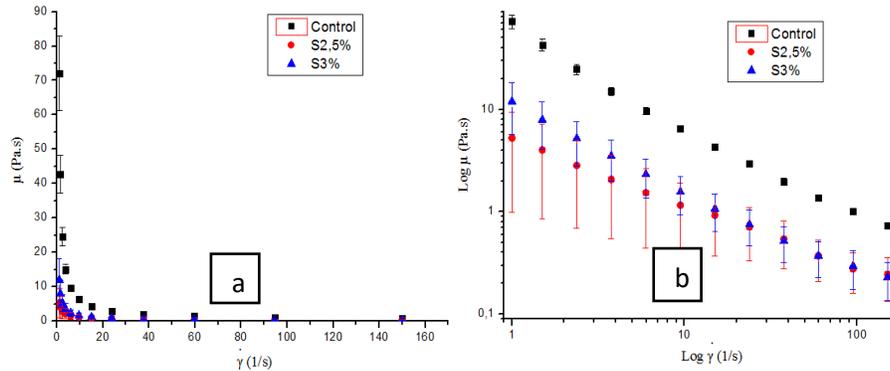


Nota. a) Diagrama general. b) Gráfica logarítmica.

En todos los tratamientos la viscosidad aparente disminuyó a medida que aumentaba la velocidad de corte siguiendo el modelo Bingham modificado. La viscosidad aparente disminuyó al incrementar la concentración de sacáridos (Figura 31). S2,5% y S3% se solaparon por medio del error estándar y se diferenciaron del control además mostraron mucha dispersión de datos esto se debe que la muestra se salió de la copa en porciones.

Figura 31

Viscosidad aparente contra tasa de corte para S2,5% y S3% a $w/c=0,40$ con tamaño de partícula menor igual a 300 micrómetros

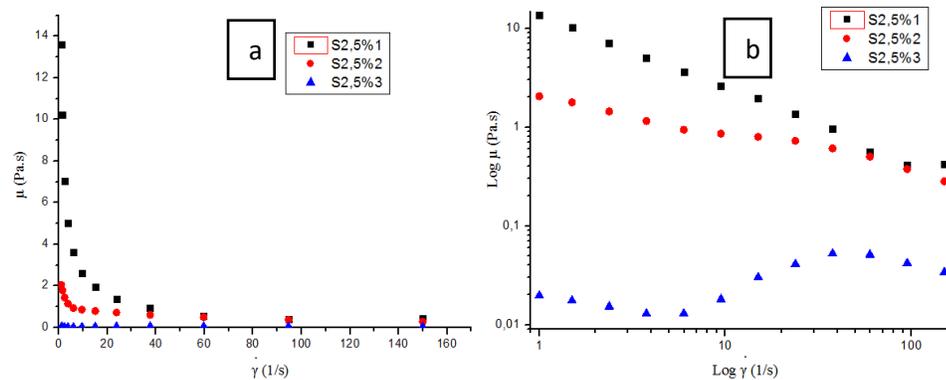


Nota. a) Diagrama general. b) Gráfica logarítmica.

Debido a la gran variabilidad de los datos se procedió a realizar las gráficas individuales para S2,5%. Las 3 repeticiones individuales son diferentes, S2,5%3 (tercera corrida) tuvo una viscosidad aparente constante correspondiente al del aire. Se denotó que la viscosidad aparente empieza a disminuir a medida que se prosiguió con las demás repeticiones individuales (Figura 32).

Figura 32

Viscosidad aparente contra tasa de corte para S2,5% con tres repeticiones individuales para una sola curva con $w/c=0,40$

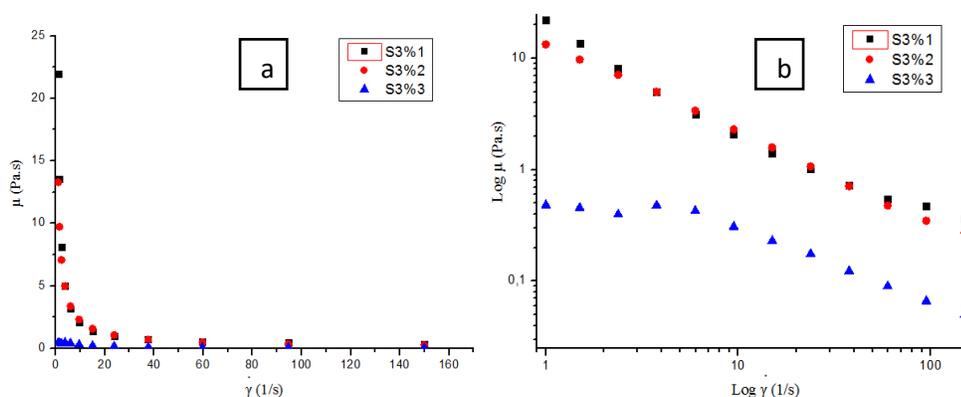


Nota. a) Diagrama general. b) Gráfica logarítmica.

Las viscosidades aparentes para las dos primeras repeticiones individuales S3%1, S3%2 se encontraban al mismo nivel pero la corrida 3 disminuyó de manera significativa. La viscosidad en S3%3 fue casi constante semejante al modelo de Newton debido a que la cámara quedó con aire y trazas del tratamiento S3% (Figura 33).

Figura 33

Viscosidad aparente contra tasa de corte para S3% con tres repeticiones individuales para una sola curva con $w/c=0,40$



Nota. a) Diagrama general. b) Gráfica logarítmica.

Tratamientos con residuos

Los resultados del análisis de la viscosidad con Residuos se ven a continuación. Se realizó un ajuste no lineal de los datos de esfuerzo contra tasa de corte a través del modelo de Bingham modificado con dos funciones (Figura 34).

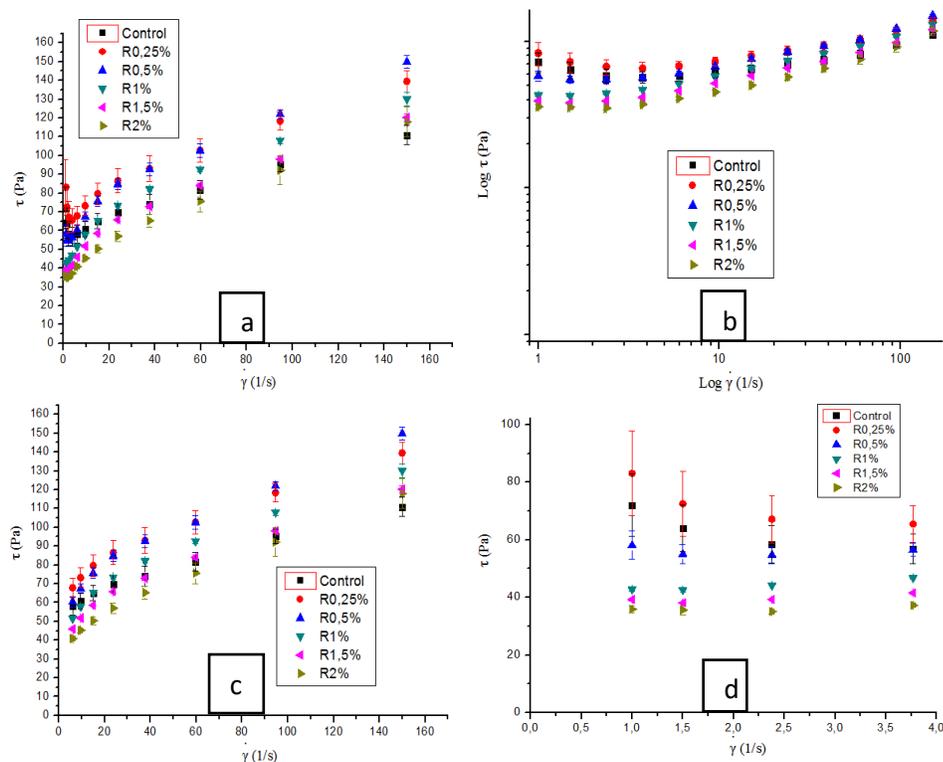
En todos los tratamientos el esfuerzo incrementó a medida que aumentaba la velocidad de corte excepto a velocidades de corte inferiores a 3,76 1/s.

El esfuerzo disminuyó a tasas de corte bajas (cerca de 1 1/s) y aumentó en altas (cerca de 150 1/s) al aumentar la concentración de R. El cambio de viscosidad aparente de mayor a menor siguió el siguiente orden: R0,25%; Control; R0,5%; R1%; R1,5% y R2% a tasas de corte bajas (cerca de 1 1/s), las tres primeras son semejantes porque caen dentro del error

estándar de ellos mismos, las tres últimas son semejantes ya que se solapan por medio del error estándar. El esfuerzo a tasas de corte altas (cercas a 150 1/s) el esfuerzo tuvo el siguiente orden de mayor a menor R0,5%; R0,25%; R1%; R1,5%; R2%, Control, observándose que a medida que aumentó la concentración de R se va acercando al control.

Figura 34

Esfuerzo contra tasa de corte para los tratamientos con R a diferentes concentraciones con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a $300 \mu\text{m}$



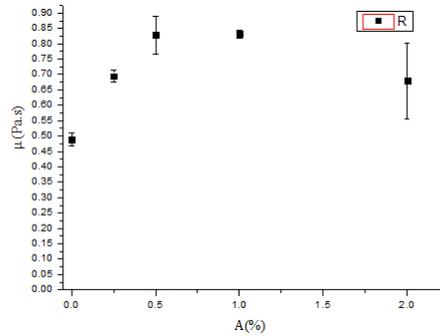
Nota. a) Diagrama general. b) Gráfica logarítmica. c) Diagrama para $\dot{\gamma} > 3,76$ (1/s). d) diagrama para $\dot{\gamma} < 3,76$ (1/s).

Las viscosidades plásticas fueron de $0,49 \pm 0,02$; $0,69 \pm 0,02$; $0,83 \pm 0,06$; $0,83 \pm 0,01$; $0,68 \pm 0,12$ Pa.s para Control; R0,25%; R0,5%; R1%; R2% respectivamente mostrando que la viscosidad plástica aumentó al aumentar la concentración de R, pero a R0,5% y R1% se

solaparon por medio del error estándar sugiriendo que y se saturó, R2% disminuyó a nivel del R0,25% y se superpone con R0,5% (Figura 35).

Figura 35

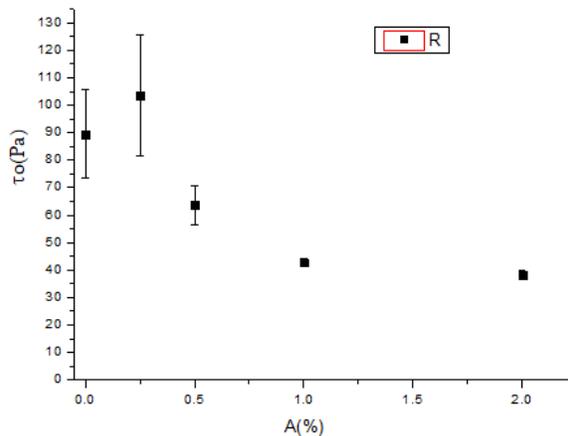
Viscosidad plástica a diferentes concentraciones de R con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a $300\ \mu\text{m}$



Los límites de fluencia fueron $89,51 \pm 16,09$; $103,59 \pm 22,18$; $63,77 \pm 7,07$; $42,67 \pm 1,58$ y $38,37 \pm 1,62$ Pa para Control, R0,25%; R0,5%; R1% y R2% respectivamente mostrando que el límite de fluencia disminuye al aumentar la concentración de R, excepto R02,5% que se superpone con el control por medio del error estándar (Figura 36).

Figura 36

Límite de fluencia a diferentes concentraciones de R con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a $300\ \mu\text{m}$



Las viscosidades plásticas fueron de $0,49\pm 0,04$; $0,70\pm 0,08$; $0,82\pm 0,12$; $1,19\pm 0,18$; $1,05\pm 0,14$ y $0,84\pm 0,08$ Pa.s para Control, R0,25%, R0,5%, R1%, R1,5% y R2 % con su variación de la viscosidad plástica respecto al control de 0,00; 42,50; 68,60; 143,02; 113,82; 71,35 %, R1% y R1,5% tuvieron valores semejantes mostrando saturación, R2% disminuyó al mismo nivel de R0,5%. Los coeficientes de determinación en todos los casos fueron mayores a 0,9394, los valores de c tendieron a cero sugiriendo que eran más lineales que parabólicos. Existió un aumento de la viscosidad plástica a medida que aumentaba la concentración de R (Tabla 14).

Tabla 14

Resumen de la regresión parabólica de los tratamientos con R a $\dot{\gamma} > 3,76(1/s)$ y su variación de la viscosidad plástica respecto al control

Concentración	$\tau_0(Pa)$	$\mu_p(Pa.s)$	$c(Pa.s^2)$	R^2	$\% \Delta \mu_p$
Control	$56,80\pm 0,94$	$0,49\pm 0,04$	$0,00\pm 0,00$	0,9944	0,00
R0,25%	$67,12\pm 1,85$	$0,70\pm 0,08$	$0,00\pm 0,00$	0,9884	42,50
R0,5%	$60,77\pm 2,83$	$0,82\pm 0,12$	$0,00\pm 0,00$	0,9802	68,60
R1%	$45,87\pm 1,80$	$1,19\pm 0,18$	$0,00\pm 0,00$	0,9394	143,02
R1,5%	$39,88\pm 0,80$	$1,05\pm 0,14$	$0,00\pm 0,00$	0,9590	113,82
R2%	$36,89\pm 0,95$	$0,84\pm 0,08$	$0,00\pm 0,00$	0,9827	71,35

Los límites de fluencia obtenidos fueron de $88,07\pm 4,32$; $100,87\pm 7,80$; $62,66\pm 3,38$; $42,07\pm 1,35$; $37,13\pm 1,92$; $38,47\pm 0,70$ Pa para Control; R0,25%; R0,5%; R1%; R1,5% y R2% con variación respecto al control de 0,00; 14,53; -28,86; -52,24; -57,85; -56,32 %. R1,5% y R2% se solaparon por medio del error estándar sugiriendo que ya se saturó. El coeficiente de determinación más pequeño fue de 0,5526 (Tabla 15).

Tabla 15

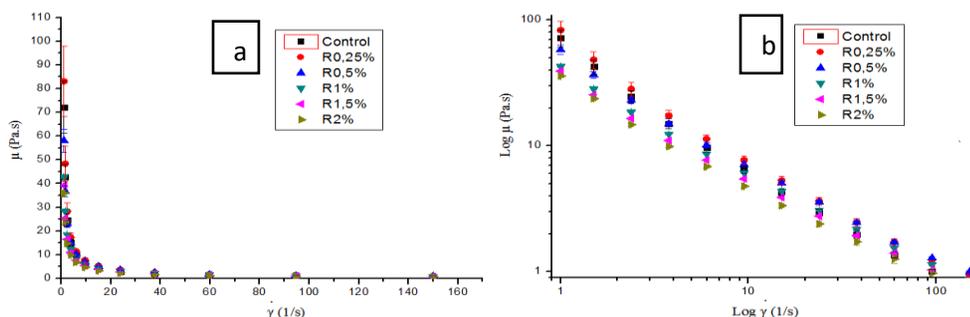
Resumen de la regresión parabólica de los tratamientos con R a $\dot{\gamma} < 3,76(1/s)$ y su variación del límite de fluencia respecto al control

Concentración	$\tau_0(Pa)$	$\mu_p(Pa \cdot s)$	$c(Pa \cdot s^2)$	R^2	$\% \Delta \tau_0$
Control	88,07±4,32	-20,07±3,80	3,13±0,73	0,9608	0,00
R0,25%	100,87±7,80	-23,09±6,76	3,64±1,29	0,8978	14,53
R0,5%	62,66±3,38	-6,66±3,00	1,34±0,58	0,5526	-28,86
R1%	42,07±1,35	0,11±1,13	0,30±0,22	0,9512	-52,24
R1,5%	37,13±1,92	0,31±1,85	0,24±0,41	0,8591	-57,85
R2%	38,47±0,70	-3,24±0,64	0,77±0,13	0,9640	-56,32

En todos los tratamientos la viscosidad aparente disminuyó a medida que aumentaba la velocidad de corte siguiendo el modelo Bingham modificado. La viscosidad aparente mostró el siguiente orden decreciente R0,5%; R0,25%; R1%; R1,5%; R2% y Control a tasas de corte altas (cerca de 120 1/s) mostrando que la viscosidad aparente disminuyó a medida que disminuía la concentración de R a esas condiciones de velocidad de cizalla, R1,5% y R2% se superpusieron y llegaron al mismo nivel del control, cada tratamiento se superponía con el siguiente, a tasas de corte bajas (cerca de 1 1/s) se obtuvo el siguiente orden decreciente R0,25%; Control; R0,5%; R1%; R1,5% Y R2% demostrando que la viscosidad aparente disminuye al aumentar la concentración de R tasa de corte bajas y en R0,25% no mostró diferencia con el control (Figura 37).

Figura 37

Viscosidad aparente contra tasa de corte para R a diferentes concentraciones a $w/c=0,40$ con tamaño de partícula menor igual a 300 micrómetros



Nota. a) Diagrama general. b) Gráfica logarítmica.

Tratamientos con Policarboxilatos

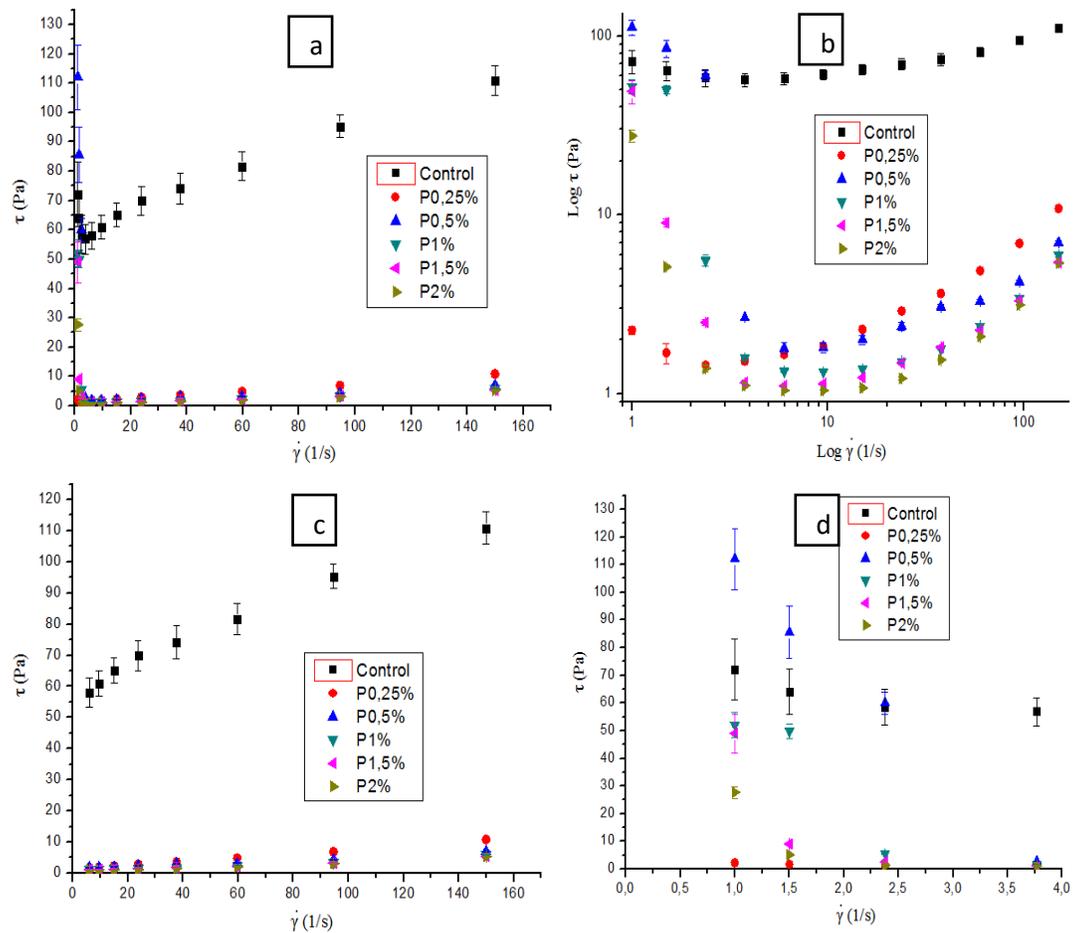
El producto Sika Viscocrete 4100 de policarboxilatos es un hiperplastificante reductor de agua de alto rango, se deben utilizar en una concentración de 0,19% a 0,9% del peso del cemento (Sika, 2015).

En todos los tratamientos el esfuerzo incrementó a medida que aumentaba la velocidad de corte excepto a velocidades de corte bajas (cerca de 3,76 1/s).

El esfuerzo disminuyó a tasas de corte bajas (cerca de 1 1/s) y aumentó en altas (cerca de 150 1/s) al aumentar la concentración de P. El cambio de viscosidad aparente de mayor a menor siguió el siguiente orden: P0,5%; Control; P1%; P1,5%; P2% y P0,25% a tasas de corte bajas (cerca de 1 1/s), P1% y P1,5% fueron semejantes y P0,25% el más pequeño cercano a 0 Pa. El esfuerzo a tasas de corte altas (cerca de 150 1/s) se tuvo el siguiente orden de mayor a menor Control; P0,25%; P0,5%; P1%; P1,5% y P2%, el aumento de la concentración de P disminuyó el esfuerzo a altas tasas de cizalla. Todos los tratamientos se superpusieron por medio del error estándar y se diferenciaron del control (Figura 38).

Figura 38

Esfuerzo contra tasa de corte para los tratamientos con P a diferentes concentraciones con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a $300\ \mu\text{m}$

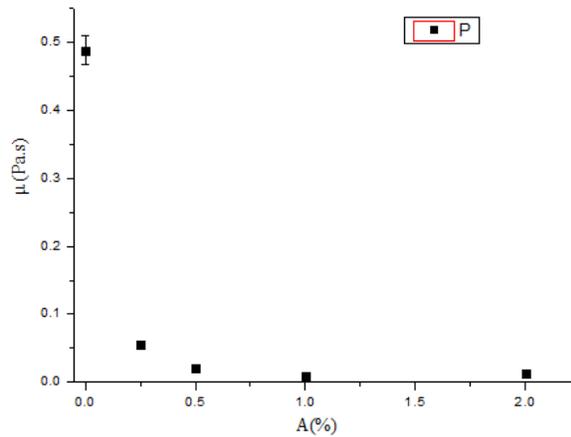


Nota. a) Diagrama general. b) Gráfica logarítmica. c) Diagrama para $\dot{\gamma} > 3,76$ (1/s). d) diagrama para $\dot{\gamma} < 3,76$ (1/s).

Las viscosidades plásticas de mayor a menor fueron de $0,49 \pm 0,02$; $0,05 \pm 0,00$; $0,02 \pm 0,00$; $0,01 \pm 0,00$; $0,01 \pm 0,00$ Pa.s para Control; P0,25%; P0,5%; P1%; P2% respectivamente mostrando que la viscosidad plástica disminuyó al aumentar la concentración de P, todos los tratamientos estuvieron por debajo del control, P0,5%; P1%; P2% se solaparon por medio del error estándar sugiriendo que ya se saturó (Figura 39).

Figura 39

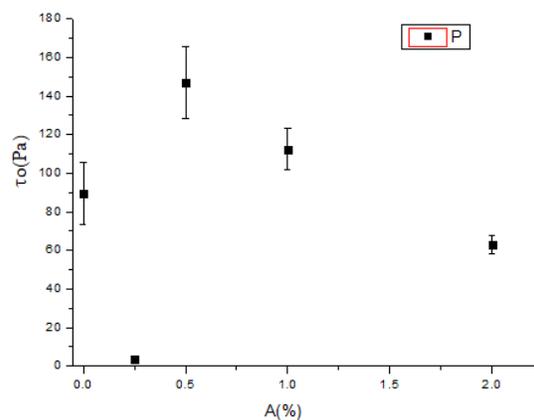
Viscosidad plástica a diferentes concentraciones de P con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a $300\ \mu\text{m}$



Los límites de fluencia fueron $89,51\pm 16,09$; $3,42\pm 0,24$; $146,88\pm 18,72$; $112,37\pm 10,63$; $63,07\pm 4,75$ Pa para Control; P0,25%; P0,5%; P1% y P2% respectivamente mostrando que el límite de fluencia disminuye al aumentar la concentración de P en el rango de P0,5% a P2%, los tratamientos de P0,25% y P2% estuvieron por debajo del control y los de P0,5% y P1% por encima (Figura 40)

Figura 40

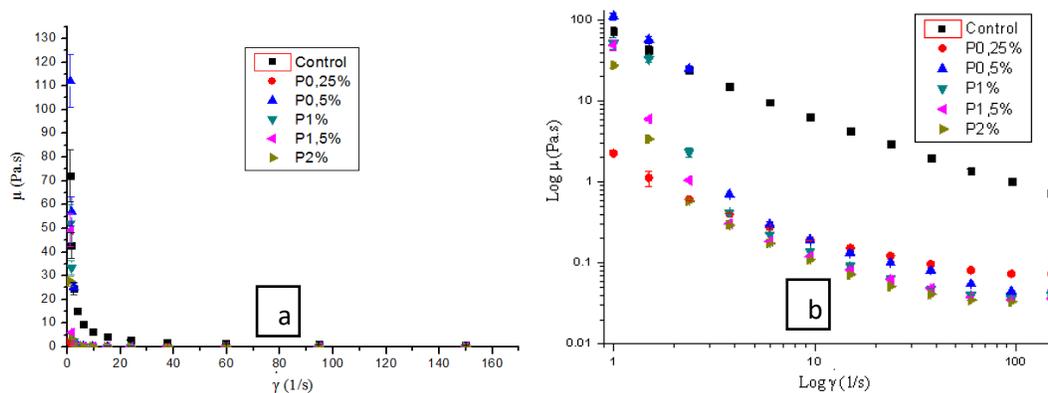
Límite de fluencia a diferentes concentraciones de P con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a $300\ \mu\text{m}$



En todos los tratamientos la viscosidad aparente disminuyó a medida que aumentaba la velocidad de corte siguiendo el modelo Bingham modificado. La viscosidad aparente mostró el siguiente orden decreciente Control; P0,25%; P0,5%; P1% P1,5% y P2% (cerca de 120 1/s) mostrando que la viscosidad aparente disminuía a medida que disminuía la concentración de P a esas condiciones de velocidad de cizalla, todos estuvieron por debajo del Control, P0,5%; P1%; P1,5% y P2% se superpusieron por medio del error estándar. A tasas de corte bajas (cerca de 1 1/s) se obtuvo el siguiente orden decreciente: P0,5%; Control; P1%; P1,5%; P2% Y P0,25% (Figura 41).

Figura 41

Viscosidad aparente contra tasa de corte para P a diferentes concentraciones a $w/c=0,40$ con tamaño de partícula menor igual a 300 micrómetros



Nota. a) Diagrama general. b) Gráfica logarítmica.

Se realizó la regresión polinómica para los datos de esfuerzos contra tasa de corte para P a diferentes concentraciones.

Las viscosidades plásticas fueron de $0,49 \pm 0,04$; $0,06 \pm 0,00$; $0,02 \pm 0,01$; $0,01 \pm 0,00$; $0,02 \pm 0,00$; $0,01 \pm 0,00$ Pa.s para Control, P0,25%, P0,5%, P1%, P1,5% y P2 % con su variación de la viscosidad plástica respecto al control de 0,00; 87,12; -95,48; -98,54; -96,50; -97,52 %, a partir de 0,5% los tratamientos se solaparon indicando que se saturó. Los coeficientes de determinación

en todos los casos fueron mayores a 0,9578, los valores de c tendieron a cero sugiriendo que eran más lineales que parabólicos. Existió una reducción de la viscosidad plástica (Tabla 16).

Tabla 16

Resumen de la regresión parabólica de los tratamientos con P a $\dot{\gamma} > 3,76(1/s)$ y su variación de la viscosidad plástica respecto al control

Concentración	$\tau_0(Pa)$	$\mu_p(Pa.s)$	$c(Pa.s^2)$	R^2	$\% \Delta \mu_p$
Control	56,80±0,94	0,49±0,04	0±0,00	0,9944	0,00
P0,25%	1,29±0,05	0,06±0,00	0±0,00	0,9947	-87,12
P0,5%	1,76±0,21	0,02±0,01	0±0,00	0,9578	-95,48
P1%	1,24±0,02	0,01±0,00	0±0,00	0,9863	-98,54
P1,5%	0,98±0,02	0,02±0,00	0±0,00	0,9977	-96,50
P2%	0,90±0,03	0,01±0,00	0±0,00	0,9952	-97,52

Se realizó la regresión polinómica para los datos de esfuerzos contra tasa de corte para P a diferentes concentraciones.

Los límites de fluencia obtenidos fueron de 88,07±4,32; 3,36±0,21; 138,29±17,89; 152,15±44,37; 31,8±10,72; 18,89±7,06 Pa para Control; P0,25%; P0,5%; P1%; P1,5% y P2% con variación respecto al control de 0,00; -96,18; 57,02; 72,76; -63,89; -78,55 % respectivamente. P1%, P1,5% y p2% se solaparon por medio del error estándar sugiriendo que ya se saturó. El coeficiente de determinación más pequeño fue de 0,5526 (Tabla 17).

Tabla 17

Resumen de la regresión parabólica de los tratamientos con P a $\dot{\gamma} < 3,76(1/s)$ y su variación del límite de fluencia respecto al control

Concentración	$\tau_0(Pa)$	$\mu_p(Pa.s)$	$c(Pa.s^2)$	R^2	$\% \Delta \tau_0$
Control	88,07±4,32	-20,07±3,8	3,13±0,73	0,9608	0,00
P0,25%	3,36±0,21	-1,35±0,15	0,23±0,02	0,9667	-96,18
P0,5%	138,29±17,89	-28,42±13,97	-2,01±2,49	0,9958	57,02
P1%	152,15±44,37	-98,62±30,9	15,57±5,09	0,8376	72,76
P1,5%	31,8±10,72	-19,5±7,49	3,02±1,24	0,8510	-63,89
P2%	18,89±7,06	-11,9±5,11	1,91±0,86	0,6705	-78,55

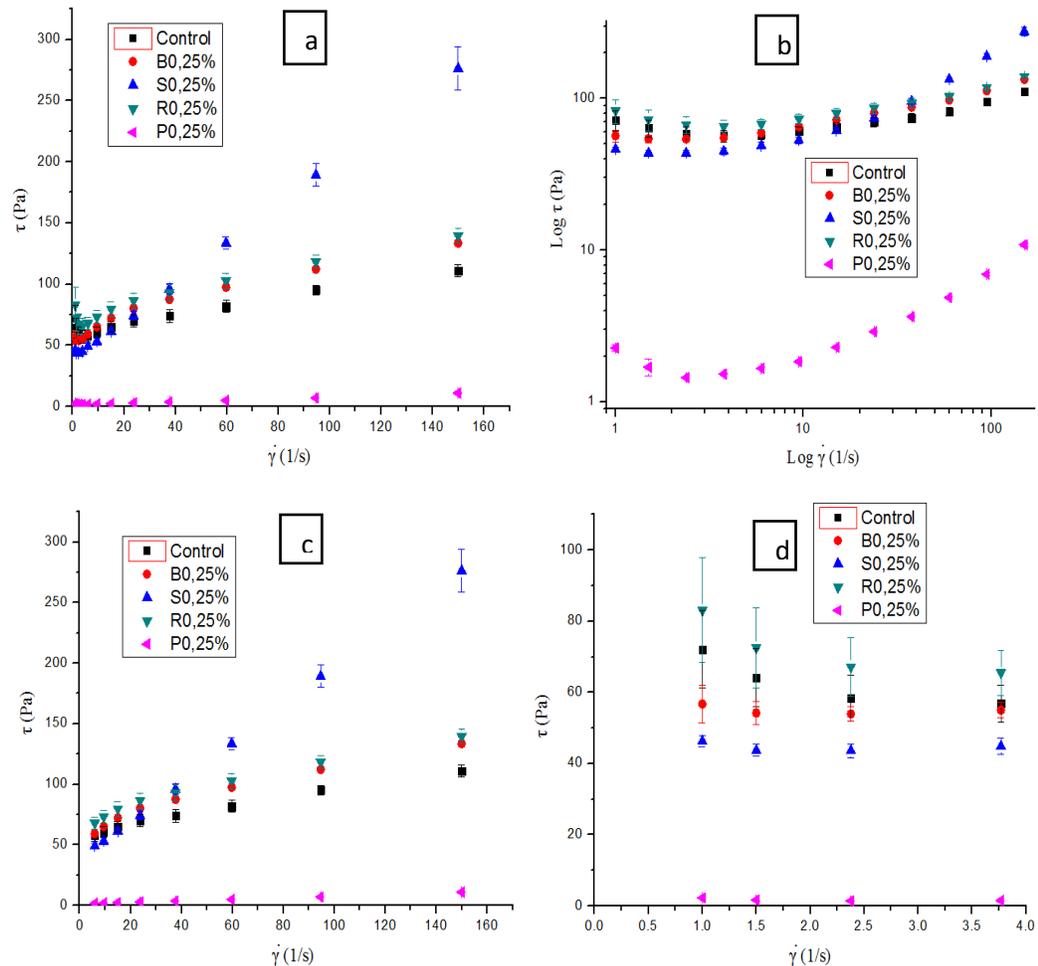
Comparación de los aditivos a 0,25%

En todos los tratamientos el esfuerzo incrementaba a medida que aumentaba la velocidad de corte excepto a velocidades de corte bajas (cerca de 3,76 1/s).

El cambio de viscosidad aparente de mayor a menor siguió el siguiente orden: R0,25%; Control; B0,25%; S0,5%; P0,25% a tasas de corte bajas (cerca de 1 1/s), cada tratamiento cae en el error del siguiente tratamiento excepto S0,25% y P0,25% el de mayor contraste fue el hiperfluidizante y el de los orgánicos fue el S0,25%. En el esfuerzo a tasas de corte altas (cerca de 150 1/s) se tuvo el siguiente orden de mayor a menor S0,25%; R0,25%; B0,25%; Control y P0,25%; B0,25% y R0,25% se superpusieron por medio del error estándar (Figura 42).

Figura 42

Esfuerzo contra tasa de corte para los tratamientos con aditivos al 0,25% con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a $300\ \mu\text{m}$

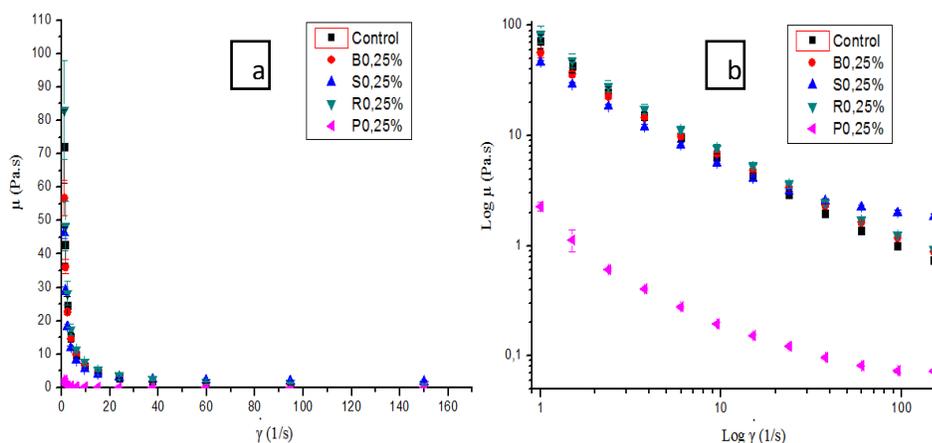


Nota. a) Diagrama general. b) Gráfica logarítmica. c) Diagrama para $\dot{\gamma} > 3,76(1/s)$. d) diagrama para $\dot{\gamma} < 3,76(1/s)$.

La viscosidad aparente mostró el siguiente orden decreciente S0,25%; R0,25%; B0,25%; Control y P0,25% a tasas de corte altas (cerca de $120\ 1/s$), B0,25% y R0,25% se superpusieron por medio del error estándar. A tasas de corte bajas (cerca de $1\ 1/s$) se obtuvo el siguiente orden decreciente R0,25%; Control; B0,25%; S0,25% y S0,25% todos los tratamientos se solaparon con el error estándar del siguiente tratamiento excepto P0,25% (Figura 43).

Figura 43

Viscosidad aparente contra tasa de corte para aditivos al 0,25% con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor igual a 300 micrómetros



Nota. a) Diagrama general. b) Gráfica logarítmica.

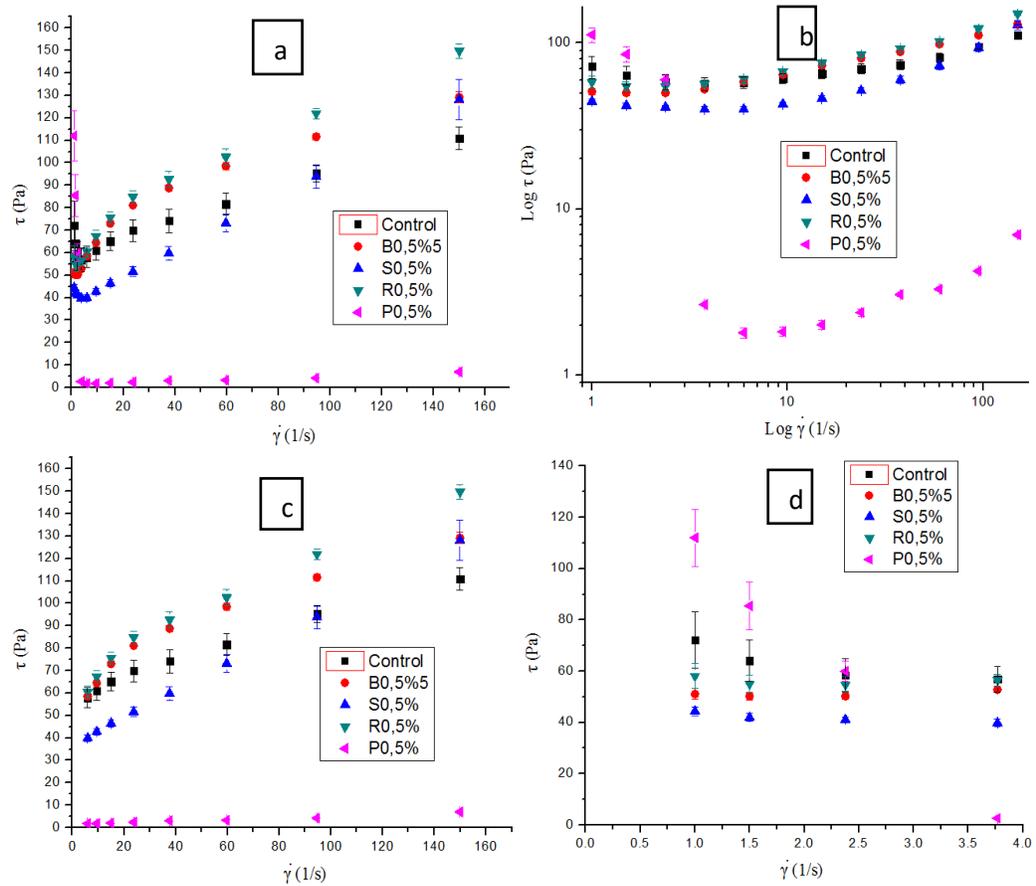
Comparación de los aditivos a 0,5%

En todos los tratamientos el esfuerzo incrementaba a medida que aumentaba la velocidad de corte excepto a velocidades de corte bajas (cercas a 3,76 1/s).

El cambio de viscosidad aparente de mayor a menor siguió el siguiente orden: P0,5%; Control; R0,5%; B0,5%; S0,5% a tasas de corte bajas (cercas a 1 1/s), los tratamientos que requirieron mayor esfuerzo y menor esfuerzo fueron P0,5% y S0,5% respectivamente. A tasas de corte altas (cercas a 150 1/s) se tuvo el siguiente orden de mayor a menor R0,5%; B0,5%; S0,5%; Control y P0,5%, B0,5% y S0,5% se superpusieron por medio del error estándar, el de mayor esfuerzo fue el de R y el de menor fue el sintético (Figura 44).

Figura 44

Esfuerzo contra tasa de corte para los tratamientos con aditivos al 0,5% con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a $300\ \mu\text{m}$

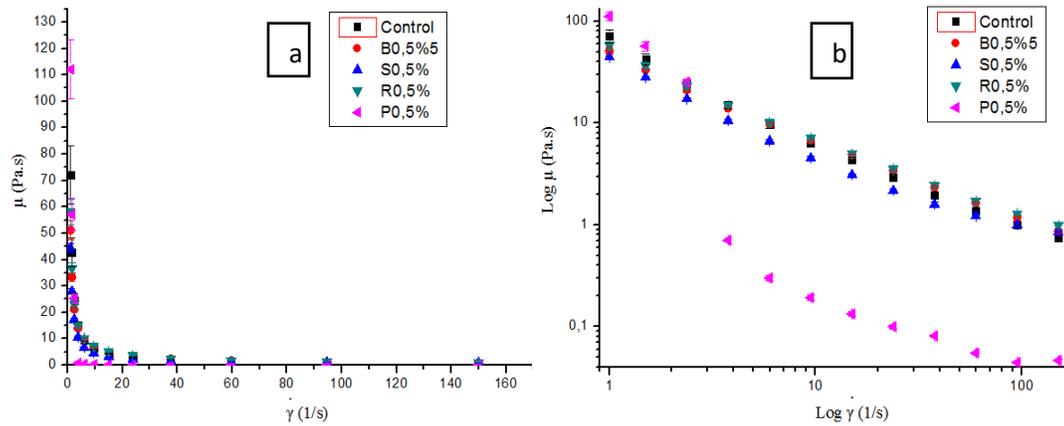


Nota. a) Diagrama general. b) Gráfica logarítmica. c) Diagrama para $\dot{\gamma} > 3,76(1/s)$. d) diagrama para $\dot{\gamma} < 3,76(1/s)$.

La viscosidad aparente mostró el siguiente orden decreciente R0,5%; B0,5%; S0,5%; Control y P0,5% a tasas de corte altas (cerca de $120\ 1/s$), todos los tratamientos se superpusieron por medio del error estándar. A tasas de corte bajas (cerca de $1\ 1/s$) se obtuvo el siguiente orden decreciente P0,5%; Control; R0,5%; B0,5% y S0,5% todos los tratamientos de carácter orgánico estuvieron por debajo del control y el sintético por encima R0,5%; B0,5% y S0,5% se solaparon por medio del error estándar (Figura 45).

Figura 45

Viscosidad aparente contra tasa de corte para aditivos al 0,5% con $w/c=0,40$ con tamaño de partícula menor igual a 300 micrómetros



Nota. a) Diagrama general. b) Gráfica logarítmica.

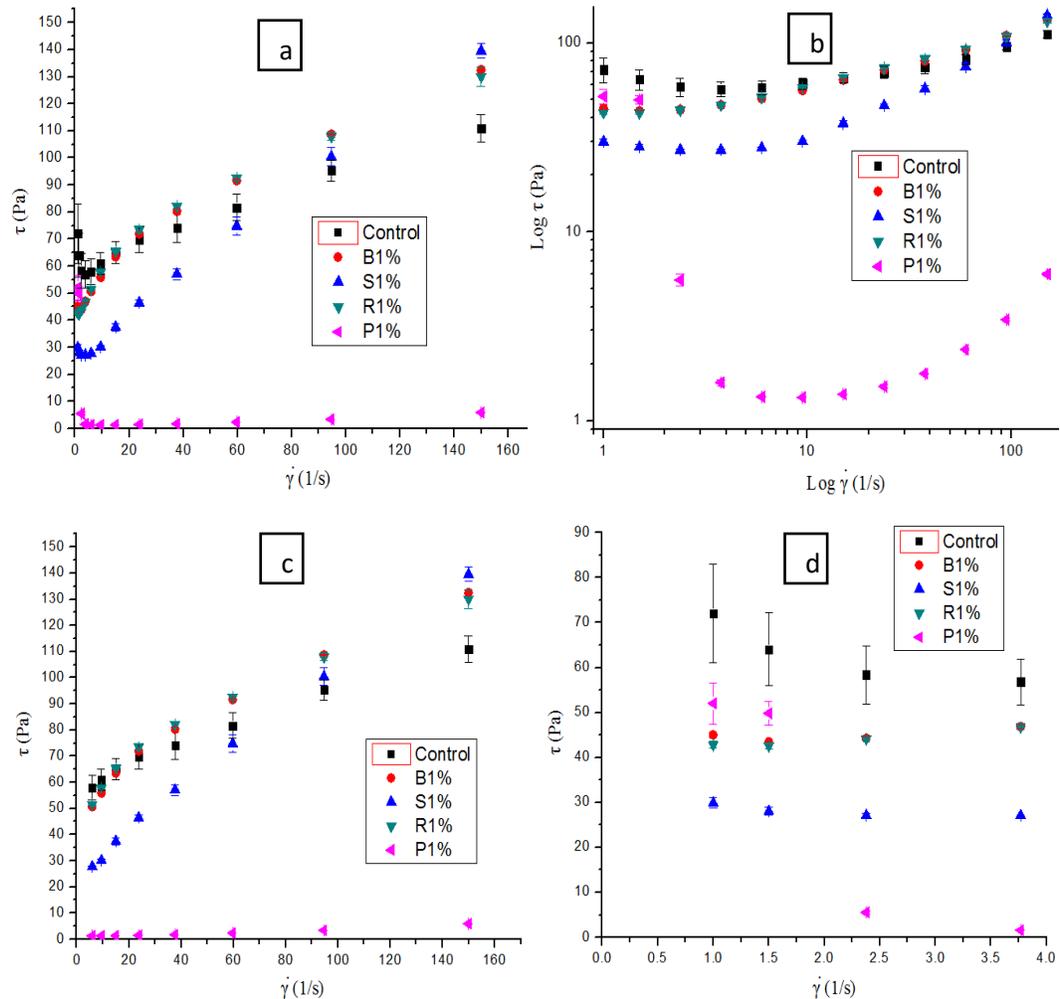
Comparación de los aditivos a 1%

En todos los tratamientos el esfuerzo incrementaba a medida que aumentaba la velocidad de corte excepto a velocidades de corte bajas (cerca de 3,76 1/s).

El cambio de viscosidad aparente de mayor a menor siguió el siguiente orden: Control; P1%; B1%; R1%, S1% a tasas de corte bajas (cerca de 1 1/s), los tratamientos estuvieron por debajo del control y el que requirió menor esfuerzo fue S1%. A tasas de corte altas (cerca de 150 1/s) se tuvo el siguiente orden de mayor a menor S1%; B1%; R1%; Control y P1%, B, S y R se superpusieron por medio del error estándar, el de mayor y menor esfuerzo fue el de S y P respectivamente (Figura 46).

Figura 46

Esfuerzo contra tasa de corte para los tratamientos con aditivos al 1% con w/c=0,40 y tamaño de partícula menor o igual a 300 μm



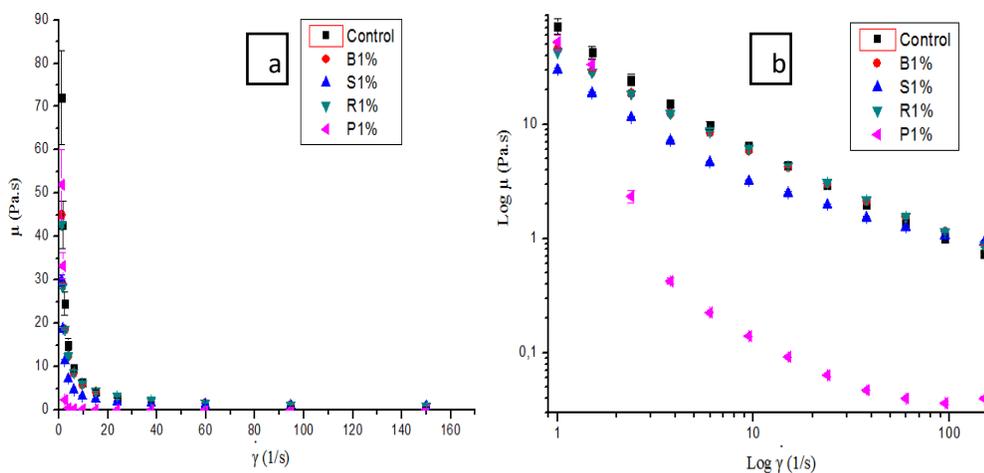
Nota. a) Diagrama general. b) Gráfica logarítmica. c) Diagrama para $\dot{\gamma} > 3,76(1/s)$. d) diagrama para $\dot{\gamma} < 3,76(1/s)$.

La viscosidad aparente mostró el siguiente orden decreciente S1%; B01%; R1%; Control y P1% a tasas de corte altas (cerca de 120 1/s), los tratamientos orgánicos se superpusieron por medio del error estándar y estuvieron por encima del control, el sintético estuvo por debajo del control. A tasas de corte bajas (cerca de 1 1/s) se obtuvo el siguiente orden decreciente

Control; P1%; R1%; S1% y B1%, todos los tratamientos estuvieron por debajo del Control (Figura 47).

Figura 47

Viscosidad aparente contra tasa de corte para aditivos al 1% con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor igual a 300 micrómetros



Nota. a) Diagrama general. b) Gráfica logarítmica.

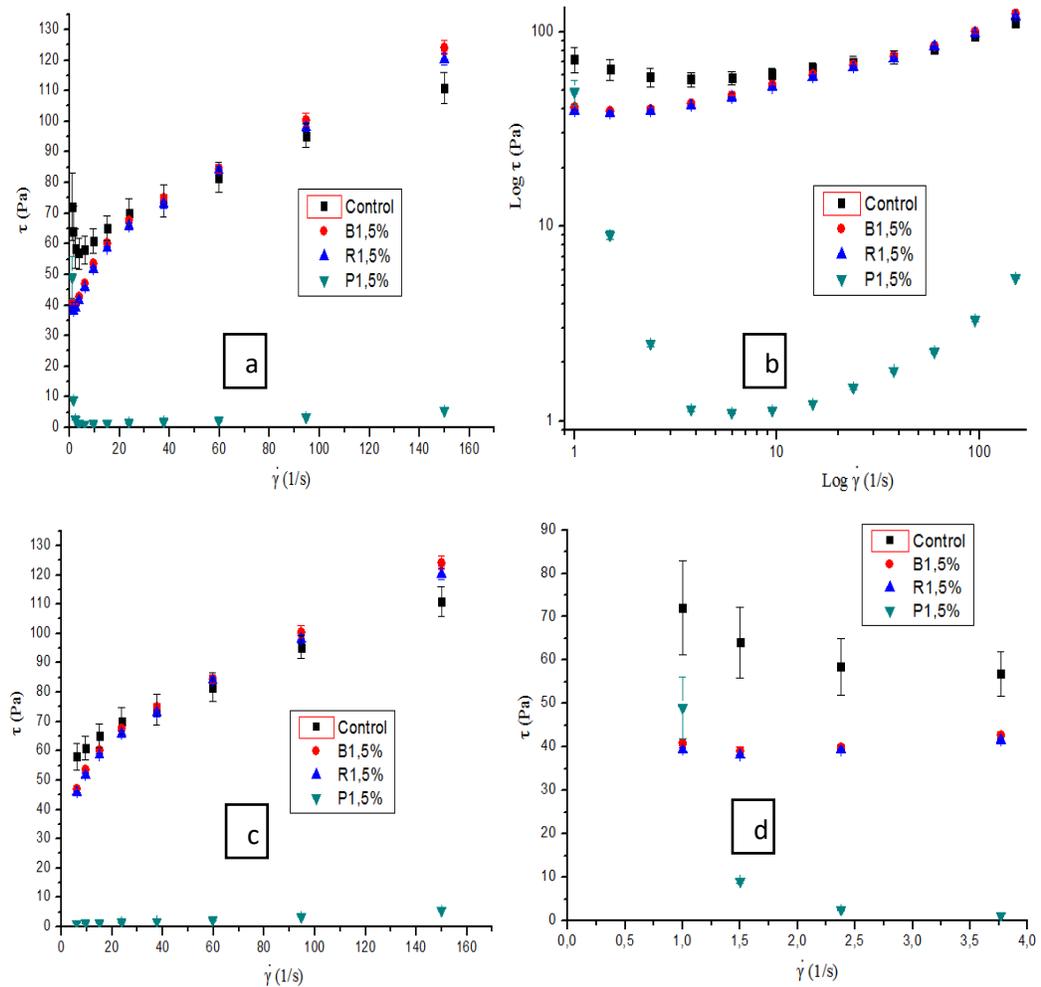
Comparación de los aditivos a 1,5%

En todos los tratamientos el esfuerzo incrementaba a medida que aumentaba la velocidad de corte excepto a velocidades de corte bajas (cercas a 3,76 1/s).

El cambio de viscosidad aparente de mayor a menor siguió el siguiente orden: Control; P1,5%; B1,5% y R1,5% a tasas de corte bajas (cercas a 1 1/s), los tratamientos estuvieron por debajo del control, B1,5 y R1,5% se solaparon por medio del error estándar y requirieron menor esfuerzo. A tasas de corte altas (cercas a 150 1/s) se tuvo el siguiente orden de mayor a menor B1,5%; R1,5% Control y P1,5%, B y R se superpusieron por medio del error estándar, el de mayor y menor esfuerzo fue el de B1,5% y P1,5% respectivamente (Figura 48).

Figura 48

Esfuerzo contra tasa de corte para los tratamientos con aditivos al 1,5% con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a $300 \mu\text{m}$



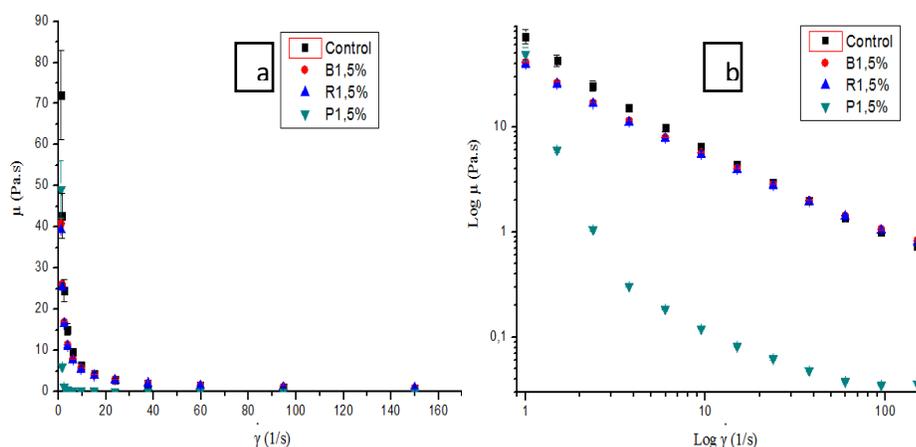
Nota. a) Diagrama general. b) Gráfica logarítmica. c) Diagrama para $\dot{\gamma} > 3,76 (1/s)$. d) diagrama para $\dot{\gamma} < 3,76 (1/s)$.

La viscosidad aparente mostró el siguiente orden decreciente B1,5%; R1,5%; Control y P1,5% a tasas de corte altas (cerca de 120 1/s), los tratamientos orgánicos y el control se superpusieron por medio del error estándar, el sintético estuvo por debajo del control. A tasas de corte bajas (cerca de 1 1/s) se obtuvo el siguiente orden decreciente Control; P1,5%; B1,5%

y R1,5%, todos los tratamientos estuvieron por debajo del Control, B1,5% y R1,5% se solaparon por medio del error estándar (Figura 49).

Figura 49

Viscosidad aparente contra tasa de corte para aditivos al 1,5% con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor igual a 300 micrómetros



Nota. a) Diagrama general. b) Gráfica logarítmica.

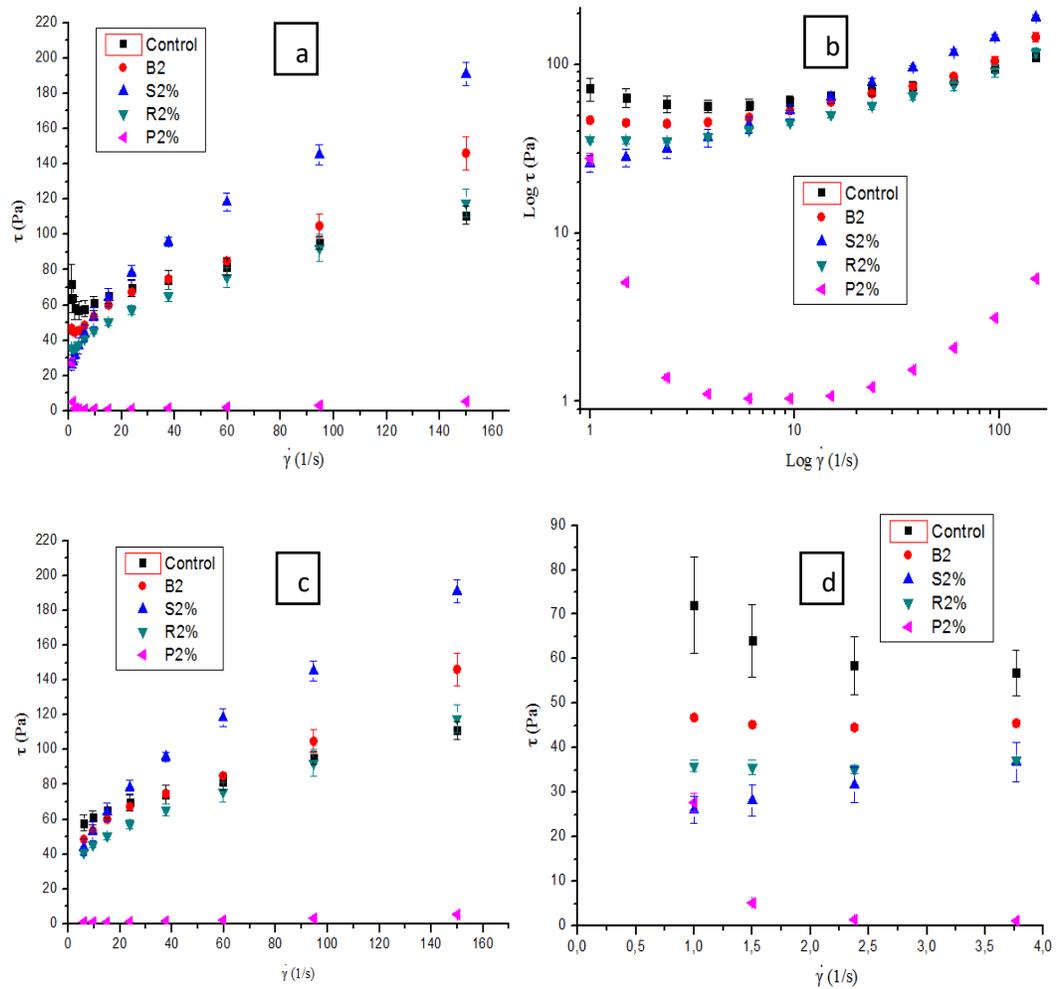
Comparación de los aditivos a 2%

En todos los tratamientos el esfuerzo incrementaba a medida que aumentaba la velocidad de corte excepto a velocidades de corte bajas (cerca de 3,76 1/s).

El cambio de viscosidad aparente de mayor a menor siguió el siguiente orden: Control; B2%; R2%; P2%; S2% a tasas de corte bajas (cerca de 1 1/s), los tratamientos estuvieron por debajo del control, R2% y S2% se solaparon por medio del error estándar y requirieron menor esfuerzo. A tasas de corte altas (cerca de 150 1/s) se tuvo el siguiente orden de mayor a menor S2%; R2%; Control y P2%, R2% y el control se superpusieron por medio del error estándar, el de mayor y menor esfuerzo fue el de S2% y P2% respectivamente (Figura 50).

Figura 50

Esfuerzo contra tasa de corte para los tratamientos con aditivos al 2% con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a $300\ \mu\text{m}$



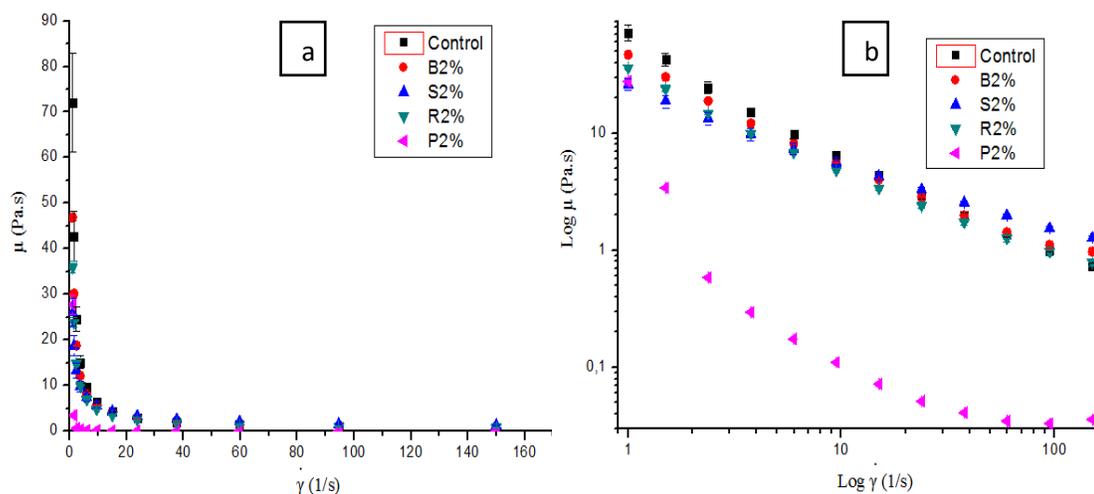
Nota. a) Diagrama general. b) Gráfica logarítmica. c) Diagrama para $\dot{\gamma} > 3,76$ (1/s). d) diagrama para $\dot{\gamma} < 3,76$ (1/s).

La viscosidad aparente mostró el siguiente orden decreciente S2%; B2%; R2%; Control y P2% a tasas de corte altas (cerca de $120\ 1/\text{s}$), todos los tratamientos orgánicos estuvieron por encima del control, R2% y Control se superpusieron por medio del error estándar. A tasas de corte bajas (cerca de $1\ 1/\text{s}$) se obtuvo el siguiente orden decreciente Control; B2%; R2%; P2% y

S2% todos los tratamientos estuvieron por debajo del control, el sintético y S2% se superpusieron por medio del error estándar (Figura 51).

Figura 51

Viscosidad aparente contra tasa de corte para aditivos al 2% con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor igual a 300 micrómetros



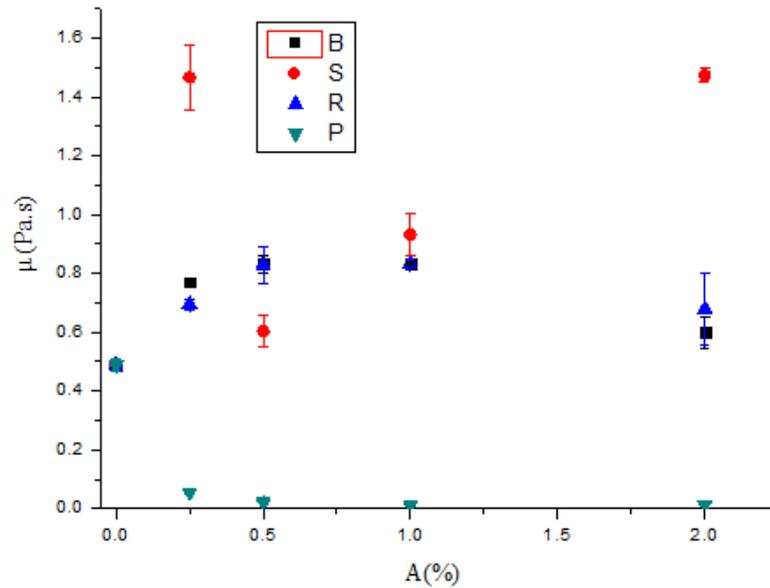
Nota. a) Diagrama general. b) Gráfica logarítmica.

Viscosidad plástica a diferentes concentraciones de diferentes aditivos

Con respecto a la viscosidad plástica, todos los tratamientos se saturaron excepto S, los tratamientos de B y R a una concentración de 0,5% empiezan a decaer, los S poseen una proporcionalidad directa respecto a la concentración, todos los tratamientos de carácter orgánico a cualquier concentración están por encima del control excepto los P, los P presentaron una proporcionalidad inversa respecto a la concentración, los valores al 1,5 % no se compararon por que los S eran limitados (Figura 52).

Figura 52

Viscosidad plástica a diferentes concentraciones de diferentes aditivos con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a $300 \mu m$

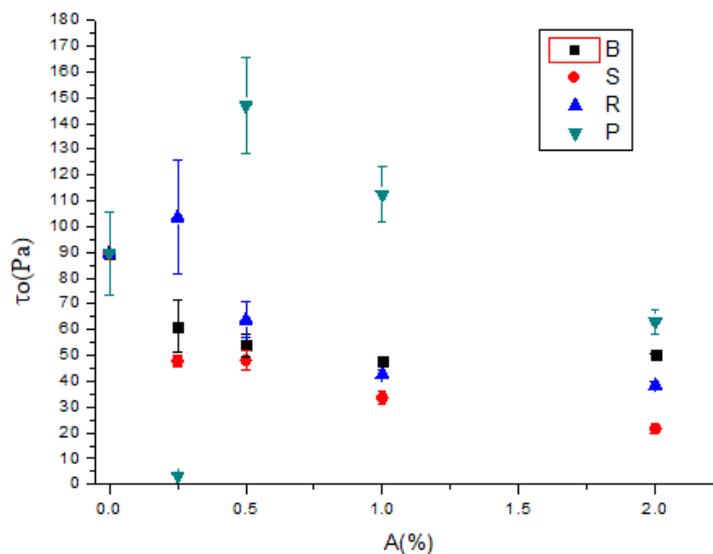


Límite de fluencia de diferentes aditivos a diferentes concentraciones

Con respecto al límite de fluencia, todos los tratamientos son inversamente proporcionales a la concentración de aditivo de manera general, B y R se saturaron a partir del 1%, B y S se superpusieron a una concentración de 0,5% por medio del error estándar, el valor más bajo fue el de P0,25% seguido de los S2%, y el más alto fue el P0,5%, los tratamientos de S empiezan a decaer a partir de 0,5%, los tratamiento de R0,25%; P0,5% y P1% estuvieron por encima del control en contraste el resto de tratamientos estuvieron por debajo del control (Figura 53).

Figura 53

Límite de fluencia de diferentes aditivos a diferentes concentraciones con $w/c=0,40$ y tamaño de partícula menor o igual a $300\ \mu m$



Análisis estadístico para la viscosidad plástica

Una mezcla con alta viscosidad plástica da las siguientes ventajas: previene la segregación de sus componentes durante su aplicación en húmedo, otorga resistencia al deslizamiento en vertical, proporciona adecuada trabajabilidad con consistencia cremosa (Aquaterra, 2018).

Metil celulosa, Hidroxy etil metil celulosa y hidroxy propilmetil celulosa son utilizados como espesantes del mortero, sus viscosidades aumentan a medida que aumentan sus concentraciones en la mezcla (Aquaterra, 2018).

Para la viscosidad plástica se realizó la prueba ANOVA, se plantearon las hipótesis de la siguiente manera.

Para el primer factor (tipo de aditivo).

Ho: Las viscosidades plásticas de los tratamientos B, S, R, P son iguales.

Ha: Las viscosidades plásticas de los tratamientos B, S, R, P son diferentes

Para el segundo factor (concentración).

Ho: Las viscosidades plásticas de los tratamientos a diferente concentración son iguales.

Ha: Las viscosidades plásticas de los tratamientos a diferente concentración son diferentes.

Para la combinación de Factores (tipo de aditivo x concentración).

Ho: Las viscosidades plásticas de los tratamientos con aditivos con diferente concentración son iguales.

Ha: Las viscosidades plásticas de los tratamientos con aditivos con diferente concentración son diferentes.

Como los valores de p de la tabla ANOVA fueron menores a 0,05 (Tabla 18) se rechazaron las hipótesis nulas y se aceptaron las alternativas, es decir, las viscosidades plásticas promedio fueron diferentes entre sí, se procedió a realizar una prueba de TUKEY.

Tabla 18

Resumen de la prueba ANOVA para el análisis de la viscosidad plástica con un nivel de confianza del 95%

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Aditivo	3	6,0792	2,02641	288,27	0,000
Concentración	4	0,4967	0,12417	17,66	0,000
Aditivo*Concentración	12	3,1437	0,26197	37,27	0,000
Error	40	0,2812	0,00703		
Total	59	10,0008			

El análisis de la viscosidad plástica por medio de la prueba de Tukey se muestra a continuación. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (Tabla 19). B0,25%; B0,5%; B1%; R0,5% y R1% fueron similares estadísticamente. S0,25% y S2% fueron iguales, pero fue por la heterogeneidad de la muestra, lo mismo pasó con los residuos. En los P se mantuvo constante la viscosidad plástica a medida que aumentaba la concentración. Todos

los tratamientos fueron diferentes al control. Las comparaciones se realizaron con un nivel de significancia del 95%, con tres repeticiones por tratamiento, la viscosidad plástica estuvo en Pa.s.

Tabla 19

Resumen de la prueba Tukey para el análisis de la viscosidad plástica con un nivel de confianza del 95%

Concentración	μ p B (Pa.s)	μ p S (Pa.s)	μ p R (Pa.s)	μ p P (Pa.s)
0	0,49±0,02d	0,49±0,02d	0,49±0,02d	0,49±0,02d
0,25%	0,77±0,02bc	1,47±0,11a	0,69±0,02bcd	0,05±0,00e
0,50%	0,83±0,03bc	0,60±0,05cd	0,83±0,06bc	0,02±0,00e
1%	0,83±0,00bc	0,93±0,07b	0,83±0,01bc	0,01±0,00e
2%	0,60±0,06cd	1,47±0,02a	0,68±0,12bcd	0,01±0,00e

Análisis estadístico para el límite de fluencia

Con un límite de fluencia bajo se requiere menos esfuerzo para dispersar el cemento fresco en un molde, reduciendo la cantidad de empleados, tiempo y dinero (Páez et al., 2019).

Se realizó la prueba ANOVA para los datos del límite de fluencia, se planteó las hipótesis de la siguiente manera.

Para el primer factor (tipo de aditivo)-

Ho: Los límites de fluencia de los tratamientos B, S, R, P son iguales.

Ha: Los límites de fluencia de los tratamientos B, S, R, P son diferentes

Para el segundo factor (concentración).

Ho: Los límites de fluencia de los tratamientos a diferente concentración son iguales.

Ha: Los límites de fluencia de los tratamientos a diferente concentración son diferentes

Para la combinación de Factores (tipo de aditivo x concentración).

Ho: Los límites de fluencia de los tratamientos con aditivos con diferente concentración son iguales.

Ha: Los límites de fluencia de los tratamientos con aditivos con diferente concentración son diferentes.

Como los valores de p de la tabla ANOVA fueron menores a 0,05 (Tabla 20) se rechazaron las hipótesis nulas y se aceptaron las alternativas, es decir, las viscosidades plásticas promedio fueron diferentes entre sí, con un nivel de confianza del 95% y 3 repeticiones, se procedió a realizar una prueba de TUKEY.

Tabla 20

Resumen de la prueba ANOVA para el análisis del límite de fluencia con un nivel de confianza del 95%

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Aditivos	3	9545	3181,5	9,55	0,000
Concentración	4	16758	4189,4	12,58	0,000
Aditivos*Concentración	12	39509	3292,4	9,89	0,000
Error	40	13322	333,0		
Total	59	79133			

El análisis del límite de fluencia por medio de la prueba de Tukey se muestra a continuación. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (Tabla 21). B0,5%; B1%; B2%; S0,25% y S0,5% fueron similares estadísticamente. S1%; R1% y R2% fueron iguales. B0,25%; R0,5% y P2% eran similares. Todos los tratamientos fueron diferentes al control. Las comparaciones se realizaron con un nivel de significancia del 95%, con tres repeticiones por tratamiento.

Tabla 21

Resumen de la prueba Tukey para el análisis del límite de fluencia con un nivel de confianza del 95%

Concentración	μ_p B (Pa.s)	μ_p S (Pa.s)	μ_p R (Pa.s)	μ_p P (Pa.s)
0%	89,51±16,09 bcd	89,51±16,09 bcd	89,51±16,09 bcd	89,51±16,09 bcd
0,25%	61,18±10,08 bcde	47,79±2,48 cdef	103,59±22,18 abc	3,42±0,24 f
0,50%	53,84±4,15 cdef	48,14±3,60 cdef	63,77±7,07 bcde	146,88±18,72 a
1%	47,66±1,73 cdef	33,61±2,59 def	42,67±1,58 def	112,37±10,63 ab

Concentración	$\mu\text{p B (Pa.s)}$	$\mu\text{p S (Pa.s)}$	$\mu\text{p R (Pa.s)}$	$\mu\text{p P (Pa.s)}$
2%	50,45±0,28 cdef	21,70±1,96 ef	38,37±1,62 def	63,07±4,75 bcde

Resistencia mecánica

No se encontró trabajos previos que utilicen B, S y R del hongo *Laetiporus sulphureus* como aditivo del cemento que altere la resistencia del material, por lo cual se tomó más en cuenta la comparación entre tratamientos y el control. Además, los S del hongo aún no han sido caracterizados en su totalidad debido a que poseen polisacáridos de gran tamaño molecular (Kovács & Vetter, 2015).

El tiempo inicial de fraguado del cemento es de 45 a 420 min, en Selvalegre Plus es de 140 min (Selvalegre, 2018).

Sika ViscoCrete 4100 no altera el tiempo de fraguado, confiere gran fluidez, incrementa la dureza, puede ser trabajado con relación agua cemento de 0,20; se recomienda trabajar en 0,19% a 0,9% del peso del cemento (Sika, 2015).

Los cubos con sacáridos al 2% resbalaron fácilmente del molde en comparación a los que contenían otros aditivos en el momento de desencofrar. Tardaron 4 días en endurecerse demostrando un efecto retardante sobre el cemento. Presentaron una capa blanda e hidrosoluble de aproximadamente (50x50x7) mm, los bordes superiores se destruyeron al momento de la inmersión en agua, obteniéndose una estructura piramidal trunca con bordes superiores redondeados.

En los cubos con policarboxilatos se presentó una película de aproximadamente (50x50x8) mm de espesor líquida que se tuvo que desechar.

Los lados de los cubos se midieron 3 veces con un calibrador y se obtuvo el promedio. El área se determinó multiplicando dos lados. La fuerza de compresión se obtuvo del promedio de tres repeticiones. La presión se calculó dividiendo la fuerza para el área.

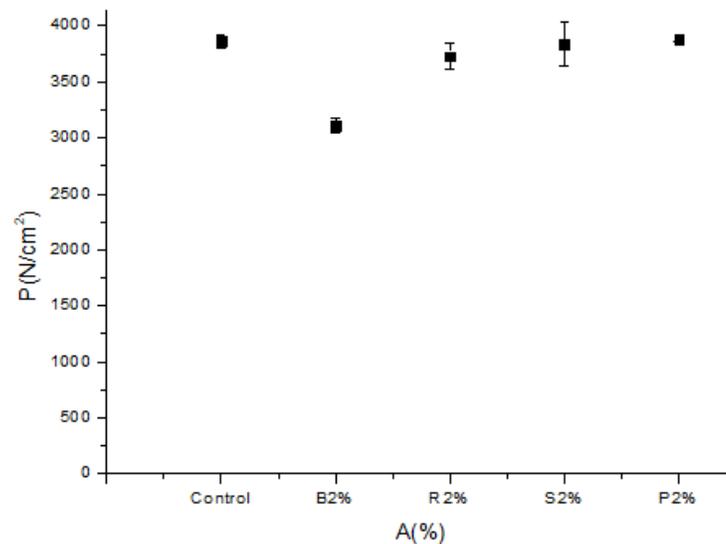
Límite de resistencia a la compresión de los tratamientos

Cuando se aumenta la cantidad de agua en una mezcla se reduce la resistencia mecánica porque la energía liberada en el fraguado evapora el agua presente en la mezcla en consecuencia, se forman microgrietas en el material (Páez et al., 2020).

El límite de resistencia a la compresión de mayor a menor fue de Control, P2%, S2%, R2% y B2%. Todos los tratamientos se superponen por medio del error estándar excepto B2%, además todos están por debajo del control (Figura 54).

Figura 54

Límites de resistencia a la compresión de los tratamientos B, S, R y P al 2% después de 21 días de la fundición, w/c=0,40 y tamaño de partícula menor igual a 300 micrómetros



La resistencia mecánica del cemento Selvalegre Plus es de 1960 y 2450 N/cm² para 7 y 28 días respectivamente (Selvalegre, 2018).

Los límites de resistencia a la compresión de mayor a menor fueron de 3879,71±17,93; 3862,94±56,07; 3836,45±193,94; 3727,70±112,12 y 3106,05±67,07 N/cm² para P2%, S2%, R2% y B2% respectivamente, y su diferencia respecto al control fue de 0,43; 0,00; -0,69; -3,50; -19.59

% correspondientemente, los tratamientos se superponen por medio del error estándar, excepto B2%, con 3 repeticiones (Tabla 22).

Tabla 22

Límites de resistencia a la compresión de los tratamientos B, S, R y P al 2% después de 21 días de la fundición y su variación respecto al control

A (%)	RC (N/cm^2)	% Δ
Control	3862,94 \pm 56,07	0,00
B2%	3106,05 \pm 67,07	-19,59
S2%	3836,45 \pm 193,94	-0,69
R2%	3727,70 \pm 112,12	-3,50
P2%	3879,71 \pm 17,93	0,43

Análisis estadístico para el límite de RC de los tratamientos al 2%

La hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) es un espesante, no se altera por el ph, posee resistencia al moho su viscosidad es inversamente proporcional a la resistencia a la compresión mecánica (MILAI, 2021).

Para el límite de resistencia a la compresión de los tratamientos al 2% se realizó una prueba ANOVA, la variable de respuesta era la resistencia mecánica, se plantearon las hipótesis de la siguiente manera.

Ho: Los límites de resistencia a la compresión de los tratamientos B, S, R y P al 2% son iguales.

Ha: Los límites de resistencia a la compresión de los tratamientos B, S, R y P al 2% son diferentes.

Como los valores de p de la tabla ANOVA fueron menores a 0,05 (Tabla 23) se rechazaron las hipótesis nulas y se aceptaron las alternativas, es decir, los límites de resistencia a la compresión de los tratamientos B, S, R y P al 2% fueron diferentes entre sí, se procedió a realizar una prueba de TUKEY.

Tabla 23

Resumen de la prueba ANOVA para límite de resistencia a la compresión de los tratamientos B, S, R y P al 2% con un nivel de confianza del 95%

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Aditivo	4	1288471	322118	9,23	0,002
Error	10	348891	34889		
Total	14	1637362			

Como el valor p es menor a 0,05 se procedió hacer una prueba Tukey. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

El análisis del límite de resistencia a la compresión de los tratamientos al 2% por medio de la prueba de Tukey se muestra a continuación. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (Tabla 24). Control; S2%; R2%; y P2% fueron estadísticamente similares, no existió evidencia suficiente para demostrar que B2% igual al control. Las comparaciones se realizaron con un nivel de significancia del 95%, con tres repeticiones por tratamiento.

Tabla 24

Resumen de la prueba Tukey para límite de resistencia a la compresión de los tratamientos B, S, R y P al 2% con un nivel de confianza del 95%

A (%)	RC (N/cm^2)
Control	3862,94±56,07a
B2%	3106,05±67,07b
S2%	3836,45±193,94a
R2%	3727,70±112,12a
P2%	3879,71±17,93a

Capítulo V-Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Las setas recolectadas en la Parroquia de Guangopolo corresponden a *L. sulphureus* según sus características morfológicas macroscópicas y microscópicas.

Se obtuvo mezclas de cemento con B, S y R a diferentes concentraciones que variaron entre 0 a 2% observándose una sola fase y homogeneidad en una relación agua cemento de 0,40, se registró que en concentraciones del 2,5% las mezclas se tornan secas

Los tratamientos con B, S y R siguieron un modelo de Bingham modificado a tasas de corte mayores a 3,76(1/s), todos aumentaron la viscosidad plástica, pero se saturaron en B0,5% y R0,5% y a concentraciones mayores empezaron a disminuir dicho parámetro excepto los S el cual presentó una proporcionalidad directa entre la viscosidad plástica y la concentración, pero los S2,5% tornaron seco el tratamiento y ya no se pudo medir. Todos los tratamientos a tasas de corte menores a 3,76 1/s siguieron un modelo parabólico, además tendieron a disminuir el límite de fluencia a medida que aumentaba la concentración de los mismos, la B y R empezaron a saturarse al 1%, la mezcla con S no se saturó, pero a partir de 2,5% se tornó seca la mezcla. Los S2% fueron los mejores aditivos porque modificaron las propiedades del cemento con un aumento de la viscosidad plástica del 217,35% y el límite de fluencia disminuyó en 75,37% respecto al control.

Todos los tratamientos al 2% de concentración no modificaron la resistencia mecánica del cemento excepto B2% el cual mostró una disminución del 19,59% respecto al control.

Recomendaciones

Recomendamos realizar tratamientos con monosacáridos, oligosacáridos y polisacáridos del hongo, también variar la relación agua cemento mayor a 0,40; 0,45 y 0,50 para medir parámetros como viscosidad plástica y límites de fluencia.

Bibliografía

- Akavia, & Eden. (2017). New cultivation protocols of gourmet edible exotic mushroom. (360EDEN.COM, Ed.) Obtenido de <http://www.360eden.com/kmehin/>
- Alexander, D. (2017). Nature's Machines An Introduction to Organismal Biomechanics. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804404-9.00004-9>
- Alquini, G., Carbonero, E., Rosado, F., Cosentino, C., & Lacomini, M. (2004). Polysaccharides from the fruit bodies of the basidiomycete *Laetiporus sulphureus* (Bull.: Fr.) Murr. *FEMS Microbiology Letters*. doi:[https://doi.org/10.1016/S0378-1097\(03\)00853-X](https://doi.org/10.1016/S0378-1097(03)00853-X)
- Aquaterra. (2018). Morteros Fundamentos Básicos Efecto Espesante. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=3aQg7WJ_3z4
- Arias, R., Falcón, J., Campos, M., Silveira, Y., & López, Ó. (2018). Efecto del tratamiento magnético en el comportamiento reológico del diésel. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852018000200018
- Artioli, G., Secco, A., & Addis, A. (2019). The Vitruvian legacy: Mortars and binders before and after the Roman world. doi:DOI:10.1180/emu-notes.20.4
- Azima, M., & Basaran, Z. (25 de Agosto de 2019). Bio-Derived Rheology Modifying Agents for Cement-Based Materials. *Rheology and Processing of Construction Materials*, 23, 7986.
- Badui, D. (2006). *Química de los alimentos* (4ª edición ed.). Pearson educación.
- Barberán, A., Chávez, D., & Cajas, A. (2020). A new area of application and research in bio-processes: Biotechnologies in. doi:DOI. 10.21931/RB/2020.05.01.11
- Bartholin, M., Biasotti, B., & Govin, A. (2016). Modification of water retention and rheological properties of fresh state cement-based mortars by guar gum derivatives. *Elsevier*. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061816310637>

- Bhattarai, P. (2019). EFFECT OF WATER CONTENT ON WORKABILITY OF CONCRETE. *Tribhuvan University*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/330500502_EFFECT_OF_WATER_CONTENT_ON_WORKABILITY_OF_CONCRETE
- Broughton. (2012). Adhesives in Marine Engineering. doi:<https://doi.org/10.1533/9780857096159.2.99>
- Burdsall, H., & Banik, M. (2001). *THE GENUS LAETIPORUS IN NORTH AMERICA*. Obtenido de <https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2001/burds01a.pdf>
- Crow. (2022). FLOW PROPERTIES OF POLYMERS. Obtenido de <http://polymerdatabase.com/polymer%20physics/Viscosity2.html>
- Elfetori, & Abdewi. (2017). Mechanical Properties of Reinforcing Steel Rods Produced by Zliten Steel Factory. *Elsevier*. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.10362-5>
- Eliades, T., & Zinelis, S. (2017). 2 - Structure/property relationships in orthodontic polymers. *Orthodontic Applications of Biomaterials*. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100383-1.00002-3>
- Fancher, I., & Levitan, I. (2020). Chapter Three - Endothelial inwardly-rectifying K⁺ channels as a key component of shear stress-induced mechanotransduction. doi:<https://doi.org/10.1016/bs.ctm.2020.02.002>
- Faris, M., Oqla, A., & Sapuan, S. (2020). Advanced Processing, Properties, and Applications of Starch and Other Bio-Based Polymers. *Elsevier*. doi:[978-0-12-819661-8](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819661-8)
- Ghio, V., Monteiro, P., & Demsetz, L. (16 de Abril de 1994). The rheology of fresh cement paste containing polysaccharide gums. *Cement and concrete research*, *24*(2), 243-249.

- Guo, B., Xian, H., Xiao, J., Xia, L., & Bin, Z. (2011). Effects of Viscosity Modifying Admixtures on the Workability of Self-Compacting Concrete. *Advanced Material Resarch*, 946-950. doi:<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.306-307.946>
- Holcim. (2022). Manejo Y Almacenamiento Del Cemento. Obtenido de <https://www.holcim.com.ni/productos-y-servicios/productos/cemento/manejo-y-almacenamiento-del-cemento>
- Holmquist, O., Cadenas, A., & Pietrantonio, P. (2009). Notas sobre *Laetiporus sulphureus* s. lat. (Aphylllophorales-Basidiomycetes) en Venezuela. Obtenido de <http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/31126/articulo1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Huang, C., Ma, J., Zhang, W., Huang, G., & Yong, Q. (2018). Preparation of Lignosulfonates from Biorefinery Lignins by Sulfomethylation and Their Application as a Water Reducer for Concrete. doi:10.3390/polym10080841
- Javadi, A., Jamil, T., Abouzari, E., & Soucek, M. (2021). Working Mechanisms and Design Principles of Comb-like Polycarboxylate Ether Superplasticizers in Cement Hydration: Quantitative Insights for a Series of Well-Defined Copolymers. doi:10.1021/acssuschemeng.0c08566
- Joshi, Y., & Petekidis, &. (2018). Yield stress fluids and ageing. doi:doi:10.1007/s00397-018-1096-6
- Karababa, E., & Coskuner, Y. (Marzo de 2013). Physical properties of carob bean (*Ceratonia siliqua* L.): An industrial gum yielding crop. *Industrial Crops and Products*, 42, 440-446.
- Kashani, A., & Ngo, T. (2020). Production and placement of self-compacting concrete. *Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering*. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817369-5.00003-9>

- Kawai, T. (1987). Non-dispersible underwater concrete using polymers, Marine Concrete, International Congress on Polymers in Concrete, Brighton. 6.
- Khayat, K. H. (1998). Viscosity-enhancing admixtures for cement-based materials — An overview. *Cement & concrete*, 20.
- Kovács, D., & Vetter, J. (2015). Chemical composition of the mushroom *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murill. doi:10.1556/AAlim.44.2015.1.10
- Lachemi, M., Hossain, K., Lambros, V., Nkinamubanzi, p., & Bouzoubaâ, N. (Febrero de 2004). Performance of new viscosity modifying admixtures in enhancing the rheological properties of cement paste. *Cement and Concrete Research*, 34, 185-193.
- López. (2014). Diseño Hidráulico de un Sistema Gravimétrico para Relaves Mineros con un Caudal de 202 m³/h y 220 m de Desnivel. doi:10.13140/RG.2.1.1273.6404
- López, X., Arboleda, C., & Segura, F. (2015). Producción de polisacáridos a partir de *Ganoderma* sp., aislado en la región andina. *Revista Colombiana de Biotecnología*. doi:https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v17n2.47060
- Luangharn, T., Karunarathna, S., Hyde, K., & Chukeatirote, E. (2014). Optimal conditions of mycelia growth of *Laetiporus sulphureus* sensu lato. *Mycology*. doi:10.1080/21501203.2014.957361
- Malvern. (2016). A Basic Introduction to Rheology. Obtenido de <https://cdn.technologynetworks.com/TN/Resources/PDF/WP160620BasicIntroRheology.pdf>
- Malvern Panslytical. (2019). *Reología*. Recuperado el 2019 de Octubre, de Malvern Panalytical: <https://www.malvernpanalytical.com/es/products/measurement-type/rheology-viscoelasticity>

- Micelli, F., Renzi, A., George, A., & Moro, S. (2021). *New Materials in Civil Engineering*.
doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818961-0.00007-7>
- MILAI. (2021). hidroxipropilmetilcelulosa Viscosidad 200000 Hipromelosa HPMC Para en la industria de la construcción. Obtenido de <https://www.hpmcpowder.com/sale-13827918-hydroxypropyl-methyl-cellulose-viscosity-200000-hypromellose-hpmc-for-in-the-construction-industry.html>
- Moreno, J., & Peinado, R. (2012). Wine Colloids. *Enological Chemistry*.
doi:<https://doi.org/10.1016/C2011-0-69661-9>
- Navarro, D., Abelilla, J., & Stein, H. (2019). Structures and characteristics of carbohydrates in diets fed to pigs: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. Obtenido de <https://jasbsci.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40104-019-0345-6>
- Ordoñez, M. (2019). Fungi del Ecuador. (P. U. Ecuador, Ed.) *Fungario QCAM*. Obtenido de <https://bioweb.bio/fungiweb/FichaEspecie/Laetiporus%20sulphureus>
- Páez, N., Rubio, F., & Velázquez, J. (2020). Effect of various plasticisers on viscous flow properties of natural pozzolanic cement pastes. doi:10.1680/jadcr.18.00058
- Páez, Rubio, & Velázquez. (2019). Microstructure-at-rest evolution and steady viscous flow behavior of fresh natural pozzolanic cement pastes.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.009>
- Pei, R., & Liu, J. (2015). Use of bacterial cell walls as a viscosity-modifying admixture of concrete.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.08.007>
- Plank, J. (Noviembre de 2004). Applications of biopolymers and other biotechnological products in building materials. *Applied Microbiology and biotechnology*, 66(1), 1-9.
- Purchase, D. (2016). *Fungal Applications in Sustainable Environmental Biotechnology*. Springer
Link. doi:10.1007/978-3-319-42852-9

- Rafiqul, & Enamul. (2021). Chapter 2 - State-of-the-art of drilling.
doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820193-0.00002-2>
- Researchgate. (2022). Metilcelulosa - Tema de ciencia. Obtenido de
<https://www.researchgate.net/topic/Methylcellulose>
- Ruiz, J., & Ortiz, L. (2019). Cell wall glucans of fungi. A review. *Elsevier*.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.tcsw.2019.100022>
- Rytioja, J., & Hildén, K. (2014). Plant-Polysaccharide-Degrading Enzymes from Basidiomycetes.
Microbiol Mol Biol Reviews. doi:10.1128/MMBR.00035-14
- Sánchez, Ó., Montoya, S., & Vargas, L. (2014). Polysaccharide Production by Submerged
Fermentation. *Spinger Link*. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-319-03751-6_39-1
- Selvalegre. (2018). Ficha técnica Selvalegre. Obtenido de <https://ferrigon.com.ec/wp-content/uploads/2018/01/Selvalegre.pdf>
- Sika. (2015). *Hoja técnica del producto Sika Viscocrete 4100*. Obtenido de
<https://ecu.sika.com/content/dam/dms/ec01/e/Sika%20Viscocrete%204100.pdf>
- Sika. (2020). Hoja técnica de productos: Plastificante retardante para hormigones. Obtenido de
https://ecu.sika.com/content/dam/dms/ec01/0/sika_plastiment_-261r.pdf
- Solís, E., Vega, J., & Rodríguez, E. (2019). Estudio del efecto de la adición de nanocelulosa
obtenida del desecho del rastrojo de piña en mezclas para materiales de construcción.
Dialnet. doi:SSN-e 0121-6651
- Sonebi, M. (2006). Rheological properties of grouts with viscosity modifying agents as diutan
gum and welan gum incorporating pulverised fly ash.
doi:10.1016/j.cemconres.2006.05.016

- TA instrument. (2018). DISCOVERY HYBRID RHEOMETERS TEMPERATURE SYSTEMS AND ACCESSORIES. Obtenido de <https://www.tainstruments.com/wp-content/uploads/BROCH-DHR-Accessories-2015-EN.pdf>
- Trujillo, L. (2019). Condiciones para realizar un bioproducto. *Clases de diseño de procesos*. (M. Tupiza, Entrevistador) Ecuador.
- Vitruvius, P. (2001). De arquitectura. doi:10.1017/CBO9780511840951
- Vizuite, P. (2020). Uso de levadura *Saccharomyces cerevisiae* como aditivos para modificar las propiedades de la mezcla de cemento utilizado en construcciones civiles. (U. d. ESPE, Ed.) *Perfil de tesis*.
- Whistler, R., & Daniel, J. (1985). Carbohydrates. *Chemical Changes in Food During Processing* .
- Yong, Y., Myung, K., Wook, J., & Jun, S. (2014). Effect of W/C Ratio on Durability and Porosity in Cement Mortar with Constant Cement Amount.
doi:<https://doi.org/10.1155/2014/273460>