

Una alternativa viable para realizar fracturas hidráulicas sin requerimiento de agua dulce.

Implementación de agua de producción para fracturas hidráulicas en yacimientos de YPF Regional Sur

Por **Pablo Junco Martín O. Sánchez, Carlos Touyaa, Luciano Conforti, Daniel Assan** (YPF); **Marcela Mucchi, Luciana García Eiler, María Clara Pagliaricci** (YPF Tecnología).

Este trabajo fue seleccionado del 1º Concurso de Eficiencia Energética realizado en el marco del 8º Congreso de Producción y Desarrollo de Reservas del IAPG 2023.

El presente proyecto presenta una alternativa para realizar fracturas hidráulicas sin requerimiento de agua dulce. El objetivo del proyecto es determinar la factibilidad técnica y económica del uso de geles de fractura utilizando agua de proceso tratada para inyección. El proyecto se llevó a cabo en la región de Cañadón Seco - León y Las Heras, en la provincia de Santa Cruz, Argentina.

El documento comienza con una introducción que describe la situación medioambiental actual en la región, donde la escasez de agua dulce es un problema crítico. La Secretaría de Estado de Ambiente promueve el uso racional y sostenible del agua, así como su conservación, priorizando su usufructo en el abastecimiento de las poblaciones, en miras de contribuir al cumplimiento de la Meta 6.4 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.



El proyecto se divide en tres etapas. En la primera etapa, se realizó una evaluación de la calidad del agua de proceso tratada para inyección y se seleccionaron los aditivos necesarios para la formulación del gel de fractura. En la segunda etapa, se realizaron pruebas de laboratorio para determinar la compatibilidad del gel de fractura con el agua de proceso tratada para inyección. En la tercera etapa, se llevaron a cabo pruebas de campo en pozos seleccionados para evaluar la eficacia del gel de fractura.

Los resultados del proyecto indican que el uso de geles de fractura utilizando agua de proceso tratada para inyección es una alternativa viable y sostenible para reducir el consumo de agua dulce en la actividad de fractura. Los geles de fractura formulados con agua de proceso tratada para inyección y aditivos seleccionados mostraron una buena compatibilidad y eficacia en las pruebas de laboratorio y de campo.

El documento también menciona otras tecnologías alternativas que se están enfocando en la reducción del consumo de agua dulce en la actividad de fractura, como el uso de agua salada, el reciclaje de agua de producción.

Introducción del proyecto

Alcance

Se busca desarrollar una alternativa para realizar fracturas hidráulicas sin requerimiento de agua dulce. Para ellos se determinará la factibilidad técnica y económica del uso de geles de fractura utilizando como base agua de proceso tratada para inyección, proveniente de diferentes plantas de tratamiento de agua de Chubut y Santa Cruz.

En primera instancia se realizó un piloto de prueba en las zonas de Cañadón Seco – León y Las Heras para luego extrapolar los resultados y analizar la viabilidad de masificar la tecnología en el resto de la Cuenca del Golfo San Jorge. Se seleccionó la región de Cañadón Seco – León para incluir los primeros pozos del protocolo, debido al impulso que tomó el proyecto en esta zona por un estudio de tecnologías alternativas enfocadas en la reducción del consumo de agua dulce en la actividad de fracturamiento hidráulico para el proyecto de pozos horizontales de Cañadón León.

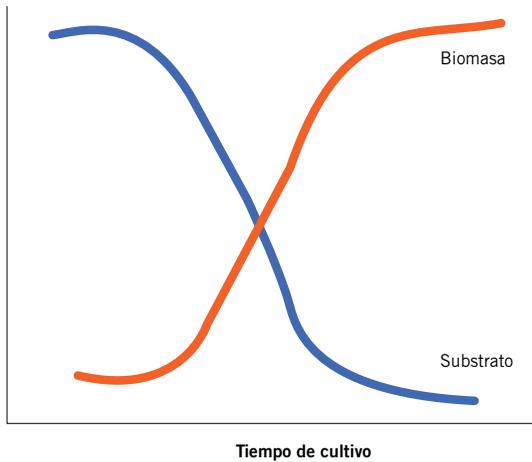


Figura 1. Tendencia de consumo de sustrato de un crecimiento bacteriano.

Objetivos

- Disminuir el consumo de agua dulce para operaciones de fracturamiento hidráulico.
- Optimizar el recurso logístico disminuyendo las distancias de transporte de agua y aumentando el factor de utilización de los camiones destinados a tal fin.
- Validar las conclusiones obtenidas en el primer protocolo realizado en el año 2017.

Antecedentes

Entre los años 2016 y 2018 se realizó un trabajo en conjunto entre YPF, Y-TEC y GTM Oil&Gas (actual WellKnows) con el objetivo de diseñar un sistema de fluidos de fractura que permitiera la utilización de agua de proceso tratada para inyección, en reemplazo del agua dulce que se utiliza en todas las operaciones de fracturamiento hidráulico en la cuenca. En principio los resultados obtenidos habían sido exitosos. En la tercera etapa de fractura de un pozo, después de dos etapas realizadas con éxito con el sistema de fluido con agua de proceso, no se logró acondicionar el fluido para fracturar debido a una caída en la viscosidad en las piletas de fractura, por lo que se tuvo que continuar la intervención del pozo con el sistema de fluido convencional con agua dulce.

Se realizaron ensayos sobre la muestra de las etapas 1 y 2 (Muestra A) y sobre la muestra de la etapa 3 (Muestra B) para identificar el problema. En laboratorio la muestra A gelificó correctamente mientras que la muestra B se degradó rápidamente. Se repitió el intento con la muestra B dosificando 100 veces la concentración original de

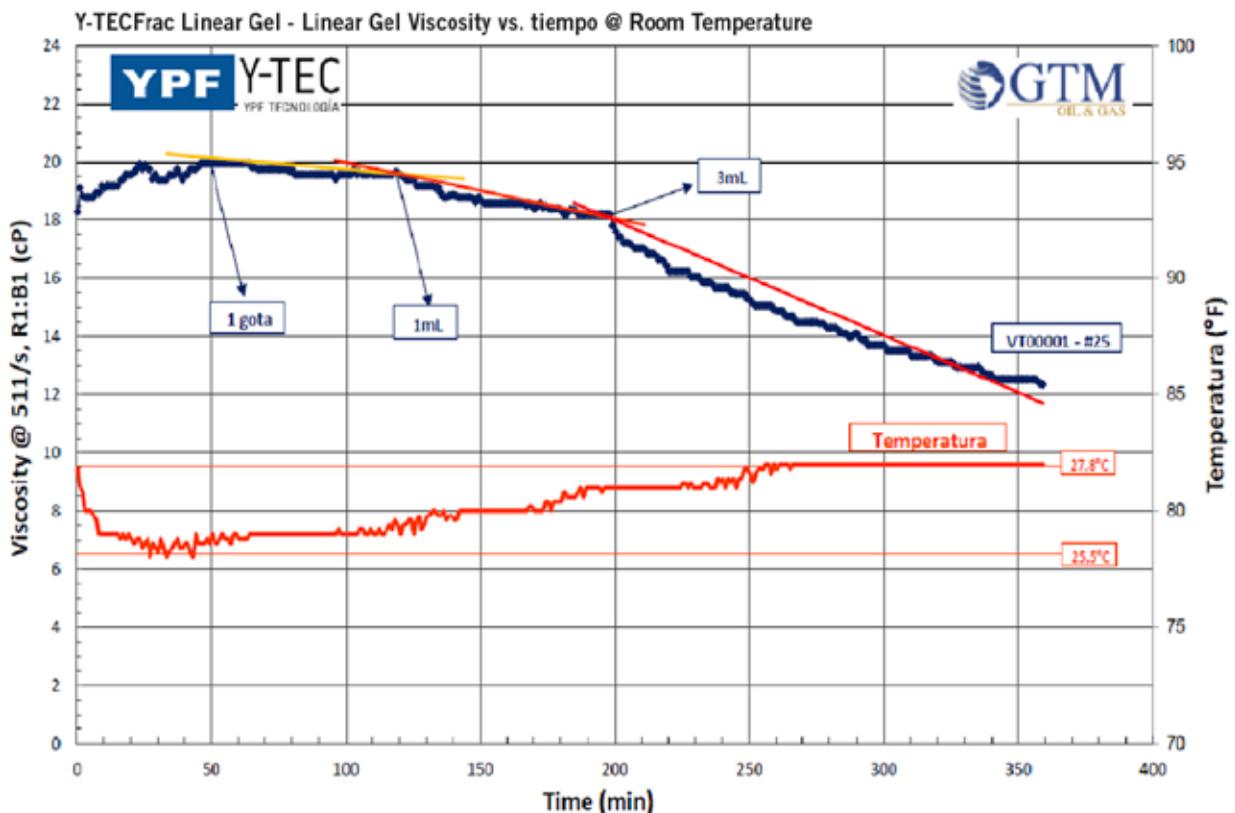


Figura 2. Tendencia de consumo de sustrato en la muestra.

bactericida sin resultados positivos. Se realizaron otros ensayos a la muestra que llevaron a concluir que la caída de viscosidad se debía a una actividad enzimática y no a un crecimiento bacteriano como se creía inicialmente, debido a la velocidad de caída de la viscosidad. Un crecimiento bacteriano supondría que el consumo del sustrato (goma guar) sea exponencial como se muestra en la figura 1.

Mientras que la caída de la viscosidad seguía una tendencia lineal que aumentaba con el agregado de más agua contaminada, tal como se muestra en la figura 2.

Para mitigar esta situación se diseñó un producto denominado “controlador de agua” que, entre otras cosas, actúa sobre la desnaturalización de las enzimas. No se pudo determinar con precisión cuál o cuáles enzimas eran las que estaban degradando la goma guar. Uno de los objetivos que persigue este proyecto es validar estas conclusiones obtenidas e identificar las enzimas y bacterias presentes en las diferentes plantas de tratamiento de agua para inyección.

Situación medioambiental actual

Según un comunicado de la Secretaría de Estado de Ambiente (en adelante SEA), las localidades ubicadas al norte de la provincia de Santa Cruz enfrentan una situación crítica debido a la escasez del recurso hídrico. La Secretaría se manifestó promoviendo el uso racional y sostenible del agua, así como su conservación, priorizando su usufructo en el abastecimiento de las poblaciones, en miras de contribuir al cumplimiento de la Meta 6.4 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.

Meta 6.4) “Aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir el número de personas que sufren falta de agua.”

Situación logística actual

Situación Agua dulce

En Santa Cruz hay escasez del recurso hídrico, se requiere mucho tiempo para cargar el agua y se tiene pocos cargaderos de agua dulce para fractura: CAM (Las Heras), Mansilla (Las Heras) y Pico Truncado.

Logística dispone de 5 camiones exclusivos para transporte de agua dulce que no se usan para agua de inyección. Dado que la demanda es intermitente hay tiempos en que los camiones no se usan, pero igualmente se pagan, generando un bajo factor de utilización. Debido a que los cargaderos de agua dulce están en Las Heras y Pico truncado, las distancias recorridas para abastecer las fracturas realizadas en yacimientos tales como Los Perales, El Guadal, Estancia Cholita, entre otros, son muy grandes generando sobrecostos y grandes demoras en los equipos ante eventualidades que requieran reabastecimiento de agua.

Situación Agua de Inyección

Hay cinco cargaderos seleccionados para la provisión

de agua para fractura, pero podrían sumarse otros puntos de carga (satélites o nuevos cargaderos) una vez que se avance con el proyecto.

Existe una problemática en la región debido a un exceso de producción de agua lo cual requiere que los activos inviertan dinero en pozos marginales para inyectar ese exceso. El desarrollo de este proyecto tendrá un impacto positivo en esta situación generando un ahorro indirecto por el uso de dichos excesos.

Logística dispone de 10 camiones para utilizar con agua de inyección que no se utilizan para agua dulce. Si bien la producción de agua en las plantas de tratamiento de agua (en adelante PTA) es alta el caudal para carga en camiones es bajo (similar al de agua dulce). Esta situación puede revertirse en fracturas de gran envergadura utilizando flexipipe conectando un satélite directo a los tanques de fractura. La distancia de los cargaderos de agua de inyección a los pozos es inferior respecto a los cargaderos de agua dulce, lo que lleva a una disminución de los costos de transporte y un mejor tiempo de respuesta ante posibles eventualidades que requieran reabastecimiento de agua.

Beneficios asociados al uso de agua de proceso en las estimulaciones

El uso de agua dulce en las estimulaciones hidráulicas presenta varias desventajas en los yacimientos de Santa Cruz y Chubut. A continuación, se detallan las limitaciones y desafíos asociados al uso de este recurso:

- Recurso limitado: El agua dulce es escasa en la región, lo que implica una disponibilidad limitada. Esta restricción puede afectar las operaciones de estimulación hidráulica al depender en gran medida de este recurso.
- Menor disponibilidad de cargaderos: En comparación con el agua de proceso, la disponibilidad de cargaderos para el suministro de agua dulce es reducida. Esta escasez puede generar retrasos y dificultades logísticas en las estimulaciones de pozos, aumentando los tiempos de espera y afectando la eficiencia de las operaciones.
- Habilitación limitada de las compañías: Solo algunas compañías cuentan con autorización para la carga y transporte de agua dulce hacia los pozos. Esta restricción limita las opciones operativas y puede generar demoras en el proceso.
- Tiempos de espera en cargaderos: Debido al caudal limitado de los cargaderos de agua dulce, los tiempos de espera para cargar los camiones son mayores.
- Mayores distancias de transporte en camiones: La limitada disponibilidad de cargaderos de agua dulce implica que los camiones deben recorrer distancias más largas desde los puntos de carga hasta los pozos. Esto aumenta los tiempos de transporte y puede generar demoras adicionales.

El uso de agua de inyección en las estimulaciones hidráulicas presenta varias ventajas. A continuación, se detallan algunas de ellas:

- Mayor disponibilidad del recurso: El agua de proceso, se presenta como una alternativa más accesible y disponible en la zona en comparación con el agua

dulce. Esto asegura un suministro más estable para las operaciones de estimulación hidráulica.

- Mayor número de cargaderos: En la zona se cuenta con un mayor número de cargaderos habilitados para la carga y descarga de agua de proceso, lo cual agiliza el abastecimiento de agua a los pozos.
- Accesibilidad para todas las compañías: A diferencia del agua dulce, todas las compañías están habilitadas para la carga y descarga de agua de inyección, lo que brinda mayor flexibilidad y opciones a las compañías que operan en la región, evitando restricciones en el suministro.
- Mayor velocidad de abastecimiento: En el caso de operaciones que requieran un gran volumen de agua, la instalación de flexipipe aceleraría en gran medida la carga de agua de inyección en los tanques de fractura, comparado con el sistema de transporte por camiones que se dispone con el agua dulce.
- Distancias cortas de transporte en camiones: La mayor cantidad de cargaderos de agua de inyección en los yacimientos de Santa Cruz permite distancias más cortas de transporte desde los puntos de carga hasta los pozos. Esto no solo reduce los costos asociados al servicio de cargas líquidas, sino que también minimiza los tiempos de espera y aumenta la agilidad en la logística de abastecimiento.

Problemas en la variabilidad de los parámetros químicos del agua

La variabilidad de los parámetros físico-químicos y biológicos del agua utilizada en los fluidos de fractura formulados con agua de proceso presentó diferentes problemas que fueron objeto de análisis en este proyecto. Los principales problemas de este tipo fueron:

Microorganismos

La presencia de microorganismos es un problema relevante que ha sido investigado en este trabajo. Los microorganismos pueden degradar la goma guar, lo cual afecta directamente las propiedades reológicas de los fluidos de fractura. Durante operaciones anteriores en campo, se han observado casos de degradación del gel lineal que se relacionaron con la actividad biológica. En consecuencia, se ha llevado a cabo una exhaustiva investigación para comprender las causas de este fenómeno y encontrar soluciones adecuadas.

Enzimas

Durante una de las pruebas de campo realizadas en años anteriores, se detectaron problemas de degradación del gel lineal que no se habían presentado en etapas anteriores. Esto generó la necesidad de investigar las causas asociadas a este problema. Para abordar esta situación, se diseñaron pruebas que tuvieron como objetivo evaluar la proliferación de microorganismos en un medio óptimo para su crecimiento. Los resultados revelaron que el ataque al polímero era inmediato, incluso en ausencia de agentes oxidantes. Además, se observó que la adición de un biocida en concentraciones 100 veces superiores a las habituales no tenía ningún efecto. Estos hallazgos sugieren la posibilidad de que el problema esté relacio-

nado con un paquete enzimático residual más que con la proliferación bacteriana. Las enzimas son proteínas que pueden catalizar y provocar la hidrólisis / degradación de cadenas carbonadas, lo que permite obtener hidratos de carbono de menor peso molecular y metabolizables para que la célula bacteriana pueda utilizarla como nutrientes. En este caso, el monómero de la goma guar es la galactosa y en presencia de la enzima galactosidasa puede degradar la goma guar en las unidades del monómero mencionado, cambiando así la reología. Como solución, se rediseñó el aditivo para eliminar la actividad de las enzimas que degradan los geles, brindando así una mayor estabilidad al fluido de fractura.

Bicarbonatos

La variabilidad en los niveles de bicarbonato en el agua de proceso también representó un desafío muy significativo en este trabajo. El incremento en este parámetro tiende a neutralizar el efecto del buffer, lo que altera el pH óptimo para la activación del gel y conduce a la inestabilidad reológica del fluido de fractura. Aunque se puede compensar este efecto mediante la adición de una mayor concentración de buffer, niveles elevados de bicarbonatos dificultan el logro de la estabilidad deseada en el fluido y las soluciones que se pueden realizar a nivel laboratorio son de difícil aplicación en operaciones de campo.

Equipo de Trabajo

Debido a las complejidades técnicas observadas, para llevar a cabo el proyecto se conformó un equipo de trabajo con diferentes actores claves para desempeñar roles específicos y contribuciones en las distintas etapas del proceso:

- YTEC y Wellknows: Para realizar el diseño de los sistemas y ensayos de laboratorio de respaldo. Se encargaron de desarrollar y optimizar los sistemas de fluidos utilizados en las estimulaciones hidráulicas, así como todas las pruebas y análisis microbiológico, enzimáticos y ensayos de estabilidad de gel lineal y activado para respaldar las decisiones técnicas
- Especialidades: en la definición y confección técnica del protocolo. Como nexo entre los sectores operativos, Y-TEC, el sector de compras y contrataciones y las compañías de servicio, además de realizar un seguimiento de las pruebas y los resultados obtenidos en las operaciones.
- Estimulación: en el diseño la selección de los pozos candidatos y diseño de los bombeos, planificar y ejecutar los bombeos necesarios para llevar a cabo las estimulaciones hidráulicas, además de realizar un seguimiento detallado de los ensayos realizados en los pozos y los resultados de las estimulaciones.
- Ingeniería de Planificación: en el análisis de los costos logísticos y la estimación de los costos de operación. Este la evaluación y planificación de los aspectos logísticos de las operaciones, teniendo en cuenta los recursos necesarios, los tiempos y los costos asociados. También son responsables de la selección de los candidatos adecuados para las estimulaciones hidráulicas.

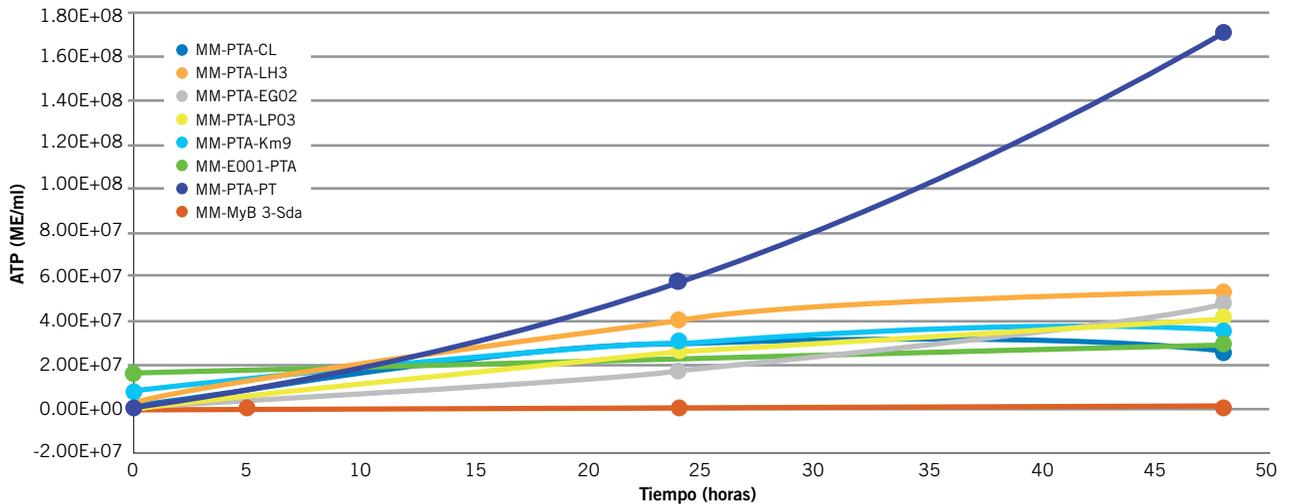


Figura 3. ATP vs. tiempo.

- **Compañía de Servicio:** Encargada de realizar los ensayos reológicos y llevar a cabo la ejecución de las operaciones. Proveer la experiencia y el conocimiento técnico necesarios para realizar los ensayos y pruebas reológicas, así como para llevar a cabo las operaciones de estimulación hidráulica de manera eficiente y segura.

Ensayos microbiológicos, metagenómicos y enzimáticos Influencia de los microorganismos y enzimas en la reología de los fluidos de fractura

El objetivo de este apartado es analizar el microbioma presente en las diferentes fuentes de agua de producción y el impacto que puedan generar estos microorganismos en las propiedades de los fluidos de fractura formulados a partir de ellas.

La caracterización microbiológica se realiza mediante técnicas de: Adenosin Trifosfato (en adelante "ATP") in situ, recuentos por Reacción en Cadena Polimerasa Cuantitativa (en adelante "qPCR") y análisis metagenómico del gen 16 S característico de Bacterias y Arqueas. Estas evaluaciones se realizan sobre las fuentes de agua de cargadero muestreadas Km 9, Cañadón León, El Trébol, Pico Truncado, Las Heras, El Guadal, Los Perales y MYB03. (1)

A partir de cada una de las fuentes de agua se formulan los geles lineales base goma guar sin la incorporación de biocidas. Se evalúa la reología y la microbiología de estos fluidos durante un periodo de 48 horas.

Para determinar la actividad microbiana, se realizan las determinaciones de ATP conforme a la norma ASTM D6787-11 con el kit de reacción Quench-Gone Organic Modified (QGO-M) de Luminutra, los puntos medidos corresponden a los tiempos 0, 5, 24 y 48 horas.

Los resultados de ATP se representan en la Fig. 3. Los cargaderos se encuentran ordenados de mayor a menor contenido de ATP en las referencias.

La reología se evalúa en un viscosímetro OFITE 1100, el ensayo se realiza a temperatura ambiente. Se toma una medición de la viscosidad aparente a 300 rpm las dos primeras horas cada 10 minutos, hasta las 5 horas cada 30

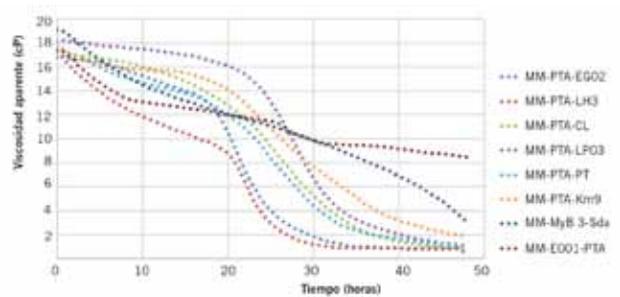


Figura 4. Viscosidad aparente vs. tiempo.

minutos y cada hora hasta completar un periodo de 48 horas.

En la figura 4 se muestran los gráficos de viscosidad respecto al tiempo de cada uno de los cargaderos. En las referencias del gráfico los cargaderos se encuentran ordenados de mayor a menor caída de viscosidad porcentual.

Al relacionar la reología de los fluidos y el recuento de microorganismos se puede observar que en todos los casos el crecimiento del recuento de ATP se corresponde con la disminución de la viscosidad aparente.

En simultáneo se realizó el recuento de bacterias y arqueas totales por qPCR. Ver figura 5.

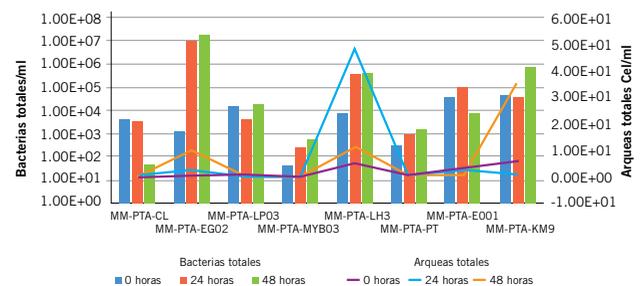


Figura 5. Bacterias y Arqueas totales.

Existe una diferencia entre los recuentos de qPCR y ATP, que es normal ya que las metodologías son distintas. En la determinación de ATP se observan células vivas totales mientras que los recuentos de qPCR se evidencian células vivas y muertas y dependen de la eficiencia de ex-

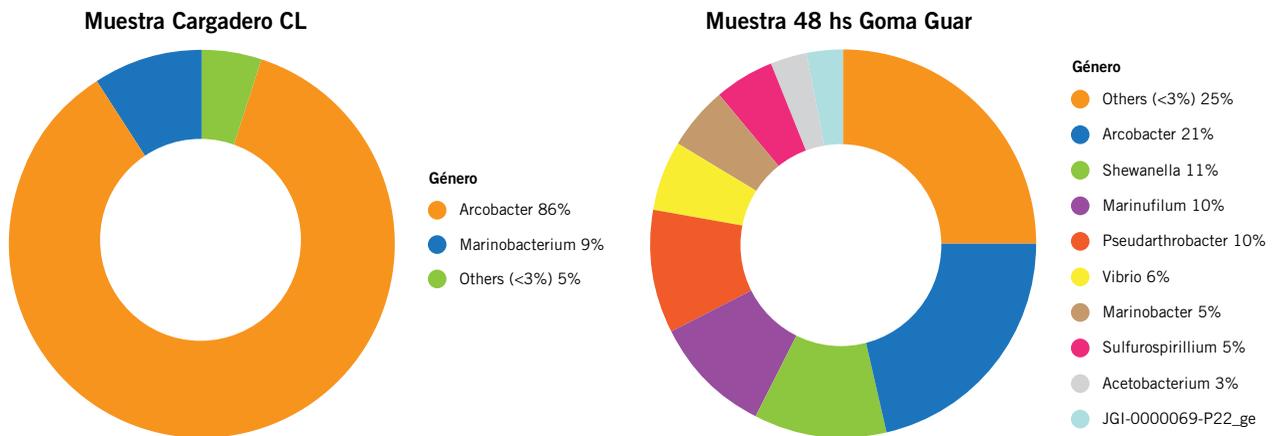


Figura 6. Planta CL.

tracción de ADN en la muestra y las interferencias de la matriz que hace que la correlación no sea tan favorable. No obstante, podemos obtener del ensayo de qPCR que los recuentos de Arqueas no son significativos por lo cual la etapa siguiente de análisis que es la obtención de la diversidad microbiana por estudios metagenómicos que serán orientados sólo a Bacterias.

Finalizados los estudios metagenómicos, para cada uno de los cargaderos se realiza el análisis de los resultados que muestran los cambios en la composición bacteriana en función del tiempo en contacto con Goma Guar.

Se presenta el correspondiente al cargadero Cañadón León a modo de ejemplo (Ver figura 6).

En presencia de Goma Guar, el microbioma rico en Arcobacter/Marinobacterium a las 48 hs baja la proporción de Arcobacter y Marinobacterium y aparecen otros géneros como Shewanella/Marinobacter/Vibrio/Marinifilum que podrían usar la Goma Guar como Fuente de Carbono.

Además del análisis microbiológico se realiza un análisis enzimático partiendo de la base de que los fluidos de fractura son formulados a partir de goma guar. La integridad del gel y en consecuencia su viscosidad puede verse alterada por efectos de oxidación de los extremos reductores o por acción enzimática.

Para determinar si la pérdida de viscosidad se debe a un ataque enzimático se plantea determinar la presencia y cuantificación de:

- Productos de degradación: concentración de azúcares (galactosa)
- Actividad galactosidasa

Las técnicas analíticas utilizadas no permitieron correlacionar la presencia de productos de degradación del gel con la caída de la viscosidad, probablemente debido a que la goma guar podría tener en su composición original remanentes de azúcares, lo que imposibilitó discernir si estos ya estaban presentes en el sistema o habían sido originados como consecuencia de la degradación enzimática.

La determinación de la actividad enzimática hallada en las aguas de los cargaderos analizados resulta ser baja

y similar para todas ellas.

Este estudio, en conjunto con los ensayos microbiológicos, permite deducir que la caída de viscosidad estaría estrechamente relacionada con la presencia de microorganismos.

Kill Test

Los Kill Test (2) permiten evaluar la eficiencia de diferentes biocidas. La concentración de cada uno de los biocidas comerciales se dosifica según especificación del proveedor, mientras que los principios activos puros, de acuerdo con las concentraciones de uso normal en la industria.

El agua utilizada para los ensayos es la del cargadero Cañadón León. Los resultados obtenidos se pueden ver en la figura 7.

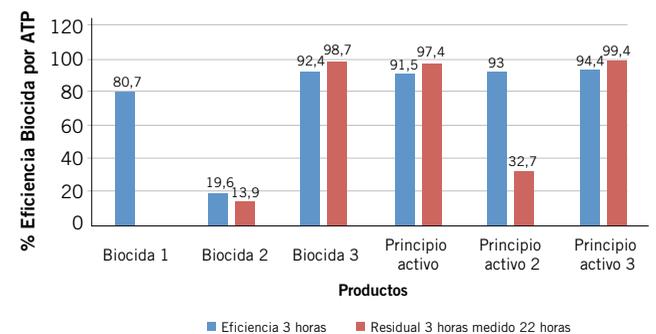


Figura 7. Resultados Kill Test.

Para finalizar con esta etapa se realizan estudios de estabilidad reológica de las formulaciones para verificar si la utilización de los diferentes biocidas afecta el performance del gel.

Sistema de fluido

Introducción

Los fluidos de fractura están diseñados para cumplir determinados requerimientos, tales como:

- Generar una fractura con un ancho que permita el ingreso de todo el agente de sostén programado.

- Ser capaz de suspender y transportar al agente de sostén.
- Soportar esfuerzos de corte en la cañería y en los punzados.
- No generar incompatibilidad con los fluidos de la formación o con la propia formación.
- Ser económicos.
- Cumplir con estabilidad incluso en elevadas temperaturas.
- No generar exceso de residuos en la formación.
- Romper fácilmente con determinado quebrador químico o biológico.

Los geles de fractura más utilizados en estimulaciones convencionales en la Cuenca del Golfo San Jorge son base guar. Este agente gelificante se hidrata fácilmente en agua fría generando largas cadenas de polisacáridos.

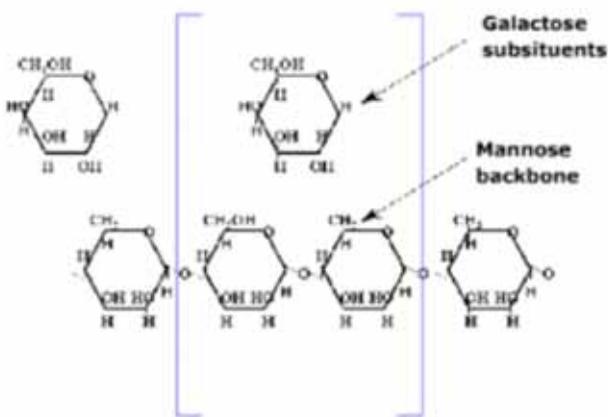


Figura 8. Estructura de la goma guar (3)

Para lograr la suspensión y transporte del agente de sostén, estos geles deben ser crosslinkados y para mantener la estabilidad de este entrecruzamiento, se deben cumplir determinadas condiciones fisicoquímicas en el fluido base.

Para entender el efecto que puede generar el cambio de las condiciones fisicoquímicas del agua en el gel, se debe comprender los fenómenos que están involucrados en el entrecruzamiento. Los agentes crosslinker son iones metálicos que generan uniones entre las cadenas largas de polímero del gel lineal. Los más utilizados son



Figura 9. Reticulado de gel crosslinkado (3)

los boratos por su elevado poder de regeneración.

El borato puede estar presente bajo diferentes formas químicas, pero el ion que cumple la función de activador es el monoborato (BOH_4). La disponibilidad de este ion depende de la concentración del activador y de las propiedades fisicoquímicas del fluido base. Si la concentración del monoborato es baja el gel no tendrá la capacidad de transporte adecuada, y si hay BOH_4 en exceso, se produce el fenómeno de sobre-crosslinkado aglutinando el polímero y perdiendo nuevamente la capacidad de transporte.

Desde el punto de vista técnico del fluido, el reto de este proyecto es conseguir un gel que cumpla todos los requerimientos mencionados utilizando agua de inyección como base, la cual presenta gran variedad de iones disueltos. Los principales que afectan la estabilidad del fluido son la dureza, la alcalinidad medida en mg/l de HCO_3^- , los cloruros, sulfatos y hierro:

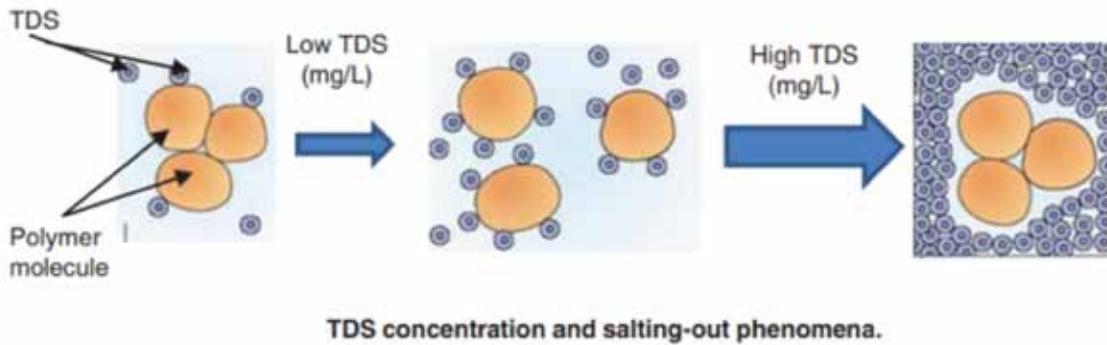
- Alcalinidad elevada: elevadas concentraciones de carbonatos y bicarbonatos pueden dificultar la regulación del pH, incrementando el gasto de buffer y pudiendo generar cantidades considerables de CO_2 . Particularmente la presencia de bicarbonatos retrasa la acción del crosslinker y dificulta la hidratación de la goma guar.
- Elevada concentración de cloruros y sulfatos: afecta a la hidratación y a la estabilidad del gel crosslinkado.
- Elevada dureza: concentraciones elevadas de los iones Ca^{+2} y Mg^{+2} pueden afectar el entrecruzamiento del polímero. En condiciones alcalinas ($\text{pH} > 9$) o por fuertes cambios de temperatura puede generar precipitados.
- Elevada concentración de hierro: puede provocar un efecto de sobre-crosslinkado del gel por competencia con el ion monoborato. Los enlaces entre el hierro y el polímero son más débiles que los del BOH_4 por lo que en estas condiciones se genera un crosslinkado que pierde rápidamente sus capacidades de transporte.

Otro problema generado por la mala calidad del agua de inyección es el elevado contenido de materia orgánica, lo que reduce la movilidad de las moléculas del polímero, dificultando su hidratación (mismo fenómeno que ocurre con la concentración elevada de iones) (4).

Aditivos utilizados

Para amortiguar las variaciones fisicoquímicas y microbiológicas de las diferentes plantas de tratamiento de agua de inyección, YPF, Y-TEC, Calfrac Well Service (en adelante CWS) y WellKnows (en adelante WK) trabajaron en conjunto en el desarrollo de un sistema de fluido que consta de ciertos aditivos que cumplen las siguientes funciones:

- Controlador de agua: es un agente de control y acondicionamiento de agua de flowback y de producción, diseñado específicamente para ser utilizado en este sistema de fluido. El mismo tiene la propiedad de que las diversas fuentes de agua, o agua de la misma fuente en diversos intervalos de tiempo, puedan tener propiedades similares y que el sistema de fluido



TDS concentration and salting-out phenomena.

Figura 10. Ionización de moléculas de polímero.

sea más simple de manipular. Es importante mencionar que este producto tiene la capacidad de secuestrar contenido de H₂S disuelto, lo cual fue clave para cumplir con un requerimiento de seguridad de parte de una de las compañías de servicio.

- **Biocida:** elimina efectiva y rápidamente los microorganismos que se encuentran en operaciones de Oil&Gas, incluyendo bacterias sulfato-reductoras y slime-forming. Funciona sin interferencias en presencia de hidrocarburos, desarrolla su efecto instantáneamente, y normalmente actúa descontaminando por completo un sistema entre 45 minutos y una hora.
- **Buffer:** es un buffer alcalino, agente regulador de pH para aplicaciones en fluidos de fractura basados en Goma Guar o Goma Guar Modificada; ayudando a obtener valores de pH de 9 a 10,5. Tiene la propiedad de mantener el valor de pH deseado en diversas condiciones de dureza, intercambio iónico en formación y contrarrestar el efecto que ejerce la temperatura sobre el pH. Es aplicable en sistemas entrecruzados con Boratos o Zirconatos. También es muy útil para neutralizar ácidos.
- **Crosslinker retardado:** es un crosslinker base boro, retardado, que se presenta como una suspensión

base agua y que puede ser aplicada con diversos polímeros, como Goma Guar e Hidroxipropilguar (HPG). Éste provee tiempos de activados prolongados a elevadas temperaturas y cargas poliméricas. Produce un enlace muy fuerte, elástico y estable entre las cadenas poliméricas, que permite obtener fluidos con excelente regeneración luego de ser sometidos a esfuerzos. Provee fluidos activados de muy altas viscosidades, que permiten utilizar cargas poliméricas menores minimizando el daño de formación, y mejora la estabilidad de activación, lo que permite un eficiente transporte de agente de sostén para lograr fracturas más conductivas. El tiempo de activación puede ser ajustado con el uso de crosslinkers de superficie.

- **Crosslinker de superficie:** es un crosslinker de superficie, base boro, no retardado, presentado en una solución concentrada, que puede ser utilizar para diversos polímeros. Puede regular el pH, aunque podría requerir agentes reguladores de pH adicionales para alcanzar el rango óptimo de pH que es de 9 a 11 en aplicaciones de temperaturas altas.

Ensayos de fluido

Ensayos fisicoquímicos del agua

Se recopiló información sobre los parámetros fisico-

Procedencia	Valores Normales según IAPG	PTA CL	PPA	LH-03	EG-02	LP-03	MYB-03	G-0001	KM-9
Informe N°		02240-22CS	01849-22CS	0543-22-1.H-A-001	365-22-1.H-A-001	2317-22-1.H-A-001	01332-22CR	0816-21CR	08449-22CR
Fecha de Extracción		31/3/2022	21/3/2022	20/1/2022	16/2/2022	11/3/2022	27/1/2022	5/8/2021	9/6/2022
Fecha de Informe		2/5/2022	21/3/2022	27/1/2022	21/2/2022	23/3/2022	2/3/2022	5/8/2021	9/6/2022
pH	6 - 8	7.8	7.1	7.1	7.49	7.05	7.5	6.73	6.6
Densidad [mg/ml]		1,0159	1,0184	1,0049	1,0053	1,0021	1,0071	1,01	1,0089
Temperatura [°C]	15 - 40	21.6	35.7	35	35.5	47	20.4	21.2	20.3
Cloruro [mg/l]	<30,000	10798	13214	5502.3	5588.3	2753.2	5406	5328	8162
Sulfato [mg/l]	<500	1	5	8	5.4	5.8	5	5	8
Bicarbonato [mg/l]	<600	3553	3702	109.8	427.1	122	1842	167	174
Calcio [mg/l]	50 - 250	237.7	275.2	469.8	652.1	293.4	76.5	419	954.9
Magnesio [mg/l]	10 - 100	63.3	85.2	4.9	23.3	18.8	35.7	6.7	52.8
Hierro Total [mg/l]	1 - 20	2.5	0.46	2	2.9	0.7	1.82	0.15	0.56
Sodio y Potasio [mg/l]	2500 - 5500	7944.5	9486.5	3061.7	2990.7	1590.4	4043.7	3032.8	4165
Salinidad como ClNa [mg/l]		17801	21782	9071.9	9213.7	4869.1	8912		13455
Alcalinidad [mg/l]		2912	3034	90.9	357.5	101	1629	7337	159
Residuo Seco [mg/l]		22601	26769	9177.6	9700.9	4992	11411		13517
Dureza Total [mg/l]	<15,000	854	1038	1193.3	1724.2	810	338	1059	2602
Sulfuro Total [mg/l]		N/D	0.8	4.1	1.9	2.2			
Bario [mg/l]		27.14	55.9	8.7	3.1	3.5			
Estroncio [mg/l]		14.13	16.09	10.3	8	4.1			
Dioxido de Carbono [mg/l]		N/D	176.2		49.5	21.8			

Tabla 1. Resumen fisicoquímico por plantas.

Procedencia	Salida TK 3005	Salida TK 3005	Salida FW	Salida Inv. Planta CL	Salida Inyectora CL	Sda Inyección CL	Salida Colector PIU 16	Bomba Post Filtro PIU 16				
Informe N°:	00360-21CS	07148-21CS	01466-22CS	02240-22CS	03262-22CS	05064-22CS	05131-22CS	05496-22CS	05811-22CS	06885-22CS	06886-22CS	06887-22CS
Fecha de Extracción	26/01/2021	15/11/2021	03/03/2022	31/03/2022	26/05/2022	09/08/2022	11/08/2022	30/08/2022	13/09/2022	31/10/2022	31/10/2022	31/10/2022
Fecha de Informe	29/01/2021	09/12/2021	17/03/2022	02/05/2022	09/06/2022	11/08/2022	24/08/2022	10/09/2022	06/10/2022	18/11/2022	18/11/2022	18/11/2022
pH:	7.5	7.1	7.3	7.8	7.6	8.1	8.1	8.2	7.8	7.2	7.2	7.2
Densidad:	1.0163	1.0163	1.0158	1.0159	1.0162	1.0157	1.0176	1.0157	1.0166	1.0192	1.0201	1.0141
Temperatura:	38.2	32.3	31.2	21.6	32.5	22.1	22.2	23.9	22.8	37.9	34.2	33.6
Cloruro:	11438	11189	11544	10798	11496	11318	11097	11982	11318	11835	11724	11613
Sulfato:	1.2	3.4	2.2	1	N/D	5.8	4.8	5.2	5.6	N/D	N/D	N/D
Carbonato:	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Bicarbonato:	3736	3943	3849	3553	3434	3407	3919	4476	3970	3822	3902	3924
Calcio:	365.6	281.3	229	237.7	309.4	333.7	323.8	389.7	288.2	246.5	248.3	226.4
Magnesio:	26.8	56	86.4	63.3	43.8	121	92.8	112	46.1	41.3	36	61.4
Hierro Total:	1.86	1.87	1.18	2.5	1.42	3.8	5.1	2.4	2.2	2.18	2.18	2.78
Sodio y Potasio:	8351	8310.3	8507.7	7944.5	8307.5	7989.7	8101.2	8778.7	8386.3	8676.9	8643.6	8339.4
Salinidad como CNa:	18855	18445	19030	17801	18951	18658	18293	19852	18658	19509	19327	19144
Alcalinidad:	3467	3231	3154	2912	2814	2792	3211	1834	1427	7424	7994	8039
Residuo Seco:	23920	23785	24219	22601	23593	23228	23593	25789	24091	24763	24696	24541
Dureza Total:	1023	933	928	854	953	1331	1191	1434	910	786	768	818
Sulfuro Total:	2.4	0.8	0.8	*	0.8	5.2	4	7.2	4.8	4.8	5.2	5.2
Bario:	43.29	19.44	11.37	27.14	19.96	37.47	38.51	33.12	49.69	8.45	8.45	8.45
Estroncio:	18.65	46.12	39.12	14.13	16.53	11.1	11.09	9.99	23.06	9.15	9.15	9.15
Difusión de Carbono:	91.1	198	138.6	*	198	142.6	243.5	158.1	172.3	233.6	247.5	247.5

Tabla 2. Seguimiento fisicoquímico de planta CL.

químicos de todas las PTA seleccionadas, pero se llevó un seguimiento en el tiempo sólo a la planta de Cañadón León, dado que fue la seleccionada para realizar el protocolo de prueba. En la siguiente tabla se resume los resultados de los fisicoquímicos (Tabla 1).

Puede observarse que:

- Las mayores concentraciones de alcalinidad, cloruros y sales disueltas se encuentran en la región de Cañadón Seco – León, Pico Truncado y Escalante. Esto puede generar un consumo elevado de buffer para poder estabilizar el gel crosslinkado y pueden presentarse problemas de falta de hidratación de la goma guar.
- Las mayores concentraciones de calcio se encuentran en la región de Las Heras y El Guadal. Esto puede traer problemas de incompatibilidad de agua con el reservorio, por lo que debe tomarse recaudos muestreando el agua de formación para hacer ensayos de compatibilidad.
- En la planta de CL se encontró contenido de H₂S que disparó una alerta de seguridad por protocolos de manipulación de agua con este químico de parte de CWS.

Esto se solucionó agregando secuestrante de H₂S en el tanque de carga, siendo útil también a este fin el aditivo de WK CWS EC 09 denominado controlador de agua.

Para la PTA de Cañadón León se recogió información histórica de los análisis realizados y se tomaron nuevas muestras entre marzo y octubre de 2022 para detectar los rangos de variación de los parámetros fisicoquímicos de esta planta. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.

Puede observarse cómo en los últimos meses la alcalinidad de la corriente de salida de la planta se cuadruplicó. Esto tuvo un efecto negativo en la evolución de los ensayos de estabilidad como se mostrará a continuación. El aumento de alcalinidad puede deberse al enganche de nuevos pozos productores que tienen capas con gran contenido de CO₂ disuelto, por lo que se espera que esta condición se mantenga o aumente hasta alcanzar un punto de equilibrio.

Ensayos de estabilidad de gel

Entre los meses de mayo y noviembre del 2022, CWS estuvo trabajando en diferentes baterías de ensayos con muestras de las PTA de LH-03 y CL, para comprobar la estabilidad del sistema de fluido en diferentes condiciones. Para simular condiciones a diferentes profundidades, se hicieron ensayos a 50, 70, 80 y 90°C arrojando buenos resultados en laboratorio.

Durante la realización de los ensayos se recabaron las siguientes observaciones:

- Se consiguió estabilidad mayor a 60 minutos en todas las temperaturas ensayadas.
- Para algunas muestras en los ensayos a 90 °C, la utilización de estabilizador de temperatura ayudó al correcto armado y estabilidad del fluido.
- Los parámetros fisicoquímicos tales como contenido de cloruros, alcalinidad y dureza total varían mucho de un cargadero a otro e incluso en un mismo cargadero en fechas diferentes.
- Los cambios en las concentraciones de buffer y crosslinker no están asociados a requerimientos del gel para diferentes temperaturas, sino a los parámetros fisicoquímicos del agua al momento del ensayo.

Al observar las variaciones del agua de salida de la PTA de CL, se decidió realizar ensayos en diferentes fechas para corroborar que se lograra estabilidad. Tomando como base un diseño de fractura a una formación a 2600 mbbp con un gradiente geotérmico normal (1.7 °F/100 ft) y un tiempo de bombeo de 55 minutos, se realizó otra batería de ensayos observando que el consumo de buffer aumentó drásticamente con el tiempo, debido al aumento de la alcalinidad de las muestras de agua entre julio y noviembre, aumentando la dosificación requerida de buffer de 3 gpt a 7 gpt en el último ensayo.

Al tener el fluido comprobado en laboratorio se seleccionó el Pozo A para realizar las primeras 2 fracturas del protocolo. Se estimaba que el pozo estaría listo para fracturar en la primera quincena de diciembre. Se tomaron las muestras de la PTA de CL para los ensayos, los cuales arrojaron resultados negativos. Se detectó un in-

cremento inusual en la alcalinidad del agua (arriba de 9000 mg/l) y un contenido elevado de CO₂ disuelto, lo que aparentemente llevó al sistema de fluido ensayado hasta el momento a un límite técnico. Habiendo realizado varios intentos de estabilizar el fluido sin éxito, se decidió enviar muestras del agua al laboratorio para que estudien una solución y se postergó la intervención del pozo seleccionado.

Protocolo de prueba

El propósito de este protocolo de prueba fue realizar un seguimiento, verificación y medición de actividades preestablecidas para evaluar el cumplimiento de los objetivos establecidos.

Objetivo del Protocolo de prueba

El objetivo principal del protocolo de prueba era evaluar el desempeño de los fluidos formulados a partir de agua de inyección en nuestras operaciones, considerando diferentes condiciones que se pueden probar en campo. Se realizó una serie de pruebas para demostrar que los geles no experimentaban cambios significativos en sus parámetros reológicos y que no afectaban el rendimiento general de las operaciones. Además, evaluar si la productividad de los pozos estimulados con estos geles no se veía disminuida en comparación con los pozos estimulados convencionalmente en las mismas áreas. De esta manera, se buscaba demostrar que el nivel de rendimiento alcanzado era adecuado para su implementación.

El protocolo de prueba consistió en una planificación detallada de las actividades, lo que permitió un seguimiento exhaustivo y una medición precisa de los resultados obtenidos. Se llevaron a cabo pruebas rigurosas para evaluar la estabilidad y el rendimiento de los fluidos formulados con agua de inyección en diferentes escenarios operativos. Los parámetros reológicos de los geles fueron monitoreados y se compararon con los estándares establecidos. Además, se realizaron pruebas de productividad en los pozos estimulados para evaluar el impacto de los fluidos formulados en comparación con los métodos convencionales.

El protocolo de prueba fue diseñado para brindar una evaluación completa y confiable de la viabilidad de utilizar fluidos formulados con agua de inyección. Los resultados obtenidos a partir de este protocolo proporcionaron información valiosa que respaldó la toma de decisiones y permitió determinar si esta alternativa era efectiva y compatible con nuestros objetivos de reducción de costos logísticos y consumo de agua dulce.

Áreas de operación

Considerando los aspectos logísticos, se realizó una planificación para llevar a cabo las pruebas del protocolo en pozos situados en los yacimientos más cercanos a la Planta de Inyección LH-03, la cual se estableció como la principal fuente de agua para el protocolo. No obstante, con el propósito de asegurar la ejecución de la prueba

y cumplir con las necesidades operativas, se priorizó el uso del agua proveniente de la planta de Cañadón León (CL). Además, se llevó a cabo un estudio exhaustivo en laboratorio que abarcó el análisis de los otros puntos de suministro de agua, con el fin de abordar todas las posibles variaciones. En este análisis se incluyeron las plantas EG-02, LP-03, PPA y CL en la provincia de Santa Cruz, y las plantas E-0001 y MYB-03 en la provincia de Chubut.

La estrategia de utilizar diversas plantas de agua se planteó con el objetivo de enfrentar la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos y biológicos presentes en el agua de proceso. Se buscó evaluar la efectividad de los fluidos formulados en diferentes escenarios, asegurando así su aplicabilidad en diversas áreas operacionales.

Consideraciones operativas para las fracturas

En las operaciones de fracturas convencionales de la Cuenca del Golfo San Jorge, se trabaja mayoritariamente con un fluido de activación rápida y fricciones conocidas, con lo cual puede predecirse en la carta de fractura con qué presión debería trabajarse al bombear gel lineal y con qué presión al bombear gel crosslinkado (en adelante XL). La siguiente gráfica muestra esquemáticamente la lectura de la presión durante un bombeo de calibración vs la lectura de presión durante el PAD del tratamiento:

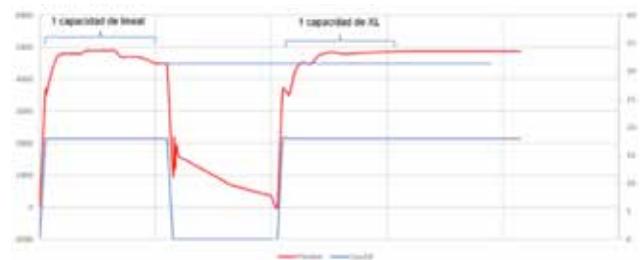


Figura 11. Bombeo de calibración vs bombeo de tratamiento principal

La diferencia entre la presión con gel lineal y la presión con XL (ΔP de activación), da una idea de la estabilidad del gel XL en la cañería. Como no se conoce las fricciones del XL que se bombeará en el protocolo, se tomarán una serie de recaudos que minimicen la incertidumbre en la lectura de la carta de presión durante la operación.

Para una fractura contenida de presión neta constante, existen dos condiciones que pueden impactar en la lectura de presión durante el bombeo del PAD: Pérdida de estabilidad del fluido y restricciones de Near Wellbore (en adelante "NWB") eliminables con XL. Se plantean tres casos hipotéticos:

- CASO A: Fluido de buena calidad y restricciones de NWB eliminables con XL
- CASO B: Fluido que pierde calidad en la cañería, sin restricciones NWB eliminables con XL
- CASO C: Fluido que pierde calidad en la cañería y restricciones NWB eliminables con XL

Para los casos A y B la carta de presión podría verse en la figura 12.

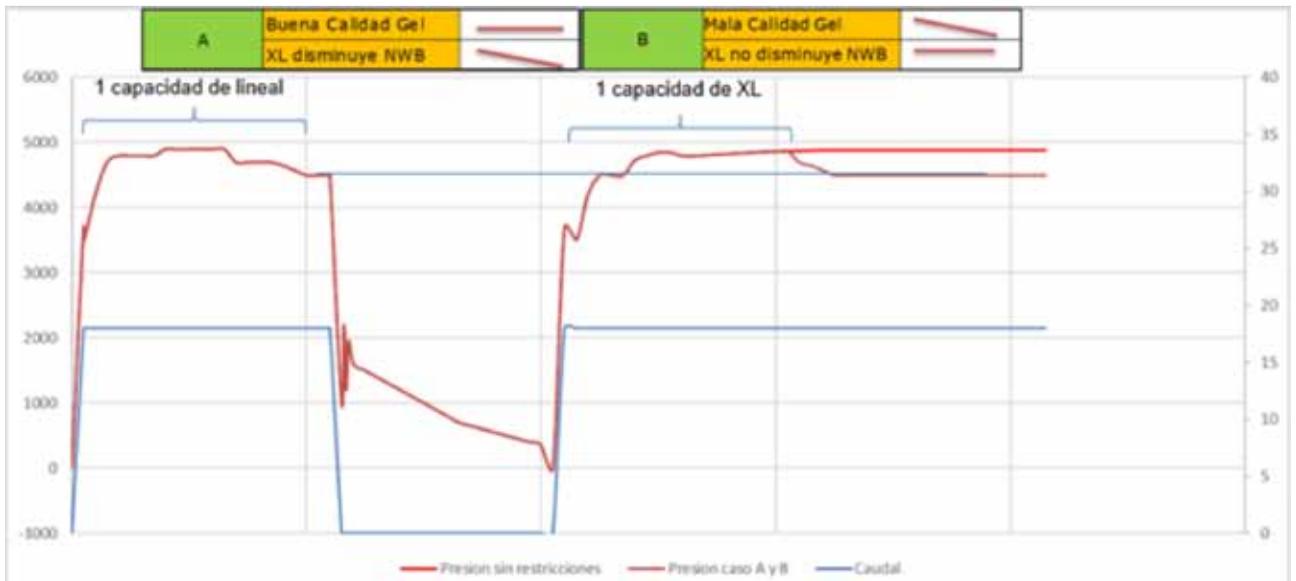


Figura 11. Casos A y B

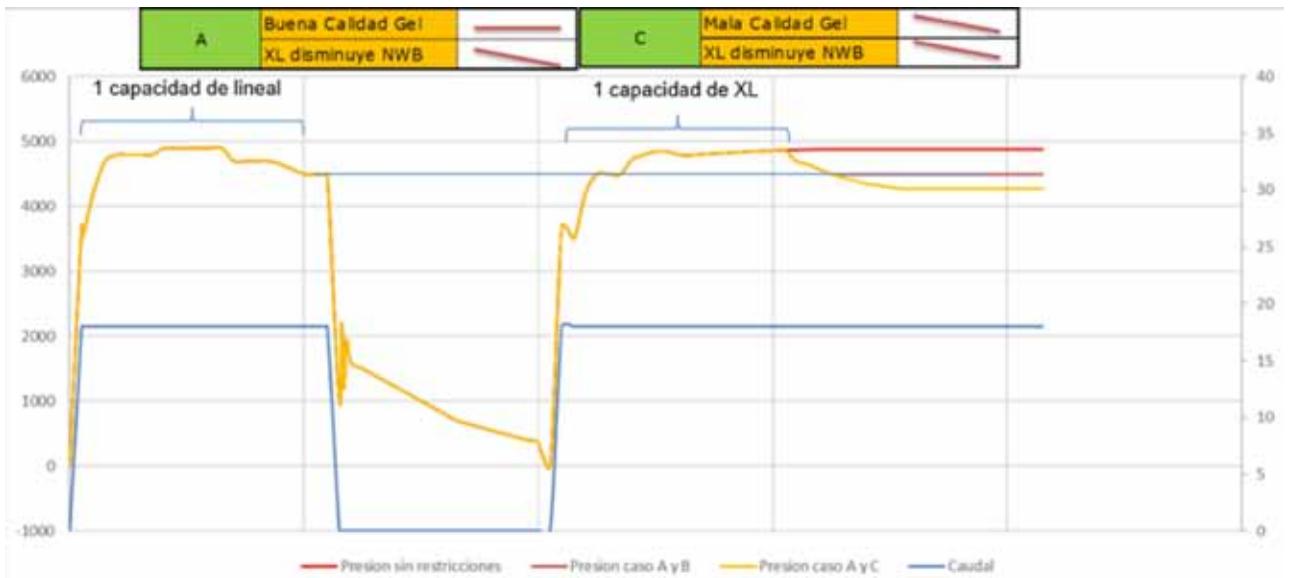


Figura 13. Casos A y C

Para los casos A y C la carta de presión podría verse en la figura 13.

Como puede observarse, en estos escenarios cuando la presión durante el PAD cae no puede dilucidarse si es debido a la calidad del gel o a las restricciones de NWB.

Para eliminar esta incertidumbre y minimizar los riesgos de una mala interpretación de la carta de fractura, se bombeará en el bombeo de calibración una capacidad de XL y se desplazará con gel lineal, con el fin de eliminar cualquier restricción de NWB que pueda ser reducida con el XL.

Existe la posibilidad de tener muy poco ΔP de activación, debido a que es un sistema de fluido con un crosslinker retardado y el gel podría llegar a activar en las cercanías del packer. Esta situación está contemplada en el árbol de decisiones.

Árbol de decisiones

A partir de las consideraciones operativas y de las observaciones realizadas durante los ensayos del fluido, se acordó con CWS el siguiente árbol de decisiones para las operaciones de fractura que conformen el protocolo de prueba:

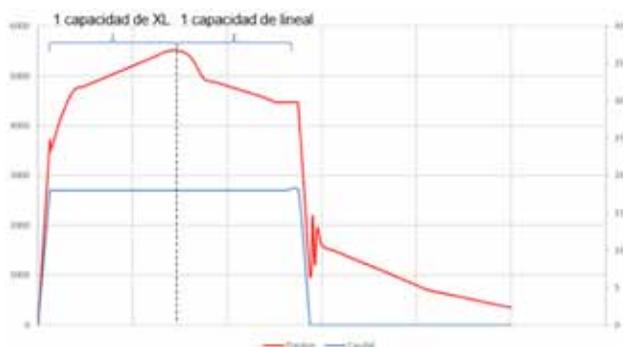


Figura 14. Bombeo de calibración con XL

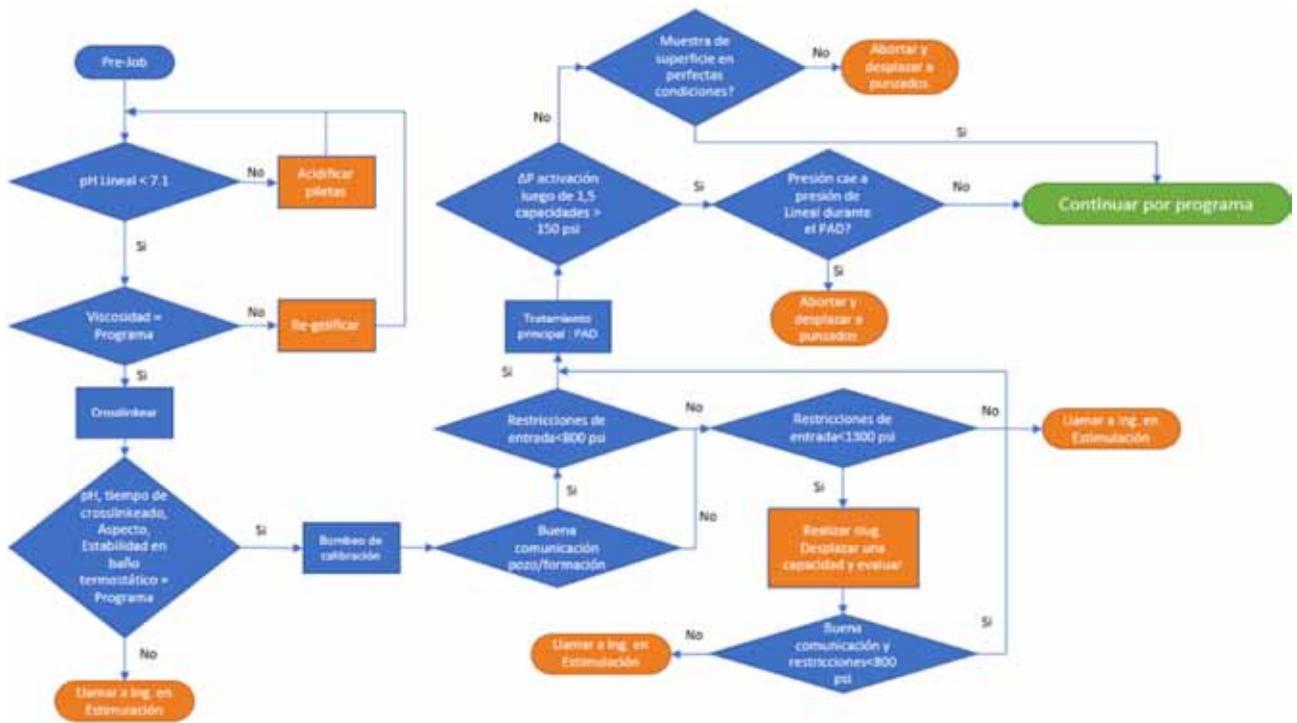


Figura 15. Árbol de decisiones

Operaciones de Campo

El primer pozo del protocolo se fracturó en el activo de Cañadón Seco – León, debido a la necesidad de validar la tecnología utilizando las plantas de tratamiento de agua de la zona y la complejidad que esta fuente de agua presentaba.

A lo largo del tiempo, se realizaron ensayos con agua de la planta de CL y se observó que a partir de noviembre de 2022 no se lograba mantener la estabilidad reológica del fluido. Se determinó que la causa de este problema era el fuerte aumento de la alcalinidad, principalmente debido a la presencia de bicarbonatos con una concentración de aproximadamente 9000 ppm.

Se encontró una solución a nivel laboratorio mediante la remoción del dióxido de carbono (CO2) acidificando la muestra, pero esta solución no era escalable a nivel operativo.

Como alternativa práctica, se decidió diluir el agua de proceso con agua dulce en las primeras operaciones. El objetivo era llevar a cabo pruebas en el campo y evaluar el efecto de esta dilución en la producción de los pozos.

Operaciones de Fractura Pozo A

La terminación del pozo A fue elegida como la primera prueba del protocolo, consistiendo en dos fracturas en la formación D-129 utilizando agua de inyección y dos fracturas en la formación Mina El Carmen utilizando agua dulce. Se planeó la inyección de trazadores para comparar la productividad de las capas fracturadas en D-129 con agua de inyección en comparación con otras fracturas en la misma formación realizadas con agua dulce.

Primera etapa Pozo A

La etapa inicial utilizó una concentración del 25% de agua de inyección. Cabe aclarar que a pesar de que estas

diluciones parecían conservadoras, presentó un gran desafío lograr la estabilidad reológica del fluido sin aumentar la carga polimérica afectando así la productividad de los pozos estimulados.

Antes de la primera operación, surgieron problemas con la dosificación de uno de los aditivos principales, debido a su alto contenido de sólidos, lo que causaba obstrucciones en la bomba de inyección utilizada por la compañía de bombo asignada.

Después de intentar con diferentes bombas de la unidad, finalmente se logró transferir el aditivo a los tanques utilizando una bomba a tornillo que normalmente se utiliza para dosificar el polímero concentrado.



Figura 16. Bombas de tornillo.

Si bien esta solución permitió elevar el aditivo y avanzar con la operación, no fue una alternativa reproducible fuera del contexto del protocolo de prueba debido a las dificultades que conllevó.

Durante el bombeo se tomaron muestras en el colchón y todas las concentraciones de arena observando en todos los casos un fluido con excelente aspecto y que permitió completar exitosamente el bombeo según el di-



Figura 16. Muestra del gel de fractura obtenida durante el bombeo del colchón.

seño. A continuación, se muestran fotos de una de las muestras y la carta de bombeo:

La fractura se completó exitosamente bombeando 900 sks arena YPF (Wanli Resinada 20/40 y Patagónica 20/40).

Segunda etapa Pozo A

Al ver el buen comportamiento del fluido en la primera fractura y los ensayos de laboratorio que validaron la estabilidad con 100% agua de inyección, se planteó aumentar la concentración gradualmente hasta 50% de agua de inyección para la segunda etapa de fractura.

Con la experiencia operativa para la manipulación del aditivo de activación se logró elevar el mismo a los tanques sin inconvenientes. Luego se realizó la operación y durante todo el bombeo se tomaron muestras observando un aspecto visual muy bueno en todos los casos, logrando completar el esquema de bombeo según diseño. A continuación, se muestran fotos de una de las muestras y la carta de Fractura:



Figura 19. Muestra del gel de fractura durante las concentraciones de arena.

Operaciones Pozo B

En función de los resultados obtenidos en A se planificó la operación del próximo pozo al 100% de agua de inyección.

Primera etapa Pozo B

Este pozo se realizó en la Formación Mina del Carmen. Durante todo el bombeo se observó un buen desempeño de fluido obteniendo un resultado exitoso. En total se bombean 318 sks arena Patagónica 20/40, demostrando la versatilidad del fluido para adaptarse las diferentes variaciones de las propiedades físico-químicas.

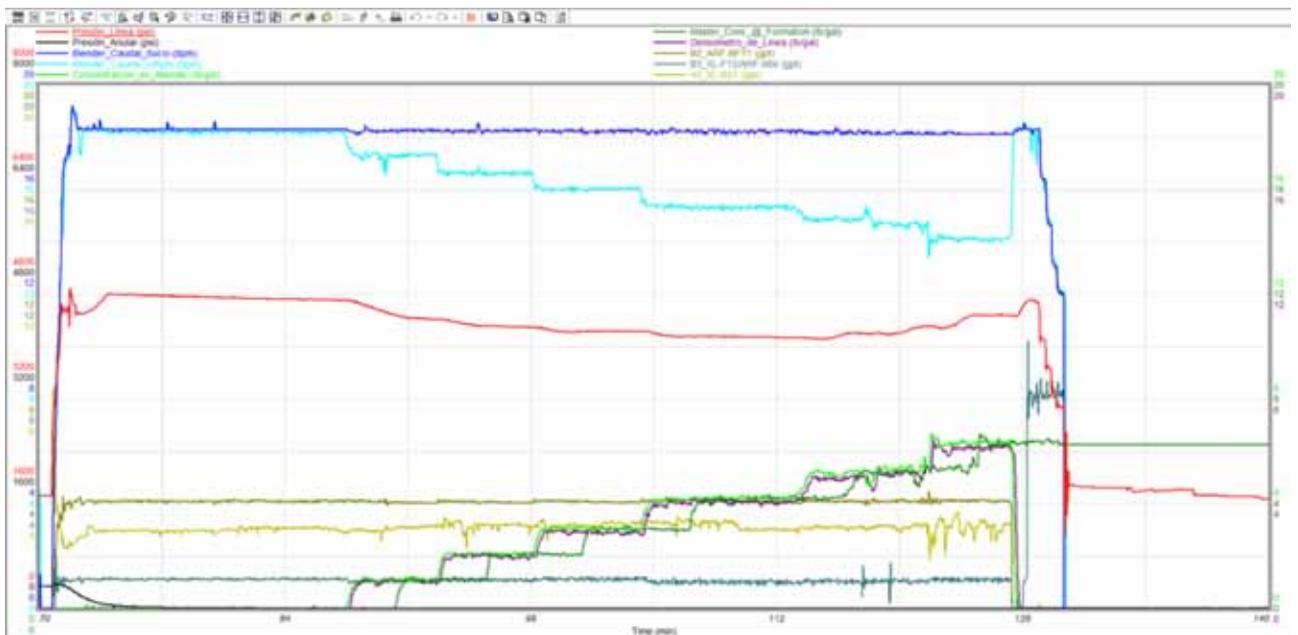


Figura 18. Gráfica de la carta de bombeo de la etapa N°1.

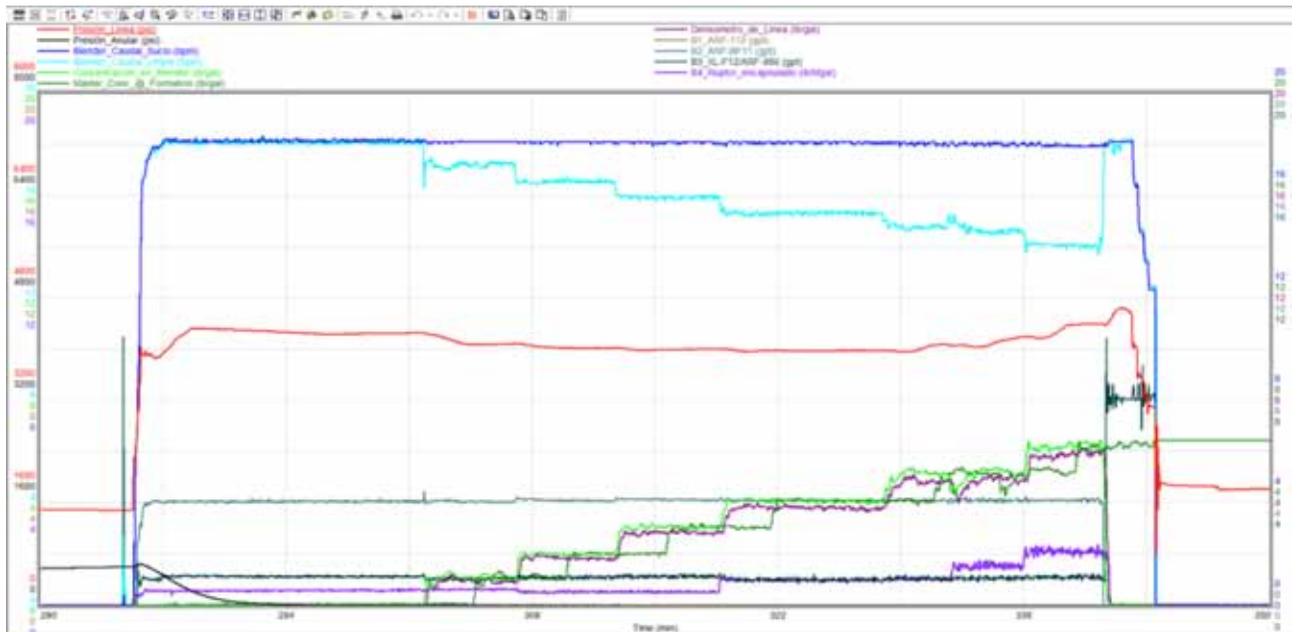


Figura 20. Gráfica de la carta de bombeo de la etapa N°2

Segunda etapa Pozo B

Si bien el desempeño del fluido fue muy satisfactorio utilizando agua de inyección al 100%, Al comenzar el bombeo de arena falla la bomba del aditivo de activación. Al desarmar la bomba se observa que la misma se tapaba con el producto decantado. Se observó también erosión de la misma por el producto sólido que obturaba la misma, por lo cual se decide continuar con la etapa utilizando agua dulce, debido a la dificultad para dosificar el aditivo.

Posteriormente, a partir de la incompatibilidad de este aditivo a los equipos de la compañía de bombeo, se logra reemplazar el mismo, con un producto que permitía obtener el mismo resultado reológico pero fácilmente manipulable.

Operaciones Pozo C

Una vez demostrado el resultado del sistema con la fuente de agua más compleja, se avanzó con ensayos con el cargadero de LH-03, logrando formular un sistema adaptable al mismo.

En este pozo se realizan 2 etapas de 547Sk y 250Sk, con el sistema propio de la compañía de bombeo, realizando adaptaciones en el mismo en base a las experiencias obtenidas en las operaciones realizadas en este protocolo. Los resultados fueron exitosos en todas las etapas.

Resumen de operaciones

A partir de las pruebas de campo realizadas, se adquirió experiencia que nos permitió reformular los sistemas utilizando aditivos más fáciles de manipular durante la operación. Estos aditivos nos permitieron obtener distintos tipos de sistemas de fluidos confiables que garantizan el resultado de la operación pese a la variabilidad de tipos de agua de inyección, para las diferentes formaciones. Mediante estas pruebas, logramos desarrollar formu-

laciones que requieren cambios mínimos para adaptarse a la gran variabilidad existente de las fuentes de agua, lo que nos brinda flexibilidad en la composición de los sistemas y el éxito de la operación.

Resultados

Resultados post fracturas

Si bien se fracturaron 3 pozos bajo la metodología de gel de fractura con agua de inyección, se hará foco en los resultados del Pozo A ya que fue el único pozo en el que se pudo inyectar trazadores para seguir la producción.

La siguiente tabla muestra un resumen de los resultados post fractura de todas las etapas realizadas bajo este protocolo:

Pozo	N° etapa	Formación	Sacos	Ensayo post fractura
Pozo A	1	D129	900	400 l/h
Pozo A	2	D129	900	1800 l/h
Pozo B	1	Mina El Carmen	320	Surgente gas seco
Pozo C	1	Bajo Barreal	550	3000 l/h
Pozo C	2	Bajo Barreal	250	3000 l/h

Tabla 3. Resultados post fractura de fracturas con agua de inyección

En las dos primeras fracturas del Pozo A se utilizó agua de inyección y en las etapas de fractura 3 y 4 de este pozo se utilizó agua dulce, la siguiente tabla muestra los resultados de los ensayos post fractura de este pozo.

N° etapa	Formación	Base de gel	Ensayo post fractura
1	D129	Agua de inyección	400 l/h
2	D129	Agua de inyección	1800 l/h
1	Mina El Carmen	Agua Dulce	2400 l/h
1	Mina El Carmen	Agua Dulce	

Tabla 4. Resultados post fractura del pozo A

Por cuestiones de presupuesto, las etapas 3 y 4 se ensayaron post fractura en conjunto.

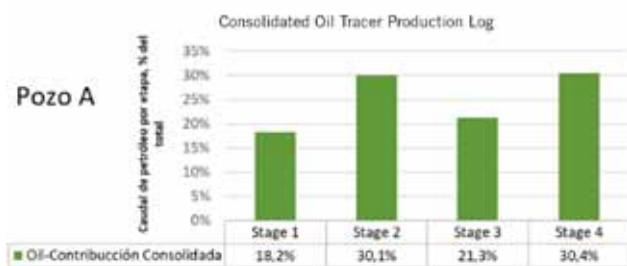


Figura 21. Porcentajes consolidados pozo A.

Resultados de trazadores

A continuación, se muestra los resultados preliminares obtenidos del análisis de los trazadores durante los primeros 21 días de producción, con una frecuencia de muestreo diaria.

El primer gráfico muestra el porcentaje consolidado de contribución relativa de los trazadores de petróleo de cada etapa en el período de muestreo.

Puede observarse que entre la etapa 2 y 4 se supera el 60% del total del aporte.

El segundo gráfico muestra la variación porcentual de contribución relativa de los trazadores de petróleo de cada etapa a lo largo del periodo muestreado.

Puede observarse que la etapa 1 tuvo un incremento constante a lo largo del periodo estudiado en detrimento de las etapas 2 y 3.

Conclusiones

- En todos los fluidos de fractura analizados, formulados a partir de las muestras de agua de cargadero, se observa una reducción de viscosidad conforme al incremento de los valores de ATP. El que indica un aumento de la biomasa presente, esto se debe a la utilización de goma guar como nutriente, fuente de Carbono y Nitrogeno.
- El microbioma del agua de producción utilizada en la formulación de fluidos de fractura cambia su composición en géneros que están adaptados al reservorio y pueden generar problemas futuros, biofilms, agrietamiento (producción de H₂S) y fenómenos de Corrosión Inducida por Microorganismos (MIC).

- A diferencia de lo que se creía en el año 2017, los estudios enzimáticos, en conjunto con los ensayos microbiológicos, permiten deducir que la caída de viscosidad está estrechamente relacionada con la presencia de microorganismos. Por esto, tratando de manera correcta el crecimiento de microorganismos con la utilización del biocida adecuado se evitaría la generación de enzimas.
- Los Kill Test permiten seleccionar el biocida adecuado para cada una de las fuentes de agua. El BIOCIDA 3 es el que presenta mayor eficiencia, y a su vez, mediante los estudios de estabilidad se puede demostrar que no afecta la performance reológica de los fluidos de fractura.
- Con los resultados de los trazadores, puede observarse a priori que el uso de agua de inyección en los geles de fractura no afecta negativamente a la producción de la capa. Parecería incluso mejorar su performance con el tiempo, debido tal vez a una mayor limpieza por una ruptura acelerada del gel. Esta conclusión debe validarse trazando más fracturas en otros pozos de la zona.
- El uso de geles de fractura utilizando agua de proceso tratada para inyección es una alternativa viable y sostenible para reducir el consumo de agua dulce en la actividad de fractura. Los geles de fractura formulados con agua de proceso tratada para inyección y aditivos seleccionados mostraron una buena compatibilidad y eficacia en las pruebas de laboratorio y de campo.

Referencias

- Vargas W., Pagliaricci M., G. Muller, M. Billen (2020): "Protocolo de análisis de diagnóstico y monitoreo MIC". Consorcio MIC 2018-2020. YPF TECNOLOGIA.
- Pagliaricci M., Vargas W (2018): "Ensayo Kill Test por ATP". Protocolo YTEC Y-TEC POP EKT 379.
- Portal del Petróleo. (2020, February). "Fluidos para fracturamiento hidráulico". Recuperado de <https://www.portal-delpetroleo.com/2020/02/fluidos-para-fracturamiento-hidraulico.html>
- N. Esmailirad, Colorado State University; C. Terry and Herron Kennedy, Halliburton; A. Prior, Noble Energy; and K. Carlson: "Recycling Fracturing Flowback Water for Use in Hydraulic Fracturing: Influence of Organic Matter on Stability of Carboxyl-Methyl-Cellulose-Based Fracturing Fluids", Colorado State University, SPE179723

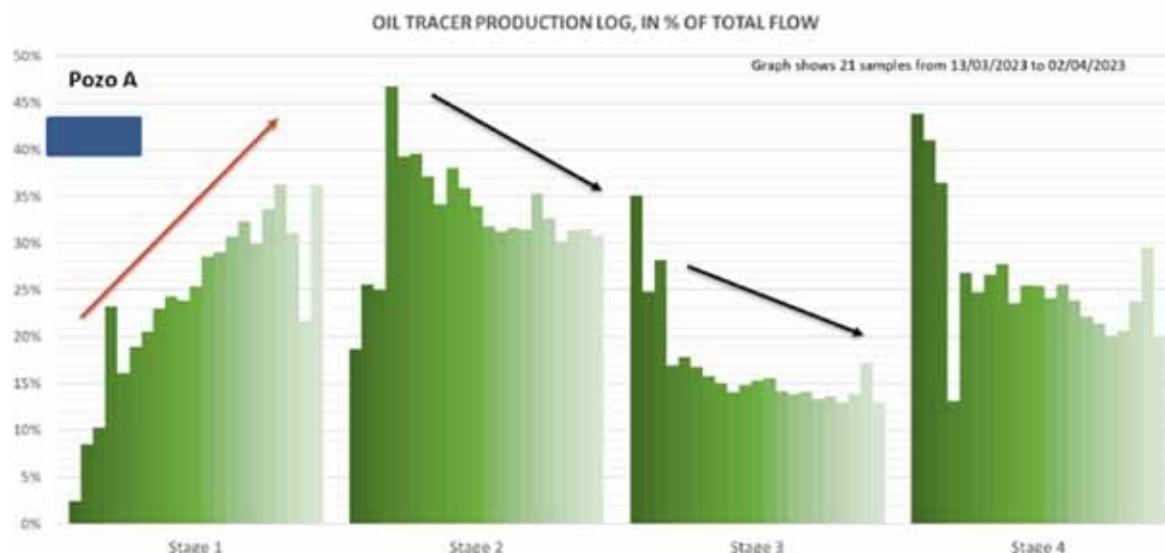


Figura 22. Variación porcentual de contribución de petróleo pozo A.