

OBTENCIÓN DE BIOPOLÍMERO PARA RECOBRO QUÍMICO

Obtención de un biopolímero a partir de *Schizophyllum commune* como alternativa para el
recobro químico de crudo pesado colombiano

Catalina Astrid Melo Velandia

Trabajo de Grado para Optar al Título de Química

Director

Daniel Ricardo Molina Velasco

Magíster, Doctor en Química

Codirector

Clara Inés Sánchez Suárez

Doctora en Microbiología y Genética Molecular

Adán Yovani León

Magister, Doctor en Ingeniería Química

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias

Escuela de Química

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

Dedico este trabajo, con profundo cariño, a mi familia, por ser el pilar fundamental en mi vida y por enseñarme con su ejemplo la importancia del esfuerzo, la perseverancia y la disciplina.

A mis padres, por su amor incondicional, sus consejos y por haber creído en mis capacidades incluso en los momentos de mayor dificultad; a mis amigos y seres queridos, quienes con palabras de ánimo y gestos de apoyo me motivaron para seguir adelante y me acompañaron a lo largo de este proceso.

Este triunfo también es suyo, pues sin ustedes este logro no habría sido posible.

Agradecimientos

Agradezco en primer lugar a Dios por brindarme la fortaleza y la constancia necesarias para culminar este proyecto. Extiendo mi gratitud a mi familia, quienes, con su apoyo incondicional, paciencia y motivación me han acompañado en cada etapa de mi formación profesional. A mi director y asesores de investigación, por su guía académica, sus valiosas recomendaciones y la confianza depositada en mí para desarrollar este trabajo; en especial al grupo de investigación en recobro mejorado y a los integrantes del laboratorio de hongos, de quienes tuve la oportunidad de aprender en gran medida.

A la institución universitaria, por facilitarme los espacios, recursos y conocimientos necesarios para la elaboración de esta investigación. Finalmente, agradezco a mis amigos de los programas de Química, quienes de la mano transitaron conmigo este camino, y de Microbiología, de quienes también tuve la oportunidad de aprender, gracias por sus aportes, ánimo y compañía en este proceso, que ha sido tan exigente como enriquecedor.

Tabla de Contenido

Dedicatoria.....	2
Agradecimientos	3
Resumen.....	10
Introducción	12
1. Objetivos.....	13
1.1 Objetivo General.....	13
1.2 Objetivos Específicos.....	13
2. Planteamiento Del Problema	14
3. Justificación.....	17
4. Marco Teórico	20
4.1 Recobro Mejorado en Colombia.....	20
4.2 Los Polímeros	20
4.3 La Viscosidad en EOR.....	22
4.4 Biopolímeros.....	23
4.5 Schizophyllan.....	24
4.6 Estructura del esquizofilano.....	25
5. Estado Del Arte	27
5.1 Antecedentes de la inyección de polímeros en Colombia	27
5.2 Avances internacionales con polímeros sintéticos.....	27
5.3 Desarrollo de biopolímeros como alternativa	28
5.4 Relevancia del presente estudio	28
6. Metodología.....	30

6.1	Recolección de material biológico.....	30
6.2	Condiciones de Cepa y Cultivo.....	31
6.3	Preparación del cultivo semilla.....	33
6.4	Extracción y purificación del biopolímero (SPG)	33
6.5	Caracterización estructural por RMN	34
6.6	Análisis de infrarrojo FTIR – ATR.....	35
6.7	Viscosidad de la Solución.....	35
7.	Resultados.....	36
7.1	Análisis de Caracterización estructural por RMN del Biopolímero Esquizofilano	36
7.2	Análisis Espectro FTIR.....	42
7.3	Pruebas de viscosidad	44
8.	Conclusiones.....	49
	Referencias.....	51
	Apéndices.....	58

Lista de Tablas**Tabla 1.**

Composición del medio cultivo agar extracto salvado de trigo, AST. 31

Tabla 2.

Comportamiento de la viscosidad de la solución del biopolímero. 44

Lista de figuras

Figura 1.	23
Estructura de la poliacrilamida hidrolizada (HPAAM).....	23
Figura 2.	25
La estructura química del esquizofilano.	25
Figura 3.	26
Unidad estructural del β -(1 \rightarrow 3)-D-glucano con ramificaciones β -(1 \rightarrow 6) característica del esquizofilano.	26
Figura 4.	30
Recolección del material biológico.....	30
Figura 5.	32
Siembra de esporas <i>Schizophyllum commune</i>	32
Figura 6.	32
Hifas de <i>Schizophyllum commune</i> en cultivo aislado por esporada.	32
Figura 7.	37
Espectro de RMN- ^1H (400 MHz, DMSO- d_6 a 80 °C) del biopolímero esquizofilano Muestra (CM1.1).....	37
Figuras 7.1.	38
Estructura esquemática del esquizofilano mostrando la cadena principal β -(1 \rightarrow 3) y la ramificación β -(1 \rightarrow 6), con la numeración de los carbonos C1–C6 utilizada para la asignación de protones en el análisis de RMN- ^1H	38

Figura 8.	39
Espectro de Resonancia Magnética Nuclear ssRMN- ¹³ C en estado sólido (CPMAS–CTOSS, MAS 10 kHz) de la muestra liofilizada CM2.2 de biopolímero Esquizofilano.....	39
Figura 9.	42
Espectro infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) a muestra liofilizada de exopolisacárido obtenido.....	42

Lista de Apéndices

Apéndice A.

Notificación salida a campo para la colecta de material biológico, Permiso Marco de Recolección No. IDB0398 – Autoridad Nacional de Licencias Ambientales -ANLA..... 58

Apéndice B.

Permiso Marco de Recolección de Material Biológico No. IDB0398 – ANLA..... 59

Resumen

Título: Obtención de un biopolímero a partir de *Schizophyllum commune* como alternativa para el recobro químico de crudo pesado colombiano.

Autor: Catalina Astrid Melo Velandia

Palabras clave: Recobro químico, *Schizophyllum commune*, Polisacarido, Biopolímero.

Descripción:

El presente trabajo se centró en la obtención y caracterización del polisacárido esquizofilano (SPG) a partir del cultivo de *Schizophyllum commune* en medio de salvado de trigo. Tras la incubación en condiciones controladas, el SPG fue separado y purificado, permitiendo recuperar 0.456 g de exopolisacárido por litro de sobrenadante. La caracterización estructural mediante FTIR-ATR y RMN confirmó la naturaleza β -glucánica del biopolímero. De forma complementaria, las pruebas de viscosidad mostraron un comportamiento pseudoplástico y, a velocidades de corte de 30 rpm, alcanzaron valores de más de 29090 cP y 2888 cP a 9°C y 25°C respectivamente a 30 rpm 9°C y 25 °C. A 70 rpm se mantuvo por encima de 1700 cP y manteniéndose por encima de 1700 cP a 70 rpm, lo que refleja su resistencia al cizallamiento y estabilidad térmica.

Los resultados permiten concluir que el esquizofilano presenta un alto potencial como alternativa biodegradable, no tóxica y sostenible para procesos de recobro químico de crudos pesados, destacándose en su comportamiento reológico frente a HPAM y goma xantana. No obstante, se reconoce la necesidad de realizar estudios adicionales de interacción fluido – fluido con crudos de petróleo de reología en condiciones más cercanas de yacimiento con pruebas de desplazamiento a escala laboratorio, y en futuros proyectos al campo y evaluar su producción a escala industrial piloto para consolidar su aplicabilidad en la industria petrolera.

Abstract

Title: Obtaining a biopolymer from *Schizophyllum commune* as an alternative for the chemical recovery of Colombian heavy crude oil.

Author: Catalina Astrid Melo Velandia

Keywords: Chemical recovery, *Schizophyllum commune*, Polysaccharide, Biopolymer.

Description:

This work focused on the obtaining and characterization of the polysaccharide schizophyllan (SPG) from the cultivation of *Schizophyllum commune* in wheat bran medium. After incubation under controlled conditions, the SPG was separated and purified, allowing the recovery of 0.456 g of exopolysaccharide per liter of supernatant. The structural characterization by FTIR-ATR and NMR confirmed the β -glucan nature of the biopolymer. Complementarily, the viscosity tests showed pseudoplastic behavior and, at shear rates of 30 rpm, reached values of more than 29090 cP and 2888 cP at 9°C and 25°C respectively at 30 rpm 9°C and 25°C. At 70 rpm it remained above 1700 cP and remaining above 1700 cP at 70 rpm, which reflects its resistance to shear and thermal stability.

The results allow concluding that schizophyllan presents a high potential as a biodegradable, non-toxic, and sustainable alternative for chemical recovery processes of heavy crude oils, standing out in its rheological behavior compared to HPAM and xanthan gum. Nevertheless, the need is recognized to carry out additional studies of fluid–fluid interaction with crude oils of rheology under conditions closer to the reservoir, with displacement tests at laboratory scale, and in future projects at the field and evaluate its production at industrial pilot scale to consolidate its applicability in the oil industry.

Introducción

El recobro mejorado es una técnica utilizada en la industria petrolera para extraer el petróleo remanente de los yacimientos tras agotar las etapas primaria y secundaria de producción porque la presión no es suficiente para que el hidrocarburo fluya con facilidad. Dentro de los métodos de recobro, uno de los más comunes es la inyección de agua con polímeros al yacimiento para empujar y mejorar la movilidad del petróleo hacia los pozos de producción.

Una alternativa sostenible a los polímeros es el uso de biopolímeros como agentes espesantes de las aguas de inyección para proporcionar una barrera física que impide o reduce la migración de agua a través de las formaciones geológicas, ayudando a mantener la presión en el yacimiento y maximizando la recuperación de petróleo, además de ser no tóxicos y biodegradables. (Alejandra et al., 2018)

Por lo anterior, en la presente investigación se propuso la obtención de un biopolímero que cumpliera con las propiedades fisicoquímicas necesarias para sustituir los geles poliméricos convencionales utilizados en la industria como agentes de bloqueo. El schizophyllan, obtenido a partir del hongo *Schizophyllum commune*, es catalogado como un polímero con resistencia a altas temperaturas y salinidad y, una viscosidad estable hasta 135°C (Barrera, 2021). Dado que el *Schizophyllum commune* cumple con las condiciones mencionadas, en el presente trabajo se propone el desarrollo de su biopolímero esquizofilano con potencial aplicación en recobro mejorado para sellar zonas donde se filtra un acuífero activo.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Obtener un biopolímero a partir de *Schizophyllum commune* como alternativa para el recobro químico de crudo pesado colombiano.

1.2 Objetivos Específicos

Sintetizar y estudiar las condiciones de cultivo para la obtención del biopolímero Schizophyllan obtenido a partir del microorganismo *Schizophyllum commune*.

Evaluar la estabilidad del biopolímero sintetizado mediante pruebas reológicas, con el fin de confirmar si es aplicable en recobro mejorado.

Analizar la estructura molecular del biopolímero Schizophyllan mediante RMN.

2. Planteamiento Del Problema

El recobro mejorado de petróleo (EOR) es un proceso utilizado en la industria petrolera para aumentar la producción de petróleo de un yacimiento. Uno de los desafíos asociados con este proceso es evitar la filtración del agua inyectada hacia aguas subterráneas. La presencia de partículas y contaminantes en la inyectada podría contaminar acuíferos y a su vez disminuir la concentración de polímeros en el agua de inyección.

La filtración del agua de inyección también provoca una pérdida de presión en el yacimiento y reduce significativamente el flujo del petróleo hacia los pozos de producción, implicando que no se logre un barrido efectivo a través del mismo. Esto conlleva a la retención de una cantidad considerable de petróleo, que no se puede recuperar de manera óptima, disminuyendo la eficiencia de la extracción; lo cual, junto con las pérdidas químicas y cambios en la composición del agua de inyección, promueve la contaminación de acuíferos activos y reduce la eficiencia del proceso de recobro (Jimenez Molano et al., 2015).

La introducción de cantidades considerables de agua de inyección en el subsuelo puede perturbar los patrones de flujo del agua subterránea y tener un impacto en los acuíferos cercanos (Bravo, 2007). En Colombia, el Informe Integrado de Gestión 2022 de Ecopetrol reportó que la compañía reutilizó 131,5 millones de m³ de agua, equivalente al 77,5 % del total requerido para sus operaciones, y logró una reducción sostenida del 6 % en las captaciones frente al 2012. Asimismo, estableció la meta de alcanzar la neutralidad hídrica al año 2045 (Ecopetrol S.A., 2022). Estos datos, aunque reflejan avances importantes, ponen de manifiesto la magnitud de los retos

ambientales que enfrentan las operaciones petroleras y la necesidad de optimizar las tecnologías de inyección para reducir su impacto en los recursos hídricos.

El tratamiento del agua inyectada requiere el uso de equipos de filtración, separadores de agua y sistemas de purificación, entre otros; estos equipos necesitan mantenimiento regular y operación adecuada, lo que implica costos adicionales en términos de personal, repuestos y consumibles. Además, es necesario implementar un monitoreo regular de la calidad del agua, incluyendo análisis químicos y microbiológicos, que incrementan los costos en laboratorio y equipos de medición (Salager, 2005).

Además, las regulaciones ambientales en cuanto a tratamiento de agua en el recobro mejorado varían según el país y las normativas específicas, estos reglamentos pueden incluir requisitos específicos para el tratamiento del agua, la gestión de residuos y la protección del medio ambiente que generan costos operativos adicionales. Es posible que se requiera el cumplimiento de estándares específicos de calidad del agua y la implementación de medidas para minimizar el impacto ambiental. Estas acciones implican también costos relacionados con auditorías, informes y cumplimiento normativo (Dias c et al., 2013).

Es importante destacar que el recobro mejorado puede implementar medidas para mitigar estos problemas ambientales, como el tratamiento adecuado del agua antes de la inyección y el monitoreo de la calidad del agua en el yacimiento (Bueno, 2008). Sin embargo, estas resultan insuficientes en algunos contextos. En este sentido, el uso de biopolímeros en recobro mejorado se perfila como una estrategia innovadora para reducir la filtración de agua, aumentar la viscosidad del fluido inyectado y mejorar la eficiencia del proceso (Alzate et al., 2017). Además, a diferencia

de los polímeros sintéticos, los biopolímeros presentan ventajas ambientales, pues son biodegradables y no tóxicos, lo que los convierte en una alternativa sostenible frente a los desafíos técnicos y ambientales de la industria petrolera (Alejandra et al., 2018).

3. Justificación

Los polímeros más utilizados para procesos de sellado en recobro actualmente son la poliacrilamida en su forma parcialmente hidrolizada (HPAM) y el biopolímero Xantano. La mezcla de biopolímeros y polímeros sintéticos proporciona materiales con propiedades intermedias y costos razonables para ciertos usos (L. Triana et al., 2019)

La aplicación de biopolímeros en procesos tradicionales de recobro, en la "zona de barrido de agua", es beneficiosa por varias razones. En primer lugar, los biopolímeros son biodegradables y respetuosos con el medio ambiente (Barrera, 2021), lo que los convierte en una opción más sostenible en comparación con los polímeros sintéticos tradicionales.

Por otro lado, los biopolímeros con propiedades viscoelásticas pueden funcionar como agentes espesantes y aumentar la viscosidad del agua, esto es particularmente útil en procesos de recobro de petróleo, ya que pueden mejorar la eficiencia de la inyección de agua al disminuir la movilidad del agua en el yacimiento. Otra ventaja de los biopolímeros es su capacidad para formar geles en presencia de iones divalentes, como el calcio, estos geles pueden actuar como barreras selectivas que reducen la permeabilidad de las zonas de alta permeabilidad en el yacimiento, evitando así el flujo prematuro de agua y mejorando la eficacia del barrido de petróleo.

Además, los biopolímeros tienden a causar menos daños a la formación y a los equipos de producción, ya que son menos propensos a formar depósitos indeseables. Esto puede reducir los costos de mantenimiento y aumentar la vida útil de los equipos de producción (Soledispa, 2023).

Los biopolímeros derivados de *Schizophyllum commune* ofrecen varias ventajas en el campo del recobro mejorado de petróleo como la biocompatibilidad, lo que significa que son

compatibles con los sistemas biológicos y no causan daño o reacciones adversas, siendo adecuados para su uso en aplicaciones relacionadas con la industria del petróleo. (Soledispa, 2023). Del mismo modo, los biopolímeros pueden cambiar su viscosidad y fluidez en respuesta a diferentes condiciones; estas propiedades reológicas pueden ser ajustadas para adaptarse a las necesidades específicas del proceso de recobro mejorado de petróleo como en el caso del esquizofilano, cuyas propiedades reológicas favorables permiten que se comporte como un espesante eficaz en la inyección de polímeros, lo que ayuda a mejorar la eficiencia de recuperación de petróleo al aumentar la movilidad del petróleo en los yacimientos. Este biopolímero puede actuar como agente de movilidad, reduciendo la viscosidad del petróleo, lo que permite un control preciso de la inyección, asegurando una distribución uniforme del mismo en el yacimiento, facilitando su flujo hacia los pozos de producción y maximizando su efectividad en el recobro de petróleo (Soledispa, 2023).

Por otro lado, el esquizofilano tiene una estructura química única que le confiere propiedades especiales. Aunque tiene la misma estructura química que el escleroglucano, otro agente espesante, el esquizofilano tiene ventajas específicas en términos de su capacidad para mejorar el recobro de petróleo como se mencionó anteriormente (Soledispa, 2023).

En cuanto a la sostenibilidad, los biopolímeros derivados de *Schizophyllum commune* son una alternativa favorable con respecto a los polímeros sintéticos utilizados en el recobro mejorado de petróleo, pues al ser extraídos a partir del hongo mencionado, son biodegradables y no tóxicos, lo que reduce su impacto ambiental, lo cual lo convierte en una opción más sostenible (Soledispa, 2023).

De este modo, los biopolímeros derivados de *Schizophyllum commune* ofrecen ventajas como biocompatibilidad, propiedades reológicas ajustables, mejora de la eficiencia de recuperación y sostenibilidad en el recobro mejorado de petróleo, características que los convierten en una opción prometedora a evaluar para sustituir los geles poliméricos convencionales utilizados en la industria como agentes de bloqueo.

4. Marco Teórico

4.1 Recobro Mejorado en Colombia

El factor de recobro promedio en Colombia es aproximadamente del 15,5 % (Valoraanalitik, 2024), por debajo del promedio mundial que es 38%; (Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), 2023). La recuperación mejorada de petróleo (EOR) hace referencia a la recuperación de petróleo mediante la inyección de fluidos como productos químicos, gases inmiscibles o bien sea la inyección de recobro térmico. Entre estas técnicas la inyección de agua es uno de los procesos de producción de hidrocarburos más conocidos, que se implementa con la finalidad de mantener la presión y proporcionar el desplazamiento dentro del yacimiento, pero debido a la diferencia de viscosidades entre el petróleo y el agua, este desplazamiento es inestable. Por ello, se inyecta un polímero, con el propósito de aumentar la viscosidad del fluido inyectado y conseguir la estabilidad necesaria del desplazamiento de esta (L. Triana et al., 2019).

4.2 Los Polímeros

De manera natural, todos los polímeros son viscoelásticos, y cuando se exponen a uno o varios esfuerzos de cizallamiento en medios porosos, exhiben un comportamiento de cizallamiento pseudoplástico y de espesamiento. La viscosidad del inyectante se mejora mediante la adición de polímeros, lo que, a su vez, conduce a una relación de movilidad favorable en el yacimiento. Los polímeros pueden recuperar películas de petróleo en lugares estrechos de la formación del

yacimiento debido a la estructura viscoelástica de los polímeros macromoleculares, arrastrándolos durante los mecanismos de arrastre y extracción. Además, los polímeros mejoran la recuperación de petróleo a través de mecanismos de reducción desproporcionada de la permeabilidad debido al hinchazón y a la disminución de la permeabilidad del agua. (Soledispa, 2023).

En los procesos de recobro químico mejorado (CEOR), los polímeros cumplen un papel esencial: deben aumentar la viscosidad del fluido inyectado y, al mismo tiempo, soportar condiciones extremas dentro del yacimiento, como altas concentraciones de sales, presencia de iones bivalentes, temperaturas elevadas y periodos prolongados de inyección. Además, la diversidad de polímeros naturales y sintéticos abre la posibilidad de crear copolímeros, es decir, mezclas diseñadas para potenciar propiedades específicas (Barrera, 2021).

Sin embargo, no todos los polímeros son adecuados para ser inyectados en un proceso de este tipo. Para que un material se considere viable, debe cumplir criterios muy concretos: no presentar enlaces $-O-$ en su cadena principal (lo que garantiza mayor estabilidad térmica), poseer grupos hidrofílicos aniónicos que reduzcan la adsorción a la roca, ofrecer un alto poder viscosificante en disolución y, finalmente, incluir grupos hidrofílicos no iónicos que aporten estabilidad química. En pocas palabras, se trata de seleccionar polímeros capaces de “sobrevivir” a un entorno hostil y mantener su funcionalidad dentro del yacimiento (Barrera, 2021, p.35).

Para determinar la efectividad de los polímeros en un proceso de recuperación mejorada se requiere el análisis de criterios como degradación mecánica, biológica y térmico-química; efecto de la fuerza iónica y del pH y la viscosidad (Barrera, 2021).

4.3 La Viscosidad en EOR

La viscosidad es una de las propiedades más importantes de las soluciones poliméricas, esta depende de la estructura química del polímero, de las interacciones con el disolvente y del peso molecular. La viscosidad del polímero disminuye con altas tasas de flujo y tamaños de poros muy pequeños, debido a que los polímeros tienden a alinearse con la dirección de flujo. Los efectos viscoelásticos se desarrollan cerca al *wellbore* (alrededores del pozo) donde se tienen las velocidades más altas, como resultado de los cambios en los diámetros de los poros y la tortuosidad. Por lo general, una molécula de alto peso molecular en un buen disolvente adquiere un gran volumen hidrodinámico y la viscosidad de la solución aumenta (Barrera, 2021, p.46). La viscosidad aparente define la relación entre el esfuerzo viscoso y la velocidad de deformación, en las soluciones poliméricas utilizadas en los procesos de EOR disminuye a medida que aumenta la velocidad de cizallamiento que se la puede definir como (Soledispa, 2023):

$$\mu = \frac{\tau}{\gamma} \quad (\text{ec.1})$$

Donde:

μ = viscosidad

τ = esfuerzo cortante

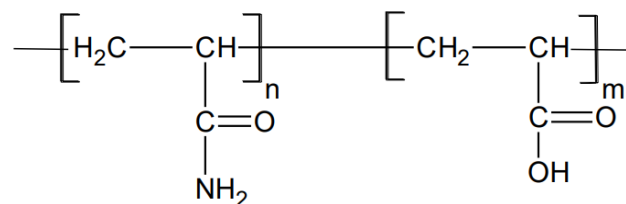
γ = velocidad de corte o cizallamiento

4.4 Biopolímeros

Entre los polímeros más empleados en el recobro mejorado se destaca la poliacrilamida hidrolizada (HPAM), por sus buenas propiedades como viscosificador y características fisicoquímicas. Sin embargo, manifiesta limitaciones de temperatura y salinidad, por lo cual se han implementado los biopolímeros que son resistentes y cumplen con los requisitos técnicos y ambientales del recobro mejorado, presentando una estabilidad química superior a la de los polímeros convencionales. (L. Triana et al., 2019).

Figura 1.

Estructura de la poliacrilamida hidrolizada (HPAAM)



Nota. donde m define el nivel de hidrólisis del polímero. Fuente: (Barrera Arocha, 2021).

Los biopolímeros, son polímeros naturales obtenidos a partir de plantas o bioproductos como hongos y bacterias. Las gomas son un grupo de polisacáridos que producen soluciones viscosas cuando se disuelven en agua a bajas concentraciones (Soledispa, 2023).

Por ejemplo, la *Goma Xantana* es un polisacárido bacteriano que es ampliamente utilizado en alimentos, productos farmacéuticos, cosméticos, pinturas, textiles, productos agrícolas e industria petrolera. La celulosa, procede del tejido de las paredes celulares de las plantas y de las células eucariotas y es ampliamente considerada como el biopolímero más abundante del mundo.

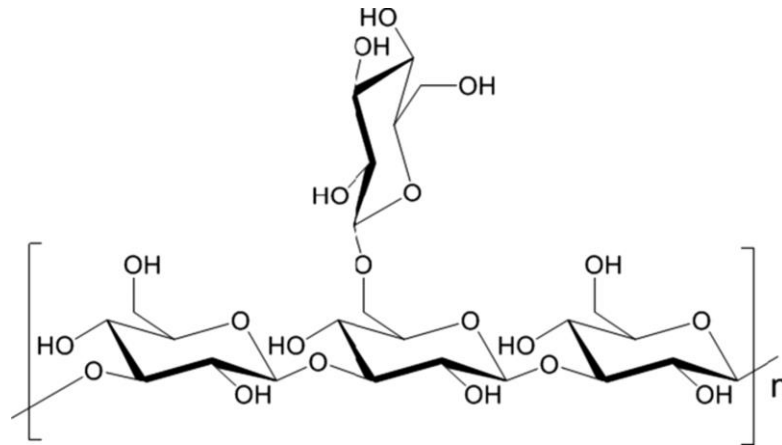
La *Goma Guar* es un biopolímero hidrófilo derivado del endospermo de las leguminosas, es soluble en disolventes polares pero insoluble en disolventes orgánicos, posee buenas propiedades de hidratación. El Schizophyllan es un biopolímero no iónico extraído del hongo *Schizophyllum* mediante un proceso de fermentación que utiliza glucosa como fuente de carbono. Este polímero presenta una elevada tolerancia a la salinidad y a la temperatura. Además, el polímero presenta un comportamiento de adelgazamiento por cizallamiento en presencia de fuerzas de cizallamiento (Soledispa, 2023).

4.5 Schizophyllan

El Schizophyllan o esquizofilano, es un homopolisacárido no iónico soluble en agua que consta de una cadena lineal de grupos β - d- (1-3)-glucopiranosilo y grupos β - d- (1-6)-glucopiranosilo producidos por fermentación de cepas del basidiomiceto *Schizophyllum commune* que pudre la madera y crece filamentosamente. El peso molecular varía según la cepa y el método de producción; tradicionalmente, se ha reportado en el rango 6.000 a 12.000 kDa (Kumari et al., 2008; Zhang et al., 2013). Sin embargo, estudios recientes señalan valores menores, alrededor de 1100 kDa, en preparados obtenidos mediante fermentación controlada, como la propuesta en la metodología del trabajo presente (Mancinelli et al., 2024). Adicional a ello, el esquizofilano tiene numerosas aplicaciones potenciales, como la recuperación de petróleo, un espesante para lociones cosméticas, películas impermeables al oxígeno para la conservación de alimentos y aplicaciones farmacéuticas por sus actividades inmunomoduladoras, antineoplásicas y antivirales superiores a las de otros glucanos (Kumari et al., 2008; Zhang et al., 2013).

Figura 2.

La estructura química del esquizofilano.



Nota. Fuente: (Zhang et al., 2013).

4.6 Estructura del esquizofilano

El esquizofilano (también denominado SPG o esquizofilo) es un homopolisacárido compuesto por una cadena principal de β-(1→3)-D-glucano, con ramificaciones β-(1→6) que se presentan aproximadamente en cada tercer o cuarto residuo (Sung et al., 2018). Esta arquitectura le permite formar estructuras de hélice triple altamente estables, lo que explica su solubilidad en agua y su resistencia a condiciones extremas de pH y temperatura (Sung et al., 2018).

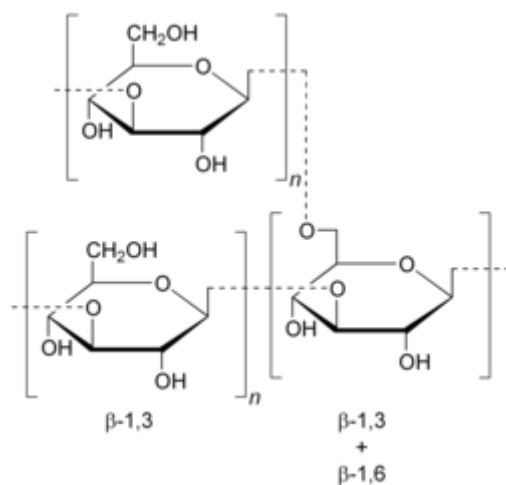
Desde el punto de vista molecular, los β-glucanos como el esquizofilano están formados por unidades de D-glucosa que adoptan la forma de anillos pirano. En esta disposición, los carbonos C1 a C5 constituyen el anillo principal junto con el oxígeno del heterociclo, mientras que el carbono C6 sobresale de la estructura como un grupo exocíclico –CH₂OH (Du et al., 2019;

Nelson DL, 2015). Dicho arreglo hace que los protones H6a y H6b también aparezcan representados fuera del anillo en los modelos moleculares.

Además, las ramificaciones β -(1 \rightarrow 6) del esquizofilano se enlazan precisamente en el carbono C6. Este detalle subraya el papel estructural de dicho átomo, que no solo funciona como punto de ramificación, sino también como elemento clave para las propiedades funcionales del polisacárido (Du et al., 2019).

Figura 3.

Unidad estructural del β -(1 \rightarrow 3)-D-glucano con ramificaciones β -(1 \rightarrow 6) característica del esquizofilano.



Nota. Este esquema, ampliamente utilizado en la literatura especializada, permite visualizar la arquitectura general del biopolímero y la relevancia de los enlaces glucosídicos en sus propiedades estructurales y funcionales (Du et al., 2019; Sung et al., 2018).

5. Estado Del Arte

5.1 Antecedentes de la inyección de polímeros en Colombia

A nivel global, las técnicas de recuperación mejorada de petróleo (EOR) representan aún una fracción limitada de la producción total de crudo, aunque en algunos países su aporte es mayor dependiendo de la tecnología implementada (AIE, 2018). Dentro de estas técnicas, los métodos químicos (CEOR) representan una fracción menor en comparación con los térmicos y los de inyección de gas, aun así, su relevancia ha aumentado en los últimos años gracias a investigaciones y avances en polímeros y biopolímeros aplicados en condiciones de alta temperatura y salinidad (Liu et al., 2020).

En Colombia, el desarrollo de CEOR ha sido emergente, desde 2014 Ecopetrol S.A. ha liderado proyectos piloto de inyección de polímeros en varios campos. Entre los más representativos se encuentran Yariguí–Cantagallo, Casabe, Palogrande–Cebú y Chichimene, ubicados en las cuencas del Valle Medio y Superior del Magdalena y en los Llanos Orientales. Estos pilotos incorporaron etapas de selección de áreas, simulaciones, evaluaciones de laboratorio y diseño de infraestructura, generando valiosas lecciones para la futura aplicación de este método en el país (Barrera Arocha, 2021, p.29).

5.2 Avances internacionales con polímeros sintéticos

A nivel internacional, se han investigado diversas estrategias para mejorar la estabilidad de polímeros sintéticos en condiciones de alta temperatura y salinidad (HTHS). Zhu (2014) citado en (Barrera, 2021) evaluó soluciones de poliacrilamida parcialmente hidrolizada (HPAM) modificadas con nanopartículas de sílice, demostrando incrementos en el módulo elástico y en la

viscosidad aparente. De forma complementaria, Alquraishi citado en (Barrera Arocha, 2021) reportó que la mezcla de goma xantana con HPAM mejora la estabilidad en medios con altas concentraciones de sales. Sin embargo, pese a estos avances, la degradación térmica y la adsorción en formaciones carbonatadas siguen siendo limitaciones de los polímeros sintéticos convencionales.

5.3 Desarrollo de biopolímeros como alternativa

En respuesta a estas limitaciones, los biopolímeros han emergido como opciones sostenibles y técnicamente viables para CEOR. Quadri en (Barrera Arocha, 2021) evaluó el biopolímero esquizofilano en condiciones HTHS, reportando estabilidad de la viscosidad hasta 135 °C y en soluciones con salinidades de 220 g/L. Estas propiedades lo posicionan como un polímero altamente competitivo para yacimientos complejos, al superar la resistencia térmica y salina que limita a la HPAM y al xantano.

Por otro lado, el esquizofilano posee otras ventajas como su carácter no iónico, baja adsorción en rocas carbonatadas y naturaleza ecológica. Su producción a partir de la fermentación de residuos agroindustriales, como la palma, lo convierte en una alternativa económicamente favorable y ambientalmente sostenible (Barrera Arocha, 2021; Zhang et al., 2013).

5.4 Relevancia del presente estudio

A pesar de los avances mencionados, en Colombia los estudios sobre biopolímeros aplicados a CEOR aún se encuentran en una etapa temprana. Si bien Ecopetrol ha logrado implementar pilotos con HPAM y se han documentado pruebas de laboratorio con goma xantana, la investigación sobre esquizofilano se limita principalmente a experiencias internacionales.

Dado lo anterior, aunque los polímeros sintéticos como la HPAM han dominado las aplicaciones de CEOR en Colombia, presentan limitaciones en ambientes de alta temperatura y salinidad. El esquizofilano ha demostrado un mejor desempeño en dichas condiciones y ventajas ambientales significativas; sin embargo, su estudio en el contexto colombiano es muy limitado, justificando la necesidad de investigaciones que aborden la evaluación del esquizofilano, tal como se propone en el presente trabajo, con el fin de ofrecer evidencia experimental que puede servir de base para futuros proyectos piloto de CEOR en el país.

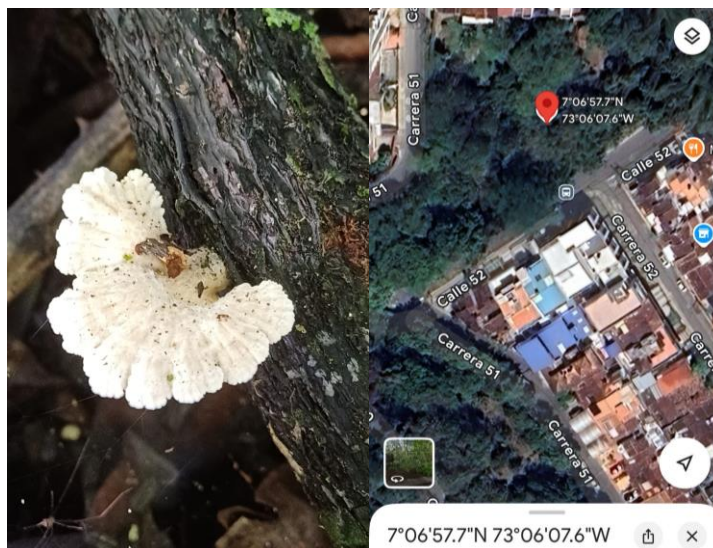
6. Metodología

6.1 Recolección de material biológico

El aislamiento de *Schizophyllum commune* se realizó a partir de muestras recolectadas en ambientes húmedos y sombreados, ricos en materia orgánica en descomposición, como troncos en descomposición y cortezas de árboles. Las muestras micológicas fueron obtenidas en las coordenadas descritas en la figura 4, posteriormente fueron transportadas al laboratorio en condiciones estériles y cultivadas en medios de crecimiento selectivos para permitir la identificación y propagación del hongo basidiomiceto.

Figura 4.

Recolección del material biológico.



6.2 Condiciones de Cepa y Cultivo

Tras la recolección y cultivo del material biológico, se identificaron los medios de cultivo en donde se propagaba el crecimiento predominante del presunto hongo en comparación con otras especies o posibles contaminantes, por lo anterior, se preparó medio Agar Extracto de Salvado de Trigo AST (Tabla 1) y se cultivó la cepa recolectada por el método de siembra de esporas como se observa en la figura 5. Una vez confirmada su identidad mediante características morfológicas y moleculares (figura 6), el aislamiento fue conservado en placas de agar AST a 28 °C para su posterior uso en la obtención del biopolímero.

Tabla 1.

Composición del medio cultivo agar extracto salvado de trigo, AST.

Composición	Cantidad (g/L)
Glucosa	10
Peptona	5
Extracto de levadura	2
KH ₂ PO ₄	0.1
MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.1
MnSO ₄	0.085
Extracto de salvado de trigo*	(Aforar a 1 L)
Agar	15

** Nota. El extracto de salvado de trigo se preparó suspendiendo 250 g de salvado de trigo en 1 L de agua destilada, manteniendo la mezcla durante 30 minutos, luego se filtró el extracto y se aforó con el líquido recolectado hasta completar 1 L de solución. Este extracto se utilizó como base líquida para la preparación del medio de cultivo AST.*

Figura 5.

Siembra de esporas Schizophyllum commune

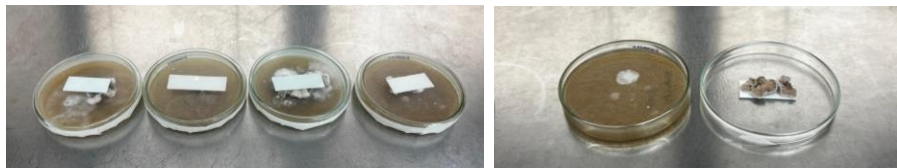


Figura 6.

Hifas de Schizophyllum commune en cultivo aislado por esporada.



6.3 Preparación del cultivo semilla

Tras cultivar el *schizophyllum commune* en agar AST a 28 °C, durante 7 días, el micelio fue transferido desde las placas de cultivo a medio líquido estéril (30.0 g/L glucosa, 3 g/L extracto de levadura, 0.5 g/L MgSO₄·7H₂O, 1.0 g/L KH₂PO₄) para generar el cultivo semilla. Se cortaron fragmentos miceliales de aproximadamente 7 × 7 mm utilizando la punta de una micropipeta estéril, los cuales se inocularon en 50 mL de medio líquido estéril contenido en tres matraces Erlenmeyer de 250 mL y se realizó por triplicado. Esta primera etapa de preinóculo fue incubada a 28 ± 2 °C, con agitación constante a 180 rpm durante 5 días.

Posteriormente, se tomaron 5 mL de cada preinóculo y se transfirieron a nuevos matraces Erlenmeyer de 250 mL que contenían 200 mL de medio de cultivo estéril. Estos cultivos, también realizados por triplicado, se incubaron bajo las mismas condiciones durante 14 días para permitir un desarrollo micelial más extenso y garantizar una producción suficiente del biopolímero.

6.4 Extracción y purificación del biopolímero (SPG)

Finalizado el cultivo, se separó el biomaterial celular del sobrenadante mediante centrifugación a 10000 × g durante 20 minutos. El sedimento celular fue filtrado utilizando papel de 25 µm. El sobrenadante libre de células se recuperó cuidadosamente tras la centrifugación y fue nuevamente filtrado empleando una membrana con poro de 11 µm y finalmente una membrana con poro de 2.5 µm para remover impurezas residuales, obteniendo un total de 500 ml de sobrenadante. A continuación, se procedió a la precipitación del biopolímero mediante la adición gradual de dos volúmenes de etanol (96%) al sobrenadante. La mezcla resultante se mantuvo en

refrigeración a 4 °C durante 72 horas, favoreciendo la agregación del polisacárido mediante deshidratación selectiva, técnica comúnmente empleada para aislar polisacáridos solubles.

La fase precipitada se recuperó mediante doble centrifugación a 4000 rpm durante 5 minutos, obteniéndose 12,535 g de gel precipitado. Para determinar su contenido de humedad, se tomó una alícuota de 1,0 g de gel y se sometió a secado hasta alcanzar peso constante, registrándose un valor final de 0,0182 g de exopolisacárido. Este procedimiento evidenció un contenido de humedad 98,2 %, confirmando la elevada capacidad de retención de agua característica de los biopolímeros tipo β -glucanos. El material obtenido fue refrigerado a 4°C para su posterior análisis estructural.

6.5 Caracterización estructural por RMN

Los espectros de Resonancia Magnética Nuclear (^1H ,) de las diferentes muestras del polisacárido se tomaron en un espectrómetro marca Bruker, modelo Avance III 400 MHz/54 mm, para núcleos de hidrógeno (^1H). Se utilizó dimetilsulfóxido deuterado (DMSO- d_6) como disolvente y se prepararon soluciones de esquizofilano 2% p/p. Para los espectros de protones se utilizó la secuencia de pulsos zg 30 y se archivaron después de 256 scans. El espectro de sólidos de ^{13}C -RMN se llevó a cabo en un espectrómetro Bruker Ascend WB, 400 MHz Avance III HD. La secuencia de pulsos fue CP-MAS $^{13}\text{C}\{^1\text{H}\}$ TOSS (10 kHz), utilizando un rotor de 4 mm. Los archivos se procesaron con el software Mestrenova y los resultados se reportan en la discusión de resultados.

6.6 Análisis de infrarrojo FTIR – ATR

Los espectros se adquirieron en un espectrómetro Nicolet Summit X (Thermo Scientific®, EE. UU.), equipado con un módulo ATR Everest de diamante, en el rango de 4000 a 400 cm^{-1} y con una resolución de 4 cm^{-1} , promediando 32 barridos por muestra.

La muestra se analizó en estado sólido, tras ser liofilizada, aplicando presión uniforme sobre el cristal del accesorio ATR. Los espectros fueron corregidos automáticamente por el software de adquisición y luego procesados para identificar los grupos funcionales presentes en el biopolímero.

6.7 Viscosidad de la Solución

La viscosidad del biopolímero fue determinada mediante un viscosímetro rotacional LAMY B-ONE PLUS, el cual permite cuantificar la resistencia interna de un fluido a la deformación mediante el torque ejercido sobre un husillo en rotación. En el portamuestras se colocaron 7 ml de solución al 2% del biopolímero esquizofilano previamente purificado, y se utilizó un husillo MK-SV418 que maneja capacidades de 7.5 ml y una tasa de corte de 1.32 N por segundo. Se midieron las viscosidades a temperaturas de 9°C y de 25 °C \pm 0.1 °C para lo cual se utilizó un baño termostatado VWR AD 7L R-20 que permitió controlar la temperatura. Para cada temperatura se emplearon velocidades de rotación del husillo de 30, 50 y 70 rpm, para medir el comportamiento del biopolímero a la misma concentración y temperatura, y los datos fueron reportados en unidades de centipoise (cP). Cada medición se realizó por triplicado para garantizar la reproducibilidad.

7. Resultados

El proceso de precipitación de 500 ml de sobrenadante con dos volúmenes de etanol permitió recuperar 12,535 g de gel polisacárido con un contenido de humedad del 98,2 %, equivalente a 0,228 g de polisacárido seco, al extrapolar el rendimiento a 1L de sobrenadante se estima una producción de 0.456 g de polisacárido seco por litro. Este resultado confirma que el material obtenido corresponde a una matriz altamente hidratada, característica intrínseca de los polisacáridos extracelulares que forman redes gelificadas con gran capacidad de retención de agua (Du et al., 2019; Sung et al., 2018).

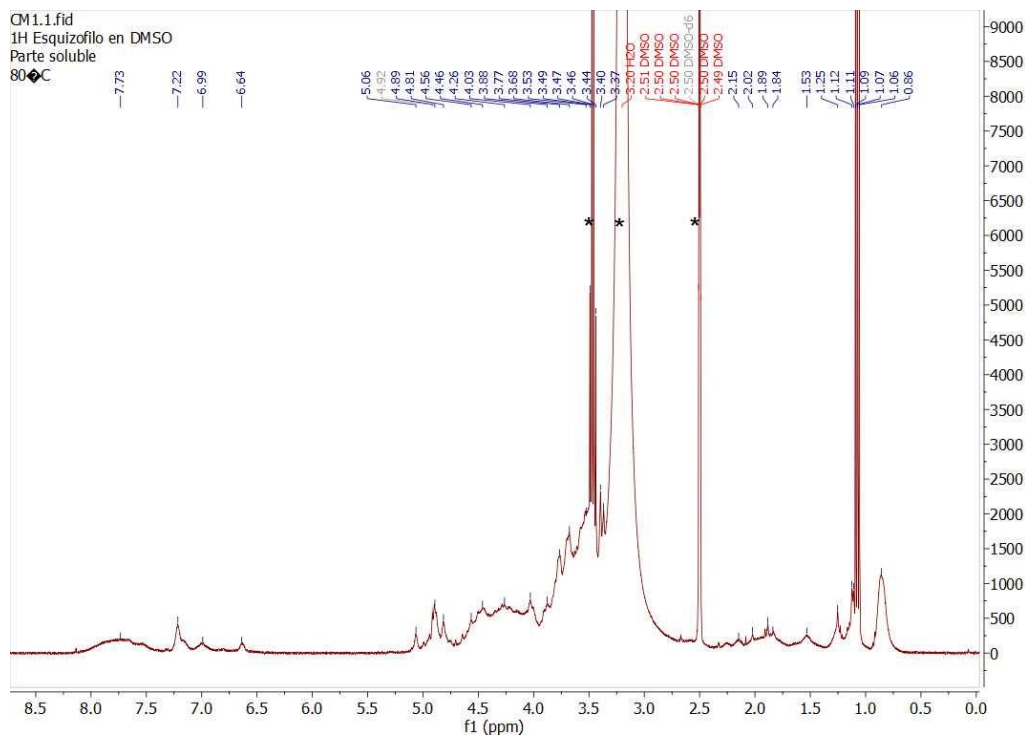
En el caso del Schizophyllan (SPG), esta elevada hidratación ha sido descrita como un factor determinante para su alta viscosidad en solución y su estabilidad bajo condiciones de temperatura y salinidad extremas (Zhang et al., 2013). A partir de este hallazgo, se desarrollaron análisis espectroscópicos (FTIR, RMN) y reológicos, con el fin de caracterizar la estructura química y las propiedades funcionales del biopolímero obtenido.

7.1 Análisis de Caracterización estructural por RMN del Biopolímero Esquizofilano

En las Figuras 7 y 8 se presentan los espectros de RMN-¹H correspondiente a la muestra CM1.1 y ssRMN-¹³C correspondiente a la muestra CM2.2, respectivamente, obtenidos tras los procesos de precipitación y purificación. La muestra tomada en RMN-¹H fue disuelta en DMSO-d₆.

Figura 7.

Espectro de RMN-¹H (400 MHz, DMSO-d₆ a 80 °C) del biopolímero esquizofilano Muestra (CM1.1)



Nota. Se identifican con () las señales correspondientes a residuos de etanol (3.44-3.49 ppm), agua residual (3.20 ppm) y al disolvente (2.50 ppm).*

El espectro procesado por espectroscopía RMN-¹H (figura 7) muestra múltiples señales entre 3.0 y 4.0 ppm, correspondientes a los protones de los carbonos C2 a C6 de residuos de β-D-glucopiranosos. Las señales en 3.37 y 3.40 ppm, típicas de los protones del anillo glucopiranosico, se asocian a los protones H2 y H3 respectivamente, mientras que la resonancia de H4 se distingue en 3,53 ppm (Yamashita et al., 2025). Adicionalmente, se identifican las resonancias de H5 en 3,68 ppm, H6b en 3,77 ppm y H6a en 4,26 ppm en la cadena principal y la señal del protón anomérico H1 de un grupo lateral en 4,56 ppm (Yamashita et al., 2025). Esta región, intensamente poblada,

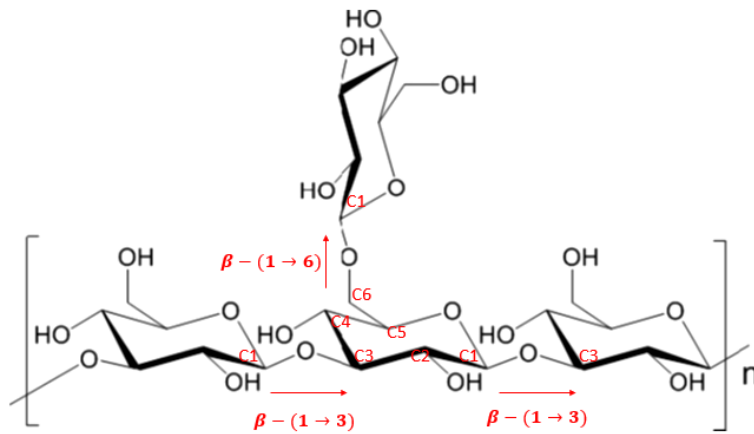
es típica de polisacáridos con enlaces β -(1 \rightarrow 3) en la cadena principal, junto con ramificaciones β -(1 \rightarrow 6), como se ha reportado para el esquizofilano. Las múltiples señales solapadas reflejan la presencia de diferentes entornos químicos provocados por la ramificación y conformación helicoidal del polímero en solución. (Synytsya & Novák, 2013).

Cabe señalar que en el intervalo 3,42–3,50 ppm aparece un cuarteto característico atribuible a trazas de etanol, un disolvente residual del proceso de precipitación, el cual se superpone parcialmente con las señales del polisacárido.

La señal más definida 5.0 ppm se atribuye al protón del agua residual en DMSO- d_6 , una interferencia común en espectros adquiridos a temperatura elevada. A pesar de ello, se puede distinguir una señal ancha cercana a 4.8 ppm, que puede atribuirse al protón anomérico H1 de los residuos de glucosa. Este desplazamiento químico es característico de enlaces glucosídicos β , cuya configuración anomérica genera resonancias por encima de 4.5 ppm (Synytsya & Novák, 2013) y respalda la identificación del biopolímero como esquizofilano (SPG), en concordancia con lo descrito para otros β -glucanos fúngicos de estructura ramificada (Synytsya & Novák, 2013; Yamashita et al., 2025).

Figuras 7.1.

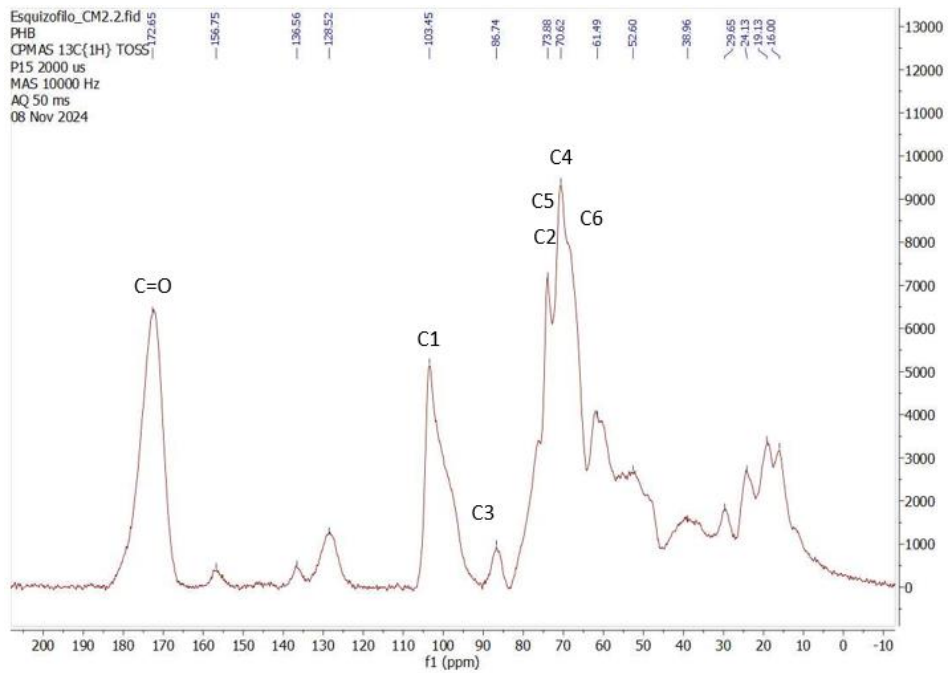
Estructura esquemática del esquizofilano mostrando la cadena principal β -(1 \rightarrow 3) y la ramificación β -(1 \rightarrow 6), con la numeración de los carbonos C1–C6 utilizada para la asignación de protones en el análisis de RMN- 1H .



Nota. Figura Adaptada de (Kono et al., 2017).

Figura 8.

Espectro de Resonancia Magnética Nuclear ssRMN- ^{13}C en estado sólido (CPMAS-CTOSS, MAS 10 kHz) de la muestra liofilizada CM2.2 de biopolímero Esquizofilano.



El espectro de ssRMN- ^{13}C CP/MAS (10 kHz, TOSS) del biopolímero liofilizado (CM2.2) presenta un patrón característico de polisacáridos β -(1 \rightarrow 3) (1 \rightarrow 6)-D-glucanos, confirmando la identidad del expolisacárido esquizofilano (SPG) producido por *Schizophyllum commune*. Las resonancias características se localizaron en 103.5 ppm (C1, anomérico β), 86.7 ppm (C3, enlace 1 \rightarrow 3) y en la región comprendida entre 70 y 74 ppm, donde se observa un conjunto de señales superpuestas, correspondiente a los carbonos C2, C4 y C5 del anillo piránico. El C6 no sustituido se observó en 61.49 ppm ($-\text{CH}_2\text{OH}$). Estos desplazamientos concuerdan con los valores descritos en la literatura para el SPG y otros β -glucanos fúngicos (Yamashita et al., 2025).

Aunque el C6 no sustituido aparece en 61.49 ppm, el C6 sustituido (β -1 \rightarrow 6) no se distingue como un pico definido, ya que según la literatura su señal se solapa con las del anillo entorno a 69-70 ppm. Este comportamiento es común en espectros de RMN de sólidos, donde la organización helicoidal del polímero y la movilidad local reducen la intensidad relativa de algunos carbonos. (Mancinelli et al., 2024; Yamashita et al., 2025)

Las múltiples bandas, especialmente en las regiones de C1, C3 y C6, se atribuyen a la estructura helicoidal triple del esquizofilano, que genera entornos magnéticamente no equivalentes para carbonos idénticos. Este comportamiento es característico de los β -glucanos fúngicos en estado sólido y refleja su organización supramolecular estable (Saitô et al., 2006)

La presencia de la ramificación β -(1 \rightarrow 6) se confirma por la asimetría en esta región y por la banda β -anomérica (890 cm^{-1}) del FTIR (figura 9), además de coincidir con los desplazamientos observados en estudios HSQC de esquizofilano, donde se reportan señales en δ 102.7 (C1 β), 86.5

(C3), 73–77 (C2–C5) y 60–62 ppm (C6), características de los β -(1→3) (1→6)-glucanos. (Mancinelli et al., 2024)

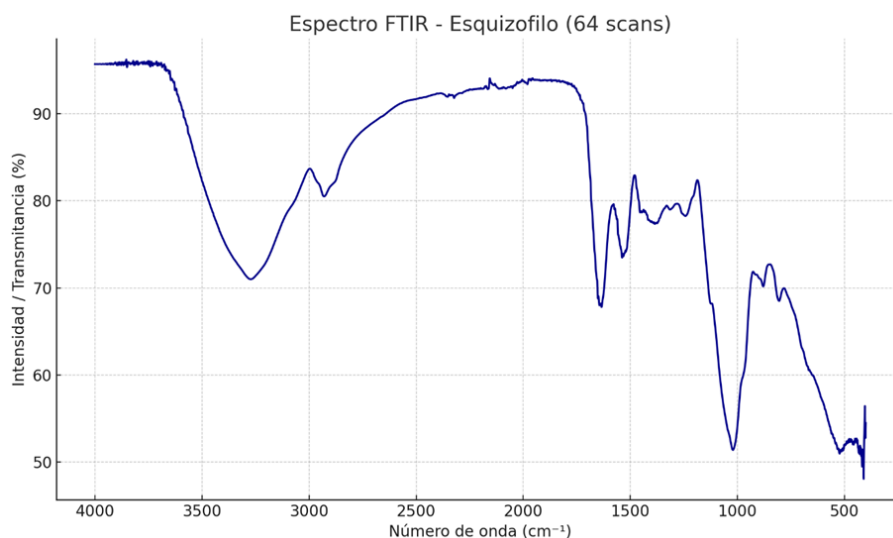
También se observó una señal débil en 172.6 ppm, atribuible a carbonilos (C=O) por oxidación leve o residuos del medio de cultivo, coherente con la banda 1650 cm^{-1} del FTIR (figura 10). En 52.6 ppm aparece una señal alifática asociada a trazas de compuestos orgánicos, y entre 38 y 14 ppm se identifican resonancias alifáticas ($-\text{CH}_2-$, $-\text{CH}_3$) vinculadas a restos lipídicos. (Alexandri et al., 2017; Saitô et al., 2006)

Por todo lo anterior, las señales mencionadas constituyen la firma espectral del esquizofilano, que en conjunto con la coherencia entre los resultados de RMN- ^{13}C , FTIR y los datos de la literatura, confirman la estructura β -(1→3) (1→6)-D-glucano del biopolímero, validando su identidad como esquizofilano (SPG).

7.2 Análisis Espectro FTIR

Figura 9.

Espectro infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) a muestra liofilizada de exopolisacárido obtenido.



En la figura 9 se muestra el espectro de infrarrojo FTIR-ATR del exopolisacárido obtenido, el espectro presenta una banda ancha entre 3600 y 3200 cm^{-1} atribuida a las vibraciones de estiramiento del grupo hidroxilo ($-\text{OH}$), típicas de estructuras polisacáridas con enlaces de hidrógeno extensos Mancinelli et al., 2024). Esta banda es indicativa de la abundancia de grupos funcionales polares responsables de la alta afinidad con el agua, característica coherente con la naturaleza fuertemente hidroxilada del esquizofilano.

En la región comprendida entre 2950 y 2850 cm^{-1} se observan bandas asociadas al estiramiento de enlaces $\text{C}-\text{H}$ alifáticos, correspondientes a los grupos metileno y metilo, respectivamente, presentes en las unidades de glucosa. Adicionalmente, se identifica una banda de

absorción en torno a 1650 cm^{-1} , atribuida al estiramiento de enlaces $\text{C}=\text{O}$. Esta señal puede asociarse a residuos del medio de cultivo que permanecieron atrapados en la matriz polimérica o a la presencia de grupos carbonilo formados por oxidación parcial de los grupos hidroxilo primarios ($-\text{CH}_2\text{OH}$) localizados en el carbono 6 de las ramificaciones β -(1 \rightarrow 6) del polisacárido, los cuales son los más susceptibles a oxidarse durante la precipitación con etanol o el contacto con el aire en el proceso de secado del biopolímero. Fenómeno también reportado por (Mohammadi et al., 2018), en muestras de esquizofilano obtenidas por fermentación de *Schizophyllum commune*.”

Las señales más características del biopolímero se encuentran en la región de 1200 a 900 cm^{-1} , donde se observa una serie de bandas asociadas al estiramiento de enlaces $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ y $\text{C}-\text{O}-\text{H}$, típicos de los enlaces glucosídicos entre unidades de monosacáridos. En particular, la banda situada alrededor de 890 cm^{-1} es indicativa de la configuración β -anomérica, lo que confirma la naturaleza β -glucánica del polímero. Esta señal es característica de enlaces β (1 \rightarrow 3), con posibles ramificaciones β (1 \rightarrow 6), como ha sido descrito para los biopolímeros producidos por *Schizophyllum commune* (Mohammadi et al., 2018). Finalmente, se observan bandas por debajo de los 800 cm^{-1} , las cuales corresponden a vibraciones fuera del plano del anillo de glucopiranosas.(Mongkontanawat & Thumrongchote, 2021).

En conclusión, las bandas observadas en el espectro FTIR del presunto biopolímero esquizofilano (Figura 9) corresponden a los grupos funcionales y sus modos de vibración característicos, los cuales son consistentes con la estructura de un polisacárido tipo β -glucano de origen fúngico. Estos resultados confirman la presencia de los grupos funcionales esperados para productos derivados de *Schizophyllum commune* como el esquizofilano.

7.3 Pruebas de viscosidad

El biopolímero Esquizofilano, evaluado en una concentración del 2 % (p/p) bajo la denominación SLN3, correspondiente a una fracción previamente purificada del biopolímero, fue caracterizado mediante pruebas de viscosidad rotacional a dos temperaturas promedio de 9 y 25 °C, empleando velocidades de cizallamiento de 30, 50, y 70 [s⁻¹]. La caracterización se realizó con el objetivo de analizar el comportamiento reológico del biopolímero en condiciones que simulan su potencial aplicación en procesos de recobro químico de petróleo.

En la tabla 2 se muestran los valores de viscosidad del biopolímero para dos temperaturas y tres velocidades de cizallamiento.

Tabla 2.

Comportamiento de la viscosidad de la solución del biopolímero.

Temperatura, °C	Propiedades	Valor 1	Valor 2	Valor 3
9	Viscosidad [cP]	2900	1800	2100
	Velocidad de cizallamiento [s ⁻¹]	30	50	70
25	Viscosidad [cP]	2850	2500	1800
	Velocidad de cizallamiento [s ⁻¹]	30	50	70

Para analizar los resultados se aplica la representación simple del modelo de la potencia conocido como “Ostwald-de Waele”, usando la siguiente expresión:

$$\tau = K \cdot \gamma^n$$

Siendo:

τ = esfuerzo cortante (Pa).

γ = velocidad de cizallamiento (s^{-1})

n = índice de flujo (adimensional)

K = consistencia del fluido

Ajustando la ecuación anterior, se tiene:

$$\eta_{app} = \frac{\tau}{\gamma} \longrightarrow \eta_{app} = K \cdot \gamma^{n-1}$$

Siendo η_{app} la viscosidad aparente. Linealizando la ecuación, se obtienen los parámetros n y K para cada temperatura.

$$\ln(\eta_{app}) = \ln(K) + (n - 1) \cdot \ln(\gamma)$$

Por tanto, los resultados permiten determinar que la viscosidad (K) de la solución de biopolímero a 9 y 25 °C es de 10000 y 14500 cP, y el parámetro n estuvo en el orden de 0.62 y 0.57. El parámetro K se puede considerar como el índice de consistencia o la magnitud global de la resistencia al flujo.

De los resultados se pueden interpretar dos consideraciones:

1. La disminución del índice de flujo (n) de 0.62 a 0.57 con el incremento de la temperatura indica que la viscosidad disminuye con mayor rapidez al aumentar γ . Entre tanto, en ambos casos el parámetro n es menor a 1, lo que permite evidenciar que la

solución del biopolímero tiene un comportamiento de fluido pseudoplástico (la viscosidad del fluido disminuye con el aumento de γ).

2. El valor de K aumenta con la temperatura siendo mayor a 25 °C, pero este parámetro actúa con n. Para valores bajos de γ las viscosidades a 9 y 25 °C son muy cercanas. Sin embargo, a mayores velocidades γ la viscosidad a 25 °C disminuye, lo cual refleja menor n.

Por otro lado, como se observa en la Tabla 2, la viscosidad disminuye inicialmente entre 30 y 50 s⁻¹, comportamiento típico de un fluido no newtoniano pseudoplástico, donde las fuerzas de cizallamiento interrumpen las asociaciones físicas temporales entre cadenas poliméricas, facilitando el flujo. No obstante, a 70 s⁻¹ se registra un aumento inesperado de la viscosidad, pasando de 1800 cP a 2100 cP. Esta inversión sugiere la presencia de una respuesta viscoelástica no lineal, posiblemente debida a la reorganización temporal de la red macromolecular del polisacárido bajo esfuerzo, lo cual es común en polisacáridos fúngicos ramificados como el esquizofilano (Qin et al., 2013).

Este fenómeno indica que la estructura del biopolímero, tras haber sido sometida a purificación por centrifugación, mantiene un grado de integridad molecular que le permite resistir esfuerzos mecánicos sin desintegrarse completamente. En aplicaciones de recobro químico, donde los fluidos se inyectan en medios porosos sometidos a gradientes de presión, esta propiedad se traduce en un mejor desempeño como agente de control de movilidad, contribuyendo a mejorar la eficiencia del barrido del petróleo y la reducción del corte de agua (Triana et al., 2019).

Desde el punto de vista operativo, una viscosidad en el orden de 2000–3000 cP a bajas velocidades de cizallamiento es considerada favorable para mantener la presión del frente de desplazamiento, al tiempo que se reduce la canalización del fluido hacia zonas de alta permeabilidad.

A partir de los resultados se puede indicar que el biopolímero posiblemente muestra un comportamiento reológico notable frente a los polímeros convencionales utilizados en recuperación mejorada de petróleo, como la HPAM (poliacrilamida parcialmente hidrolizada) y la goma xantana. Las pruebas realizadas a dos temperaturas distintas (9 °C y 25 °C) como se muestra en la tabla 2 evidenciaron que SLN3 posee una viscosidad aparente superior a 2900 cP a 30 s⁻¹, manteniéndose por encima de los 1700 cP incluso a 70 s⁻¹, lo que denota una alta resistencia al cizallamiento y una estabilidad térmica favorable.

En comparación, la HPAM al 0.25 % en salmuera presenta viscosidades entre 11 y 13 cP mostrando una degradación significativa ante aumentos de temperatura, salinidad o velocidad de corte, sin embargo, en soluciones de agua dulce o de baja salinidad, alcanza viscosidades cercanas a 900 cP (Gussenov et al., 2024). Por su parte, la goma xantana al 1 % en soluciones acuosas alcanza viscosidades de 1200 a 1800 cP, pero su comportamiento es netamente pseudoplástico y no presenta capacidad de recuperación estructural tras la ruptura del gel (Ciencia de fluidos limitada, 2025). En comparación, el esquizofilano exhibió una ruptura estructural controlada al ser sometido al esfuerzo mecánico del viscosímetro, lo que indica la presencia de una red tridimensional viscoelástica que se desorganiza bajo cizallamiento, pero puede reorganizarse parcialmente. Este tipo de respuesta adaptativa lo convierte en un candidato altamente prometedor

para procesos de recobro químico, ya que permite fluir a través de los poros del yacimiento sin taponarlos de forma permanente, mientras genera zonas de barrido más eficientes.

En conjunto, la viscosidad elevada, la estabilidad térmica y la capacidad de ruptura-reorganización estructural del biopolímero SLN3 identificado como esquizofilano lo posicionan como una alternativa ecológicamente más sostenible frente a los polímeros sintéticos actualmente utilizados en la industria (Qin et al., 2013; Sletmoen & Stokke, 2008; Soledispa, 2023; Triana et al., 2019; Zhang et al., 2013) y confirman su idoneidad como biopolímero funcional para aplicaciones en técnicas de recuperación mejorada de petróleo (EOR), especialmente en condiciones donde se requiera estabilidad estructural y adaptabilidad reológica.

8. Conclusiones

La investigación permitió obtener y caracterizar un biopolímero derivado del hongo *Schizophyllum commune*, identificado como esquizofilano, confirmando su estructura de polisacárido tipo β -glucano con potencial aplicación en procesos de recobro químico de petróleo.

El proceso de aislamiento y cultivo del hongo, seguido de la extracción y purificación por precipitación con etanol, permitió recuperar 0.456 g de exopolisacárido por litro de sobrenadante. Los análisis estructurales por RMN- ^1H revelaron señales en la región de 3,0–4,0 ppm asociadas a protones del anillo glucopiranosico, con presencia de protones anoméricos en 4,8 ppm. Por su parte, el espectro de RMN- ^{13}C mostró señales entre 60 y 105 ppm, asignadas a los carbonos C1–C6, señales características de enlaces β -(1 \rightarrow 3) y β -(1 \rightarrow 6). El espectro FTIR mostró bandas entre 3600–3200 cm^{-1} (–OH), 890 cm^{-1} (configuración β -anomérica) y 1200–900 cm^{-1} (C–O–C y C–O–H), lo que corroboró la naturaleza β -glucánica del biopolímero.

En cuanto a sus propiedades reológicas, el esquizofilano presentó viscosidades superiores a 2900 cP a 30 s^{-1} y se mantuvo por encima de 1700 cP incluso a 70 s^{-1} , a temperaturas de 9 °C y 25 °C respectivamente. Los parámetros del modelo de Ostwald-de Waele mostraron valores de K entre 10000 y 14500 cP y de n entre 0,57 y 0,62, lo que confirma su carácter no newtoniano y la capacidad de reorganización estructural bajo esfuerzos de cizallamiento.

Comparativamente, mostró un desempeño superior a la poliacrilamida parcialmente hidrolizada (HPAM), cuyas viscosidades pueden llegar a 900 cP, y a la goma xantana (1200–1800 cP), resaltando la ventaja del biopolímero obtenido en términos de estabilidad y resistencia, lo que

perfila al esquizofilano como un candidato altamente prometedor para procesos de recobro mejorado de petróleo.

Referencias

- Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). (2023). Informe de recursos y reservas con corte diciembre de 2022, insumo para la Transición Energética Justa en Colombia. *ANHColombia*.
https://www.minhacienda.gov.co/webcenter/ShowProperty?nodeId=%2FConexionContent%2FWCC_CLUSTER-221449%2F%2FidcPrimaryFile&revision=latestreleased
- AIE. (2018). *¿Qué pasó con la recuperación mejorada de petróleo?*
<https://www.iea.org/commentaries/whatever-happened-to-enhanced-oil-recovery>
- Alejandra, M., Gómez, M., Carolina, A., & Moreno, V. (2018). *Evaluación Técnico-Financiera De La Inyección De Una Enzima Biológica Como Método De Recobro Mejorado De Petróleo Para El Pozo H2 Del Campo Llanos 28 (Tesis de pregrado)* [Universidad de América. Repositorio UAmérica, Colombia].
<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6823/1/5111715-2018-2-IP.pdf>
- Alexandri, E., Ahmed, R., Siddiqui, H., Choudhary, M. I., Tsiafoulis, C. G., & Gerothanassis, I. P. (2017). Espectroscopia de RMN de alta resolución como herramienta estructural y analítica para lípidos insaturados en solución. *Moléculas: Revista de química sintética y química de productos naturales*. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES22101663>
- Alzate, D., León, J., Cabrera, F., & Manrique, E. (2017). Evidencias De La Formación De CDG Y Posibles Interpretaciones De Pruebas De Desplazamiento En Muestras De Núcleos. *Revista Fuentes, Revistas UIS*. <https://doi.org/10.18273/revfue.v15n2-2017003>

- Barrera, A. R. (2021). *Polímeros Sintéticos y Biopolímeros en Procesos de Recobro Químico de Crudo Pesado - CEOR (tesis de pregrado)* [Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Repositorio UNAD.].
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/40332/arbarreraa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bravo, E. (2007). Los Impactos De La Explotacion Petrolera En Ecosistemas Tropicales Y La Biodiversidad (tesis de pregrado) [Universidad Nacional Autónoma de México]. En *Universidad Nacional Autónoma de México*.
<https://www.rua.unam.mx/portal/recursos/ficha/13999/los-impactos-de-la-explotacion-petrolera-en-ecosistemas-tropicales-y-la-biodiversidad>
- Bueno, S. (2008). Conversaciones sobre el agua ¿Hacia dónde fluyen los residuales? [*Artículo Blog Economía*]. <https://www.sonia-bueno.net/media/Conversaciones%20sobre%20el%20agua%20IV%2020%2001%202008.pdf>
- Ciencia de fluidos limitada. (2025). *Especificaciones de la goma xantana*.
https://www.fluidscienceltd.com/wp-content/uploads/Fluid-Science-Xanthan-Gum-Specification.pdf?srsId=AfmBOooIjayuSgnwMt9GDBYEI9LvaYSp8dpKpNrh51oxfIiKcAH_RH4
- Dias, S. E., León, J. A., Zamora, E. R., & Caselles, A. (2013). Diseño de un humedal construido para el tratamiento del agua de producción de un campo de petróleo colombiano - Universidad Industrial de Santander UIS. *Reventón energético*.

https://uis.primo.exlibrisgroup.com/discovery/fulldisplay?context=PC&vid=57UIDS_INST:UIDS&search_scope=MyInst_and_CI&tab=Everything&docid=cdi_dialnet_primary_oai_dialnet_unirioja_es_ART0000685142

Du, B., Meenu, M., Liu, H., & Xu, B. (2019). Una revisión concisa sobre la relación entre la estructura molecular y la función del β -glucano. *Revista Internacional de Ciencias Moleculares*, 20. <https://doi.org/10.3390/IJMS20164032>

Ecopetrol S.A. (2022). *Informe Integrado De Gestión 2022*. <https://files.ecopetrol.com.co/web/esp/agaesp2023/informe-integrado-gestion2022.pdf>

Gussenov, I., Shakhvorostov, A., Ayazbayeva, A., & Kudaibergenov, S. E. (2024). Pruebas de laboratorio de inundación de polímeros mediante poliacrilamida hidrolizada en condiciones de alta salinidad. *Revista químico-tecnológica euroasiática*. <https://doi.org/10.18321/ECTJ1648>

Jimenez, A. M., Muñoz, S. F., & Jimenez, R. (2015). Metodología Para El Diseño De Baches En Un Proceso De Inyección De Polímeros Para Recobro Mejorado, Considerando Fenómenos De Interacción Roca/Fluidos. *Revista Fuentes, Revistas UIS*. <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistafuentes/article/view/4791>

Kono, H., Kondo, N., Hirabayashi, K., Ogata, M., Totani, K., Ikematsu, S., & Osada, M. (2017). Datos de RMN bidimensionales de un β -(1 \rightarrow 3, 1 \rightarrow 6)-glucano soluble en agua de *Aureobasidium pullulans* y esquizofilano de *Schizophyllum commune*. *Datos breves, Elsevier*, 15, 382. <https://doi.org/10.1016/J.DIB.2017.09.067>

- Kumari, M., Survase, S. A., & Singhal, R. S. (2008). Producción de esquizofilano utilizando *Schizophyllum commune* NRCM. *Bioresource Technology*.
<https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2007.02.029>
- Liu, Z. xia, Liang, Y., Wang, Q., Guo, Y. jun, Gao, M., Wang, Z. bo, & Liu, W. lu. (2020). Estado y progreso de las aplicaciones de campo de EOR en todo el mundo. *Revista de ciencia e ingeniería del petróleo*. <https://doi.org/10.1016/J.PETROL.2020.107449>
- Mancinelli, K. C. B., Dalonso, N., Pezzin, A. P. T., Sasaki, G. L., de Oliveira Petkowicz, C. L., Lima, D. D. de, Moritz, A. H. L., Alberton, M. D., & Erzinger, G. S. (2024). Esquizofilano de *Schizophyllum commune* BRM 060008: Posible aplicación como inhibidor de la lipasa. *Revista internacional de macromoléculas biológicas*.
<https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2023.129108>
- Mohammadi, A., Shojaosadati, S. A., Tehrani, H. J., Mousavi, S. M., Saleh, T., & Khorasani, A. C. (2018). Producción de esquizofilanos por el hongo recién aislado *Schizophyllum commune* IBRC-M 30213: optimización del medio de cultivo mediante la metodología de superficie de respuesta. *Anales de Microbiología*, 68, 47–62. <https://doi.org/10.1007/S13213-017-1316-9/METRICS>
- Mongkontanawat, N., & Thumrongchote, D. (2021). Efecto de las cepas y los métodos de extracción sobre la producción de β -glucano, las propiedades antioxidantes y los espectros FTIR de los cuerpos fructíferos del hongo *Schizophyllum commune* Fr. en Tailandia. *Revista Investigación alimentaria*, 5, 410–415. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(4\).259](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(4).259)

- Nelson DL, C. MM. (2015). *Lehninger. Principios de Bioquímica*. (Reverté, Ed.; 6.^a ed.).
<https://repositoriobibliotecas.uv.cl/bitstreams/5515aa69-78bd-4c80-bd5c-bb3a3205ab19/download>
- Qin, F., Sletmoen, M., Stokke, B. T., & Christensen, B. E. (2013). Estructuras de orden superior de un (1→3)-β-d-glucano bioactivo soluble en agua derivado de *Saccharomyces cerevisiae*. *Polímeros de carbohidratos*, 92, 1026–1032.
<https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2012.10.013>
- Saitô, H., Tabeta, R., Yoshioka, Y., Hara, C., Kiho, T., & Ukai, S. (2006). Estudio de RMN de ¹³C en estado sólido de alta resolución de la estructura secundaria de (1→3)-β- d -glucanos ramificados de hongos: evidencia de dos tipos de conformadores, hélice simple tipo curdlano y hélice triple tipo laminarano, como se manifiesta a partir de los desplazamientos químicos de ¹³C dependientes de la conformación. *Boletín de la Sociedad Química de Japón*.
<https://doi.org/10.1246/BCSJ.60.4267>
- Salager, J.-L. (2005). *Cuaderno Firp S357-C Cuaderno Firp S357-C Formulación, Interfases, Reología y Procesos Mérida-Venezuela (2005) Recuperacion Mejorada Del Petroleo*.
- Sletmoen, M., & Stokke, B. T. (2008). Revisión: Estructura de orden superior de los (1,3)-β-D-glucanos y su influencia en sus actividades biológicas y capacidades de complejación. *Revista Biopolimeros*, 89, 310–321.
<https://doi.org/10.1002/BIP.20920;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER>
- Soledispa, V. (2023). “Evaluación Mediante Pruebas De Laboratorio El Comportamiento Viscoelástico De Crudos Pesados Y Extrapesados Del Oriente Ecuatoriano Con Aditivo

Reductor De Viscosidad''(tesis de pregrado) [Universidad Estatal Península de Santa Elena].

<https://repositorio.upse.edu.ec/items/ab48acc4-d5bf-40bc-a276-23d2cf3b9c04>

Sung, K. H., Josewski, J., Dübel, S., Blankenfeldt, W., & Rau, U. (2018). Información estructural sobre el reconocimiento de antígenos de un anticuerpo anti- β -(1,6)- β -(1,3)-D-glucano. *Revista Reportes Científicos*, 8, 1–10. <https://doi.org/10.1038/S41598-018-31961-X>;TECHMETA

Synytsya, A., & Novák, M. (2013). Diversidad estructural de los glucanos fúngicos. *Polímeros de carbohidratos*, 92, 792–809. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2012.09.077>

Triana, L. , Vera, P. , Ardila Suarez., & C et al. (2019). Variablesinfluyentesenlaelaboracindebioplásticosapartirdelame. *Revista Informador Técnico*. https://www.researchgate.net/publication/355437634_Variables_influyentes_en_la_elaboracion_de_bioplásticos_a_partir_del_name

Triana, L., Vera, P., Ardila-Suarez, C., Castro-García, R.-H., Quintero-Pérez, H.-I., Manrique, E., & Ramírez-Caballero, G. E. (2019). Estudio experimental para el establecimiento de protocolos para caracterizaciones de concentraciones de biopolímeros de diferentes medios acuosos (agua dulce, salmuera) utilizados en recobro mejorado a través de diferentes técnicas. *SENA, Informador Técnico*, 83. <https://link.gale.com/apps/doc/A612929146/IFME?u=googlescholar&sid=googleScholar&xid=bb342c41>

- Valoraanalitik. (2024, junio 2). *Esta es la meta de Colombia para subir el recobro mejorado y reservas de hidrocarburos*. https://www.valoraanalitik.com/esta-es-la-meta-de-colombia-para-subir-el-recobro-mejorado-y-reservas-de-hidrocarburos/?utm_source
- Yamashita, I., Yaguchi, T., Kobayashi, Y., Ito, H., Komori, H., Noda, K., Sato, Y., Nishinari, K., & Nitta, Y. (2025). Estudios de reología y RMN de la formación de gel verdadero y el mecanismo de gelificación del lentinano. *Hidrocoloides alimentarios*, *167*, 111–415. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2025.111415>
- Zhang, Y., Kong, H., Fang, Y., Nishinari, K., & Phillips, G. O. (2013). Esquizofilano: una revisión sobre su estructura, propiedades, bioactividades y desarrollos recientes. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, *1*, 53–71. <https://doi.org/10.1016/J.BCDF.2013.01.002>

Apéndices

Apéndice A.

Notificación salida a campo para la colecta de material biológico, Permiso Marco de Recolección No. IDB0398 – Autoridad Nacional de Licencias Ambientales -ANLA.

Bucaramanga, 13 de junio de 2025

Señores
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN
Universidad Industrial de Santander

Asunto: Notificación salida a campo para la colecta de material biológico, Permiso Marco de Recolección No. IDB0398 – Autoridad Nacional de Licencias Ambientales -ANLA.

Por medio de la presente, en mi calidad de profesora adscrita al CEIAM e investigadora contemplada dentro del Permiso Marco de Recolección No. IDB0398 de la ANLA, me permito notificar a esta Vicerrectoría la salida de campo al Cerro de Pan de Azúcar, Bucaramanga, Santander que se realizará el viernes 20-06-2025, en el marco del proyecto de grado de química "Obtención de un biopolímero a partir de *Schizophyllum commune* como alternativa para el recobro químico de crudo pesado colombiano", con el objetivo de recolectar material biológico correspondiente al hongo *Schizophyllum commune*, un total de 5 especímenes, para aislamiento y evaluación de la producción del biopolímero.

Lo anterior, en cumplimiento de lo estipulado en el Parágrafo 1 del Artículo Cuarto de la Resolución No. 0047 de la ANLA (...) La UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, deberá mediante comunicación escrita informar a esta Autoridad Nacional acerca de los especímenes que serán objeto de recolección y movilización en cada uno de los proyectos realizados en el marco del Permiso de Recolección otorgado, la cual debe ser aportada por los investigadores que realicen las actividades de recolección en el proyecto, junto con la copia del Permiso Marco de Recolección.

Gracias por su atención.

Nota. Carta de Comunicación de notificación de salida a campo – Universidad Industrial de Santander

Apéndice B.**Permiso Marco de Recolección de Material Biológico No. IDB0398 – ANLA**

29/06/25, 16:31

RE: Notificación salida de campo pan de azúcar: CLARA INES SANCHEZ SUAREZ - Outlook

**RE: Notificación salida de campo pan de azúcar**

Desde Licencias Material Biológico

Fecha: Lun 16/06/2025 9:44

Para: CLARA INES SANCHEZ SUAREZ

Buen día

Estimada profesora Clara

De manera atenta me permito confirmar recibido de la comunicación adjunta al correo en fila, por lo cual ya se procedió a notificar a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA.

Tenga en cuenta que, de acuerdo con las fechas relacionadas en su comunicación, esta actividad de recolección estaría dentro del periodo semestral ANLA No. 19; temporalidad comprendida entre **abril del 2025 a Septiembre del 2025**. Por ello, en el mes de **septiembre del 2025** deberá realizar el reporte de esta actividad, conforme a la solicitud de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión – VIE. Recuerde que si su reporte será de carácter:

• **Parcial**, deberá remitir a la VIE los siguientes documentos:

1. FUN – Relación de Material Colectado de carácter parcial.
2. Certificado SiB en el cual se relacione los especímenes colectados en el marco de la salida a campo.

• **Final**, deberá remitir a la VIE los siguientes documentos:

1. FUN – Relación de Material Colectado de carácter final.
2. Informe final de actividades de recolección, mencionando la siguiente información: Nombre del proyecto, nombre del responsable técnico, métodos de recolección, mencionar los sitios con las respectivas coordenadas (o lo más exacto posible ciudad, localidad, etc.) y el sistema de coordenadas, donde efectivamente se hizo la recolección de las muestras. Tratamiento de las muestras y/o recurso biológico y así como su disposición final.
3. Carta emitida por el curador de la colección biológica, registrada ante el Instituto Alexander von Humboldt, donde se depositaron los especímenes colectados.

about:blank

1/3

29/6/25, 16:31

RE: Notificación salida de campo pan de azúcar: CLARA INES SANCHEZ SUAREZ - Outlook

4. Certificados SiB en los cuales se relacionen la totalidad de especímenes colectados dentro del proyecto.
5. Publicaciones derivadas del proyecto

Cordialmente,

**KAREN SILVANA CARRILLO
CARREÑO**
Profesional - Propiedad
Intelectual
Vicerrectoría de Investigación
y Extensión
PBX: +57 (607) 634 4000 ext.
2982
Campus Principal
Carrera 27 Calle 9
Bucaramanga, Colombia
www.uis.edu.co



De: CLARA INES SANCHEZ SUAREZ
Enviado el: viernes, 13 de junio de 2025 10:14 a. m.
Para: Licencias Material Biológico <recursosbio@uis.edu.co>
Asunto: Notificación salida de campo pan de azúcar

Bucaramanga, 13 de junio de 2025

Señores
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN
Universidad Industrial de Santander

Asunto: Notificación salida a campo para la colecta de material biológico, Permiso Marco de Recolección No. IDB0398 – Autoridad Nacional de Licencias Ambientales -ANLA.

Por medio de la presente, en mi calidad de profesora adscrita al CELAM e investigadora contemplada dentro del Permiso Marco de Recolección No. IDB0398 de la ANLA, me permito notificar a esta Vicerrectoría la salida de campo al Cerro de Pan de Azúcar, Bucaramanga, Santander que se realizará el viernes 20-06-2025, en el marco del proyecto de grado de química "Obtención de un biopolímero a partir de *Schizophyllum commune* como alternativa para el recobro químico de crudo pesado colombiano", con el objetivo de recolectar material biológico correspondiente al hongo *Schizophyllum commune*, un total de 5 especímenes, para aislamiento y evaluación de la producción del biopolímero.

Lo anterior, en cumplimiento de lo estipulado en el Parágrafo 1 del Artículo Cuarto de la Resolución No. 0047 de la ANLA (...) La UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, deberá mediante

mailto:blank

2/3

Nota. Documento de notificación a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), Permiso Marco de Recolección No. IDB0398.