

Extracto de Okra (*Abelmoschus esculentus*) como aditivo inhibidor de Carbonato de Calcio en aguas de producción del Campo El Furrial, Estado Monagas, Venezuela

Dorecni Malavé^a, Tomás Marín^a, Venus Acevedo^b, Miguel Parra^c

^a Departamento de Ingeniería de Petróleo, Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad de Oriente, Campus Los Guaritos, Maturín, Monagas, Venezuela
m1a854c7@alumno.udo.edu.ve, tmarin@udo.edu.ve

^b Gerencia de Asistencia Técnica, Departamento de Proyectos Mayores Furrial, Petróleos de Venezuela (PDVSA), Maturín, Monagas, Venezuela
acevedov@pdvsa.com

^c Superintendencia de Tratamiento Químico Jusepín, Petróleos de Venezuela (PDVSA), Jusepín, Monagas, Venezuela
parramv@pdvsa.com

Resumen. La precipitación de sales de Carbonato de Calcio (CaCO_3), es común en la producción de petróleo crudo con agua asociada, en especial en pozos profundos por los cambios bruscos en las condiciones operacionales. El objetivo de esta investigación fue la formulación y evaluación de la eficiencia de un producto biodegradable a base del extracto acuoso de la vaina de Okra (*Abelmoschus esculentus*), para prevenir la precipitación del CaCO_3 presente en las aguas de producción del campo el Furrial, estado Monagas, Venezuela. Se seleccionaron los pozos más críticos respecto a la ocurrencia del problema del campo y con porcentajes de agua mayores a 50 %; posteriormente se realizaron análisis fisicoquímicos del agua de producción, para estimar la tendencia incrustante a través de los métodos de Langelier y Ryznar. Se procedió a la deshidratación de la vaina de Okra (*Abelmoschus esculentus*) que luego fue molida para usar el polvo resultante como aditivo base para la obtención del extracto acuoso y usarlo en la formulación del producto. Se determinó el mecanismo de inhibición a través de un espectro infrarrojo mediante la identificación del grupo funcional activo y se le realizó una evaluación previa al producto con agua sintética para conocer su capacidad de inhibición, seleccionando la formulación que mostró mayor capacidad de secuestrar calcio, seguidamente se analizó su efectividad en el agua de producción del pozo FUL-19, por tener la tendencia incrustante más crítica, a temperatura de línea (112 °C). En la evaluación se obtuvo una eficiencia máxima de 80 % con el producto formulado con el extracto al 5% de concentración.

Palabras Clave: Okra, Carbonato de Calcio, incrustaciones, extracto

1. Introducción

La producción del petróleo con el tiempo conlleva al incremento del agua asociada y la disminución de la cantidad de crudo que se puede extraer de un yacimiento [1]; el agua que sale de la formación tiene diferentes iones en solución y los fluidos del pozo en su viaje desde el yacimiento hacia la superficie atraviesa restricciones que

ocasionan flujo turbulento, cambios de presión y temperatura entre otros, ocasionando que la solubilidad del agua disminuya considerablemente a tal punto que ocurra la precipitación de minerales presentes, siendo éste un problema muy común en la industria del petróleo [2].

Es por ello, que los esfuerzos se han dirigido principalmente hacia la prevención en la formación de incrustaciones. Esta puede realizarse mediante el control de los parámetros operacionales (presión, temperatura, caudal, entre otros.) ó a través del uso de tratamientos químicos específicos, denominados inhibidores [3]. El control de los parámetros resulta efectivo teóricamente, pero en la práctica es costoso y difícil de implementar en operaciones continuas, por lo que la utilización de agentes químicos capaces de modificar el proceso de precipitación de las sales en especial la de carbonato de calcio (CaCO_3) resulta lo más conveniente [3], sin embargo, estos agentes son formulaciones sintéticas que generan grandes desembolsos de divisas para la industria y su disposición final no es amigable al ambiente, de allí la nueva tendencia de los tratamientos químicos biodegradables.

En este sentido se han realizado investigaciones tendientes a la aplicación de productos derivados de plantas como agentes antiincrustantes como el caso del gel de *Aloe vera* [4] el cual ha demostrado ser eficiente entre 77 y 90% respecto a la retención de Calcio.

La siguiente investigación está dirigida a la formulación y evaluación de un producto biodegradable a base del extracto de la vaina de *Abelmoschus esculentus* también conocido como Okra o Quimbombo, para prevenir la precipitación del Carbonato de Calcio (CaCO_3) presente en aguas de producción del Campo El Furrial, Estado Monagas.

2. Materiales y Métodos

El estudio fue realizado en los laboratorios de Yacimiento del Departamento de Ingeniería de Petróleo de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Venezuela; el laboratorio de tamices moleculares de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Venezuela; el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas de Venezuela (INIA) y el Centro de Análisis Jusepín (CAJUS) de PDVSA División Furrial. Las vainas de Okra fueron obtenidas de agricultores del Distrito Maturín del Estado Monagas, así como se contó con una muestra de agua de producción del pozo FUL-19 perteneciente al Campo El Furrial. Los reactivos para la determinación de las propiedades del agua y de los productos formulados fueron aportados por los laboratorios donde se realizaron los ensayos respectivos.

Análisis Realizados

Con la vaina de Okra limpia, se pesó una muestra de dos kilogramos (2 kg), considerando que este es el máximo contenido que puede soportar cada bandeja de la estufa marca CARBOLITE® con aire forzado, a temperaturas que oscilan en un rango de 50 a 55 °C y en un tiempo comprendido de 40 y 45 horas, observándose el cambio de color en la muestra, característico del inicio de la caramelización, indicativo de la

culminación del proceso, luego se procedió a la molienda para lo cual se pesaron 100 g de la vaina de Okra deshidratada y se coloca en un molino de martillo, luego de dos minutos (2 min) se obtiene el producto en polvo. El producto en polvo fue pasado por un tamiz de 250 micrones. Al producto en polvo se le realizó un análisis por espectrometría infrarroja con la finalidad de identificar los grupos funcionales que pudieran influir en el mecanismo de inhibición de sales inorgánicas.

Para la formulación del producto final, se obtuvo el extracto acuoso de la Okra colocando diferentes concentraciones del polvo obtenido (entre 0,8 y 5%) en extractores Soxhlet, usando como preservante orgánico el ácido cítrico (0,2 g por cada 100 mL de agua). La extracción se realizó con agitación a una temperatura de 100 °C por un periodo de 4 horas. Se determinaron los parámetros fisicoquímicos del producto formulado, tales como: Índice de refracción [5], gravedad específica [6] y densidad [6].

Se identificaron las condiciones operacionales de los pozos del campo El Furrrial, revisando las tendencias de las presiones de cabezal y de líneas, porcentaje de agua y sedimentos (%AyS) y la temperatura en cada uno; para ello se tomaron datos emitidos por la base de datos corporativa CENTINELA, así como también los históricos de producción y fichas técnicas, posteriormente se seleccionaron las aguas de producción de los pozos a estudiar, considerando aquellos con un porcentaje de agua y sedimentos mayor al 50 % y los antecedentes de incrustación crítica.

Se seleccionó el agua de producción del pozo FUL-19 por considerarse el más crítico y se le realizaron los siguientes ensayos de laboratorio para determinar sus propiedades: determinación de dureza (Total y Cálcica) [7], determinación de alcalinidad (Total y Parcial) [7], determinación de cloruros [8], determinación del pH [9], determinación de salinidad [10], total de sólidos disueltos (TDS) [10] y conductividad [10], con el fin de determinar la tendencia incrustante a través de los modelos matemáticos específicos para cada caso, como Langelier [11] y Ryznar [12].

Luego de obtener el producto formulado se realizó la prueba de estabilidad térmica, previo a cada una de las evaluaciones de eficiencia, para garantizar, que el inhibidor no sea susceptible a degradación térmica en las condiciones evaluadas. Se realizó en un vial de masa conocida, en el cual se agregó una porción del producto formulado a evaluar, se le colocó una tapa hermética y se pesó en una balanza analítica, luego se introdujo en una estufa a la temperatura de línea del pozo FUL – 19 (112 °C); seguidamente se extrajo el vial, se colocó en un desecador de vidrio para enfriar hasta temperatura ambiente, posteriormente se volvió a pesar en una balanza analítica y se regresó el vial a la estufa, repitiendo el procedimiento cada 2 horas hasta que el peso del producto fue constante.

La eficiencia del producto como inhibidor se determinó a través de ensayos de prueba de jarra [13] evaluándose en cinco (5) concentraciones en partes por millón (ppm). La eficiencia de cada producto se calculó utilizando la ecuación 1, mediante la cual se determina la capacidad que tiene el producto para evitar la precipitación de sales, tales como el Carbonato de Calcio [14].

$$\%Inhibición = \left(\frac{Ca - Cb}{Cc - Cb} \right) * 100 \quad (1)$$

Dónde:

Ca: concentración de iones de calcio en la muestra con tratamiento químico después de la precipitación.

Cb: concentración de iones de calcio en el blanco después de la precipitación.

Cc: concentración de iones de calcio en la solución original.

Esta ecuación relaciona la cantidad de sólido que precipita con y sin tratamiento, en un sistema sometido a una temperatura constante por un intervalo de tiempo determinado.

3. Resultados y Discusión

3.1. Análisis de grupos funcionales de la vaina de Okra deshidratada.

Una vez deshidratadas y molidas las vainas de Okra con un diámetro de partículas de 250 micrones, se tomó una muestra y se sometió a un análisis por espectroscopía infrarroja, esta técnica permite la identificación de los grupos funcionales de un compuesto. Esto debido a que cuando una molécula absorbe radiación infrarroja, la vibración intramolecular con frecuencia igual a la de la radiación, aumenta en intensidad, lo que genera señales con frecuencias que corresponden a la vibración de un enlace específico [15]. En la figura 1, se muestra el espectro infrarrojo obtenido del polvo de Okra analizado.

Fig. 1. Espectro FTIR de la vaina de Okra deshidratada en polvo

Espectro FTIR de la vaina de Okra muestra bandas de absorción de los grupos químicos característicos de los compuestos de fibra lignocelulósicos: celulosa, hemicelulosa y lignina. Tales componentes se componen principalmente de alquenos y grupos aromáticos y varios grupos funcionales que contienen oxígeno (éster, cetona y alcohol). Una banda de absorción ancha en la región de $3.600\text{-}3.100\text{ cm}^{-1}$ corresponde a la característica OH vibración de estiramiento y de hidrógeno enlace de los grupos hidroxilo. El pico ancho está centrado en 3.410 cm^{-1} . Los picos en 2.918 y 2.890 cm^{-1} son la banda característica de la vibración de estiramiento C=C entre CH y

CH₂ en celulosa y componentes de hemicelulosa; mientras que la absorbancia a 1750 cm⁻¹ pertenece al carbonilo C=O vibración de estiramiento de la vinculación de ácido carboxílico en lignina o grupo éster en hemicelulosa. Los grupos carboxílicos también pueden estar presentes en la vaina de Okra adheridos a la fibra de la misma como restos de ácidos grasos en aceites. El hombro a 1600 cm⁻¹, es debido a la presencia de agua.

La absorbancia a 1410 cm⁻¹ se asocia a la flexión simétrica CH₂ presente en celulosa, la cual puede estar solapando el intervalo correspondiente a la C=O vibración de estiramiento del grupo acetilo en los componentes lignina y hemicelulosa respectivamente. Entre los dos picos observados de 1310 cm⁻¹ y 1180 cm⁻¹. Dentro del hombro de 1410 es posible que se encuentre solapado la vibración de flexión de C=OH y C=O los cuales son grupos del anillo aromático en polisacáridos. El pico de absorbancia a 1180 cm⁻¹ es debido a la deformación anti-simétrica de la banda C=O=C. El pico de absorción fuerte a 1005 cm⁻¹ es adscrito a la vibración de tensión CO y O=H que pertenece a polisacárido de celulosa. El pico observado a 900 cm⁻¹ se atribuye a la presencia de vínculos b-glicosídico entre los monosacáridos. Además, la absorbancia a 550 cm⁻¹ corresponde a la flexión C=OH. Se demuestra la presencia de compuestos polisacáridos en la composición de la vaina de Okra, los cuales pueden ser los componentes activos para la inhibición de la cristalización y precipitación de las sales de CaCO₃ presentes en aguas de producción petrolera [16].

3.2. Formulación del producto a base de extracto de Okra.

Para la formulación del producto biodegradable se realizaron tres (03) combinaciones de los aditivos que constituyen al mismo, como lo son: La vaina de Okra deshidratada en polvo, preservante orgánico (Ácido Cítrico) el cual permite evitar la proliferación de los microorganismos y a su vez mantiene la condición biodegradable y amigable al ambiente, finalmente se agregó agua destilada como vehículo. En la Tabla 1, se muestran los resultados de la caracterización del agua sintética utilizada para la selección del producto a evaluar con el agua de producción del Campo El Furrial.

Tabla 1. Características fisicoquímicas del agua sintética.

Propiedad	Unidad	Valor
pH	Adim	7,5
Conductividad	mS/cm	55,4
Alcalinidad Parcial	mg CaCO ₃ /L	0,0
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	1364,0
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	1942,5
Dureza Cálcica	mg CaCO ₃ /L	8337,0
Cloruros	ppm	36086,5
Salinidad	ppm eg. NaCl	3670,0

Calcio	mg/L	3334,8
--------	------	--------

El agua sintética posee una concentración de sales mayor en comparación con las aguas de producción de los pozos de estudio. Esto permite realizar la evaluación del producto antiincrustante bajo condiciones más agresivas que las encontradas normalmente en los sistemas de la industria, de manera de garantizar un mejor desempeño del producto.

En la tabla 2, se muestran los resultados de la evaluación de los tres (3) productos formulados aplicados al agua sintética.

Tabla 2. Evaluación de productos formulados como inhibidores sobre el agua sintética.

Producto	Dosis (ppm)	Dureza Cálrica (ppm)	Calcio (ppm)	%Inhibición
Blanco	0,0	982	393	0,0
Okra al 0,8%	200	920	368	0,0
	300	940	376	0,0
	400	946	378	0,0
	500	966	387	0,0
	600	977	391	0,0
Okra al 1%	200	1.005	402	9,0
	300	1.033	413	20,1
	400	1.056	422	29,2
	500	1.064	426	32,4
	600	1.078	431	37,7
Okra al 5%	200	1.083	433	39,7
	300	1.103	441	47,5
	400	1.151	460	66,7
	500	1.175	470	76,1
	600	1.203	481	87,1

En la tabla 2, se observa la cantidad de aditivos agregados para cada formulación del producto inhibidor a base de vaina de Okra. Las formulaciones del producto se evaluaron con el agua sintética, sometiéndolas a una temperatura de 71 °C por un tiempo de 24 horas; observando que a medida que aumenta la concentración el producto formulado, el mismo tiene más capacidad de inhibición. La formulación con la concentración de vaina de Okra del 5 % fue seleccionada para evaluar la eficiencia del producto en el agua de producción, debido a que con ella se obtuvo la mayor capacidad de inhibición.

La tabla 3, muestra las características del producto al 5% de extracto de Okra, obtenidas al aplicar los procedimientos normalizados.

Tabla 3. Características del producto formulado al 5%

Índice de Refracción	Gravedad Específica	Densidad (g/mL)
1,350	1,015	1,175

Los parámetros determinados para el producto a base de vaina de Okra seleccionado por tener una mayor capacidad de inhibición, arrojaron que los mismos están fuera de rango, en referencia a los estandarizados bajo los cuales se rigen los inhibidores comerciales [3], sin embargo este producto demostró tener gran capacidad para inhibir sales inorgánicas (CaCO_3)

3.3. Características del agua de producción del pozo FUL-19 utilizada para la evaluación del producto formulado

Se seleccionó el agua de formación del Pozo FUL-19 debido a que en la evaluación de acuerdo a los índices de Langelier [11] y Ryznar [12] ésta presenta una tendencia fuertemente incrustante, con índices de Langelier de 1,75 y de Ryznar de 5,46; lo que lo hace un pozo crítico en relación al problema estudiado. En la tabla 4 se muestran las características fisicoquímicas del agua seleccionado para la evaluación del producto.

Tabla 4. Características fisicoquímicas del agua del pozo FUL-19

Propiedad	Unidad	Valor
pH	Adim	9,5
Conductividad	mS/cm	8,8
Alcalinidad Parcial	mg CaCO_3 /L	138,8
Alcalinidad Total	mg CaCO_3 /L	1760,0
Dureza Total	mg CaCO_3 /L	52,5
Dureza Cálcica	mg CaCO_3 /L	50,0
Cloruros	ppm	1468,3
Salinidad	ppm eg. NaCl	4500,0
Calcio	mg/L	16,8

Las incrustaciones se forman con pH mayor a 7,5 [12]. Dado que la alcalinidad total está estrechamente relacionada al pH y que las muestras estudiadas refleja concentraciones mayores a 1200 mg/L, se deduce que las mismas contienen una alta cantidad de iones carbonatos y bicarbonatos, los cuales al reaccionar con los iones de

calcio (en el caso del bicarbonato se libera un hidrógeno para aceptar el ión de calcio) formando sales inorgánicas de Carbonatos de Calcio.

La dureza en el agua se atribuye principalmente a las sales formadas con iones de Calcio (Ca^{+2}) y Magnesio (Mg^{+2}), estas sales inorgánicas a diferencia de otras, tienden a crear incrustaciones con más frecuencia en las instalaciones por donde transita el fluido, en el proceso de producción de crudo, específicamente en los pozos de estudio. No se debe subestimar la cantidad de iones Calcio que se encuentran presentes en las muestras, porque, a pesar de ser aguas blandas en su mayoría (Dureza total menor a 50 mg/L de CaCO_3), las condiciones en las que se encuentran podrían provocar fácilmente la precipitación de CaCO_3 , sólo que el tiempo de asentamiento de las partículas será más lento que el de un agua “dura” (Dureza total mayor a 200 mg/L de CaCO_3), formando incrustaciones más fuertes.

3.4. Evaluación de la estabilidad térmica del producto formulado

La determinación de la estabilidad térmica del producto es la manera de garantizar que el mismo no pierde sus propiedades o mecanismo de inhibición cuando es sometido a temperaturas operacionales de pozos con problemas de incrustación de sales inorgánicas, las cuales son altas en la mayoría de los pozos profundos del campo El Furrial. Se realizaron pruebas de estabilidad térmica fijando las temperaturas de 71 °C [13] y 112 °C que fue la temperatura medida en la línea de flujo del pozo FUL-19. En la tabla 5, se observan los resultados obtenidos.

Tabla 5. Resultados de la estabilidad térmica del producto formulado

Temperatura (°C)	Masa del producto (g)	Tiempo (hrs)
71	15,7920	7
	15,7531	9
	15,7356	11
	15,7197	13
	15,7112	15
	15,7112	17
	15,7112	19
112	15,9551	7
	15,9173	9
	15,9070	11
	15,9009	13
	15,8961	15
	15,8932	17
	15,8932	19

A medida que se incrementa la temperatura la masa se vuelve más inestable, debido a que aumenta la energía cinética, permitiendo mayor separación entre las moléculas y facilitando al producto separarse para formar una segunda fase en estado gaseoso, ocurriendo que una parte se condensa nuevamente cuando el producto

alcanza la temperatura de inicio (25 °C) de la prueba, sin embargo la otra parte de los compuestos que se transformaron a la fase gaseosa no retornan a la fase líquida, produciendo la pérdida de masa en el producto.

El producto formulado obtuvo la estabilidad térmica a los 71 °C después de seis horas (6 hrs) de estar sometido a la prueba, a partir de dicho resultado se puede deducir que el mencionado producto es estable a temperaturas menores o iguales que la fijada en la prueba. Para los 112 °C logró estabilizarse después de ocho horas (8 hrs) de haber iniciado el ensayo; se puede concluir que a medida que se incrementa la temperatura, los compuestos presentes en el producto se transforman, haciendo cada vez más inestable la solución que lo conforma, trayendo como consecuencia la degradación del mismo.

3.5. Evaluación del producto formulado en el agua de producción del pozo FUL-19

En la tabla 6 se muestran los resultados de la evaluación del producto en aguas de producción del Campo El Furrial, específicamente en el agua del pozo seleccionado a la temperatura de línea (112 °C).

Tabla 6. Evaluación del producto formulado como inhibidores sobre el agua de producción del pozo FUL-19

Producto	Dosis (ppm)	Dureza Cálctica (ppm)	Calcio (ppm)	%Inhibición
Blanco	0,0	11	4	0,0
Okra al 5%	200	22	9	32,9
	300	26	11	44,5
	400	33	13	65,3
	500	36	14	72,2
	600	38	15	80,0

Se observa como el producto formulado aumenta su eficiencia de inhibición al ir aumentando la cantidad del mismo que se le agrega al agua, obteniéndose el mejor resultado (80,0%) a la dosis de 600 ppm. Esta tendencia es la misma observada cuando se evaluó el producto en el agua sintética, la cual tiene condiciones más críticas, lo que sugiere que el producto actúa mejor a mayor criticidad de la muestra, ya que en el agua sintética se obtuvo un 87,1% de eficiencia.

Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que se puede utilizar el extracto de la Okra como aditivo para la prevención de incrustaciones en tuberías de producción de petróleo, lo que representa una alternativa confiable por su fácil producción, manejo y que al ser un producto natural no causa mayores daños al ambiente.

4. Conclusiones

Luego de la investigación realizada se concluyó que:

- El espectro realizado a la vaina de Okra verificó que uno de los grupos funcionales presentes en los compuestos de la misma son polisacáridos, los cuales actúan como mecanismo de inhibición de carbonato de calcio (CaCO_3).
- Según el análisis realizado a los parámetros fisicoquímicos del producto formulado a base de la vaina de Okra, se observó que los mismos aún no están ajustados a los estándares fisicoquímicos establecidos para los productos comerciales, sin embargo este producto demostró tener gran capacidad para inhibir sales inorgánicas (CaCO_3).
- El producto formulado al 5 % de extracto de Okra demostró una buena estabilidad térmica, estableciendo como temperatura máxima 112 °C, la cual pertenece a la línea del pozo FUL-19.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación de la eficiencia del producto a base de la vaina de Okra a escala de laboratorio, se comprobó que éste alcanzó una eficiencia del 80 % en el agua de producción del pozo FUL-19, ubicado en el campo El Furrial, cuyo valor esta dentro del rango establecido en la empresa PDVSA.

5. Agradecimientos

Los autores del trabajo quieren manifestar su agradecimiento al Departamento de Ingeniería de Petróleo de la Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la UDO, al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) y al Centro de Análisis Jusepín (CAJUS) por haber prestado sus laboratorios para la realización de esta investigación. Así también los autores agradecen al Dr. Luis Isernia profesor de la Universidad de Oriente, Monagas, Venezuela por su valiosa colaboración en la interpretación del espectro Infrarrojo obtenido.

6. Referencias

- [1]. Bailey, B., Elphick, J., Kuchuk, F., Romano, C., Roodhart, L.: Control del agua. Oilfield Review. 32 a 53. (2000)
- [2]. LIPESA S.A.: Incrustaciones: Su naturaleza, Formación y Tratamiento. Informe técnico, Lipesa, Caracas, Venezuela (2000)
- [3]. Oil an gas Dow: Inhibidores de Incrustación ACCENT™. Polímeros Tradicionales y Traceables para Control de Incrustación Mineral. Documento en línea, disponible en http://www.oilandgas.dow.com/pdf/rio/ACCENT_Scale_Inhibitors.pdf
- [4]. Sosa, D.: 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. Trabajo de grado para Ingeniería de Petróleo, Escuela de Ingeniería de Petróleo, Universidad Central de Venezuela (2012)
- [5]. ASTM D1218: Standard Test Method for Refractive Index and Refractive Dispersion of Hydrocarbon Liquids. ASTM International, West Conshohocken. (2012)
 - [6]. ASTM D891: Standard Test Methods for Specific Gravity, Apparent, of Liquid Industrial Chemicals. ASTM International, West Conshohocken. (2009)
 - [7]. ASTM D511: Standard Test Methods for Calcium and Magnesium In Water. ASTM International, West Conshohocken. (2003)
 - [8]. ASTM D512: Standard Test Methods for Chloride Ion In Water. ASTM International, West Conshohocken. (2012)
 - [9]. ASTM D1293: Standard Test Methods for pH of Water. ASTM International, West Conshohocken. (2012)
 - [10]. ASTM D1125: Standard Test Methods for Electrical Conductivity and Resistivity of Water. ASTM International, West Conshohocken. (2014)
 - [11]. Langelier, W. J.: Chemical equilibria in water treatment. Journal of the American Water Works Association: Vol 38, No 2; 169-178 (1946)
 - [12]. Ryznar, J. W.: A new index for determining amount of calcium carbonate scale formed in water. Journal of the American Water Works Association: Vol 36, No 2; 472-486 (1949)
 - [13]. NACE-TM0374: Laboratory Screening Tests to Determine the Ability of Scale Inhibitors to Prevent the Precipitation of Calcium Sulfate and Calcium Carbonate from Solution (for Oil and Gas Production Systems). NACE International, Huston, Texas, USA. (2007)
 - [14]. PDVSA: Métodos de control y remoción de incrustaciones de carbonato de calcio en instalaciones petroleras. Informe técnico. INTEVEP, Los Teques, Venezuela (2002)
 - [15]. Brumblay, R.: Análisis Cuantitativo, Editorial Barnes & Noble, INC, 4ta Impresión, New York. (1973)
 - [16]. Lain, C.M.: (1989) Industrial Polisaccharides. Pure & Appl. Chem: Vol 61, No 7; 1315-1322 (1989)