

**DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN INHIBIDOR NATURAL A BASE DE LA PLANTA
ALTHAEA OFFICINIALIS PARA LA PREVENCIÓN DE INCRUSTACIONES
INORGÁNICAS DE CARBONATO DE CALCIO EN LAS TUBERÍAS DE
PRODUCCIÓN A ESCALA DE LABORATORIO**

**JEAN PIERRE BETANCOURT PADILLA
FRANCISCO JAVIER TALERO RODRIGUEZ**

**Proyecto integral de grado para optar al título de
Ingeniero de Petróleos**

Orientador

NELSON FERNÁNDEZ BARRERO

Ingeniero químico

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BOGOTÁ D.C.**

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

Ing. Nelson Fernández Barrero
Firma del Director

Ing. Yatnielah Isbel Pirela Ropero
Firma Jurado

Ing. Edinson Enrique Jiménez Bracho
Firma Jurado

Bogotá, D.C. junio de 2021.

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA

Consejero Institucional

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCIA-PEÑA

Vicerrectora de Académica y de Investigaciones

Dra. ALEXANDRA MEJIA GUZMAN

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO

Secretario General

Dr. JOSÉ LUIS MACÍAS RODRÍGUEZ

Decano Facultad de Ingenierías

Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director del Programa de Ingeniería de Petróleos

Ing. JUAN CARLOS RODRÍGUEZ ESPARZA

DEDICATORIA

Este proyecto de grado va dedicado a mi familia, que siempre se mostraron de manera comprensiva y complaciente, ante mis ausencias reiterativas, producto de esta investigación. En especial, a mi padre Jalil José Betancourt Dager, mi madre Dalila Rosa Padilla Buelvas y mi hermano Jalil José Betancourt Padilla. Los cuales fueron, son y serán mis apoyos morales, emocionales y espirituales. De ellos, he aprendido los valores de la vida, de los cuales me han inculcado y que me han ayudado a salir adelante como ingeniero de petróleo en formación.

Una mención especial a mi prima Diana Carolina Serge Dager, por ser una hermana incondicional imprimiendo alegría, felicidad y amor a mi vida. Destacando, su intervención en los momentos más duros de mis estudios académicos, con su presencia y palabras inspiradoras para seguir adelante durante este largo camino.

De manera similar, dedico este arduo y humilde trabajo investigativo, a mis familias presentes en las ciudades de Montería y Barranquilla, por ser la razón de mi felicidad e inspiración en los retos académicos, que conllevaron a la culminación de mi carrera académica de una manera satisfactoria.

Una referencia especial a mis amigos, que siempre han estado presentes a lo largo de este camino académico, por su paciencia y comprensión ante los momentos de adversidad durante este recorrido normativo. Cabe una mención especial, a Francisco Javier Talero Rodríguez que es mi compañero y amigo, por su paciencia, consejos y dedicación, a este proyecto investigativo llevado a cabo juntos.

Finalmente, y no menos importante, dedico este trabajo a Regina Jurado Jiménez, por ser la persona que me ha apoyó de manera incondicional y me ha brindado apoyo moral, sentimental y espiritual en los peores momentos de mi carrera. Además, eres un pilar fundamental en mi vida, por todas las cosas que hemos logrado como pareja y que seguiremos alcanzando.

JEAN PIERRE BETANCOURT PADILLA.

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo quiero dedicar principalmente a mi familia, quienes desde un inicio me han brindado incondicional apoyo para poder alcanzar mis metas y llegar a cumplir mis sueños. En manera de mención directa, quiero generar una dedicación especial a mis padres, Jairo Hernando Talero Figueroa y Martha Lucia Rodríguez Hernández, por enseñarme cada virtud que aplico día a día, por ser mis pilares y ejemplos para seguir y por acompañarme de durante todo este recorrido para lograr conseguir mi correspondiente título profesional. Además, quiero ampliar una mención a mi familia en general, desde aquellos que se encuentran en la ciudad de Bogotá como mis abuelos, German Rodríguez y Bertha Hernández; mis hermanas, Claudia Talero y Paola Talero; a mis sobrinas, Violeta Coral y Martina Mella; y demás familia como tíos y primos, los cuales han aportado a mi vida mucho amor y apoyo para lograr mis propósitos tanto personales y como profesionales.

De igual manera, quiero dedicar este proyecto de grado a Sara Carolina Mendoza Remolina, quien me ha brindado su apoyo, paciencia y cariño incondicional, y me ha ayudado a crecer como persona a lo largo de mi trayecto profesional. Tu amor ha sido uno de los mayores tesoros que he podido encontrar durante el paso por mi carrera. Estoy seguro de que juntos vamos a seguir cultivando una hermosa relación y continuaremos creciendo como pareja.

Por último, y no menos importante, quiero dedicar este trabajo a todos mis amigos, quienes me han acompañado durante mi proceso de formación como ingeniero. En especial, quiero extender una dedicatoria a mi compañero de tesis, Jean Pierre Betancourt, quien ha desarrollado junto a mi este arduo proyecto y me ha brindado su amistad durante toda mi carrera.

FRANCISCO JAVIER TALERO RODRIGUEZ.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece en primera instancia a la institución de educación superior **Fundación Universidad de América**, al cuerpo directivo y en general a todo el personal de apoyo por su colaboración directa e indirecta para poder llevar a cabo este proyecto de investigación donde están depositados todos nuestros conocimientos y esfuerzos.

Se agradece a la ingeniera **Diana Carolina Simancas Caraballo**, por su tiempo, colaboración, dedicación, atención y paciencia, para lograr cumplir con el desarrollo de este trabajo de grado, donde nosotros, en posición de autores del proyecto reconocemos su esfuerzo y compromiso para poder alcanzar a cumplir esta meta.

Se agradece al ingeniero **Nelson Fernández Barrero** por su compromiso, directriz y colaboración para culminar el desarrollo de este proyecto, aportando conocimientos, sabiduría y consejos incorporados, lo cuales fueron de gran valor para alcanzar los objetivos propuestos en el presente documento.

Se agradece al ingeniero **Luis Castillo Campos**, por todos sus consejos y conocimientos brindados, y por proporcionar de manera incondicional y sin lucro su sabiduría en este tema, siendo una eminencia dentro del mismo campo.

Finalmente, se agradece a los distribuidores de la micro empresa **Krisdael**, por proporcionarnos el acceso a la materia prima de una manera rápida, concisa y transparente.

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	14
INTRODUCCIÓN	15
1. MARCO TEÓRICO	18
1.1. Althaea officinalis	18
1.1.1. <i>Información Botánica</i>	19
1.1.2. <i>Propiedades medicinales</i>	19
1.1.3. <i>Composición química</i>	20
1.1.4. <i>Condiciones de cultivo</i>	20
1.2. Propiedades de la Althaea Officinalis	20
1.2.1. <i>Mucílago</i>	21
1.2.2. <i>Grupos carboxílicos</i>	21
1.3. Polisacáridos	21
1.3.1. <i>Tipos de polisacáridos</i>	22
1.4. Incrustaciones inorgánicas	24
1.4.1. <i>Nucleación</i>	25
1.4.2. <i>Tipos de escamas inorgánicas</i>	26
1.5. Producción de Hidrocarburos	27
1.5.1. <i>Etapas de la vida de un campo petrolífero</i>	28
1.6. Tratamientos de incrustaciones inorgánicas	32
1.6.1. <i>Tratamientos de remoción</i>	32
1.6.2. <i>Tratamientos de inhibición</i>	36
1.7. Química verde	37
1.8. Nueva metodología para la evaluación de productos inhibidores	37
1.8.1. <i>Norma NACE 0374 del año 2007</i>	37
1.8.2. <i>Modelo de medición continua de pH</i>	38
1.8.3. <i>Índice de saturación de Langelier</i>	39
2. METODOLOGÍA Y DATOS	41
2.1. Obtención y caracterización del mucílago	41

2.2.	Caracterización del agua sintética e índice de Langelier	43
2.3.	Norma NACE TM 0374 del año 2007	44
2.4.	Modelo de medición de pH continuo	45
2.5.	Evaluación de resultados	48
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	50
3.1.	Obtención y caracterización del mucilago	50
3.1.1.	<i>Obtención del mucilago</i>	50
3.1.2.	<i>Caracterización fisicoquímica del mucilago</i>	58
3.2.	Caracterización del agua sintética y LSI inicial	67
3.2.1.	<i>Características fisicoquímicas del agua sintética</i>	67
3.2.2.	<i>Índice de Langelier antes del tratamiento con inhibidor</i>	69
3.2.3.	<i>Tabla resumen para el índice de Langelier inicial</i>	69
3.3.	Norma NACE TM-0374 del año 2007	70
3.4.	Medición de pH continuo	77
3.5.	Evaluación de resultados	79
4.	CONCLUSIONES	82
	BIBLIOGRAFÍA	86
	ANEXOS	95

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Planta <i>Althaea Officinalis</i> Blanca	18
Figura 2. Planta <i>Althaea Officinalis</i> Rosa	19
Figura 3. Estructura molecular de la amilosa y amilopectina	22
Figura 4. Estructura molecular del glucógeno	23
Figura 5. Estructura molecular celulosa	23
Figura 6. Incrustación inorgánica en tubería de producción	25
Figura 7. Proceso de cristalización	26
Figura 8. Incrustaciones inorgánicas típicas en la industria petrolera	27
Figura 9. Perforación Costa adentro	29
Figura 10. Perforación Costa afuera	29
Figura 11. Pozo horizontal	30
Figura 12. Bombeo electrosumergible	31
Figura 13. Tipos de limpiezas para la remoción de incrustaciones inorgánicas	34
Figura 14. Lechada abrasiva en tuberías de producción	35
Figura 15. Mecanismos de acción de inhibidores	36
Figura 16. Metodología para la evaluación de inhibidores de incrustaciones	47
Figura 17. Bismalva seca	50
Figura 18. Trituración de materia prima por molino	51
Figura 19. Producto tamizado en la malla de 150 μm	52
Figura 20. Peso de muestra de material prima para extracción	53
Figura 21. Montaje de hidrólisis	54
Figura 22. Montaje bomba al vacío	55

Figura 23. Producto filtrado	55
Figura 24. Montaje para precipitación de mucilago	56
Figura 25. Mucilago precipitado	56
Figura 26. Mucilago húmedo	57
Figura 27. Mucilago en polvo	57
Figura 28. Color y apariencia del mucilago	58
Figura 29. Montaje para determinación de viscosidad	59
Figura 30. Montaje de tamices	60
Figura 31. Gráfico de estabilidad térmica del mucilago	62
Figura 32. Montaje para densidad aparente	63
Figura 33. Pastillas KBr con la muestra y duplicado de mucilago	64
Figura 34. Equipo de espectrofotometría Shimadzu IR Prestige-21	65
Figura 35. Determinación solidos disueltos	68
Figura 36. Inicio prueba NACE	71
Figura 37. Final prueba NACE	71
Figura 38. Montaje de muestras para NACE	72
Figura 39. Eficiencia de inhibición a diferentes concentraciones de producto	75
Figura 40. Eficiencia del INTAV y el Scaletrol	76
Figura 41. Montaje pH continuo	78
Figura 42. Resultados de la prueba pH continuo a diferentes concentraciones	78

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Interpretación de resultados de LSI	40
Tabla 2. Matriz de evaluación para la variación de tendencia incrustante	44
Tabla 3. Matriz de evaluación para la eficiencia del producto	45
Tabla 4. Matriz de evaluación para la variación del índice de supersaturación	48
Tabla 5. Resultados de estabilidad térmica	62
Tabla 6. Resultado de Grupos funcionales mediante espectrofotometría IR	66
Tabla 7. Tabla de resultados caracterización del mucilago	67
Tabla 8. Características fisicoquímicas del agua sintética	68
Tabla 9. Resultado LSI antes de evaluación con inhibidor	70
Tabla 10. Muestras para prueba NACE	70
Tabla 11. Caracterización del agua después de NACE	72
Tabla 12. LSI muestra Blanco	73
Tabla 13. LSI Muestra 1	73
Tabla 14. LSI muestra 2	73
Tabla 15. LSI muestra 3	74
Tabla 16. LSI muestra 4	74
Tabla 17. Eficiencia del producto final	75
Tabla 18. Resultados variación del índice de supersaturación	79
Tabla 19. Rangos de desempeño	80
Tabla 20. Resultado final del desempeño general del producto	80

LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

<i>LSI</i>	Índice de saturación de Langelier.
<i>NaCl</i>	Cloruro de sodio.
<i>CaCO₃</i>	Carbonato de calcio.
<i>CaCl₂</i>	Cloruro de calcio.
<i>MgCl₂</i>	Cloruro de magnesio.
<i>NaHCO₂</i>	Bicarbonato de sodio.
<i>pH</i>	Potencial de hidrógeno.
<i>pH_s</i>	Potencial de hidrógeno al cual se encuentra saturada el agua con CaCO ₃ .
<i>%E</i>	Porcentaje de eficiencia de inhibición.
<i>Ca</i>	Dureza cálcica en la muestra con tratamiento químico en precipitado.
<i>Cb</i>	Dureza cálcica en el blanco en precipitado.
<i>Cc</i>	Dureza cálcica en el blanco antes de la precipitación.
<i>Ca²⁺</i>	Concentraciones de iones de calcio.
<i>CO₃⁻²</i>	Concentraciones de iones de carbonato.
<i>K_{sp}</i>	Constante de disociación del carbonato de calcio.
<i>%VTI</i>	Variación de la tendencia incrustante.
<i>ISM</i>	Índice de saturación de la muestra tratada.
<i>BF</i>	Índice de saturación del blanco antes de la prueba NACE TM 0374.
<i>%VIS</i>	Variación de índice de supersaturación.
<i>S</i>	Índice de supersaturación de la muestra.
<i>SDM</i>	Máximo índice de supersaturación en las muestras de agua.
<i>%H</i>	Porcentaje de humedad de la muestra de mucilago.
<i>%R</i>	Porcentaje de rendimiento de la muestra de mucilago.
<i>%S</i>	Porcentaje de solubilidad de la muestra de mucilago.
<i>DA</i>	Densidad aparente de la muestra de mucilago.

RESUMEN

La formación de incrustaciones inorgánicas en la industria petrolera, específicamente en el ámbito de producción, ha sido una de las mayores problemáticas del sector hidrocarburífero. Estas, gracias a su complejidad en cuanto a tratamiento, provocan dificultades que pueden llegar a comprometer la vida útil del pozo, a partir de situaciones asociadas a daño a la formación, lo que impacta negativamente la producción y hace imprescindible el uso de aditamentos químicos, que en su mayoría propician otras afectaciones colaterales como la corrosión y afectación ambiental provocada por la eutrofización del agua al aplicar productos químicos que conlleven a la generación de estos nuevos problemas.

Teniendo en consideración lo antes planteado, este trabajo cuenta con un detallado procedimiento para la generación de un inhibidor natural a partir de la planta *Althaea Officinalis*, basándose en resultados exitosos de productos similares (INTAV-Aloe vera), y siguiendo parámetros primordiales de la química verde. El producto obtenido fue caracterizado y evaluado a partir de la aplicación de la norma *NACE TM 0374 del año 2007*, índice de Saturación de Langelier, y la metodología actual de valoración de eficiencia de inhibidores naturales basada en modelo existentes.

Finalmente, una vez aplicada la metodología para la evaluación del producto final y su caracterización, se observó la presencia de grupos funcionales como aminas, fosfinas, alcoholes, aromáticos y sulfóxidos, los cuales promueven la inhibición de incrustaciones inorgánicas. En el mismo sentido, se llegó a un porcentaje de eficiencia máxima de 84.7% de inhibición en la prueba *NACE TM 0374 del 2007* y obteniendo un producto considerable entre efectivo y muy efectivo según los parámetros base de la nueva metodología de estudio en concentraciones de 55, 100 y 300 ppm; garantizando de esta manera un adecuado tratamiento comparable con resultados convencionales obtenidos en la industria de productos emergentes y tradicionales.

PALABRAS CLAVE: Inhibidor de incrustaciones, química verde, daño de formación, mucilago, polisacáridos, índice de Langelier, *Althaea Officinalis*.

INTRODUCCIÓN

En Colombia se está viendo afectada la tasa de producción de crudo en campos petrolíferos por varios factores, ya sean políticos, técnicos, sociales o económicos. Se sabe que a lo largo del historial hidrocarburífero del país, se han presentado tanto escenarios bajos como altos, en cuanto a condiciones que influyan directamente en la producción del recurso no renovable. Por otra parte, es pertinente abordar aquellos mecanismos que pueden llegar a constituir complicaciones en cuanto a la producción, como lo es la formación de incrustaciones inorgánicas, específicamente aquellas denominadas como escamas de CaCO_3 que se están sintetizando mediante la acumulación de minerales, los cuales juegan un papel muy importante junto con el agua de formación, generando una perturbación del estado del fluido natural y excediendo de esta manera los límites de solubilidad de los componentes anteriormente mencionados [1]. Es así, como se comienzan a presentar soluciones que traten esta problemática de raíz, siendo las más comunes en la industria aquellas que promuevan la incorporación de sustancias que ayuden a remover este tipo de incrustaciones, buscando a la vez cumplir con las condiciones mínimas en cuanto a conservación del pozo y preservación del ambiente de la formación para garantizar su adecuada implementación.

Tomando como guía aquellas investigaciones realizadas que traten directamente soluciones para la formación de incrustaciones inorgánicas, y como principal complemento para este trabajo, se tiene el documento que lleva como título Desarrollo del Ciclo Tecnológico de un Inhibidor de Incrustaciones Verde para la Industria de los Hidrocarburos: INTAV, el cual fue publicado por Vilorio, A., Castillo, L., García, J. A., Navas, M., & Nadales, R en enero del 2010. Durante el planteamiento de este artículo científico, y como se ha tratado mediante estudios teóricos centrados en la química verde, se expone la aplicación de biopolímeros naturales generados a partir del extracto del Aloe vera para la consolidación de un inhibidor de incrustaciones inorgánicas, principalmente aquellas denominadas como escamas de carbonato de calcio, con un principal enfoque de aplicación en la industria petrolera. Por otro lado, y refiriéndose a este producto como un avance en cuanto a los estudios biotecnológicos, se incluyen referencias con respecto a pruebas que abarcan desde un énfasis hacia la escala de

laboratorio como también un enfoque hacia una escala banco, con el fin de llegar a determinar la adecuada selección del mecanismo de formulación final del producto. En este mismo sentido, se pueden apreciar entre los procedimientos detallados aquellos que corresponden a pruebas realizadas en campo, a nivel tanto de superficie como de fondo de pozo, enfocadas específicamente en productores de crudo que contengan altas tendencias de formación de incrustaciones, y, de esta forma, poder arrojar un comparativo satisfactorio al cruzar los datos de eficiencia de inhibición generados, contra aquellos proporcionados por estudios a partir de productos comunes y convencionales. Es así como, posterior a llevar a cabo todo el arduo estudio requerido del producto finalizado, se evidencian resultados excelentes con tendencias a igualar o superar las eficiencias de inhibición de los productos tomados para el procedimiento de comparación (producto comercial). De modo que, mediante la elaboración y evaluación de este componente se demuestra que esta tecnología enfocada hacia la química verde puede llegar a generar grandes beneficios para la industria, promoviendo el control de la precipitación de incrustaciones de carbonato de calcio en las tuberías de producción [2].

Dicho esto, se resalta la necesidad de buscar mecanismos que no ataquen esta complicación mediante una acción de remoción, sino que promuevan directamente la visión de impedir desde un inicio la formación de incrustaciones inorgánicas mediante la implementación de agentes inhibidores. De esta forma, se introduce la importancia de incorporar soluciones que abarquen el tratamiento para prevenir la formación de aquellos precipitados que puedan llegar a comprometer la vida útil del pozo; buscando, a partir de este trabajo de investigación, demostrar que mediante el uso de productos netamente naturales, como lo es el mucilago pertinente en plantas medicinales (*Althaea Officinalis*), se pueden llegar a obtener resultados de eficiencia de inhibición iguales y hasta superiores que los reportados por productos químicos convencionales. En ese mismo contexto, resaltando la eficiencia, es de vital relevancia destacar los métodos internacionales y procedimientos específicos planteados mediante la formulación de la norma NACE TM 0374 del año 2007, que busca llevar a cabo la verificación del rendimiento de inhibición, garantizando una reducción en cuanto al poder incrustante e incorporando a la vez un punto comparativo más detallado mediante el cruce de

información con modelos para la determinación de esta eficiencia, como lo son la medición del pH continuo y la determinación del LSI [3].

De esta manera, el objetivo principal de este proyecto de investigación fue evaluar la eficiencia de un inhibidor natural a base de la planta *Althaea officinalis* para la prevención de incrustaciones inorgánicas, como CaCO_3 , a partir de la nueva metodología de estudio comprendida entre el método de testeo estándar NACE TM 0374 del año 2007 y el modelo de medición continua de pH; y a la vez detallando para su respectivo desarrollo los siguientes objetivos específicos:

- Identificar las propiedades que caracterizan al mucilago extraído de la planta *Bismalva* (*Althaea officinalis*) para la generación de un inhibidor natural de incrustaciones de CaCO_3 .
- Establecer el potencial incrustante del agua sintética mediante la implementación del índice de Langelier antes y después de la aplicación de la norma NACE TM- 0374 del año 2007, como se enuncia en la nueva metodología de estudio.
- Detallar la concentración porcentual Masa/Volumen ideal del producto final que garantice un alto desempeño de inhibición, bajo resultados obtenidos en la norma NACE TM 0374 del año 2007.
- Comparar el desempeño de eficiencia del inhibidor elaborado (*Althaea officinalis*) con los resultados publicados tanto del producto comercial Scaletrol, como de un producto natural a base de aloe vera (INTAV), bajo parámetros estipulados en la norma NACE TM 0374 del año 2007.

Partiendo de lo mencionado anteriormente, cabe resaltar que el procedimiento de estudio del proyecto del inhibidor natural se llevará a cabo a lo largo del presente documento mediante la incorporación tanto de un planteamiento directo del problema, abarcando puntos específicos en cuanto a los antecedentes, pregunta de investigación, justificación, hipótesis y objetivos, como también la implementación de una estructura detallada de la metodología de trabajo, cronograma de actividades, costos estimados y resultados esperados.

1. MARCO TEÓRICO

Para el adecuado desarrollo y entendimiento del proyecto es indispensable en primer lugar llevar a cabo la incorporación de algunos términos claves, los cuales son plenamente característicos del tema trabajado durante la construcción del actual documento de investigación.

1.1. *Althaea officinalis*

En primera instancia cabe resaltar la selección de la materia escogida, *Althaea Officinalis*, para el desarrollo del inhibidor propuesto, el cual será evaluado bajo parámetros normativos estipulados. De esta manera, en la siguientes imágenes se puede evidenciar la planta seleccionada, así como también su respectiva descripción botánica, química, entre otras.

Figura 1.
Planta Althaea Officinalis Blanca.



Nota. La figura representa la coloración blanca perteneciente a la planta Bismalva. Tomado de: Botanical online, [En línea]. Disponible: <https://www.botanical-online.com/plantas-medicinales/malvavisco-propiedades> [Acceso: feb.22,2021]

Figura 2.
Planta Althaea Officinalis Rosa.



Nota. La figura representa la coloración rosa perteneciente a la planta Bismalva. Tomado de: UST Biological Medical Garden, [En línea]. Disponible: <https://ustbiologymedicinalgarden.wordpress.com/althaea-officinalis-marshmallow/> [Acceso: feb.22,2021]

1.1.1. Información Botánica

Conocida como una hierba medicinal, la cual puede llegar a alcanzar los dos metros de altura. Esta posee una amplia cantidad de hojas, las cuales alcanzan un gran tamaño, considerable entre 1.5 a 10 cm de largas; así como también una abundante suma de frutos identificados como esquizocarpios los cuales se caracterizan por su color verdoso-amarillento. Entre sus variedades se identifican fácilmente dos tipos, aquellas que se determinan mediante la aparición de una coloración rosa pálido en sus flores y aquellas que en lugar de este color descriptivo, se definen mediante un tono blanquecino; cabe señalar que ambas poseen las mismas propiedades, ya sean nutricionales o medicinales [4].

1.1.2. Propiedades medicinales

Siendo estas una de las mayores características de este tipo de planta, la Bismalva se identifica por poseer una gran cantidad de nutrientes, no solamente en sus hojas y flores, sino también en sus raíces y tallos. Entre algunas de sus propiedades fundamentales se pueden encontrar aquellas denominadas como expectorantes, diuréticas, antisépticas y emolientes; además de poseer propiedades antitusígenas y antitusivas actuando así sobre el sistema nervioso con el fin de calmar las convulsiones provocadas por la tos seca. Por otro lado, gracias a sus propiedades expectorantes y antiinflamatorias, se

puede tratar con la implantación de esta planta problemas respiratorios, tales como bronquitis y faringitis [5].

1.1.3. Composición química

Una de las principales características de la Bismalva (*Althaea officinalis*) es la abundante cantidad de mucílago que esta posee, presentando así un 12%, 10% y 8% de este componente en raíces, hojas y flores, respectivamente. Por otro lado, también se identifica la presencia de otros componentes fundamentales como pectina en un 20%, asparagina en un 2%, polisacáridos, flavonoides, entre otros. Cabe señalar que, debido a la gran cantidad de mucilago perteneciente en la planta, se obtiene un sabor relativamente amargo; ocasionando así, la necesidad de cocerse con otro tipo de hierbas para agradar al consumo [6].

1.1.4. Condiciones de cultivo

Abundante crecimiento en zonas mediterráneas entre los meses de junio y septiembre [7]; en su gran mayoría para cultivo en jardines agrícolas industriales. Para su adecuado desarrollo se genera el requerimiento de pleno sol, donde no se exponga a temperaturas arduamente elevadas y donde se garantice una protección adecuada ante la aparición de inviernos acompañados con fríos altamente fuertes.

En este mismo sentido, para enriquecer el fortalecimiento de la planta, es primordial generalizar un terreno adecuado, donde se especifiquen condiciones ligeramente ácidas, con tendencia a básicas, es decir, valores comprendidos entre 5.5 y 8 de pH; junto con la presencia de suelos alta o parcialmente húmedos [4].

1.2. Propiedades de la *Althaea Officinalis*

La planta *Althaea Officinalis* ha sido objeto de diferentes investigaciones de sus propiedades químicas. Siendo así, diferentes investigaciones han logrado determinar la presencia de mucilago, pectina, azúcares y en menor medida asparraguina. Por otro lado, La raíz es rica en almidón causado por la alta concentración de carboxilos y de flavonoides [8].

1.2.1. Mucílago

El mucilago es una sustancia de origen vegetal presente en algunas plantas. Esta propiedad está formada por polisacáridos celulósicos parecidos a los encontrados en la pectina (Propiedad similar de las plantas). El mucilago permite la germinación de las semillas y ayuda a la protección de la planta frente a heridas que pueda sufrir [9].

El mucilago se clasifica en dos corrientes.

- Neutro: se caracterizan por tener una estructura química de polímeros heterogéneos.
- Ácido: se caracterizan por tener es sus estructuras derivados de ácidos de osas que tiene como propiedad aumentar su volumen en contacto con el agua [10].

1.2.2. Grupos carboxílicos

Como se ha mencionado anteriormente la planta *Althaea Officinalis* contiene carboxilos en su raíz. Los carboxilos son compuestos caracterizados por la formación de la cadena (-COOH), se caracteriza por tener en el mismo carbono el grupo carbonilo y un oxhidrilo [11].

Un aspecto importante de estos grupos es la formación de ácidos carboxílicos ampliamente utilizados en la industria, unos ejemplos de estos ácidos son los acético, benzoico, fórmico, entre otros.

1.3. Polisacáridos

Identificados como polímeros de glucosa los cuales están directamente unidos por enlaces glucosídicos, los polisacáridos también se caracterizan por no ser dulces y por no presentar mutarrotación. Estos están formados por la unión de varios monosacáridos, teniendo en consideración la pérdida de una molécula de agua por cada enlace. En este mismo sentido, cabe señalar que la cantidad de monosacáridos es ampliamente variable, tornando desde unos pocos presentes hasta miles en una molécula de polisacárido; generando de esta manera, la formación de cadenas considerables de amplia longitud, como también pesos moleculares bastante altos [12].

Dicho lo anterior, se pueden señalar dos de sus principales funciones; la primera, que es desempeñada primordialmente por el glucógeno y el almidón, cumpliendo con

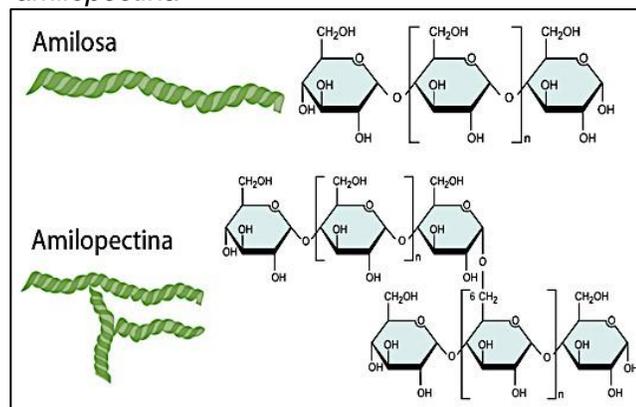
mecanismo de reserva de energía, y la segunda que es incorporada por la celulosa, cumpliendo de esta manera un enfoque de estructura primordial [13].

1.3.1. Tipos de polisacáridos

1.3.1.a. Homopolisacáridos: generalizados como aquellos que se encuentran conformados por un único tipo de monosacárido [14]. Entre estos se pueden identificar:

- Almidón: es el constituyente de la principal reserva energética de las plantas, el cual está conformado por la unión de dos tipos de polisacáridos, es decir, la mezcla entre la amilosa y la amilopectina [15].

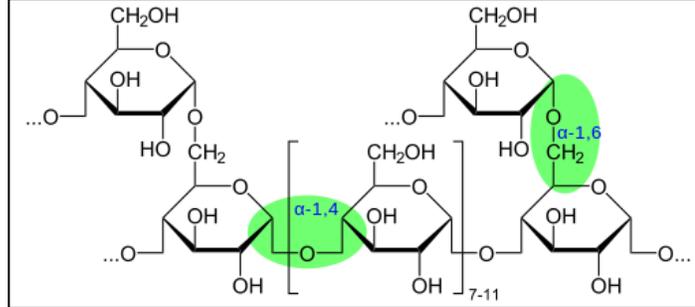
Figura 3.
Estructura molecular de la amilosa y amilopectina



Nota. La figura detalla la estructuración molecular de los dos polisacáridos (amilosa y amilopectina) que componen al almidón. Tomado de: Descubriendo la biología, [En línea]. Disponible: <https://descubriendolabiologia.home.blog/> [Acceso: feb.22,2021]

- Glucógeno: al igual que el almidón, el glucógeno constituye la primordial reserva energética, pero en lugar de actuar en las plantas, genera su presencia en los animales. Este se encuentra almacenado tanto en el hígado como en los músculos. Por otro lado, su estructura es bastante similar a la de la amilopectina, con la ligera diferencia de presentar mayor número de ramificaciones [16].

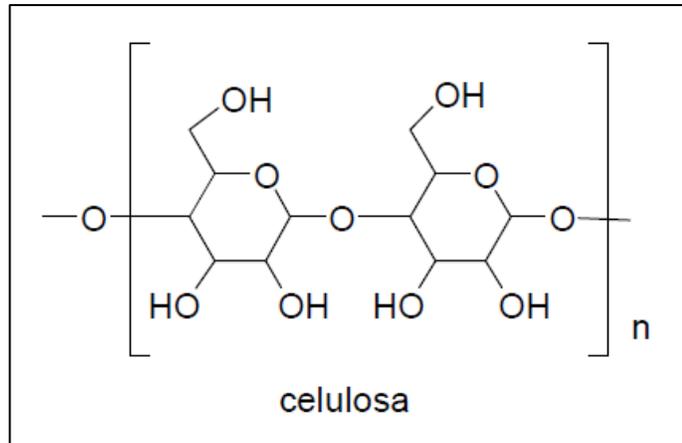
Figura 4.
Estructura molecular del glucógeno.



Nota. La figura destaca la composición molecular que caracteriza al glucógeno. Tomado de: Lifeder.com “glucógeno: estructura, síntesis, degradación y funciones”, [En línea]. Disponible: <https://www.lifeder.com/glucogeno/> [Acceso: feb.22,2021]

- Celulosa: considerado como un polisacárido estructural, el cual es el principal componente de la pared perteneciente a las celular vegetales. Cabe señalar que este se encuentra conformado por aproximadamente 15000 moléculas de D-glucosa [17].

Figura 5.
Estructura molecular celulosa.



Nota. La figura muestra demuestra cómo es la estructura molecular que describe a la celulosa. Tomado de: Química orgánica industrial, “Tecnología de la celulosa”, [En línea]. Disponible: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-03.php> [Acceso: feb.22,2021]

- Quitina: presente principalmente es el exoesqueleto de los artrópodos y también en la pared celular de muchas clases de hongos. Su estructura es muy similar a la presentada por la celulosa [14].
- Pectina: polisacárido primordial para generar la constitución de la pared celular de todas las plantas terrestres, la pectina se caracteriza por ser un polímero derivado de la galactosa [14].

1.3.1.b. Heteropolisacáridos: al contrario de los homopolisacáridos, estos se generalizan por estar conformados mediante la unión de varios tipos de monosacáridos [14]. Entre los subgrupos conocidos se pueden identificar:

- Hemicelulosa: perteneciente a la pared celular y de gran importancia. La hemicelulosa está conformada por la unión de varios monosacáridos tales como xilosa, arabinosa y demás.
- Agar-Agar: polisacárido presente en las algas rojas, se usa como mecanismo de cultivo para diferentes microorganismos.
- Gomas vegetales: mecanismo de defensa de diferentes plantas, incorporado para cerrar heridas ocasionadas en las mismas.

1.4. Incrustaciones inorgánicas

Las incrustaciones inorgánicas, son precipitaciones de minerales que se adhieren a una superficie sólida. Estas precipitaciones están asociadas a cambios de presión y temperatura en el agua de formación de pozos petroleros [1]. Cabe recalcar, que otros factores como la incompatibilidad de aguas desestabiliza la sobresaturación del agua impulsando la generación de escamas inorgánicas.

Figura 6.
Incrustación inorgánica en tubería de producción.



Nota. La figura detalla el daño provocado en una tubería de producción tras ocurrir la precipitación de la incrustación inorgánica. Tomado de: Merus, “Protección contra las calcificaciones en tuberías y máquinas”, [En línea]. Disponible: https://www.merus.es/proteccion_calcificaciones/ [Acceso: feb.22,2021]

En la figura anterior se muestra un caso típico de incrustaciones inorgánicas en tubería de producción, estos problemas causan una reducción significativa del diámetro de flujo en la tubería que transportan fluidos del yacimiento [1].

La cristalización es el fenómeno que ocurre para la acumulación de las escamas a causa de los aspectos anteriormente mencionados. Esta generación de incrustaciones inorgánicas se produce a base de un proceso que se describirá a continuación:

1.4.1. Nucleación

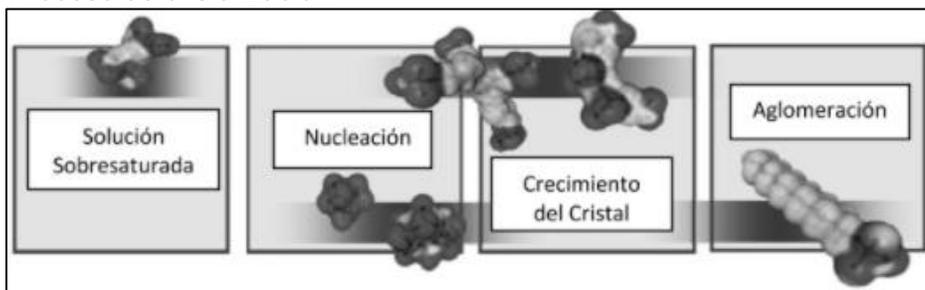
Se denomina nucleación a la formación de átomos inestables dentro del fluido saturado. En otras palabras, es el proceso térmico y cinético, en los cuales, a partir de una fase estructuralmente desordenada, se forma una fase sólida estable con una ordenación geométrica regular [18].

La nucleación se subdivide en dos géneros menores. Nucleación homogénea, ocurre cuando todos los elementos de la fase inicial son química, energética y estructuralmente idénticos, sumándose a un proceso aleatorio [19]. la nucleación heterogénea, ocurre cuando los pares de iones del fluido sobresaturado se adhieren sobre defectos preexistentes en las superficies de las tuberías [1].

1.4.1.a. Crecimiento del cristal: el crecimiento de los cristales es el proceso contiguo a la nucleación con la formación de partículas mayores, realizada por la difusión de las sustancias hacia la superficie, seguida de su deposición [20].

1.4.1.b. Aglomeración: es el proceso de acumulación de los cristales sobre las superficies preexistentes. Estas acumulaciones de escamas se producen cuando los sólidos presentan un contacto estable por un medio electrostático o interacciones de Van Der Waals. La figura 7 representa de manera visual el proceso anteriormente descrito [20].

Figura 7.
Proceso de cristalización



Nota. La figura demuestra el paso a paso que se presenta para la generación y formación de incrustaciones inorgánicas. Tomado de: OnePetro, “A New Theoretical Approach to The Calcium Carbonate Crystallization Process Out of Aquatic Solution and The Effect of Impurities on It”, [En línea]. Disponible: <https://onepetro.org/NACECORR/proceedings-abstract/CORR07/All-CORR07/NACE-07054/118414> [Acceso: feb.22,2021]

1.4.2. Tipos de escamas inorgánicas

En la siguiente tabla se aprecia los tipos de precipitaciones inorgánicas presentes en la industria petrolera y los factores que ayudan a su acumulación.

Figura 8.
Incrustaciones inorgánicas típicas en la industria petrolera

Name	Chemical Formula	Primary Variables
Calcium Carbonate	CaCO ₃	Partial pressure of CO ₂ , temperature, total dissolved salts, pH
Calcium Sulfate: Gypsum Hemihydrate Anhydrite	CaSO ₄ ·2H ₂ O CaSO ₄ ·H ₂ O CaSO ₄	Temperature, total dissolved salts, pressure
Barium Sulfate	BaSO ₄	Temperature, pressure
Strontium Sulfate	SrSO ₄	Temperature, pressure, total dissolved salts
Iron Compounds: Ferrous Carbonate Ferrous Sulfide Ferrous Hydroxide Ferrous Hydroxide	FeCO ₃ FeS Fe(OH) ₂ Fe(OH) ₂	Corrosion, dissolved gases, pH

Nota. La figura detalla todos los tipos de incrustaciones inorgánicas conocidos en la industria y los más comunes durante los procesos de producción de hidrocarburos. Tomado de: ResearchGate, "Formation damage due to scale formation in porous media resulting water injection", [En línea]. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/282264933_Formation_damage_due_to_scale_formation_in_porous_media_resulting_water_injection [Acceso: feb.22,2021]

1.5. Producción de Hidrocarburos

Proceso mediante el cual se genera la extracción de hidrocarburos procedentes del subsuelo, teniendo en cuenta protocolos de seguridad bajo los cuales se rigen las actividades petroleras y sin llegar a comprometer el medio ambiente. Durante el respectivo trabajo de producción el pozo pertinente a un campo específico pasa por una serie de etapas, partiendo desde el hallazgo de un sector propenso a la formación de hidrocarburos, y llegando finalmente a un procedimiento de abandono, parcial o total [21].

1.5.1. Etapas de la vida de un campo petrolífero

1.5.1.a. Exploración: etapa mediante la cual se busca comprobar la existencia de una roca almacén, y que esta se encuentre saturada por hidrocarburos, con el fin de evaluar su correspondiente capacidad de producción. En el mismo sentido, mediante la aplicación de esta, se ejecutan estudios y procesos para así poder determinar tanto la presencia como la ubicación de dichos hidrocarburos en el subsuelo [22]. Por otro lado, es pertinente abordar algunos términos específicos, tales como:

- Área de evaluación: Porción del área de interés, donde se llevarán a cabo trabajos de exploración, con el objetivo de generar un descubrimiento, y poder así establecer su comercialidad [23].
- Columna estratigráfica: Representación en forma vertical de las diferentes formaciones que están presentes o que hacen parte de un área específica [23].
- ❖ Formación petrolífera: Es una unidad litoestratigráfica la cual posee límites definidos y características propias [23].
- ❖ Intervalo productor: Estratos presentes bajo superficie, los cuales son capaces de producir hidrocarburos, teniendo en cuenta parámetros establecidos para ser considerados como económicamente viables.

1.5.1.b. Delineamiento: etapa del campo cuyo objetivo principal es generalizar los límites del yacimiento en prospecto, y finalmente, llevar a cabo un test de producción con el que se busque especificar su capacidad petrolífera [22].

1.5.1.c. Desarrollo: por medio de esta etapa se busca maximizar la producción, minimizando a la vez el coste operativo, con el fin de generar finalmente la construcción de instalaciones y la puesta en marcha del proceso productivo [22]; para ello, se deben centralizar términos tales como:

- Tipo de Campo:
- ❖ Costa adentro: considera todo trabajo en el cual se deban ejecutar operaciones en superficie, es decir, costa adentro.

Figura 9.
Perforación Costa adentro.



Nota. La figura detalla el proceso de perforación y acoplamiento de maquinaria en tierra. Tomado de: Pozos Checa, “Perforación on shore”, [En línea]. Disponible: <http://www.pozoscheca.com/servicio/perforacion-on-shore/> [Acceso: feb.22,2021]

- ❖ Costa afuera: también conocido como operaciones costa afuera, es aquel que trabaja sobre acciones petrolíferas con instalación directa en mar abierto. Para efectuar dichos trabajos se deben especificar ciertas condiciones, con el fin de generar un estudio para escoger la plataforma petrolera adecuada.

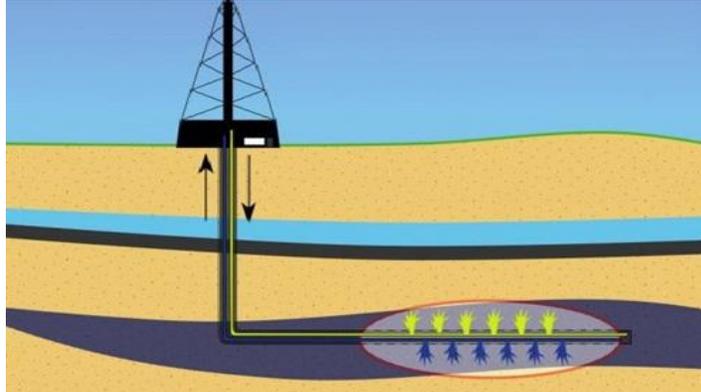
Figura 10.
Perforación Costa afuera.



Nota. La figura detalla el proceso de perforación y acoplamiento de maquinaria en mar. Tomado de: El Heraldo, “inversión en exploración offshore”, [En línea]. Disponible: <https://www.elheraldo.co/economia/inversion-en-exploracion-offshore-en-la-costa-sera-de-usd260-millones-697673>[Acceso: feb.22,2021]

- Trayectoria del pozo: se sabe que no todos los pozos petroleros poseen la misma estructura, es decir, existe cierta forma del pozo por la cual se debe acoplar para poder generar un éxito con respecto a las operaciones y metas establecidas; entre los más relevantes se pueden encontrar los verticales, horizontales, multilaterales, entre otros [24].

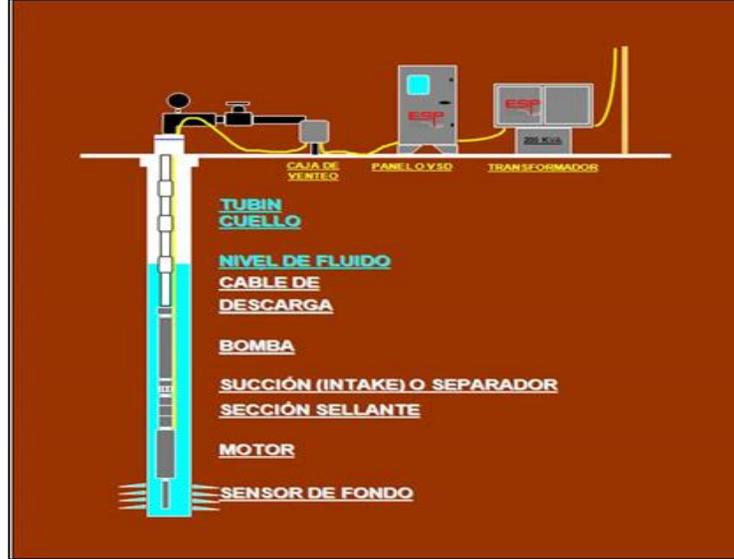
Figura 11.
Pozo horizontal.



Nota. La figura detalla cómo es la estructura durante la perforación de un pozo horizontal. Tomado de: La comunidad petrolera, "Utilización de pozos con secciones horizontales", [En línea]. Disponible: <https://lacomunidadpetrolera.com/2018/03/utilizacion-pozos-secciones-horizontales.html> [Acceso: feb.22,2021]

- Tipo de levantamiento artificial:
 - ❖ Flujo natural: pozos los cuales poseen la capacidad de transportar los fluidos desde el subsuelo hasta superficie, usando para ello la energía interna proporcionada por el yacimiento [25].
 - ❖ Flujo artificial: cuando el pozo pierde su capacidad para generar un flujo natural del fluido, se procede a implementar un procedimiento artificial para así incrementar el flujo esperado desde el fondo hasta superficie. Para ello se genera el uso de diferentes procedimientos, tales como bombeo electrosumergible, bombeo con cavitación progresiva, entre otros [26].

Figura 12.
Bombeo electrosumergible.



Nota. La figura describe como es el mecanismo para la aplicación del método de levantamiento artificial mediante bombeo electrosumergible. Tomado de: Monografías, "Método de levantamiento artificial por bes", [En línea]. Disponible: <https://www.monografias.com/trabajos63/levantamiento-artificial-bombeo/levantamiento-artificial-bombeo2.shtml> [Acceso: feb.22,2021]

1.5.1.d. Madurez: durante esta etapa el objetivo primordial es maximizar el factor de recobro, con el fin de retrasar el abandono del pozo. Para ello, se genera la aplicación de dos mecanismos muy importantes conocidos como recuperación secundaria y recuperación terciaria [22].

- Recuperación secundaria: usado principalmente para añadir energía al yacimiento, mediante la aplicación ya sea de inyección de agua o en algunos casos inyección de gas.
- Recuperación terciaria: al igual que la recuperación secundaria, la terciaria tiene como fin generar un incremento con respecto a la energía del yacimiento, pero aplicando otro tipo de mecanismos como lo es la recuperación química.

1.5.1.e. Abandono: serie de operaciones que se ejecutan con el fin de asegurar el aislamiento apropiado de las formaciones que sean almacenadoras de hidrocarburos [22].

1.6. Tratamientos de incrustaciones inorgánicas

Las incrustaciones inorgánicas en la industria petrolera representan grandes retos por su implicación directa a la economía de las operadoras. Siendo así, los tratamientos deben cumplir ciertas condiciones como: ser rápidas, no dañar el pozo, las tuberías ni el ambiente de la formación, y ser efectivas en la prevención de nuevas precipitaciones en el futuro [1].

A causa de esto los tratamientos contra escamas inorgánicas se pueden dividir en dos grupos generales que son: tratamientos de remoción y tratamientos inhibitorios, que se darán a conocer a continuación.

1.6.1. Tratamientos de remoción

Los tratamientos de remoción se basan en la eliminación química, mecánica, una lechada abrasiva, entre otros, para la eliminación de cristales inorgánicos depositados en la tubería. Este tipo de remoción se basa en la calidad de la precipitación, con respecto a su dureza y textura para su aplicación. Por lo tanto, se mostrarán a continuación su funcionamiento.

- **Técnicas químicas:**

Los tratamientos químicos se caracterizan por su facilidad de aplicación y su bajo costo. Sin embargo, se ven sujetos a efectos secundarios como la corrosión por su aplicación [20]. Un claro ejemplo de estos efectos se observa en las incrustaciones de Carbonato de calcio en la tubería, donde se emplea el ácido clorhídrico que las disuelve fácilmente, pero degrada la vida de la tubería y puede catalizar otro tipo de precipitaciones en la matriz del yacimiento [20]. Estos tratamientos son ampliamente utilizados en la industria, por su capacidad de llegar a lugares donde los otros tratamientos no lo logran. A causa de esto, se desarrollaron agentes quelantes capaces de disolver incrustaciones más duras y agresivas presentes en la matriz del yacimiento [20]. Los agentes quelantes se basan en bloquear los iones indeseables en la solución [1]. El agente quelante más

conocido es el Ácido ethylenediamenetetraacetic (EDTA), que permite llegar a la matriz del yacimiento sin afectar sus propiedades, también puede utilizarse frente a otras precipitaciones diferentes a los carbonatos de calcio, como sulfato de bario siendo sumamente efectivos [1].

- Técnicas mecánicas:

Las técnicas mecánicas se caracterizan por brindar una infinidad de herramientas para eliminar estas escamas. Estos tratamientos pueden aplicarse en los alrededores del pozo y en la tubería, sin embargo, la efectividad de su aplicación se ve afectada por la irregularidad de los depósitos inorgánicos, requiriendo mayor variabilidad en sus parámetros de operación, limitando su aplicabilidad.

Estas técnicas hacen uso de los conocimientos desarrollados por la industria en la perforación. A razón de esto, las brocas y dispositivos hidráulicos de eliminación de incrustaciones, basan sus principios en la perforación [1]. Sin embargo, existen otras técnicas que se dará a conocer en la siguiente figura.

Figura 13.

Tipos de limpiezas para la remoción de incrustaciones inorgánicas.

Herramienta	Descripción	Limpieza de puentes difíciles	Limpieza de accesorios de la tubería	Otras ventajas	Otras desventajas
Limpieza mecánica					
Motor de desplazamiento positivo y fresa	Motor y fresa impulsados por fluidos "Moineau". La fresa remueve los depósitos triturándolos.	Sí. La velocidad de limpieza puede ser muy lenta.		Indicación positiva de limpieza en la superficie. Pequeños cortes hacen más fácil la limpieza del hoyo.	El estator del motor y la fresa son consumibles caros. Límite de ~300°F [150°C]. Incompatible con disolventes de incrustaciones. La fresa puede dañar las tuberías.
Martillo de impacto	Martillo de percusión impulsado por fluidos. Las fuerzas de alto impacto destruyen los depósitos frágiles.	Sí. La velocidad de limpieza puede ser muy lenta.		Indicación positiva de limpieza en la superficie. Herramienta simple y robusta.	El tamaño grande de los cortes hace más difícil la limpieza del hoyo. Incompatible con disolventes de incrustaciones.
Limpieza química					
Herramienta fija de lavado	Herramienta fija con muchas boquillas de diámetros grandes. Normalmente se utiliza sólo con disolventes químicos.		Sí, si el depósito es soluble.	Herramienta simple y robusta.	Se pierde casi toda la fuerza del fluido por la fricción de la circulación. Presión de boquilla baja—no puede remover los depósitos inertes.
Herramienta a chorro rotativo	El torque de rotación lo proveen las boquillas apartadas del eje de la herramienta. No hay control de velocidad.		Sí, si el depósito es soluble.	Herramienta simple. Cobertura completa del pozo al rotar los chorros.	Lanzamiento a chorro ineficiente debido a las altas velocidades de rotación (>5000 rpm).
Herramienta a chorro rotativo	La cabeza de la boquilla rota ~90° cuando se cicla la presión de la tubería flexible. La cabeza posee muchas boquillas de pequeño diámetro para mejorar la cobertura del pozo.		✓		Requiere múltiples corridas de limpieza incrementando el tiempo de trabajo y la fatiga de la tubería flexible. No hay indicación de limpieza en la superficie. Radio de limpieza pequeño debido al pequeño tamaño de las boquillas.
Herramienta a chorro impulsada por turbina	La turbina rota la boquilla con dos boquillas. Freno de corriente parásita controla las rpm.		✓	Cobertura completa del pozo con una amplia fracción de limpieza.	Los abrasivos no se pueden bombear por medio de la turbina. Herramienta compleja.
Herramientas sónicas	Se utiliza para crear pulsos de presión de alta frecuencia que remueven los depósitos mediante ondas de choque o cavitación.		Sí, si el depósito es soluble.	Simple.	La presión hidrostática suprime la cavitación. Las herramientas no son efectivas para remover incrustaciones duras en pruebas de laboratorio.
Herramienta Jet Blaster					
Técnica de remoción de incrustación por explosión	Cabeza de boquilla rotada por dos boquillas apartadas del eje de la herramienta. Freno viscoso controla las rpm.		✓	Cobertura completa del pozo con amplio radio de limpieza.	
Técnica de explosión de puentes	Motor "Moineau" impulsado por fluidos y cabeza de fresa/chorro. Chorros radiales siguen la fresa piloto.	✓	✓	Indicación positiva de limpieza en la superficie.	El estator del motor es un consumible caro. Límite de ~300°F.

Nota. Esta tabla muestra las diferentes técnicas de limpieza de incrustaciones inorgánicas en la industria petrolera; Nombrando sus ventajas, desventajas y lugares de optima aplicación. Tomado de: Shlumberger, "La lucha contra las incrustaciones- remoción y prevención", [En línea]. Disponible: <https://www.slb.com/-/media/files/oilfield-review/p30-49> [Acceso: feb.22,2021]

- Lechada abrasiva:

La lechada abrasiva obtiene su funcionamiento emulando la técnica de sandblasting. Esta técnica utiliza agua como fase continua en un porcentaje del 1 al 5% de arena para eliminar las incrustaciones [1]. Esta técnica resulta muy efectiva contra los carbonatos de calcio por su fácil eliminación en las tuberías de producción. Sin embargo, esta lechada es propensa a desgastar la pared interna de la tubería, exponiéndolas a diversos problemas de corrosión y precipitación de nuevas incrustaciones.

Actualmente esta práctica se encuentra en desarrollo de mejora. Un claro camino de avance, son las lechadas con partículas de vidrio que han mostrado un desgaste mínimo en la pared de la tubería. En contrariedad, falta mucho por investigar para su implementación en masa.

Figura 14.

Lechada abrasiva en tuberías de producción.



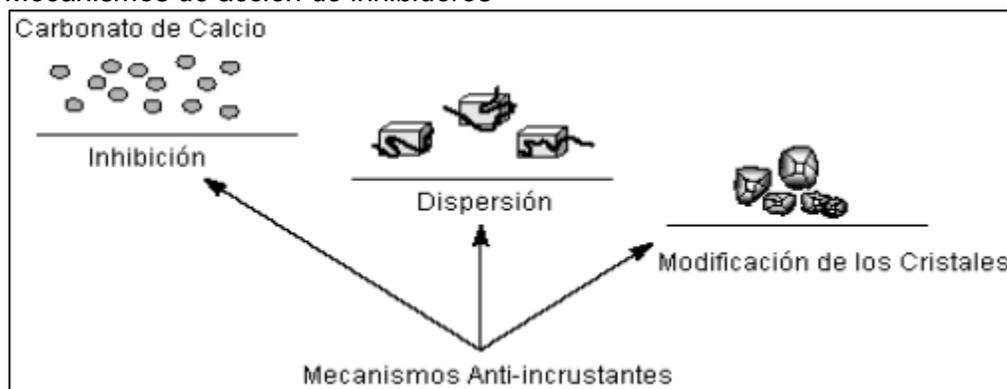
Nota. La figura muestra la formación de escamas inorgánicas en tuberías de producción tras el paso de la lechada abrasiva. Tomado de: Schlumberger, “La lucha contra las incrustaciones-remoción y prevención”, [En línea]. Disponible: <https://www.slb.com/-/media/files/oilfield-review/p30-49> [Acceso: feb.22,2021]

1.6.2. Tratamientos de inhibición

Los inhibidores de incrustaciones actúan de modo que generan un bloqueo al desarrollo de los compuestos minerales [3]. Cabe aclarar, que es imposible inhibir de forma completa el crecimiento de los cristales. Sin embargo, los inhibidores logran retardar este crecimiento de una manera eficaz.

Los inhibidores basan su funcionamiento en dos principios químicos. La dispersión que logra que los cristales no se añadan a las paredes de la tubería, y a los otros cristales, evitando la generación de clústeres más grandes de incrustaciones. Los inhibidores estabilizadores modifican la morfología de los cristales, limitando su crecimiento para evitar la estabilización con otros cristales [27].

Figura 15.
Mecanismos de acción de inhibidores



Nota. La figura detalla el proceso de acción bajo el cual se rigen los inhibidores de incrustaciones inorgánicas. Tomado de: Universidad Central de Venezuela, "Evaluación del desempeño del inhibidor de incrustaciones no convencional a base de aloe vera (intav) en diferentes sistemas de producción de la industria petrolera nacional", [En línea]. Disponible: <http://saber.ucv.ve/handle/123456789/2884> [Acceso: feb.22,2021]

Los inhibidores usualmente son compuestos de fosfato, ésteres de fosfato orgánico, amino fosfatos y polímeros orgánicos. El inhibidor presentado en este documento puede clasificarse como un polímero orgánico, por su origen vegetal y la presencia de polisacáridos en su extracto. Su método inhibitorio consiste en dispersión y estabilización de los cristales.

1.7. Química verde

Mecanismo usado para generar la incorporación de nuevos productos y procesos químicos, con el fin de eliminar o reducir la implementación y aplicación de diferentes componentes químicos dañinos y peligrosos, es decir, promover la sustitución de sustancias nocivas por alternativas sumamente seguras, y que a la vez se busque obtener los mismos o superiores resultados que los arrojados mediante la aplicación de mecanismos más peligrosos [28].

En este mismo sentido, cabe generalizar que el fin de la química verde posee un enfoque hacia la reducción de las problemáticas ambientales las cuales se encuentran derivadas de diferentes actividades industriales.

1.8. Nueva metodología para la evaluación de productos inhibidores

Las metodologías de estudio de inhibidores aplicados en la industria hidrocarburífera, han dejado varios vacíos en la caracterización de los nuevos productos. En otras palabras, las pruebas de caracterización de inhibidores pasan por alto la medición de pH, dureza cálcica y contenido de sólidos disueltos del producto aplicado [3]. A razón de esto, se ha presentado una metodología de estudio que reúne todas estas variables. Esta hoja de ruta se basa en la norma NACE TM 0374-2007, medición continua de pH y el índice de saturación de Langelier. Que serán expuestos a continuación.

Esta metodología propone una matriz evaluativa y comparativa de resultados, para catalogar de una manera más completa el inhibidor propuesto. Esta matriz se dará a conocer en los anexos de este documento.

1.8.1. Norma NACE 0374 del año 2007

La norma NACE TM-0374 del 2007, es por excelencia la norma madre para la realización de pruebas de inhibidores para la industria petrolera. Esta norma tiene por título “Pruebas de detección de laboratorio para determinar la capacidad de los inhibidores de incrustaciones para prevenir la precipitación de sulfato de calcio y carbonato de calcio de la solución (para sistemas de producción de petróleo y gas)”.

Esta norma basa su criterio inhibitorio, en la variación de la dureza cálcica dentro de las muestras realizadas. A su vez, permite el estudio dentro de unos ambientes agresivos, para cumplir con los estándares presentes en la industria petrolera. Cabe recalcar, que el procedimiento completo y desglosado de esta norma, se dará a conocer en el siguiente capítulo del presente texto. Sin embargo, a continuación, se expondrá la fórmula utilizada, para determinar el porcentaje de eficiencia que nos arroja la prueba.

$$\%E = \frac{(Ca - Cb)}{(Cc - Cb)} * 100$$

Donde:

Ca: Dureza cálcica en la muestra con tratamiento químico después de la precipitación, en ppm.

Cb: Dureza cálcica en el blanco después de la precipitación, en ppm

Cc: Dureza cálcica en el blanco antes de la precipitación, en ppm.

1.8.2. Modelo de medición continua de pH

Esta prueba que lleva por nombre “Un nuevo método de evaluación de los inhibidores de incrustaciones para controlar el CaCO₃. incrustaciones en el sistema de ósmosis inversa basado en la medición del pH”. Esta metodología basa su fundamento, en la variación del pH, en el cual varía al momento de presentarse la precipitación de carbonatos dentro la solución. Este documento expone la metodología continua de medición de pH, frente a las incrustaciones de carbonatos de calcio.

El Modelo de medición continua de pH, obtiene como valor cuantitativo de comparación, el índice de supersaturación, justo en el momento que se produce la precipitación de carbonatos, como se expresa en la siguiente formula.

$$S = \frac{[Ca^{+2}][CO_3^{-2}]}{K_{sp}}$$

Donde:

[Ca²⁺] = Concentración de iones de calcio, en ppm.

[CO₃²⁻] = concentración de iones de carbonato, en ppm.

K_{sp} = Constante de disociación del carbonato de calcio, adimensional.

1.8.3. Índice de saturación de Langelier

El índice de saturación de Langelier, es una medición estándar que se realiza al agua, para determinar sus condiciones incrustantes que tiene en solución. Este índice ha sido ampliamente utilizado a nivel global. Por otro lado, este parámetro cumple una función primordial dentro de las pruebas anteriormente descritas, por su facilidad de poder cuantificar y catalogar el poder incrustante del agua, y a su vez poder obtener un resultado de eficiencia frente a los inhibidores.

A continuación, se mostrará la forma típica de cálculo para la determinación del LSI.

$$D = \log HCO_3^-$$

$$C = \log Ca^{2+} - 0,4$$

$$B = \frac{\log(TDS)-1}{10}$$

$$A = -13,12 * \log(T(^{\circ}C) + 273) + 34,55$$

$$pH_s = (9,3 + A + B) - (C + D)$$

$$LSI = pH - pH_s$$

LSI= índice de saturación de Langelier

pH= pH real del agua.

pH_s= pH al cual el agua estará saturada con CaCO₃

Este valor representativo se evalúa teniendo en cuenta los caracteres específicos, los cuales se pueden ver evidenciados mediante la aplicación de la siguiente tabla:

Tabla 1.
Interpretación de resultados de LSI.

Caso	Interpretación
LSI > 0	Se prevé la formación de incrustaciones, y pueden ocurrir precipitaciones minerales
LSI = 0	El agua está en estado esencialmente neutro. No se anticipa la formación de incrustaciones
LSI < 0	No hay potencial de incrustaciones, el agua disolverá al mineral

Nota. La tabla muestra la base para la interpretación de los resultados con respecto a LSI tanto de la muestra inicial, como de aquella que es tratada con el producto final. Tomado de: Expansión, "Nueva metodología para la evaluación de productos inhibidores de incrustación basado en modelos existentes", [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.22430/22565337.1648> [Acceso: mar.24,2021]

2. METODOLOGÍA Y DATOS

A lo largo del proceso de investigación y experimentación se llevarán a cabo varias prácticas, como la extracción y caracterización del mucilago, la caracterización del agua sintética y diversos procedimientos para la determinación de la eficiencia de inhibición, que tienen como fin generar una estructuración del camino a seguir, garantizando de esta manera un enfoque adecuado que arroje resultados gratificantes. Cabe señalar que el estudio se enfocará en los cambios significativos de temperatura a partir de la aplicación de la norma *NACE TM 0374 del año 2007* y pH mediante la implementación del análisis a partir de la medición continua de pH como se detalla en este capítulo; con el fin de estudiar 2 de las 3 variables primordiales para formación de incrustaciones inorgánicas. Teniendo en consideración que la presión también juega un papel muy importante para la formación de escamas de carbonato de calcio dada la solubilidad de los componentes minerales según este criterio, pero, por falta de equipos especializados para llegar a dichas condiciones se tomará omisión de este parámetro.

A partir de lo dicho anteriormente, es importante contar con una descripción detallada de cada uno de los procedimientos mencionados, como se muestra a continuación:

2.1. Obtención y caracterización del mucilago

En primera instancia, generando la extracción del debido mucilago de la planta Bismalva, se procede con la recolección directa de las hojas, flores y raíces, las cuales se lavan y se secan a la sombra durante 24 horas para posteriormente pasar a un proceso de secado en horno a una temperatura de 30°C a 40°C. De esta manera, el producto seco que se obtiene posteriormente es pasado por trituración con el fin de reducir su tamaño, para luego ser procesado en un Baker de 1 L con 500 mL de agua destilada durante 3 horas con agitación continua a una temperatura de 60°C. La solución obtenida es pasada a un proceso de filtrado a través de tela de muselina; posteriormente, se añade alcohol absoluto equivalente a 3 veces el volumen filtrado para generar la precipitación del mucilago. Este es secado por horno a una temperatura de 50°C, pulverizado y almacenado en recipientes herméticos. De esta forma, y finalmente, se procede con la

obtención del inhibidor natural donde se tiene previsto agregar 0,20 g de ácido cítrico por cada 50 gramos de muestra tratada para retardar la descomposición del mucilago.

Ya con el mucilago extraído de la planta *Althaea Officinalis*, se procede a realizar su caracterización para identificar qué condiciones físicas y químicas están presentes. Por consiguiente, se revisarán propiedades como color, apariencia, Viscosidad, masa, solubilidad, tamaño de partícula, porcentaje de humedad, densidad aparente, la estabilidad térmica y la identificación de grupos funcionales. La revisión de estas propiedades se basará con los equipos mencionados a continuación. A causa de esto, es necesario especificar el procedimiento para la determinación de sus características.

El color y la apariencia se realizará con un procedimiento visual por la incapacidad de obtener equipos especializados en este ámbito. La viscosidad se determinará con un equipo especializado tipo Brookfield, basados en la norma ASTM D2196. La especificación de la masa se obtendrá según su rendimiento al relacionar la cantidad del mucilago extraído entre la cantidad de hojas molidas. La solubilidad se calculará mediante la relación entre el mucílago no soluble y el mucílago total diluido en 100 mL de agua destilada, tal y como lo establece la norma ASTM E1148-02 (2008). El tamaño de partícula se determina mediante equipos de laboratorio tales como tamices mecánicos y se rige a partir de la norma ASTM C136-01 El porcentaje (%) de humedad se obtiene relacionando la pérdida de peso del mucílago entre el peso de este sin secar. La estabilidad térmica se determina mediante el método planteado por Malavé (2016), fijando tres temperaturas, a las cuales será sometida cierta cantidad de mucílago contenida en un vial de masa conocida. Finalmente, Identificación de grupos funcionales: a través de espectroscopía infrarroja siguiendo lo estipulado en las normas ASTM E168 y ASTM E1252.

Estos resultado físicos y químicos permitirán conocer de una manera específica las condiciones de nuestro producto y afianzar los resultados que podemos obtener al evaluar su eficiencia.

2.2. Caracterización del agua sintética e índice de Langelier

En primer lugar se deben sintetizar las salmueras que componen a la mezcla final del agua sintética; éstas, para llegar a su respectiva preparación, consideran diferentes estructuras, siendo una generada a partir de la contención de calcio y la otra mediante la incorporación de bicarbonato.

De esta manera, y al igual como se procede con la caracterización del mucilago extraído, el procedimiento para el agua sintética tiene sus propias características y parámetros específicos que se deben tener en cuenta; de esta manera, y como manera introductoria, se procede con la determinación de la densidad mediante la implementación de picnómetros de diferentes volúmenes, tomando datos de pesos mediante balanzas analíticas y finalmente hallando la densidad correspondiente. Posteriormente, se procede con la determinación de diferentes parámetros independientes tales como los sólidos suspendidos y totales con la ayuda de una mufla, para así seguir con el pH y alcalinidad mediante lineamientos internacionales. De esta manera, se prosigue con la determinación tanto de cloruros como de dureza cálcica; llegando finalmente al punto principal del proceso de caracterización, el cual consiste en determinar el índice de saturación de Langelier (LSI), con el fin de poder generar un análisis enfocado hacia el poder incrustante que tenga el agua que se está tratando; cabe señalar que este último procedimiento se llevará a cabo durante dos momentos, es decir, durante el antes y después de la aplicación de la prueba NACE TM-0374 para la determinación de la eficiencia, y de esta manera poder apreciar como es el comportamiento del poder incrustante mencionado anteriormente al aplicar el inhibidor desarrollado.

Mencionado lo anterior, a continuación, se mostrará la fórmula propuesta por los autores de la nueva metodología de evaluación de inhibidores y su respectiva matriz de evaluación según el desempeño mostrado.

$$\%VTI = 100 - \left(\frac{ISM}{BF} * 100 \right)$$

Donde:

VTI: Variación de la tendencia incrustante.

ISM: Índice de saturación de la muestra tratada.

BF: Índice de saturación del blanco antes de la prueba NACE.

Tabla 2.
Matriz de evaluación para la variación de tendencia incrustante.

Criterios	VTI, %	Puntaje para calificar desempeño general
Deficiente	[0-10)	1 puntos
Regular	[10-20)	4 puntos
Efectivo	[20-60)	7 puntos
Muy efectivo	[60-100]	10 puntos

Nota. La tabla especifica la base bajo la cual se lleva a cabo la evaluación del VTI para las diferentes pruebas de inhibición. Tomado de: Expansión, “Nueva metodología para la evaluación de productos inhibidores de incrustación basado en modelos existentes”, [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.22430/22565337.1648> [Acceso: mar.24,2021]

2.3. Norma NACE TM 0374 del año 2007

La NACE es una organización sin fines de lucro, conocida mundialmente como la autoridad premier de soluciones para el control de corrosión en diferentes industrias, mediante la emisión de programas de certificación y normas estándar que buscan la integridad de los procesos con el medio ambiente [29]. Por consiguiente, la industria hidrocarburífera cuenta con un sinnúmero de normas publicadas por esta organización, donde nos involucra de manera directa la *NACE TM 0374-2007*, titulada “Prueba de detección de laboratorio para determinar la capacidad de los inhibidores de incrustaciones para prevenir la precipitación de sulfato de calcio y carbonato de calcio de la solución. (para sistemas de producción de petróleo y gas)”. Esta norma, permitirá evaluar el inhibidor desarrollado y catalogarlo ante otros productos similares. Cabe recalcar, que esta norma solo será parte de una nueva metodología publicada por investigadores, que mencionaremos adelante para ampliar la caracterización de eficiencia de los inhibidores. Este producto será evaluado solamente contra las incrustaciones de CaCO₃, como ya

se ha mencionado anteriormente. A razón de, ser las que presentan mayores riesgos a la industria hidrocarburífera. Por consiguiente, se realizarán diferentes montajes con el uso de celdas herméticas de vidrio de 100 mL. Luego, se hará la incorporación del inhibidor a diferentes concentraciones al agua sintética. Asimismo, proseguir con el procedimiento de evaluación dejando una celda únicamente con agua, la cual será considerada como blanco prueba. Posteriormente, el montaje de celdas de vidrio se dejará en un baño de maría a una temperatura comprendida entre 70°C y 71°C durante 24 horas. De esta manera, se obtendrán los datos de dureza cálcica para finalmente poder determinar el porcentaje (%) de inhibición del producto final.

Obtenido el porcentaje de eficiencia según la norma, se procederá a catalogar su puntaje según la metodología aplicada de evaluación global. Por consiguiente, a continuación, se mostrará esta tabla de puntaje según su eficiencia en la norma NACE.

Tabla 3.
Matriz de evaluación para la eficiencia del producto.

Criterios	Eficiencia, %	Puntaje para calificar desempeño general
Deficiente	[0-25)	1 puntos
Regular	[25-50)	4 puntos
Efectivo	[50-75)	7 puntos
Muy efectivo	[75-100]	10 puntos

Nota. La tabla muestra la base de datos bajo la cual se evalúa la eficiencia característica de inhibición del producto. Tomado de: Expansión, “Nueva metodología para la evaluación de productos inhibidores de incrustación basado en modelos existentes”, [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.22430/22565337.1648> [Acceso: mar.24,2021]

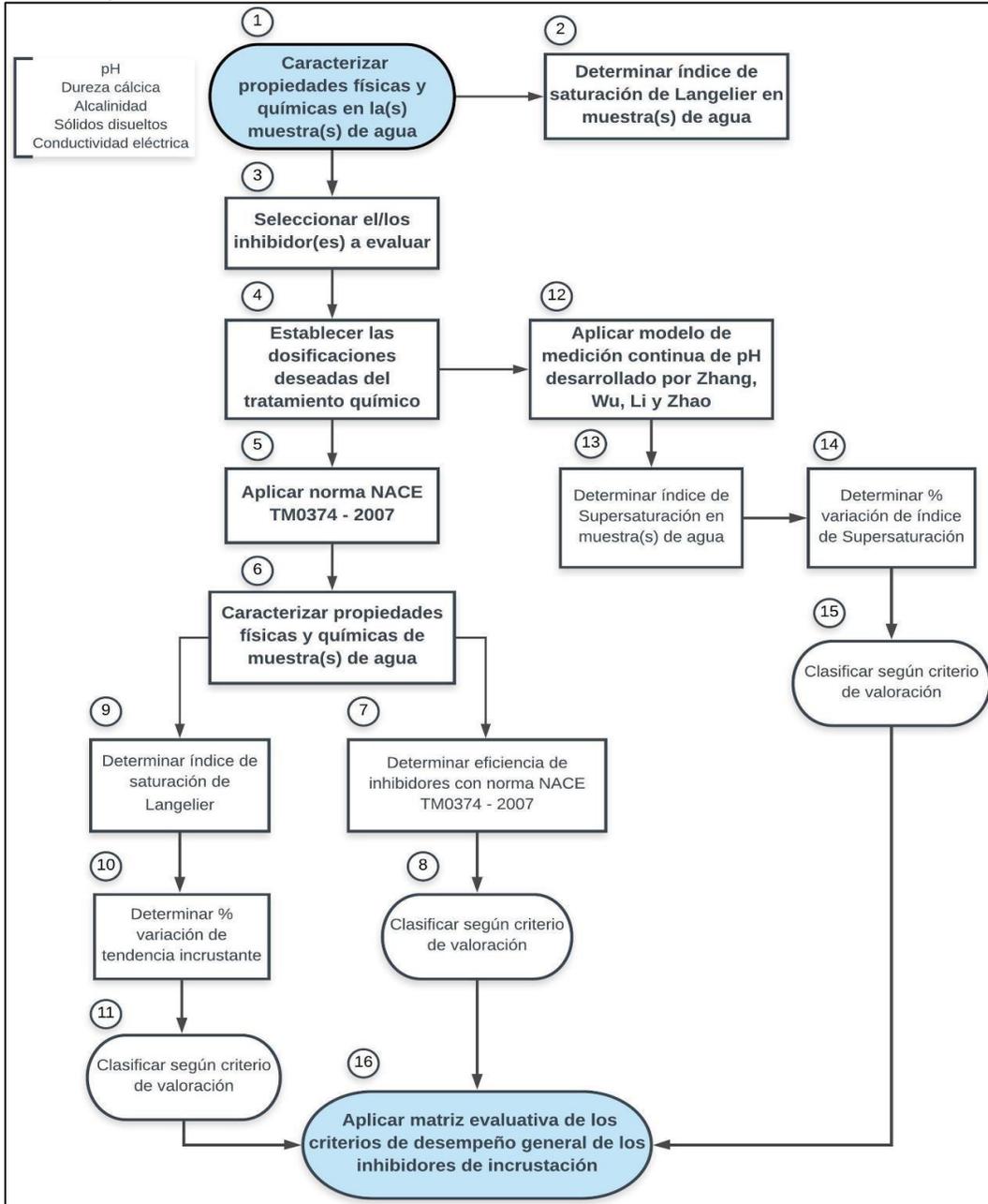
2.4. Modelo de medición de pH continuo

El pH, es un factor determinante frente a los inhibidores de incrustaciones orgánicos como el que estamos proponiendo en esta investigación. El efecto de la variación del potencial de hidrogeno provoca una alteración del inhibidor afectando de manera directa su eficiencia. Por esta razón, los autores de la nueva metodología lo incluyen en su texto

para aumentar la caracterización de la eficiencia de estos inhibidores y que nosotros aplicaremos.

El modelo de medición continua de pH desarrollado por Zhang, Wu, Li y Zhao [30] contempla en tomar unos 9mL de CaCl_2 (0.15mol/L), que entrarán en solución con 141 mL de agua destilada. Qué a su vez, permitirán añadir el inhibidor en diferentes concentraciones. Luego, se titularán cada muestra con bicarbonato de sodio en una concentración de 0.3 mol/L, agregándolo cada 2mL por cada 60 segundos. Esta prueba continua hasta que se observe una precipitación de las incrustaciones, que se ve reflejado en una disminución apreciable del pH. Por consiguiente, se procederá a calcular el índice de supersaturación que indicará el momento exacto de la generación de los cristales para luego estipular según este criterio y su variación, su puntaje propuesto por los autores. Así como se describe el paso a paso para la determinación de la eficiencia de inhibición del producto final, también se puede traer a consideración como sería en forma general todo el procedimiento, teniendo en cuenta ambos métodos establecidos previamente, es decir, parámetros de la norma NACE TM-0374 del año 2007 y la determinación mediante la medición continua de pH, como se observa a continuación en la figura 16.

Figura 16.
Metodología para la evaluación de inhibidores de incrustaciones



Nota. La figura representa el flujo del proceso para la determinación de la eficiencia de inhibición de incrustaciones inorgánicas. Tomado de: Expansión, “Nueva metodología para la evaluación de productos inhibidores de incrustación basado en modelos existentes”, [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.22430/22565337.1648> [Acceso: mar.24,2021]

Como parte de la nueva metodología de evaluación de inhibidores naturales, los autores proponen la realización de nuevos cálculos a partir del índice de supersaturación, lo cual permitirá catalogarlo según su criterio de evaluación. Siendo así, a continuación, se muestra estos cálculos y su matriz de evaluación.

$$\%VIS = \left(\frac{S}{SDM} \times 100\right)$$

Donde:

VIS: Variación del índice de supersaturación.

S: Índice de supersaturación de la muestra.

SDM: máximo índice de supersaturación en las muestras de agua.

Tabla 4.
Matriz de evaluación para la variación del índice de supersaturación.

Criterios	VIS, %	Puntaje para calificar desempeño general
Deficiente	[0-25)	1 puntos
Regular	[25-50)	4 puntos
Efectivo	[50-75)	7 puntos
Muy efectivo	[75-100]	10 puntos

Nota. La tabla representa el criterio de evaluación para el porcentaje de VIS. Tomado de: Expansión, “Nueva metodología para la evaluación de productos inhibidores de incrustación basado en modelos existentes”, [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.22430/22565337.1648> [Acceso: mar.24,2021]

2.5. Evaluación de resultados

Al finalizar el proceso de investigación se tiene una proyección de resultados en la cual se garantice tanto el cumplimiento de los objetivos planteados durante el desarrollo inicial de la propuesta generada, así como las metas estipuladas al momento de analizar la adecuada implementación de un inhibidor natural a base de la planta *Althaea Officinalis*.

Dicho esto, cabe señalar que se hará un cruce de información de eficiencia de inhibición tomando como principales candidatos de comparación productos convencionales conocidos en la industria, tales como Scaletrol y el producto natural a base de aloe vera INTAV. De esta manera, a partir de datos públicos pertinentes en los documentos informativos de los productos anteriormente mencionados, se propone la comparación, generando uso de la eficiencia obtenida mediante la aplicación de la norma NACE TM 0374 del año 2007.

Para ello, se generará un modelo de comparación basados en concentración y eficiencia, donde se busque resaltar su comportamiento detallado entre estos dos parámetros. Por otra parte, y para llegar a una evaluación final del producto, se tomará como referencia los datos incorporados en las tablas 2, 3 y 4, los cuales especifican los rangos establecidos de puntaje por prueba de %VIS, %VTI y %E, denotado de esta manera una serie de puntajes globales, los cuales permitirán catalogar el producto preparado bajo la nueva metodología de estudio entre deficiente y muy eficiente, según su resultado final.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el desarrollo del tercer capítulo correspondiente a los resultados y análisis de estos, se genera un procedimiento detallado de los pasos a seguir, los cuales fueron mencionados de manera breve durante el desarrollo del segundo capítulo “Metodología y datos”; y a la vez, optando por introducir la respectiva evidencia que generaliza cada proceso a nivel de laboratorio.

3.1. Obtención y caracterización del mucilago

3.1.1. Obtención del mucilago

En primera instancia, se procedió a llevar al horno la materia prima adquirida (Hojas, tallos, ramas y raíces de la planta *Althaea Officinalis*), para lo cual se sometió la Bismalva a una temperatura de $40^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, con el fin de poder retirar completamente la humedad de la planta y poder pasar después a un proceso de trituración con ayuda de un molino marca Corona.

Figura 17.
Bismalva seca.



Nota. La figura describe el estado seco de la planta luego del paso por el horno de calentamiento.

Figura 18.

Trituración de materia prima por molino.



Nota. La figura puntualiza el proceso de trituración de la planta seca para la obtención del polvo de materia prima fino.

El material triturado se sometió a un proceso de filtrado por mallas de diámetros conocidos de 2mm, 850 μm , 600 μm , 425 μm y 150 μm ; tomando de esta manera la materia prima correspondiente al grano más fino, la cual se encuentra entre las últimas 3 mallas mencionadas anteriormente.

Figura 19.

Producto tamizado en la malla de 150 μm .



Nota. La figura detalla el material más fino con respecto a la materia prima luego de pasarla por un proceso de tamizado mediante el uso de mallas de diámetro muy pequeño.

Ya obtenido el material más fino, se procedió a pesar para cada montaje de obtención de mucilago un total de 50 gramos de materia prima para posteriormente mezclarlo con 500 ml de agua destilada.

Figura 20.
*Peso de muestra de material
prima para extracción.*



Nota. La figura muestra el proceso de peso de materia prima para la preparación de muestras con el fin de obtener el mucilago.

Esta mezcla obtenida de mucilago y agua se sometió a un proceso de agitación continua mediante la implementación de una serie de agitadores mecánicos marca Heidolph RZR 2021, manteniendo una temperatura constante de $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 3 horas continuas con la ayuda de planchas de calentamiento de control digital.

Figura 21.
Montaje de hidrólisis.



Nota. La figura presenta el montaje correspondiente a la preparación de la mezcla para la obtención de mucilago, a temperatura y agitación constante.

Pasado el tiempo estipulado anteriormente, se retiraron las mezclas del proceso de agitación continua, y se procedió a la metodología de filtrado mediante a la aplicación de una bomba al vacío marca Rocker 400, con el fin de obtener el filtrado puro de mucilago.

Figura 22.
Montaje bomba al vacío.



Nota. La figura muestra el proceso para la obtención del material filtrado de mucilago.

Figura 23.
Producto filtrado.



Nota. La figura detalla la cantidad justa de material filtrado por cada 50 gramos de planta triturada.

Cabe señalar que se generaron varios montajes de este tipo (50 gramos de materia prima + 500 ml de agua destilada) y en cada caso de estudio se obtuvieron los mismos 250 ml tras pasar por el proceso de filtrado mediante la aplicación de la bomba al vacío. Este

volumen filtrado fue procesado mediante una mezcla con 750 ml de alcohol absoluto (exactamente 3 veces el volumen filtrado), con el fin de generar la precipitación del mucilago.

Figura 24.

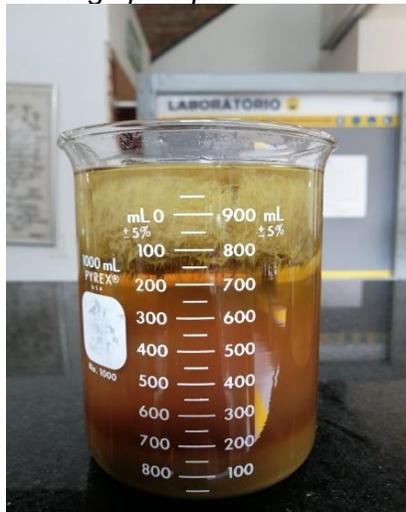
Montaje para precipitación de mucilago.



Nota. La figura expone el proceso de mezcla entre el material filtrado y el alcohol absoluto para promover la precipitación del mucilago.

Figura 25.

Mucilago precipitado.



Nota. La figura muestra el mucilago luego de completar el proceso de precipitación.

Ya con el mucilago precipitado (sección blanca superior de la imagen anterior), se procedió nuevamente a someter este a un proceso de filtrado mediante la implementación de la bomba al vacío, con el fin de descartar toda la sección líquida y quedarse con un producto acuoso.

Figura 26.
Mucilago húmedo.



Nota. La figura detalla el estado del mucilago en su fase acuosa.

El producto acuoso es procesado mediante la aplicación continua de calor a $50^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, para lo cual se implementó un horno de calentamiento marca Binder, y se obtuvo un producto sólido el cual fue pasado por un procedimiento de trituración para finalmente obtener un polvo de grano muy fino.

Figura 27.
Mucilago en polvo.



Nota. La figura detalla el estado del mucilago en su fase en polvo.

El peso final de este polvo obtenido a partir de los 50 gramos de materia prima (planta *Althaea Officinalis*) es de 2 gramos, los cuales fueron mezclados con 0,20 gramos de ácido cítrico para así asegurar una protección ante la posible degradación del producto final. De este modo, ya se obtiene un inhibidor terminado, el cual fue sometido a diversas pruebas fisicoquímicas, como se detalla en la siguiente sección.

3.1.2. Caracterización fisicoquímica del mucilago

- Color y apariencia: así como se mencionó en el capítulo anterior. El color y la apariencia del mucilago se realizó a consideración de los autores del presente texto, arrojando un resultado de verdoso en su estado acuoso y con tonalidades café en su estado triturado.

Figura 28.
Color y apariencia del mucilago.



Nota. La figura especifica la propiedad física del mucilago en cuanto a su color y apariencia.

Este comportamiento obedece a su origen orgánico vegetal. Obtenido un color verdoso por sus condiciones de siembra, desarrollo y apariencia como se pueden evidenciar en el capítulo 1 “Marco teórico” del presente documento.

- Viscosidad: la viscosidad del mucilago fue el resultado de la lectura del equipo Brookfield DV-E VISCOMETER. Qué a su vez, arrojó una confianza en su lectura para el mucilago húmedo como se muestra en la pantalla del dispositivo y en la tabla 7.

Figura 29.
Montaje para determinación de viscosidad.



Nota. La figura detalla la determinación de la viscosidad del producto acuoso mediante la aplicación del equipo Brookfield.

Demostrando, a partir de un resultado igual a 28 cP y 30 RPM, la considerable resistencia que presenta el producto acuoso para permitir su respectiva fluidez y deformación, mediante la aplicación de una viscosidad relativamente alta.

- Porcentaje de rendimiento: esta característica del producto final se obtuvo relacionando la masa del mucilago ya triturado sobre la masa de las hojas secas. El resultado de este cálculo se mostrará en la tabla 7.

$$\% R = \frac{\text{Masa de mucilago triturado}}{\text{Masa de las hojas molidas}} \times 100$$

Considerando una toma inicial de materia prima fina de 50 gr se puede afirmar la notable pérdida de masa, tras obtener únicamente 2 gramos de producto final, correspondiente a un rendimiento igual al 4%; esto teniendo en cuenta su porcentaje relativamente alto de humedad y contrariado con la alta cantidad de mucilago presente en la totalidad de la planta escogida para el proceso experimental. Sin embargo, cabe señalar que el factor predominante de este proceso sigue siendo el porcentaje de humedad estipulado, sin

tener en cuenta la cantidad de mucilago que se pueda anticipar para su respectiva obtención.

- Solubilidad: este atributo del producto se realizó mediante la adición de una masa conocida de mucilago pulverizado a 100 mL de agua destilada, donde posteriormente se procedió a calcular su solubilidad aplicando la siguiente ecuación.

$$\%S = \frac{\text{Mucilago no soluble}}{\text{Mucilago total diluido}} \times 100$$

Se presenta un porcentaje de solubilidad considerablemente alto, con un resultado de 11.86%; denotando de esta manera, la capacidad que posee el producto final para disolverse en cierta cantidad conocida de agua, tomando en cuenta su origen orgánico y el tamaño de partícula obtenido al finalizar el proceso.

- Tamaño de partícula:

El tamaño de partícula del mucilago triturado se obtuvo por el entrapamiento de las partículas sólidas en las mallas de los tamizadores mecánicos. El resultado de esta propiedad se mostrará en la tabla 7.

Figura 30.
Montaje de tamices.



Nota. La figura muestra la selección de mallas con diámetro muy pequeño para la determinación del tamaño de partícula del producto final.

Tomando en consideración el proceso de trituración previo a este procedimiento experimental, y que ambos están acoplados de manera directamente proporcional, el tamaño de partícula obtenido para el producto final está comprendido entre las mallas de 53 y 90 μm ; influyendo a la vez en el porcentaje de solubilidad del producto terminado.

- Porcentaje de humedad: con la ayuda de un horno de calentamiento marca Binder se sometió a calor constante una de las muestras húmedas preparadas a una temperatura de 50°C durante aproximadamente 4 horas.

Al pasar este tiempo se retiró la muestra del respectivo horno y se tomaron tanto el peso antes de la prueba como también el peso después de esta. Esto se puede evidenciar en el siguiente procedimiento matemático:

$$\%H = \frac{P_{inicial} - P_{final}}{P_{inicial}} * 100$$

Una vez obtenida la cantidad de agua contenida en la muestra orgánica de mucilago se aprecia un valor de 89.98%, denotando de esta manera que la presencia de vapor de agua será más abundante al momento de generar el calentamiento de la muestra en estudio, partiendo desde su estado acuoso, y por ende influyendo de manera directa sobre la velocidad de reacción al momento de elaborar la respectiva experimentación con respecto a su evaluación.

- Estabilidad térmica: para el respectivo procedimiento se hizo necesario implementar el producto ya terminado en su estado de polvo fino final; este, fue sometido a un riguroso proceso de exposición a altas temperaturas para determinar cómo variaba su respectiva masa inicial al paso de 8 horas. Para ello se tomaron 3 pruebas, cada una de 0,2 gramos de producto, y se sometieron a 3 diferentes temperaturas, comprendidas en 70°C, 85°C y 125°C. Los resultados obtenidos se pueden evidenciar en la siguiente tabla.

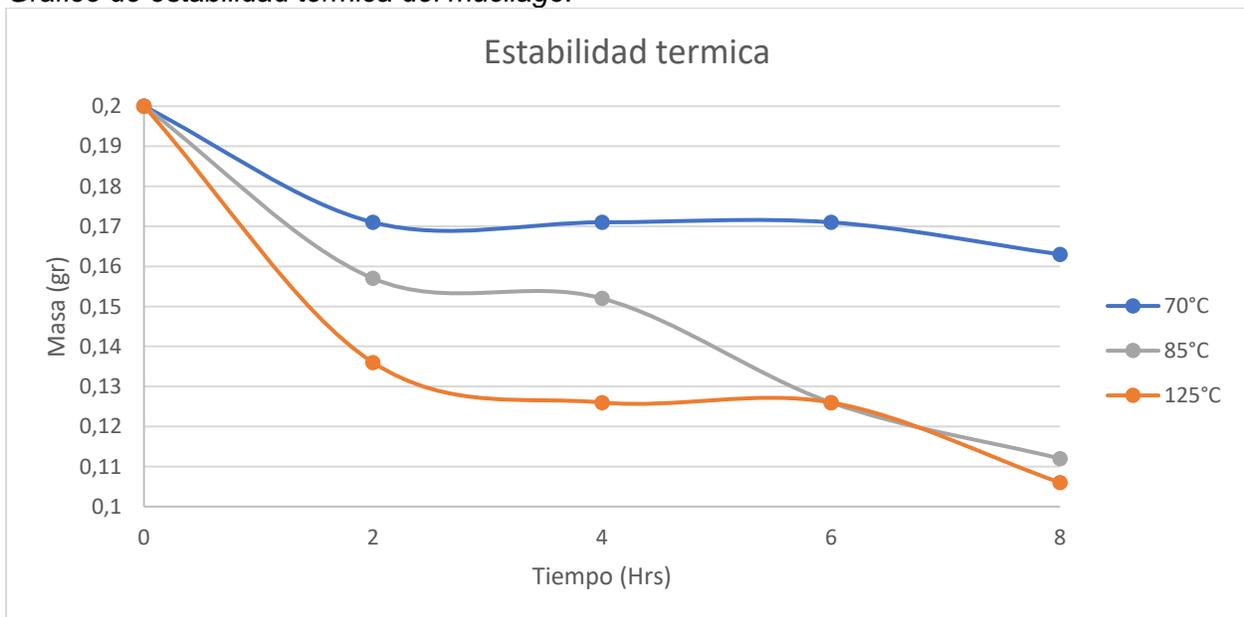
Tabla 5.
Resultados de estabilidad térmica.

Estabilidad térmica			
Tiempo (horas)	Masa (gr) @70°C	Masa (gr) @85°C	Masa (gr) @125°C
0	0,2	0,2	0,2
2	0,171	0,157	0,136
4	0,171	0,152	0,126
6	0,171	0,126	0,126
8	0,163	0,112	0,106

Nota. La tabla detalla los resultados con respecto a la pérdida de masa al exponer cierta cantidad de producto final a temperaturas extremas.

De esta manera se puede apreciar que al someter el producto terminado a extremas exposiciones de temperatura, se va a promover la formación de indicios de descomposición del material tratado, ante la presencia de una mayor pérdida de masa, teniendo en cuenta un abrupto descenso de la masa inicial a diferentes temperaturas e igual tiempo de experimentación. Los datos anteriormente registrados se pueden ver en mayor detenimiento a partir de la implementación del siguiente gráfico detallado.

Figura 31.
Gráfico de estabilidad térmica del mucilago.



Nota. La figura demuestra el comportamiento de la pérdida de masa del producto final, al exponerlo a temperaturas extremadamente altas y mantener dichas temperaturas durante un tiempo ya estipulado de 8 horas.

- Densidad aparente: sabiendo que la densidad aparente es aquella que logra relacionar la masa seca del material en estudio con su respectivo volumen, fue necesaria la implementación de una probeta de vidrio de 25 ml, en la cual se incorporó 1 gramo de inhibidor junto con 15 ml de alcohol absoluto, debido a que el inhibidor preparado no es soluble en alcohol y por ende no se generará la pérdida de materia por solubilidad del producto. Tomando el volumen desplazado al incorporar el producto, se determinó la respectiva densidad aparente, tal y como se demuestra a continuación.

Figura 32.
Montaje para densidad aparente.



Nota. la figura detalla la cantidad de volumen de alcohol desplazado luego de incorporar una masa conocida de producto final.

$$DA = \frac{Masa (gr)}{Volumen final (ml) - Volumen inicial (ml)}$$

Debido a que el procedimiento experimental se lleva a cabo sobre un polvo de grano extremadamente fino, se puede apreciar la obtención de una densidad aparente relativamente alta con valor de 3.33 gr/ml, al no ser afectada por la respectiva estructura del mismo grano; esto teniendo en cuenta el poco espaciamiento presentado de los poros comprendidos entre cada grano del producto final.

Con respecto a la comparación con productos similares, en específico el desarrollado en base al extracto de linaza, se encuentra una diferencia de 2.3 g/ml, esto atribuido a la diferencia característica del espaciamiento comprendido entre los granos de partícula que componen al producto generado; así como también, a la poca afinidad de disolución que presenta el inhibidor de Bismalva al ser mezclado con alcoholes.

- Grupos funcionales: para la determinación y caracterización de los grupos funcionales presentes en la muestra de mucilago de la planta Bismalva fue necesaria la aplicación de un espectrofotómetro Shimadzu IR Prestige-21 con pastillas KBr y resolución de 1.93 cm^{-1} , con el fin de poder obtener datos de mayor calidad y exactitud. Cabe mencionar, que para la obtención de estos resultados se acudió a la Universidad Nacional de Colombia, quienes poseen los equipos y la capacidad para desarrollar estas pruebas de una manera detallada.

Figura 33.

Pastillas KBr con la muestra y duplicado de mucilago.



Nota. La figura ilustra el montaje de las pastillas KBr para la prueba de grupos funcionales en la muestra y en la contramuestra de mucilago. Tomado de: Departamento de química Universidad Nacional de Colombia.

Figura 34.

Equipo de espectrofotometría Shimadzu IR Prestige-21.



Nota. La figura muestra un ejemplo del equipo usado para la medición y caracterización de los grupos funcionales mediante espectrofotometría IR. Tomado de: Saint Petersburg State University, "FTIR spectrometer IRPrestige-21", [En línea]. Disponible: <https://laser.spbu.ru/en/equipment-eng/irprestige-eng.html> [Acceso: abr.10,2021]

Considerando los equipos y montajes mencionados en las figuras 33 y 34, se llevó a cabo la prueba de espectrofotometría IR, obteniendo de esta manera los resultados correspondientes a los grupos funcionales, los cuales se pueden encontrar a partir de la aplicación de la tabla 6.

Tabla 6.*Resultado de Grupos funcionales mediante espectrofotometría IR.*

Señal (cm ⁻¹)		Asignación
Muestra	Duplicado	
3397	3420	Tensión enlace O-H (alcohol)
2933	2926	Tensión enlace C-H (alcano / aromático)
2848	2853	
2337-2370	2330-2373	Tensión enlace C≡N, o P-H (fosfinas)
1616	1623	Tensión enlace C=C (aromático)
1538	1541	Deformación enlace N-H (amina)
1420	1410	Tensión enlace Aril-OH (aromático)
1311	1314	Tensión enlace C-N(amina)
1250,21	1247,84	Tensión enlace C-O (alcohol)
1091,79	1091,79	Deformación enlace P-H (fosfinas)
1037,41	1044,51	Tensión enlace S=O (Sulfóxidos)

Nota. La tabla muestra los resultados correspondientes a los grupos funcionales encontrados en el mucilago estudiado mediante la aplicación de espectrofotometría infrarroja con asignación de señales. Tomado de: Departamento de química Universidad Nacional de Colombia.

Determinados los grupos funcionales pertinentes en la muestra a estudiar, se puede apreciar una gran presencia de alcoholes, aromáticos, fosfinas, aminas y Sulfóxidos, los cuales son característicos para el tratamiento de incrustaciones inorgánicas. De modo que, se debe tener en cuenta que los grupos carboxílicos pertenecientes a dos cadenas distintas sirven como estructura para formar enlaces iónicos como cationes divalentes (Ca⁺⁺) permitiendo un empaquetamiento coordinado de la estructura [31].

- Tabla resumen de resultados: en la siguiente tabla se podrá evidenciar de manera resumida todos los resultados y características mencionadas anteriormente.

Tabla 7.*Tabla de resultados caracterización del mucilago.*

Caracterización Mucilago	
Color y apariencia	Verdoso (acuoso) / verdoso con tendencia a café (Polvo)
Viscosidad	28 Cp acuoso a 30 RPM
Masa de Mucilago	4,00%
Solubilidad	11,86%
Tamaño de partícula	Rango [53,90] Micras
Porcentaje de humedad	89,98%
Estabilidad térmica	Figura 31
Densidad aparente del polvo	3,33 g/ml
Grupos funcionales	alcoholes, aromáticos, fosfinas, aminas y Sulfóxidos

Nota. La tabla generaliza un resumen correspondiente a la totalidad de los datos obtenidos al aplicar las pruebas fisicoquímicas el producto final.

3.2. Caracterización del agua sintética y LSI inicial

El agua sintética que fue la base de todas las pruebas aplicadas al inhibidor natural contaba con una concentración de calcio, bicarbonato y cloruros, controladas para obtener una mayor certeza de la eficiencia del inhibidor. Siendo así, al agua destilada se le añadió CaCl_2 en una concentración de 12,15 g/L, MgCl_2 en una concentración de 3,68 g/L, NaCl en una concentración 33.0 g/L y NaHCO_2 en una concentración de 7.36 g/L.

3.2.1. Características fisicoquímicas del agua sintética

Dicho esto, y como parte de la metodología de evaluación enunciada en el capítulo 2 del presente documento, se estipulo el índice de saturación de Langelier del agua, donde se estipularon características como dureza cálcica, total de solidos disueltos, potencial de

hidrogeno, alcalinidad y cloruros. Cabe señalar, que los resultados de las concentraciones anteriormente descritas se enunciaran en la siguiente tabla.

Tabla 8.

Características fisicoquímicas del agua sintética.

LSI AGUA ANTES			
Prueba	mL titulante	Valor	unidades
TDS	NA	43,09	mg/L
pH	NA	8,44	H+
Alcalinidad	9,7	473,36	mg/L
Dureza cálcica	54,5	4360	mg/L
Cloruros	20,15	40300	mg/L

Nota. La tabla detalla el resultado de las pruebas fisicoquímicas aplicadas al agua sintética.

Figura 35.

Determinación solidos disueltos.



Nota. La figura detalla los cristales obtenidos al aplicar la determinación de los sólidos disueltos totales.

Observando los resultados sin aplicar la formula del LSI. Se puede inferir, que las concentraciones obedecen a lo estipulado para la generación del agua sintética con potencial incrustante por su cantidad significativa de cloruros y calcio en ella.

3.2.2. Índice de Langelier antes del tratamiento con inhibidor

Obtenidos los caracteres anteriormente mencionados, fue necesario generar la aplicación de la respectiva ecuación para sintetizar el cálculo del índice de Langelier en el agua sintética, antes de llevar a cabo la integración y evaluación de esta bajo los efectos del inhibidor a las concentraciones previstas.

$$D = \log HCO_3^-$$

$$C = \log Ca^{2+} - 0,4$$

$$B = \frac{\log(TDS)-1}{10}$$

$$A = -13,12 * \log(T(^{\circ}C) + 273) + 34,55$$

$$pHs = (9,3 + A + B) - (C + D)$$

$$LSI = pH - pHs$$

De esta manera, al resolver y hallar los literales pertinentes en la determinación del pH al cual se encuentra saturada el agua con $CaCO_3$ (pHs), se llega a un valor de LSI igual a 2,748; igualmente, es pertinente incurrir que al considerar este valor inicial para el índice de saturación de Langelier, el agua formulada para el respectivo estudio va a tener tendencia a formar incrustaciones inorgánicas de carbonato de calcio ($CaCO_3$).

3.2.3. Tabla resumen para el índice de Langelier inicial

La siguiente tabla detalla los resultados obtenidos para cada literal perteneciente del pHs y el resultado final de LSI, el cual fue cruzado con la tabla 1 para determinar capacidad incrustante, corrosiva o neutra.

Tabla 9.
*Resultado LSI antes de
 evaluación con inhibidor.*

LSI AGUA INICIAL	
B	0,063
A	2,243
C	3,239
D	2,675
PHS	5,692
LSI	2,748

Nota. La tabla detalla el resultado con respecto a LSI antes de aplicar el inhibidor preparado.

3.3. Norma NACE TM-0374 del año 2007

Dados los mecanismos para la generación y caracterización tanto del inhibidor preparado, como del agua sintética en estudio, se procedió a realizar el respectivo montaje de evaluación del producto final, bajo parámetros estipulados en la norma NACE TM 0374 del año 2007. Para ello, se tomaron unas concentraciones ya estipuladas en ppm, para conocer de esta la cantidad de inhibidor en gramos a usar por cada muestra preparada, como se puede observar en la tabla 10.

Tabla 10.
Muestras para prueba NACE.

Mucilago NACE			
Muestra	ppm	Cantidad (gr)	Unidad
1	55	0,0055	g/100mL
2	100	0,01	g/100mL
3	300	0,03	g/100mL
4	5000	0,5	g/100mL

Nota. La tabla muestra la cantidad específica de producto usado para cada muestra preparada.

Conocida la cantidad en gramos para cada proceso experimental según su concentración, se procedió con el montaje en baño de maría, el cual se dejó a una temperatura de $70^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas continuas. Las figuras 36 y 37 muestran este procedimiento descrito, al inicial y al finalizar la prueba de evaluación. Cabe señalar que cada montaje, según su concentración, fue realizado en tubos de ensayo

independientes, los cuales poseían la capacidad volumétrica adecuada para poder almacenar en su totalidad los 100 ml de agua sintética junto con la cantidad estipulada de inhibidor.

Figura 36.
Inicio prueba NACE.



Nota. La figura detalla el montaje para la evaluación del producto bajo parámetros estipulados en la norma NACE TM 0374 del año 2007.

Figura 37.
Final prueba NACE.



Nota. La figura detalla el montaje para la evaluación del producto final pasado el tiempo de estudio de 24 horas.

Figura 38.
Montaje de muestras para NACE.



Nota. La figura detalla el montaje de los tubos correspondientes a la prueba de evaluación del producto final.

Una vez pasadas las 24 horas para la evaluación, se procedió a generar el mismo procedimiento correspondiente a la caracterización del agua sintética, como se hizo en el ítem 3,2. En este caso, bajo los efectos del inhibidor a diferentes concentraciones, como se mencionó anteriormente. Los resultados de las 4 muestras se pueden ver detallados en la siguiente tabla.

Tabla 11.
Caracterización del agua después de NACE.

Prueba NACE				
Muestra	pH (H ⁺)	Alcalinidad (mg/L)	Dureza Cálctica (mg/L)	TDS (mg/L)
0	8,44	473,36	2000	43,09
1	8,29	229,36	2800	36,05
2	8,26	292,8	3100	44,65
3	7,79	253,76	3520	47,01
4	6,36	312,32	4000	47,1

Nota. La tabla muestra el resumen de las propiedades fisicoquímicas correspondientes a las muestras de estudio.

Conocidas las características anteriormente mencionadas en la tabla 11, se procedió a calcular los factores pertenecientes para la determinación del potencial de hidrógeno al

cual el agua sintética se encuentra saturada con CaCO_3 , con el fin de poder llegar a la obtención del índice de saturación de Langelier para cada muestra preparada.

Tabla 12.

LSI muestra Blanco.

LSI AGUA Después Blanco	
B	0,063
A	2,243
C	2,901
D	2,675
PHS	6,031
LSI	2,409

Nota. La tabla muestra el resultado del LSI tras la evaluación del producto en la muestra blanco.

Tabla 13.

LSI Muestra 1.

LSI AGUA Después M1	
B	0,056
A	2,243
C	3,047
D	2,361
PHS	6,191
LSI	2,106

Nota. La tabla muestra el resultado del LSI tras la evaluación del producto en la muestra 1.

Tabla 14.

LSI muestra 2.

LSI AGUA Después M2	
B	0,065
A	2,243
C	3,091
D	2,467
PHS	6,050
LSI	2,212

Nota. La tabla muestra el resultado del LSI tras la evaluación del producto en la muestra 2.

Tabla 15.

LSI muestra 3.

LSI AGUA Después M3	
B	0,067
A	2,243
C	3,147
D	2,404
PHS	6,059
LSI	1,725

Nota. La tabla muestra el resultado del LSI tras la evaluación del producto en la muestra 3.

Tabla 16.

LSI muestra 4.

LSI AGUA Después M4	
B	0,067
A	2,243
C	3,202
D	2,496
PHS	5,914
LSI	0,445

Nota. La tabla muestra el resultado del LSI tras la evaluación del producto en la muestra 4.

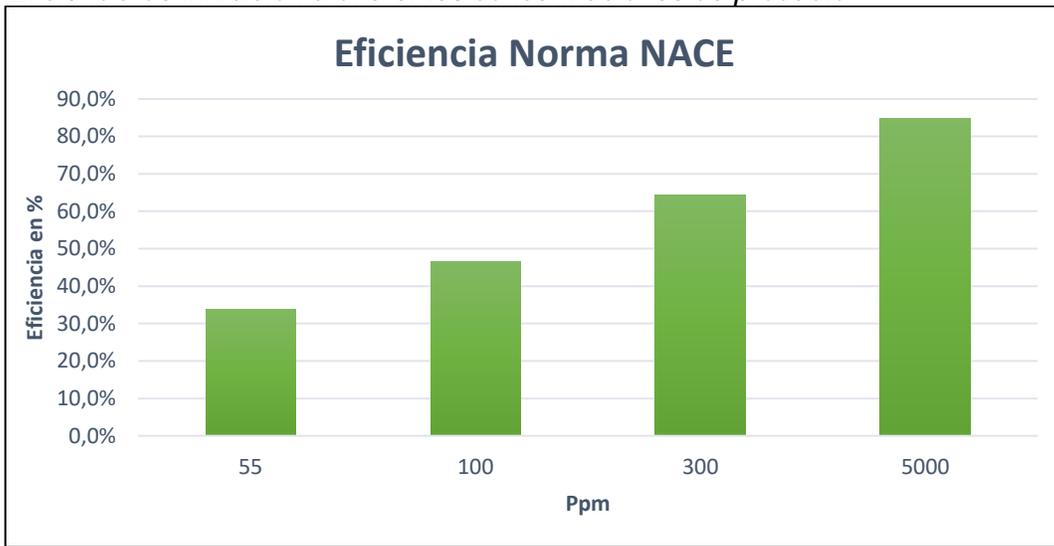
Finalmente, y tomando en consideración la determinación de dureza cálcica, se generó el respectivo cálculo de la eficiencia de inhibición de escamas inorgánicas de carbonato de calcio del producto, a partir de las diferentes concentraciones. Para ello, fue necesario aplicar la ecuación estipulada en el ítem 1.8.1 del presente documento. Los resultados con respecto a esta eficiencia se pueden ver registrados en la siguiente tabla y detallados mediante la incorporación de la figura 39.

Tabla 17.
Eficiencia del producto final.

Eficiencia	
Muestra (ppm)	%
55	33,9%
100	46,6%
300	64,4%
5000	84,7%

Nota. La figura detalla el resultado de la eficiencia de inhibición para cada muestra preparada.

Figura 39.
Eficiencia de inhibición a diferentes concentraciones de producto.



Nota. La figura muestra la representación gráfica de la eficiencia de inhibición para cada muestra preparada, teniendo en cuenta el cambio con respecto a la concentración de producto final a usar.

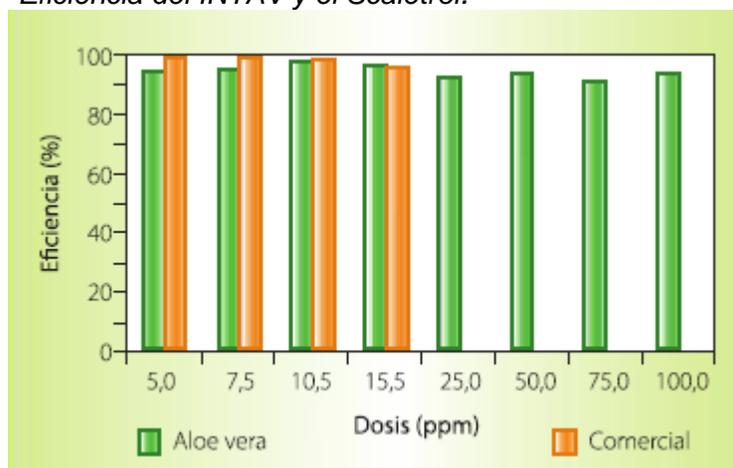
Determinados los caracteres anteriormente descritos tras la aplicación de las pruebas evaluativas del producto final a partir de la norma NACE TM-0374 del año 2007, se identifica que a mayor cantidad de inhibidor usado en cada una de las pruebas habrá un mayor porcentaje de eficiencia, llegando a valores competitivos en el mercado actual. Por otro lado, teniendo en cuenta el resultado correspondiente al índice de saturación de Langelier inicial de la tabla 9, se aprecia una mayor inhibición de escamas inorgánicas de carbonato de calcio a medida que se aplicaba una mayor concentración del producto en estudio, obteniendo de esta manera, y como se puede observar en la tabla 16, un

resultado muy cercano a 0; de modo que el producto final está provocando un comportamiento casi neutro en el agua sintética que se está tratando durante este procedimiento experimental.

Como se puede observar en la figura 39, al pasar de una concentración ligeramente alta de 300 ppm a una excesivamente alta de 5000 ppm, se evidencia que un incremento leve de 20.3% con respecto al porcentaje obtenido de inhibición de escamas de carbonato de calcio, atribuido a la interacción de impurezas presentes en el mucilago llegando a limitar su poder de acción en el agua sintética altamente incrustante, alcanzando de esta manera un punto de equilibrio de eficiencia.

Siguiendo con la comparación y evaluación de resultados del producto preparado, se tiene en consideración la información proporcionada a partir de la aplicación de la siguiente figura.

Figura 40.
Eficiencia del INTAV y el Scaletrol.



Nota. La figura detalla el porcentaje de eficiencia de inhibición de los productos escogidos para la comparación de resultados, según norma NACE TM 0374 del año 2007. Tomado de: Expansión, “Desarrollo del ciclo tecnológico de un inhibidor de incrustaciones verde para la industria de hidrocarburos: intav”, [En línea]. Disponible:

https://www.researchgate.net/publication/273451374_Development_of_a_Green_Scale_Inhibitor_for_the_Hydrocarbon_Industry_INTAV [Acceso: abr.10,2021]

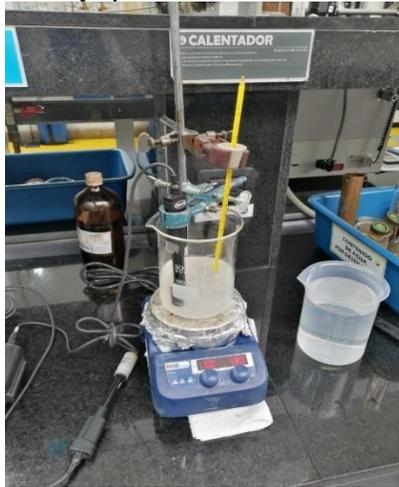
Tomando en consideración tanto los resultados obtenidos en la figura 39 y los proporcionados por la figura 40 se observa un comportamiento inversamente proporcional en consideración al porcentaje de eficiencia; debido a que, este resultado con respecto a los productos escogidos para comparación (INTAV y Scaletrol) muestran un porcentaje de eficiencia mayor a medida que se trabaja con concentraciones menores, caso contrario al producto desarrollado en el presente proyecto.

En el mismo sentido, este comportamiento diferencial entre los dos productos naturales, es decir, el preparado a partir de Bismalva y el escogido para este fin (INTAV), se debe al proceso de extracción del mucilago de la planta y de los grupos funcionales presentes en este, en otras palabras, en caso del inhibidor preparado con base en aloe vera se presentan una mayor cantidad de grupos carboxílicos, los cuales poseen una mayor eficiencia de inhibición, teniendo en consideración la exactitud de señal, entre 1200 y 1500 cm^{-1} , para cada grupo funcional presente. Caso contrario al preparado a partir de la Bismalva, en el cual se denota la aparición de compuestos ajenos a los grupos carboxílicos esperados, como lo es la presencia de fosfinas, las cuales señalan la formación de degradación térmica de la materia orgánica, así como también la aparición de compuestos como sulfóxidos, los cuales restan eficiencia al procedimiento de inhibición al frenar la cadena de reacción.

3.4. Medición de pH continuo

La medición continua de pH fue otro factor determinante para evaluar la eficiencia del inhibidor natural propuesto. Dicho esto, nos basamos en la metodología expuesta y enunciada en el capítulo anterior, donde en 141 mL de agua destilada, se añadían 9 mL de CaCl_2 (0.15 mol/L) y 2 mL de NaHCO_2 (0.3 mol/L) cada 60 segundos en forma de titulación. Cabe aclarar, que esta prueba se realizó a 0, 50, 100 y 300 Ppm, para continuar con la evaluación efectiva del inhibidor como se observa en la figura 41.

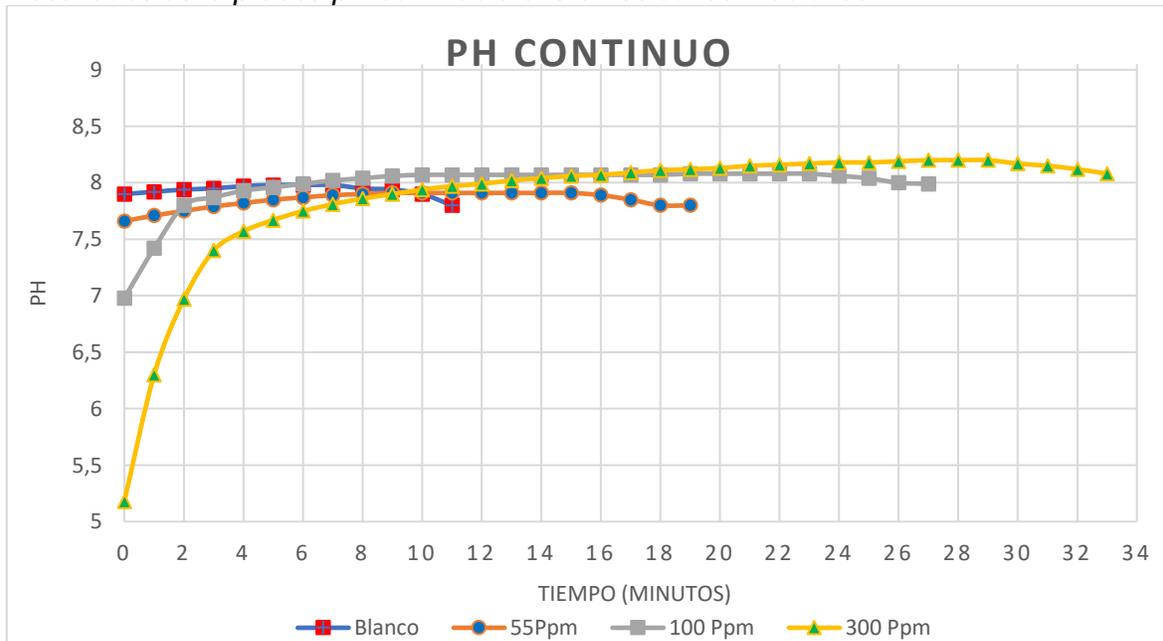
Figura 41.
Montaje pH continuo.



Nota. La figura detalla el montaje construido para la determinación del pH para cada una de las muestras.

Mencionado lo anterior, en la figura 42 se mostrarán los resultados obtenidos de dicha prueba, ubicando el pH obtenido cada 60 segundos en el eje de las ordenadas y el tiempo en minutos en el eje de las abscisas.

Figura 42.
Resultados de la prueba pH continuo a diferentes concentraciones.



Nota. La figura detalla el comportamiento del pH a diferentes dosis suministradas de producto final, teniendo en cuenta la medición con respecto al tiempo de respuesta.

Logrados los resultados, se procedió a calcular el índice de super saturación de cada una de las pruebas anteriores. Cabe señalar, que se aplicó la fórmula enunciada en el capítulo 1 del presente documento, en su apartado de medición continua de pH.

Tabla 18.

Resultados variación del índice de supersaturación.

Dosis (ppm)	Tiempo de precipitación (minutos)	Índice de supersaturación (adimensional)	%VIS
0	7	196,710	23,40%
55	15	297,826	35,42%
100	23	569,682	67,76%
300	29	840,791	100,00%

Nota. La tabla representa los resultados obtenidos con respecto a la determinación de la variación del índice de supersaturación.

Del mismo modo, se calculó el porcentaje de variación del índice de super saturación, como se señala en la metodología del procedimiento aplicado.

De la misma manera, se puede observar que el producto final frente a condiciones controladas de concentraciones de calcio y bicarbonato presenta un efecto inhibitorio representado en el tiempo de precipitación de la formación de cristales inorgánicos de carbonato de calcio, evidenciados con la disminución del pH. Por otro lado, tomando en consideración las condiciones óptimas para la determinación del índice de supersaturación a diferentes concentraciones, se observa un constante incremento con respecto a la aplicación de la dosis que se esté implementando, dando a entender que la variación de esta variable (VIS) responde a la capacidad del agua de mantener mayores concentraciones de calcio y carbonato en disolución como se puede apreciar en la tabla 18.

3.5. Evaluación de resultados

Una vez obtenidos los resultados correspondientes a la evaluación del producto final mediante la aplicación tanto de la norma NACE TM 0374 como también el procedimiento del pH continuo, se cruzaron estos con lo estipulado en las tablas 2, 3 y 4, con el fin de proporcionar un valor de puntuación por cada prueba y de esta manera llegar a un

resultado final para determinar la respectiva efectividad del producto generado. El resumen de resultados se puede ver detallado mediante la aplicación de la siguiente tabla informativa, teniendo en cuenta una tabla anexa de rango de calificación por color.

Tabla 19.
Rangos de desempeño.

Desempeño del inhibidor	Rango	
	Min	Max
Deficiente	0	7,49
Regular	7,5	14,99
Efectivo	15	22,49
Muy efectivo	22,5	30

Nota. La tabla resalta la base de datos bajo la cual se generó la evaluación del desempeño del producto terminado.

Tabla 20.
Resultado final del desempeño general del producto.

DOSIS (ppm)	NACE TM 0374-2007	Variación de tendencia incrustante	Mediación continua de pH	Desempeño general
55	4	7	4	15
100	4	4	7	15
300	7	7	10	24

Nota. La tabla muestra el resultado final con respecto a la evaluación del desempeño del inhibidor preparado, teniendo en cuenta una variación con respecto a la dosis suministrada.

Tomando en consideración lo anteriormente descrito con respecto a las pruebas finales de evaluación del producto, y cruzando la información de la tabla 20 con lo estipulado en la tabla 19, se puede apreciar que a partir de las diferentes concentraciones manejadas en las distintas pruebas, se obtiene un desempeño del producto el cual se comprende entre una valoración efectiva y muy efectiva de inhibición y eficiencia.

Por otro lado, al considerar las 3 pruebas de manera independiente, es decir, %E, %VTI y VIS para concentración preparada, se resalta que a menores dosis el producto (55 y 100 ppm) va a poseer tendencia a presentar una eficiencia de inhibición catalogada como

regular; esto debido a la poca interacción que existe entre la baja cantidad de grupos carboxílicos presentes en la muestra usada y los átomos inestables característicos de los cristales formados. En este mismo sentido, y al centrarse únicamente en la prueba de variación de tendencia incrustante se puede evidenciar que entre las concentraciones de 55 y 100 ppm existe una caída con respecto al puntaje global y un incremento nuevamente al llegar a la concentración de 300 ppm; este comportamiento en general, se pudo haber ocasionado debido a factores externos como condiciones de temperatura durante prueba, y agentes que pudieran llegar a contaminar el montaje realizado, obteniendo de esta manera una reducción considerable con respecto a la variación de la tendencia incrustante generada para esta prueba en específico, es decir, a 100 ppm.

Finalmente, considerando el desempeño general para cada una de las muestras preparadas, se puede atribuir a la alta concentración de mucilago en las raíces, tallos y hojas de la planta Bismalva y un 20% de pectina, la facilidad de inhibición de incrustaciones de carbonato de calcio a las condiciones establecidas de laboratorio, considerando la captura de los iones de calcio por parte de los grupos funcionales presentes, aumentando así la solubilidad de los minerales que componen la incrustación trabajada, gracias a sus interacciones químicas.

4. CONCLUSIONES

Tomando en consideración el porcentaje obtenido de rendimiento del mucilago, se comprobó una notable pérdida con respecto a la masa inicial, elaborando únicamente 2 gramos de producto final a partir de los 50 gramos iniciales de materia prima, obteniendo un rendimiento del 4%. Esta pérdida de masa se debe gracias al proceso de hidrólisis que aportó al aumento del porcentaje de humedad presente en la materia prima de alrededor del 90%.

Con respecto a la viscosidad obtenida, la cual es considerablemente alta con un valor de 28 cP, se demuestra que dentro de los valores típicos de inhibidores naturales se encuentra por encima de la media en alrededor de 10 cP; permitiendo de esta manera, la formación de una resistencia para permitir una alta fluidez del producto acuoso. En este mismo sentido, se atribuye esta variación del resultado a partir de la alta concentración de mucilago en un 12%, 10% y 8% en sus raíces, hojas y tallos, que permiten obtener un producto más concentrado y por ende más viscoso.

Se evidenció que al llevar el producto terminado a temperaturas extremas de calentamiento por encima de los 80°C, se va a promover la formación de descomposición del producto, obteniendo una reducción considerable con respecto a su masa de alrededor de 0.1 gramos. Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se observa que en el estudio de espectrofotometría infrarroja realizada a la muestra, posterior a su secado en horno a 50°C, se encuentra la presencia de fosfinas en una señal comprendida entre 1100 y 1200 cm^{-1} , demostrando de esta manera indicios de degradación de la materia orgánica.

A partir de lo mencionado anteriormente, se logró determinar las principales propiedades fisicoquímicas del mucilago generado, el cual sirvió como base para los estudios posteriores a su obtención, destinados netamente a la evaluación de este bajo diferentes concentraciones estipuladas. En este mismo sentido, dentro de las principales propiedades estipuladas se encuentra la densidad aparente con valor de 3.33 gr/ml, el cual denota, a partir de un resultado ligeramente alto, que el espaciamiento comprendido entre los granos que componen al mucilago extraído no presentan mayor relevancia

sobre su composición al considerarse como un producto de partícula extremadamente fina catalogado entre 53 y 90 micras de diámetro.

Se logró determinar la capacidad incrustante del agua sintética preparada a partir de la metodología propuesta para la determinación del índice de Langelier, obteniendo un valor de 2.74 con una tendencia altamente incrustante. En el mismo sentido, se determinó este mismo factor, posterior a aplicar la norma NACE TM 0374 del año 2007, obteniendo una reducción del LSI comprendida entre 19,52% y 83,81% para una concentración usada de inhibidor de 55 ppm y 5000 ppm, respectivamente, atribuido a las propiedades inhibitorias del producto y teniendo en consideración la cantidad de producto que se esté manejando para la prueba.

Se puede evidenciar que el porcentaje de eficiencia del producto obtenido es directamente proporcional a la concentración estipulada para la generación de las pruebas en estudio; obteniendo de esta manera, una eficiencia mínima de 33,9% a 55 ppm y una máxima de 84,75% con una concentración de 5000 ppm. En este mismo sentido al comparar las eficiencias obtenidas para las muestras de 300 ppm y 5000 ppm, se identifica una diferencia de 20.3% entre ambas, dando a entender que no es recomendable emplear altas concentraciones de producto debido a que se pueden obtener resultados en cuanto a eficiencia bastantes cercanos al implementar menor cantidad de producto final para el respectivo tratamiento.

Se determina que para garantizar una eficiencia de inhibición considerablemente por encima del 60% es importante implementar una concentración masa/volumen de al menos 300 mg de soluto en 1 litro de solución. Como principal recomendación, es primordial generar la incorporación del producto en aguas menos incrustantes, es decir, aguas reales de campo, donde se pueda observar presencia de incrustaciones inorgánicas, pero que está a la vez no se comporte tan agresiva como el agua sintética preparada en laboratorio.

Mediante la aplicación de la metodología para la evaluación del pH continuo, se pudo evidenciar el efecto retardante de la generación de incrustaciones de carbonato de calcio de 15 minutos a una concentración de 55 ppm y 29 minutos a 300 ppm, como se puede

evidenciar en la figura 42. En este mismo sentido, se determinó que esta aptitud retardante responde a la capacidad de mantener mayores concentraciones de calcio y bicarbonato en disolución, basados en la captura de los cationes divalentes de los grupos funcionales del mucilago. Cabe señalar, que la eficacia en cuanto al retardo de formación de incrustaciones de carbonato de calcio incrementa con el aumento de las concentraciones del inhibidor usado para cada prueba.

Aplicando las concentraciones estipuladas para el desarrollo del trabajo, se determinó la comparación entre el producto desarrollado y los resultados de productos naturales y convencionales (INTAV y Scaletrol) escogidos para dichos fines; obteniendo de esta manera que el producto generado presenta un comportamiento directamente proporcional entre concentración y eficiencia inhibitoria, caso contrario a los productos escogidos para comparación, donde se evidencia un comportamiento inversamente proporcional entre eficiencia y concentración de inhibidor; esto ocasionado a que en el producto preparado en base a la Bismalva se observa la aparición de mayor cantidad de impurezas que afecten su efecto inhibitorio en comparación con el producto INTAV, en el cual mayor grupos carboxílicos actúan con menor cantidad de materia prima procesada, esto gracias a un proceso más refinado para la obtención del mucilago por parte del aloe vera.

Mencionados los puntos anteriormente planteados, y como evaluación final de la nueva metodología, se logró catalogar el producto inhibitorio a partir del %VTI, %VIS y %E, obteniendo un puntaje de 15, 15 y 24 para concentraciones de 55, 100 y 300 ppm, respectivamente, bajo parámetros descritos en el presente documento, catalogando de esta manera el producto final entre efectivo (puntaje de 15 a 22.49) y muy efectivo (puntaje de 22.5 a 30) frente a capacidad retardante para formación de incrustaciones en cuanto a parámetros de temperatura y pH estipulados.

Se evidencia un gran aprovechamiento de materia prima la cual, según fuentes consultadas, es considerada como maleza presente en cultivos y catalogada como desecho; alcanzando de esta manera la obtención de un producto final a partir de la aplicación de la *Althaea Officinalis*, y a la vez optando por utilizar sus respectivos beneficios biológicos.

Como aporte final, a partir del desarrollo del producto generado en el actual trabajo, se logra sumar al catálogo de inhibidores de incrustaciones a nivel mundial un producto natural, amigable con el medio ambiente por su origen orgánico, y que cumpla con un porcentaje de eficiencia frente a la inhibición de incrustaciones de carbonato de calcio que se puedan presentar en las aguas de producción del ámbito hidrocarburífero y otras industrias similares.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Crabtree and A. Johnson, “La lucha contra las incrustaciones — Remoción y prevención,” *Oilf. Rev.*, vol. 11, p. 20, 2009.
- [2] A. Vilorio, L. Castillo, J. A. García, M. Navas, and R. Nadales, “Desarrollo del Ciclo Tecnológico de un Inhibidor de Incrustaciones Verde para la Industria de los Hidrocarburos: INTAV,” no. January, 2010.
- [3] V. Hernández-pinto, M. Rodríguez-muchati, and L. Castillo-campos, “Nueva metodología para la evaluación de productos inhibidores de incrustación basada en modelos existentes New Methodology for Evaluation of Scale Inhibitor Products Based on Existing Models,” vol. 23, no. 49, pp. 161–184, 2020.
- [4] P. Atl, “*Althaea officinalis*,” pp. 1–5, 2006, [Online]. Available: <https://www.asturnatura.com/especie/althaea-officinalis.html>.
- [5] Facilísimo.com, “Malvavisco la planta con beneficios para tu salud.” 2020, [Online]. Available: https://plantas.facilisimo.com/malvavisco-sus-propiedades-medicinales_863871.html.
- [6] Naturalista, “*Althaea officinalis*,” *Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences*, vol. 12, no. 6. pp. 461–474, 2013, [Online]. Available: <https://colombia.inaturalist.org/taxa/52565-Althaea-officinalis#Taxonomía>.
- [7] P. Mar, “Plantas aromáticas, condimentarias y medicinales: borraja (*Borago officinalis*).” 2010, [Online]. Available: <http://missaromatica.blogspot.com/2010/01/malvavisco-althaea-officinalis.html>.
- [8] J. Gudej, “Flavonoids, phenolic acids and coumarins from the roots the *Althaea officinalis*,” *Planta Medica*, vol. 57, no. 3. pp. 284–285, 1991, doi: 10.1055/s-2006-960092.
- [9] G. Portillo, “Características y propiedades medicinales del mucílago | Jardinería On.” 2020, [Online]. Available: <https://www.jardineriaon.com/mucilago.html>.
- [10] D. Villa, M. Osorio, and N. Villacis, “Extracción, propiedades y beneficios de los mucílagos _ Villa-Uvidia _ Dominio de las Ciencias.” 2020, doi:

<https://doi.org/10.23857/pocaip>.

- [11] P. De Cornejo, "Los ácidos carboxílicos," *Universidad Autonoma del Estado de Hidalgo*. 2020, [Online]. Available: <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa3/n8/m9.html>.
- [12] U. Tricentenaria, "Polisacáridos." 2005, [Online]. Available: http://medicina.usac.edu.gt/quimica/biomol2/carbohidratos/Polisac_ridos.htm.
- [13] EcuRed, "Polisacárido." 2014, [Online]. Available: <file:///G:/Yunier/CIGB 01 09 2014/HeberNem-S/Busquedas/html/Polisacárido - EcuRed.htm>.
- [14] Asturnatura, "Los polisacaridos." 2020, [Online]. Available: <https://www.asturnatura.com/articulos/glucidos/polisacaridos.php>.
- [15] Descubriendolabiología, "Almidón." 2019, [Online]. Available: <https://descubriendolabiologia.home.blog/>.
- [16] R. P. Piug, "Glucógeno: estructura, síntesis, degradación, funciones," 2018. pp. 1–11, 2019, [Online]. Available: <https://www.lifeder.com/glucogeno/>.
- [17] K. Weissermel and H.-J. Arpe, "Química orgánica industrial." p. 285, 1981, [Online]. Available: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-03.php>.
- [18] I. de V. Mingarro, "Estudio de los mecanismos de nucleación y cristalización en vidrios obtenidos a partir de rocas basálticas canarias, Departamento de Petrología y Geoquímica," p. 244, 1992.
- [19] J. Abrego, "Estudio cinético de la electrodeposición de aspirina sobre electrodos de oro y carbón vítreo," *Gobhidalgo.Mx*, p. pagina oficial, 2014, [Online]. Available: http://s-salud.hidalgo.gob.mx/?page_id=2664.
- [20] D. Simancas and C. Villabona, "Diseño y evaluación de un fluido para la remoción de escamas de carbonato de calcio a partir de una solución de EDTA, caso aplicado Campo Colorado," vol. 66, pp. 37–39, 2012, [Online]. Available: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb /tesis/2012/145336.pdf>.
- [21] Minminas, "Hidrocarburos," vol. 4, no. 3, pp. 57–71, 2012, [Online]. Available: <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/614096/2->

Hidrocarburos.pdf/75855d82-def9-4ccb-9fe4-2d4ee97f9123.

- [22] C. Sánchez, “Ciclo de vida de un proyecto.” p. 5, 2004, [Online]. Available: <http://oness.sourceforge.net/proyecto/html/ch05s02.html>.
- [23] MinMinas, “Resolución 18-1495 de 2009,” pp. 1–16, 2009.
- [24] E. Barberii and M. Essenfeld, “Utilización de pozos con secciones horizontales – La Comunidad Petrolera.” 2018, [Online]. Available: <https://lacomunidadpetrolera.com/2018/03/utilizacion-pozos-secciones-horizontales.html>.
- [25] L. Gomez, “Flujo Natural - Producción de Petroleo.” 2014, [Online]. Available: <http://www.petroleoamerica.com/2014/02/flujo-natural-produccion-de-petroleo.html>.
- [26] E. Vargas, “Método de levantamiento artificial por bombeo electrosumergible (BES).” 2009, [Online]. Available: <https://www.monografias.com/trabajos63/levantamiento-artificial-bombeo/levantamiento-artificial-bombeo2.shtml>.
- [27] F. Javier, R. Mart, E. Ram, and R. E. Z. Jaramillo, “Estudio Para El Efecto De La Formacion De Incrustaciones Minerles En El Aparejo De Produccion Sobre El Comportamiento De Pozos Productores De Aceite,” 2014.
- [28] Istas, “La Química Verde | ISTAS,” *Alternativas de riesgo quimico*. 2020, [Online]. Available: <https://istas.net/istas/riesgo-quimico/alternativas/la-quimica-verde>.
- [29] NACE, “NACE international.” 2020.
- [30] X. Zhang, W. Wu, D. Li, and G. Zhao, “A new evaluation method of scale inhibitors for controlling CaCO₃ scale in reverse osmosis system based on pH measurement,” *Adv. Mater. Res.*, vol. 356–360, pp. 2146–2152, 2012, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.356-360.2146.
- [31] L. Castillo, “Escalamiento tecnológico de un inhibidor de incrustaciones a base de gel de aloe vera para el aseguramiento de flujo en la industria de crudo y gas natural,” 2008.

ANEXOS

ANEXO 1

PRUEBA DE ESPECTROFOTOMETRÍA INFRARROJA

INFORME DE RESULTADOS

R-PDC-L066-PT-18.002.066 v.1.0

IESQ-006

6-03-21



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA
SEDE BOGOTÁ
FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
COORDINACIÓN DE EXTENSIÓN Y SERVICIOS

IDENTIFICACIÓN DEL USUARIO

Cliente:	Francisco Javier Talero Rodríguez	Ciudad:	Bogotá D.C.	Fecha de recepción muestra:	25/03/2021
Contacto: (e-mail/teléfono)	francisco.talero@estudiosntes.usamerica.edu.co 3208993186	Dirección:		Fecha de emisión informe:	27/03/2021
Laboratorio:	Macromoléculas 120/135				
Análisis solicitado:	Análisis Espectroscopía IR				
Fecha de ejecución del ensayo:	25/03/2021				

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Código	Muestra	Descripción
M.P.A.O	Mucílago planta <i>Aithanea Officinalis</i>	Sólido marrón tamaño partícula pequeño

RESULTADOS

La muestra recibida, para su respectivo análisis mediante espectroscopía infrarroja (IR), se relaciona en la Figura 1. La medición se realizó por duplicado y con el sólido de menor tamaño de partícula para facilitar su homogeneidad con la pastilla KBr (Figura 2).



Figura 1: Mucílago planta *Aithanea Officinalis* recibida para análisis mediante espectroscopía IR.

Página 1 de 4

INFORME DE RESULTADOS

D-FDC-E.066-PT-18.002.006 v.1.0

IESQ-006

6-03-21



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

SEDE BOGOTÁ

FACULTAD DE CIENCIAS

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

COORDINACIÓN DE EXTENSIÓN Y SERVICIOS



Figura 2: Pastillas KBr con muestra (der.) y duplicado (izq.)

Los espectros IR de la muestra recibida y su duplicado se muestra en las Figura 3 y Figura 4

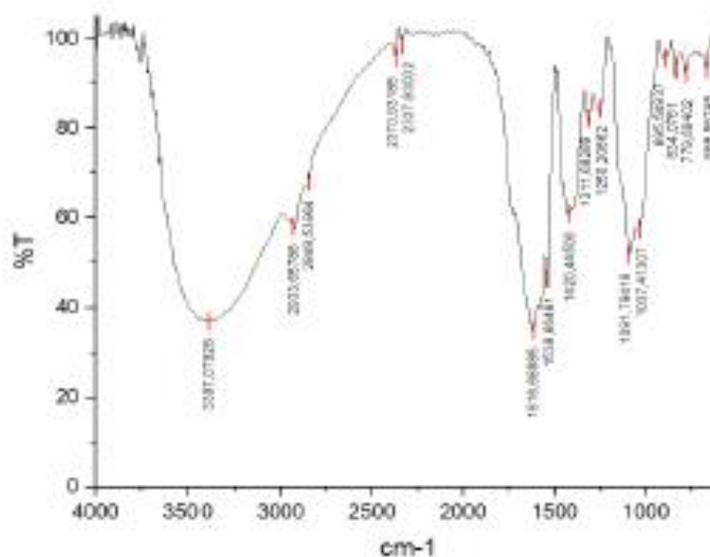


Figura 3: Espectro IR de muestra Mucilago planta *Aithaea Officinalis*

Figura 3 de 4

INFORME DE RESULTADOS

R-FDC-1.062-PT-10.002.006 v.1.0

IESQ-006

6-03-21



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

SEDE BOGOTÁ

FACULTAD DE CIENCIAS

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

COORDINACIÓN DE EXTENSIÓN Y SERVICIOS

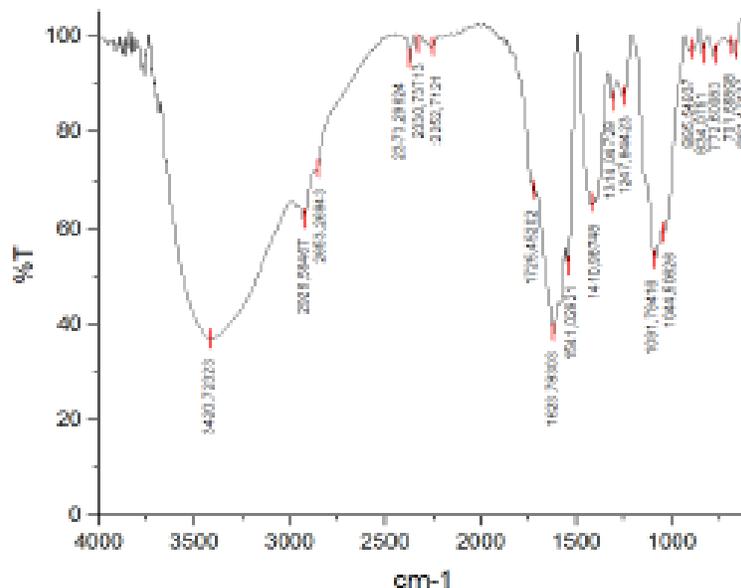


Figura 4: Espectro IR del duplicado muestra Mucilago planta *Aithaea Officinalis*

MÉTODO DE ANÁLISIS

Los espectros IR fueron tomados con un espectrofotómetro Shimadzu IR prestige-21 con pastilla KBr, realizando 32 scans y con una resolución de $1,93 \text{ cm}^{-1}$.

OBSERVACIONES

En general, la muestra y su duplicado presentan la misma cantidad e intensidad de bandas en los espectros obtenidos. La asignación de las señales con los grupos funcionales se relaciona en la Tabla 1.

Señal (cm^{-1})		Asignación
Muestra	Duplicado	
3397	3420	Tensión enlace O-H (alcohol)
2933	2926	Tensión enlace C-H (alcano / aromático)
2848	2853	
2337-2370	2330-2373	Tensión enlace $\text{C}\equiv\text{N}$, o P-H (fosfinas)
1616	1623	Tensión enlace C=C (aromático)

Página 8 de 8



INFORME DE RESULTADOS

B-PDC-L069-ST-18/002.006 v.1.0

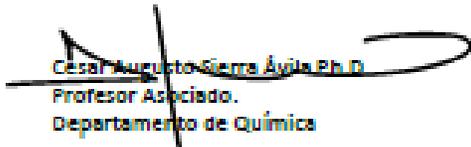
IESQ-006

6-03-21

1538	1541	Deformación enlace N-H (amina)
1420	1410	Tensión enlace Aril-OH (aromático)
1311	1314	Tensión enlace C-N(amina)
1250,21	1247,84	Tensión enlace C-O (alcohol)
1091,79	1091,79	Deformación enlace P-H (fosfinas)
1037,41	1044,51	Tensión enlace S=O (Sulfóxidos)

Tabla 1: Asignación de señales observadas en el espectro IR con tensión o deformación característicos en grupos funcionales.

Teniendo en cuenta la intensidad y posición de las señales de infrarrojo (IR) encontradas en la muestra, los resultados sugieren que la muestra presenta diversos grupos funcionales entre los cuales pueden estar alcohol, aromático, amina, fosfina, sulfóxidos. Sin embargo, se sugiere el apoyo de otras técnicas analíticas y un pretratamiento de separación o purificación, que permitan corroborar la presencia de los grupos funcionales asignados a las señales observadas en los espectros IR analizados.


César Augusto Sierra Ayala Ph.D

Profesor Asociado.

Departamento de Química

Fin del documento

ANEXO 2

RECOMENDACIONES

Se recomienda un monitoreo continuo de propiedades como la temperatura del horno de calentamiento, para no alcanzar el punto de desestabilización o degradación pronunciada de la materia orgánica; así como también, un control adecuado sobre las planchas de calentamiento durante el proceso de agitación continua para la obtención del mucilago, con el fin de evitar la evaporación de la muestra en preparación.

Se recomienda un enfoque más detallado en cuanto al uso de producto terminado comprendido en concentraciones desde 300 ppm hasta 5000 ppm, con el fin de poder determinar cómo es el comportamiento del inhibidor entre estas dos concentraciones estipuladas; esto para evitar incertidumbre de acción contra las incrustaciones y por ende, asegurar que no se presenten pérdidas en cuanto a producto final usado para alcanzar eficiencias considerables, las cuales se podrían asegurar usando una menor concentración.

Como sugerencia, se debe considerar que para obtener una mayor eficiencia de inhibición se tiene que priorizar una adecuada síntesis de los componentes inhibitorios del producto final, con base en nuevas tecnologías que puedan garantizar la reducción de factores externos que lleguen a alterar el proceso de extracción y caracterización de los grupos funcionales presentes.

Se recomienda, que para optar por eficacias de inhibición considerables en la industria a partir del producto preparado de Bismalva, es indispensable el uso de mayor materia prima para alcanzar porcentajes de eficiencias competitivas en el sector hidrocarbúfero.

Como principal sugerencia, se debe aclarar que es pertinente considerar los resultados obtenidos en el presente proyecto de investigación, los cuales permitirán ser punto de comparación frente a otros productos similares que puedan surgir en el futuro, aplicando la misma metodología descrita.

Se recomienda la generación de un estudio económico en cual se detalle la rentabilidad operativa del inhibidor a concentraciones mayores a 300 ppm debido a que se observa

un uso excesivo de mucilago frente a la eficiencia de inhibición de incrustaciones de carbonato de calcio, teniendo en cuenta que para el producto elaborado en base a la *Althaea Officinalis* se genera un gasto aproximado de \$10.000 COP, considerando desde la obtención de la materia prima hasta la elaboración final de 2 gramos del inhibidor, esto a la fecha de junio del 2021.

Es recomendable llevar a cabo el estudio evaluativo del comportamiento del producto terminado, no únicamente bajo un enfoque de cambios con respecto a la temperatura y pH, sino también considerando modificaciones en cuanto a la presión establecida para la formación de incrustaciones inorgánicas, específicamente teniendo en cuenta parámetros reales estipulados a partir de pruebas en campo. Cabe resaltar que el estudio de estos cambios es primordial para poder ampliar el conocimiento del producto frente a otras variables de campo, debido a que estas podrían llegar a comprometer el rendimiento del mismo producto al promover mayor formación de incrustaciones inorgánicas.

En el mismo sentido, es recomendable tomar en consideración un control de la estabilidad térmica del mismo producto, debido a que, a temperaturas extremas dentro del sistema donde se esté aplicando el producto se podría promover la alteración química, presentando así una pérdida de grupos carboxílicos importantes para inhibición y garantizando la presencia de componentes degradantes en el producto final.