

# Caracterización del comportamiento del agua y fenómenos de cambios de salinidad en un yacimiento naturalmente fracturado mediante el uso de análisis Stiff a través del tiempo

*Julio César Villasana González  
Martín Salazar Bustamante  
Rafael Pérez Herrera  
Pemex*

Información del artículo: recibido: junio de 2015-aceptado: agosto de 2015

## Resumen

En la actualidad uno de los retos más complejos en el estudio de campos maduros es definir bancos de aceite para perforar pozos nuevos de manera optimizada que permita comprender el movimiento del agua en los yacimientos, debido a que esto último resulta ser uno de los factores más críticos en la declinación de producción; en ocasiones incluso en campos relativamente nuevos. Esta tarea se complica sustancialmente cuando el tiempo y los recursos no son suficientes; sin embargo, con el avance de la tecnología hoy en día es posible hacer uso de modelos asistidos por computadora; por esta razón ingenieros de todas las disciplinas deben analizar e interpretar una vasta cantidad de información para proporcionar una caracterización confiable. Finalmente todo este esfuerzo se verá traducido en modelos de simulación numérica robustos, que servirán para mitigar los retos antes mencionados haciendo posible una mejor optimización y localización de nuevas oportunidades.

**Palabras clave:** Comportamiento del agua, cambios de salinidad, yacimiento naturalmente fracturado, análisis Stiff.

## Characterization of the water behavior and salinity changes phenomena in a naturally fractured reservoir using stiff analysis trough time

### Abstract

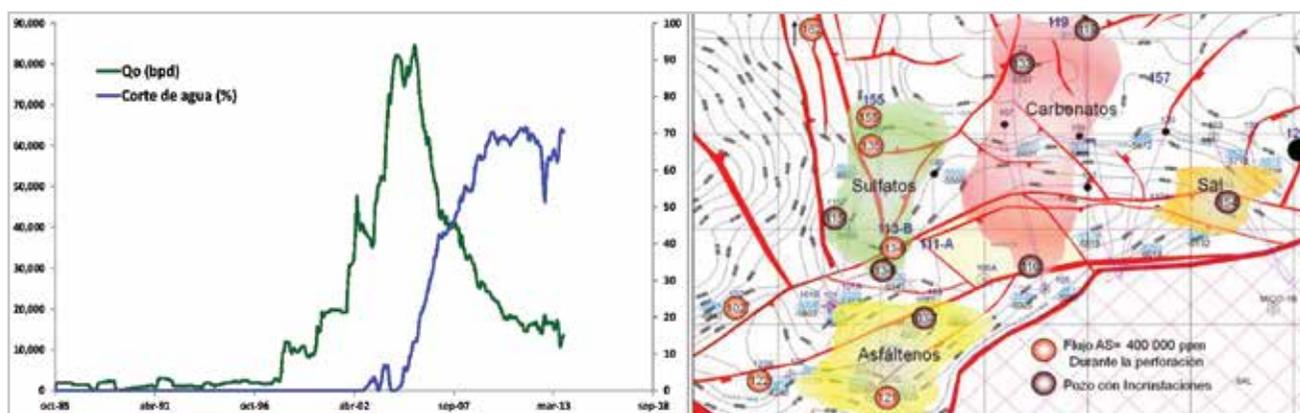
Nowadays one of the most complex challenges in the study of mature fields is to define banks Oil and understand the movement of water in reservoirs to drill new wells in an optimized manner, because the latter turns out to be one of the most critical factors in the production decline; sometimes even in relatively new fields. This task is substantially complicated when time and resources are not enough; however, with the advancement in technology today it is possible to use of computer-assisted models; For this reason engineers of all disciplines must analyze and interpret vast amounts of information, to provide a reliable characterization. Finally all of this effort will be translated into robust numerical simulation models, which will mitigate the challenges mentioned above enabling better optimization and localization of new opportunities.

**Keywords:** Water behavior, changes in salinity, naturally fractured reservoir, Stiff analysis.

## Introducción

El Campo Puerto Ceiba consta de un yacimiento de rocas carbonatadas naturalmente fracturadas del Cretácico y Jurásico, con profundidades alrededor de 6000 mv, que se desarrolla en la porción Norte-Oeste del estado de Tabasco, en el municipio de Paraíso. Inició su producción con la perforación del pozo PC-101A en octubre de 1985, resultando productor de aceite ligero de 33°API, registrando una presión inicial de 1125 kg/cm<sup>2</sup>; el análisis PVT determinó que la presión de burbuja es de 177 kg/cm<sup>2</sup>.

Este yacimiento se considera uno de los más complejos a nivel mundial, ya que es altamente fracturado y presenta problemas de precipitaciones orgánicas (parafinas, asfaltenos), e incrustaciones inorgánicas (sales, carbonatos de calcio), así como la producción de pozos con un alto corte de agua, cambios súbitos de salinidades entre pozos cercanos, entre otros, **Figura 1**.



**Figura 1.** Historia de producción del Campo Puerto Ceiba, donde se puede observar una fuerte declinación debido al alto corte de agua y de los problemas presentes.

En este trabajo se conjuntó toda la información estática y dinámica para construir una metodología integral, **Figura 2**, y con ello proponer soluciones a los retos principales que se presentan en el yacimiento, como son la fuente y la dirección de la entrada de agua al yacimiento, diferencia de salinidades en los pozos, problemas de aseguramiento de flujo causado por incrustaciones salinas, precipitación de

materia orgánica, compartimentalización del yacimiento, etc. Para caracterizar este yacimiento apropiadamente, fue indispensable la integración del análisis PVT, diagramas Stiff, datos de presión y producción entre otros; para desarrollar una metodología que pueda reducir la incertidumbre que existe en relación a los acuíferos y movimiento del agua en los yamientos naturalmente fracturados.

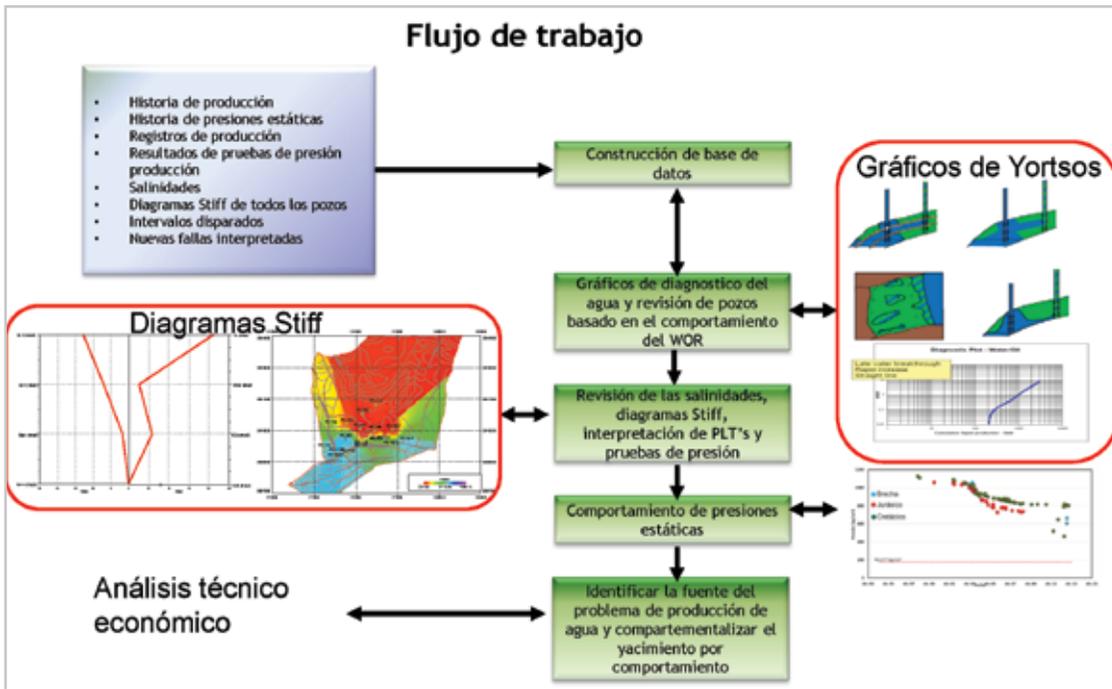


Figura 2. Metodología propuesta para la caracterización de un yacimiento naturalmente fracturado.

Esta metodología consistió inicialmente en recopilar toda la información disponible y validarla mediante el análisis de datos, gráficos de diagnóstico y opinión de expertos; en los casos que se tenía incertidumbre se realizó una búsqueda de la historia de actividades del pozo, a fin de esclarecer

las interrogantes; una vez validada, toda la información se utiliza para el análisis de ingeniería con la finalidad de entender el campo y comprender las problemáticas principales y realizar un diagnóstico, **Figura 3**.

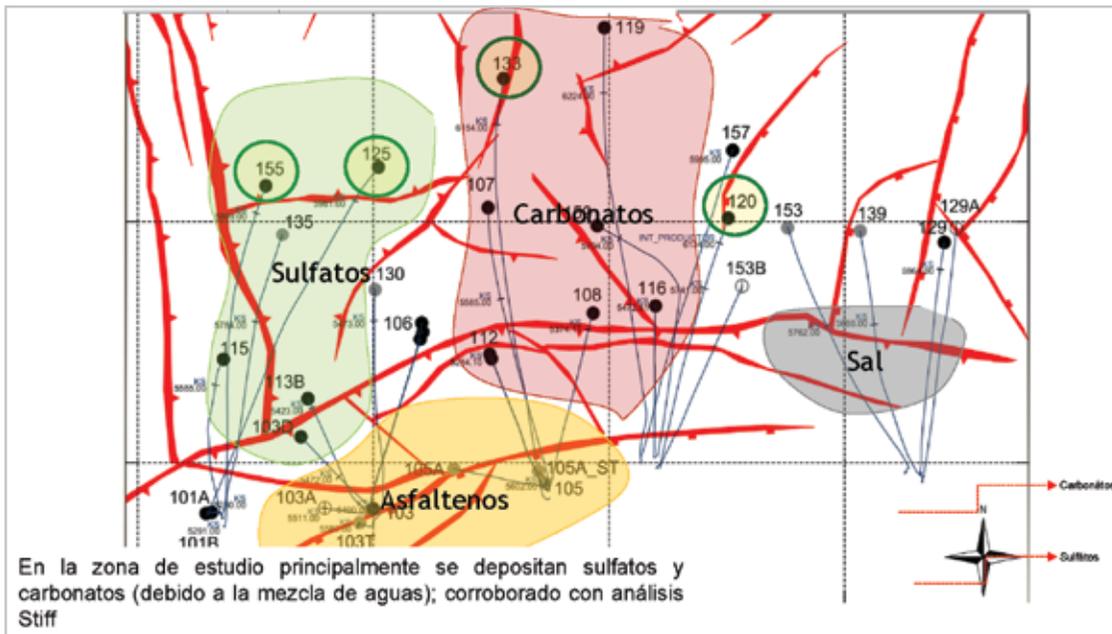
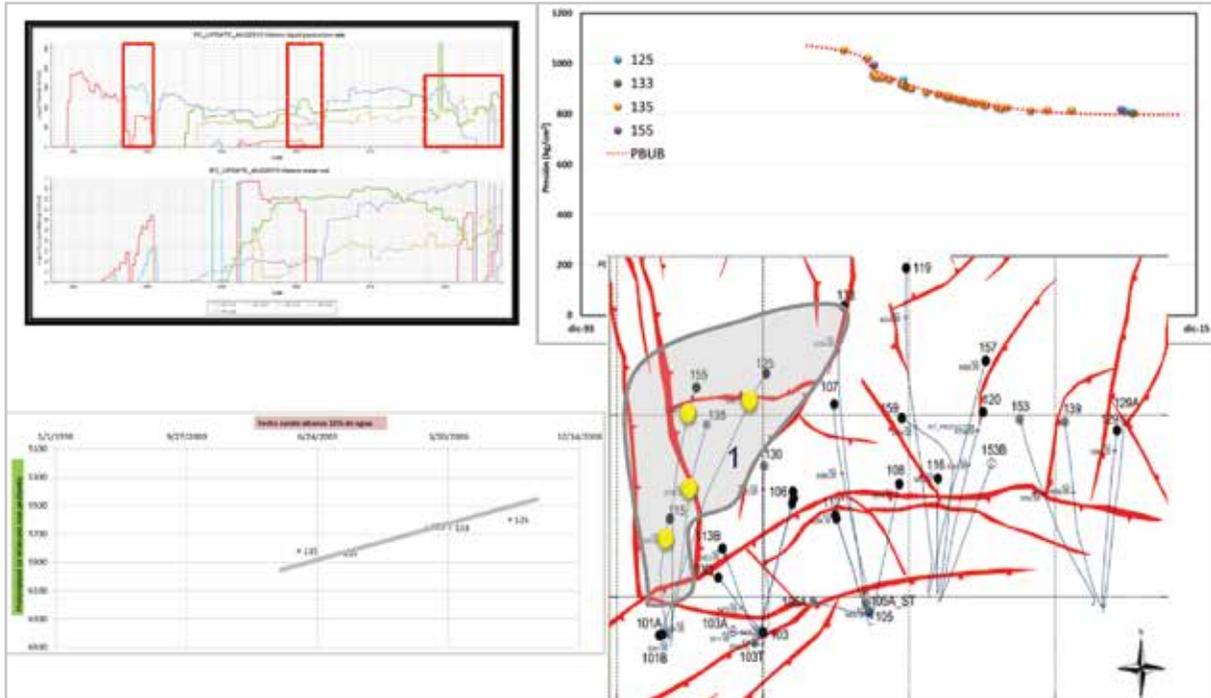


Figura 3. Principales problemas del campo Puerto Ceiba, originados en gran medida por el alto corte de agua presente.

Con el análisis de presión-producción, comportamiento entre pozos, pruebas de presión-producción, diagramas Stiff, gráficos de diagnóstico de Yortsos, entre otros; se

logra identificar regiones dentro del yacimiento, las cuales posteriormente se modelarán en el simulador, **Figura 4**.



**Figura 4.** Esquema de definición de los bloques, (presión-producción-localización de pozos-irrupción del agua), que componen el yacimiento.

Además de todo el análisis de ingeniería integral que se llevó a cabo en este proyecto, resulta interesante resaltar el valor agregado que aportan los diagramas Stiff que muchas veces no se consideran en las interpretaciones; en esta metodología se propone analizar a detalle los diagramas stiff en forma diferente a la tradicional, ya que tuvieron un papel clave, debido a que con la interpretación de los iones de sal, es posible determinar la procedencia del agua a nivel yacimiento-pozo; este análisis se conjuntó con registros de producción y el apoyo de los gráficos de diagnóstico de Yortsos, los cuales indican con mayor claridad la razón por la que se invaden los pozos, ya que

muestran los distintos problemas que pueden presentarse en este tipo de yacimientos naturalmente fracturados y que aportan mayor información que los gráficos de Chang que tradicionalmente se han venido utilizando, para determinar únicamente si existen problemas de comunicación entre capas, así como canalización y/o conificación; con base en los resultados obtenidos en este trabajo se tiene evidencia de que los gráficos de Yortsos resultan ser de gran utilidad para comprender la invasión de agua a nivel pozo, cuando se integran con el análisis de producción y datos de su movimiento a nivel del yacimiento al mapear los resultados interpretados en todos los pozos del campo, **Figuras 5, 6 y 7**.

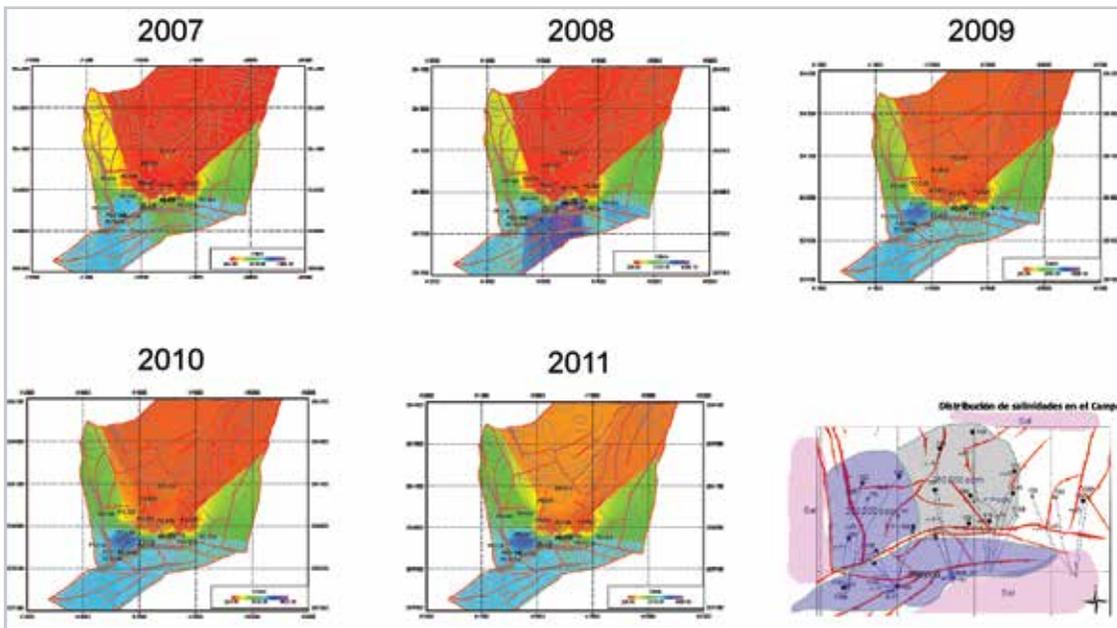


Figura 5. Representación en el yacimiento de los iones de los gráficos Stiff a través del tiempo, se puede observar el avance del agua en dirección SO-NE.

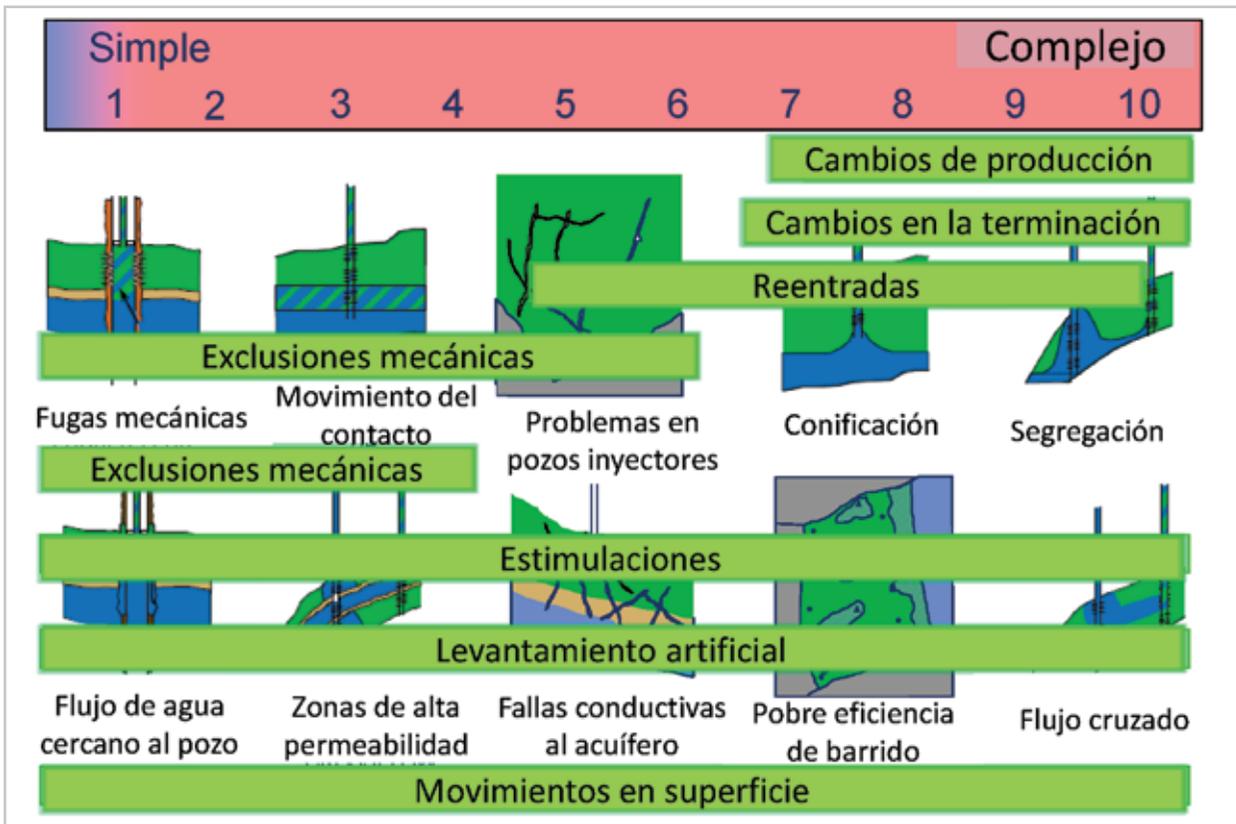


Figura 6. Problemas tipo diagnosticados mediante gráficos de Yortsos.

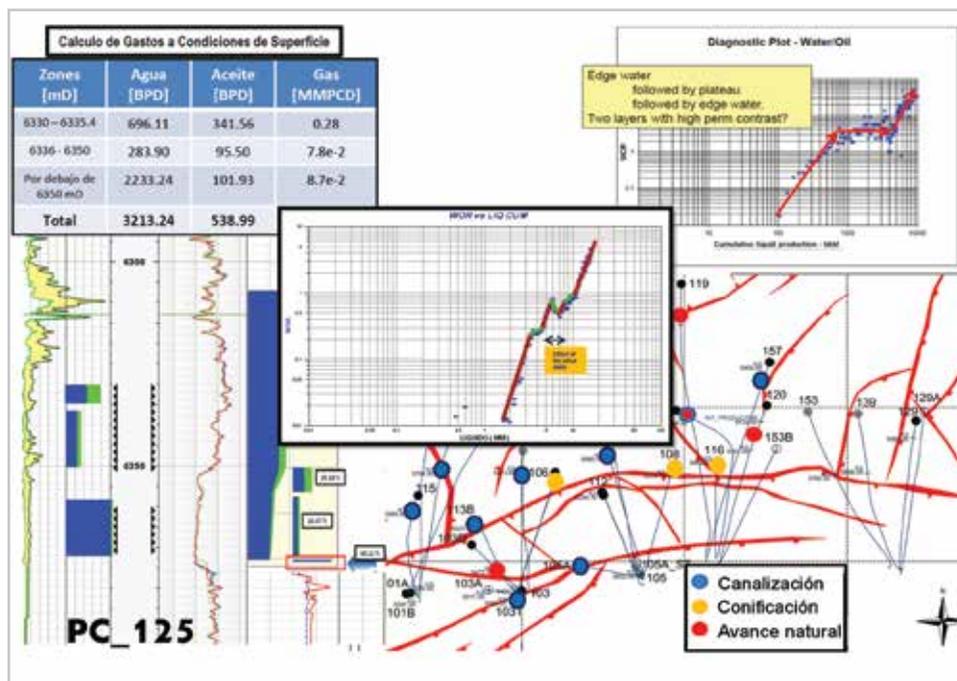


Figura 7. Aplicación de los gráficos de Yortsos a nivel pozo-yacimiento, campo Puerto Ceiba.

Una vez definida la compartimentalización por análisis de presión-producción, gráficos de diagnóstico y procedencia del agua por mapas de diagramas Stiff y gráficos de Yortsos a nivel del campo, se estudió cómo llega el agua a nivel pozo, esto se basó en el comportamiento de producción y análisis Stiff, tomando en cuenta los domos salinos presentes en el

yacimiento y algunos problemas que existen entre pozos; por ejemplo, se tiene un pozo con una salinidad de 85,000 ppm, la cual es muy baja para el campo y en otra zona existen tres pozos comunicados por una falla donde se observa un cambio de salinidad en uno de ellos y una baja de producción de agua en su vecino, Figuras 8 y 9.

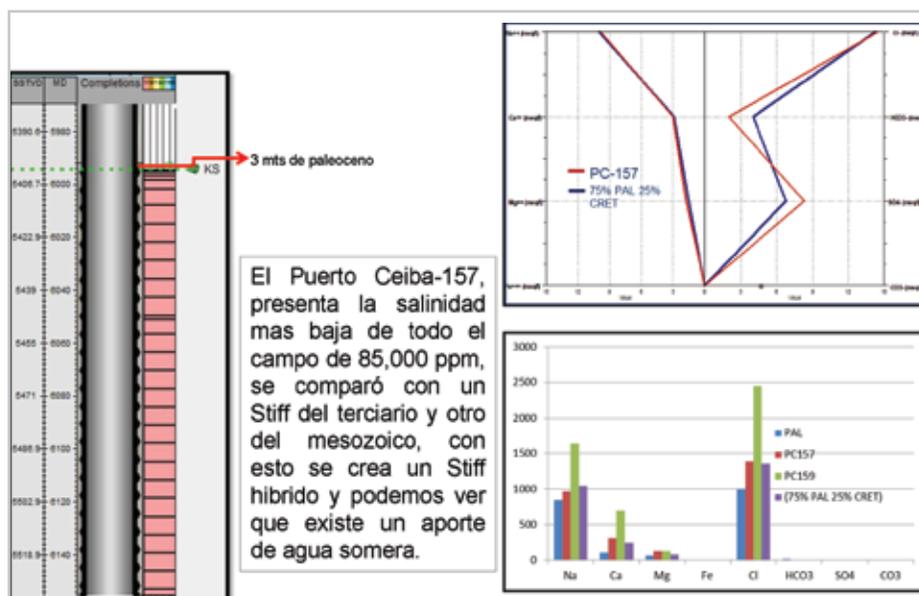


Figura 8. Pozo con la menor salinidad del campo, se logra identificar el motivo con la ayuda de los análisis Stiff.

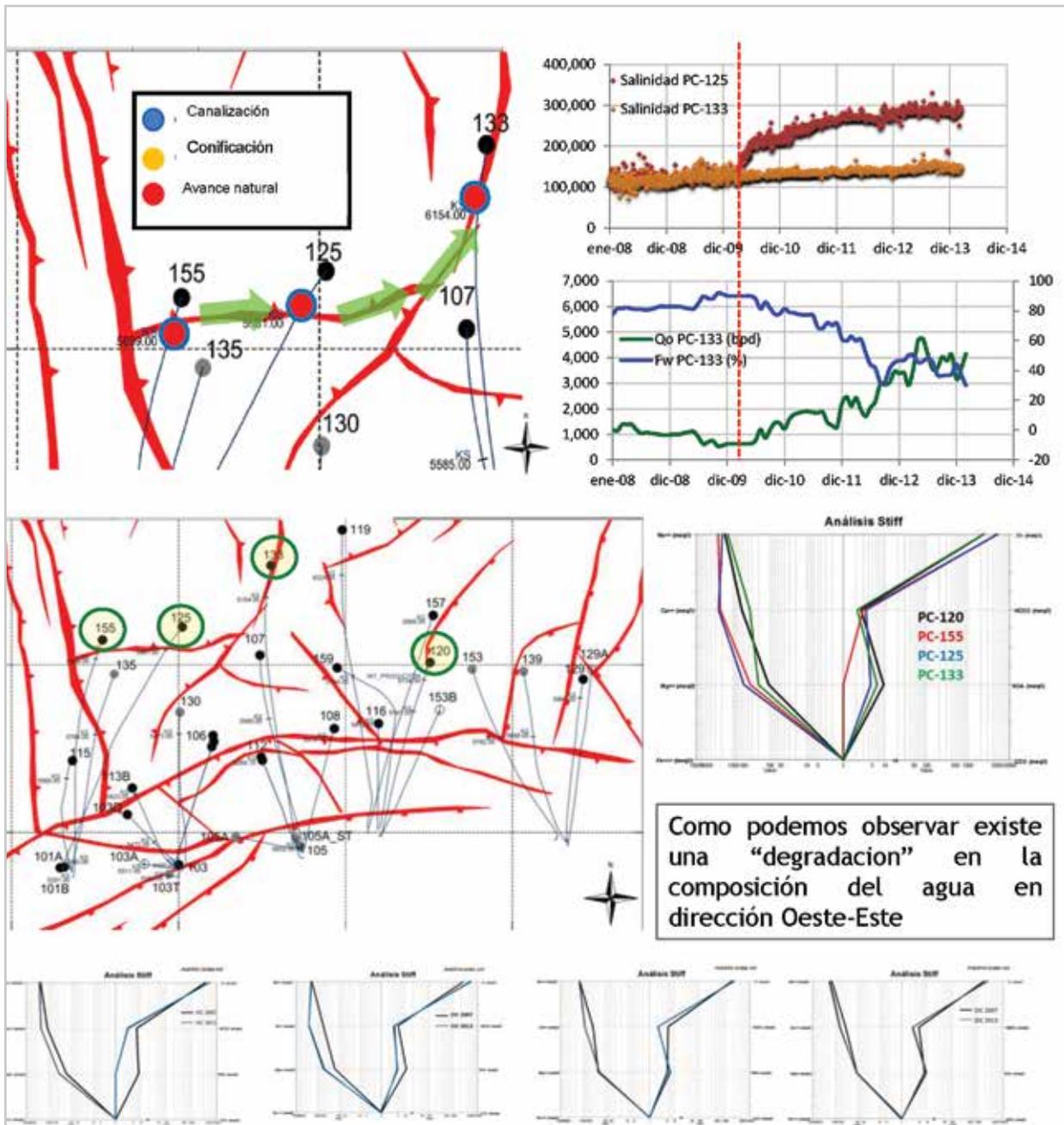


Figura 9. Evidencia de cambio de salinidad entre pozos comunicados por una falla y degradación de las sales presentes.

Una vez resueltas estas incertidumbres que se tenían en el campo, lo siguiente es actualizar el modelo de simulación incorporando los resultados obtenidos; con esto se logra

tener un total de 13 regiones diferentes en el modelo, ajustando su presión y producción en cada una de ellas.

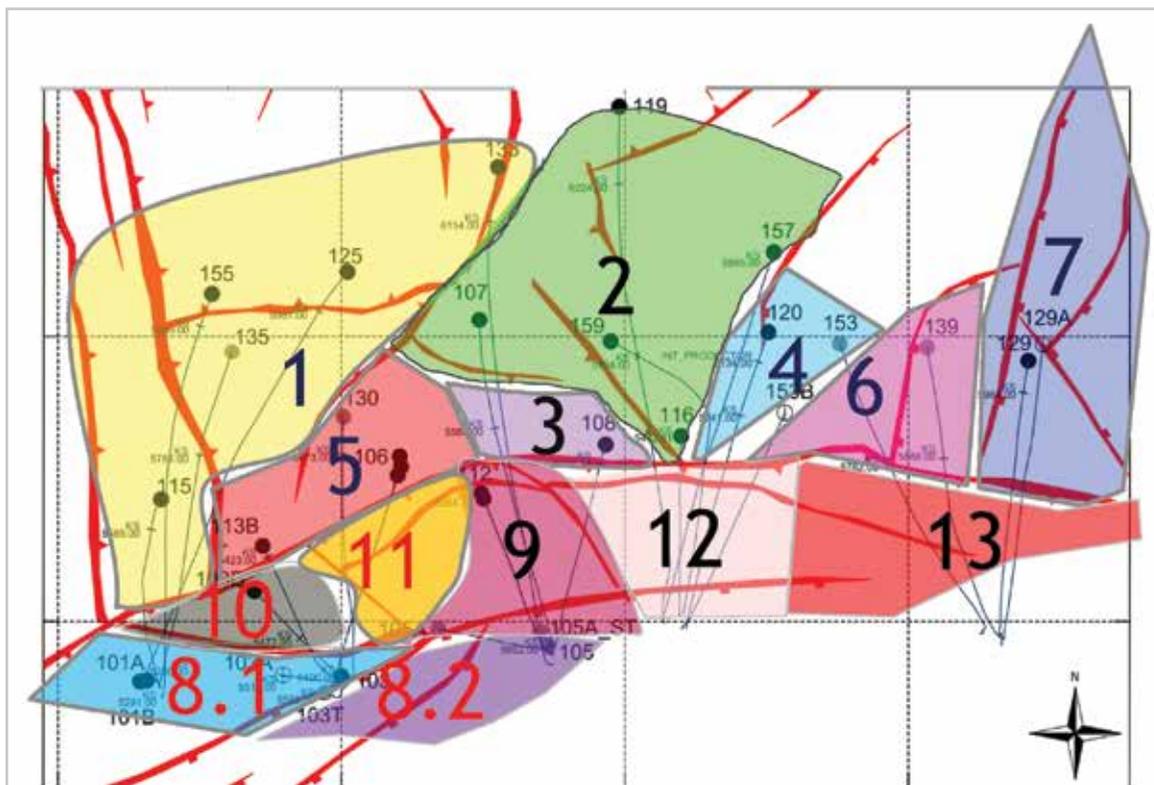


Figura 10. Compartimentalización final del campo Puerto Ceiba.

## Conclusiones

Con esta nueva metodología se propone el uso y aplicación diferente de los análisis Stiff y gráficos de Yortsos, donde se puede determinar la procedencia del agua a nivel pozo-yacimiento, además de reducir sustancialmente la incertidumbre de producción de agua en los pozos y mejorar su producción de aceite.

Los gráficos de Yortsos resultan ser de gran utilidad cuando se tiene información de registros de producción, ya que en su conjunto proporcionan una clara idea de lo que sucede con la producción de agua en los pozos.

Se ha propuesto la utilización de los análisis Stiff para interpretar en un mapa las sales presentes en el agua y su comportamiento a través del tiempo, análisis que permite determinar el movimiento del agua en el yacimiento.

La metodología presentada en este artículo permite identificar la degradación de las sales entre pozos comunicados.

Los fenómenos de flujo descritos en este trabajo pudieron reproducirse en un modelo de simulación numérica, robusto y confiable.

## Agradecimientos

Se agradece el apoyo brindado para desarrollar este trabajo por parte de Pemex, a los ingenieros Martín Salazar Bustamante y Arturo Rosas Mendo por la confianza para lograrlo, así como a mis colegas Reza Mehranfar y Roberto Sahmkow; sin ellos gran parte de este trabajo no hubiera sido posible.

## Referencias

- Chan, K.S. 1995. Water Control Diagnostic Plots. Artículo presentado en SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas, Texas, octubre 22-25. SPE-30775-MS. <http://dx.doi.org/10.2118/30775-MS>.
- Cinco Ley, H. 2013. Análisis de Pruebas de Presión: Notas del Curso. México, D.F.: UNAM.

Mattar, L., Rushing, J.A. y Anderson, D.M. 2006. Production Data Analysis - Challenges, Pitfalls, Diagnostics. Presentado en SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, Texas, septiembre 24-27. SPE-102048-MS. <http://dx.doi.org/10.2118/102048-MS>.

Yortsos, Y.C., Choi, Y., Yang, Z. et al. 1999. Analysis and Interpretation of Water/Oil Ratio in Waterfloods. SPE J. 4 (4): 413-424. SPE-59477-PA. <http://dx.doi.org/10.2118/59477-PA>.

## Semblanza de los autores

### Julio César Villasana González

Egresado de la Universidad Olmeca en el año 2009, como Ingeniero en petróleo y gas natural; ese mismo año inicia su formación profesional en el Instituto Mexicano del Petróleo como Ingeniero de yacimientos apoyando a la Gerencia de explotación de proyectos Región Sur.

En julio del 2010 ingresa a Petróleos Mexicanos como Ingeniero de yacimientos en el proyecto de explotación el Golpe-Puerto Ceiba del Activo integral de producción Bellota-Jujo, donde labora actualmente formándose como Ingeniero de simulación numérica de yacimientos.

Ha presentado trabajos en las Jornadas Técnicas Delegación Comalcalco, en los foros de intercambio de experiencias y recientemente en el Congreso Mexicano del Petróleo 2014, donde destacan trabajos en yacimientos maduros naturalmente fracturados del Activo Bellota-Jujo.

### Martín Salazar Bustamante

Ingeniero petrolero egresado del Instituto Politécnico Nacional con Maestría en procesos de producción en la Universidad de las Américas Puebla. Ingresó a Pemex el 15 de diciembre de 1987. Se ha desempeñado como Ingeniero de yacimientos en las áreas de comportamiento primario de yacimientos y diseño de proyectos de explotación. Actualmente labora como Líder del proyecto costero terrestre en el Activo de producción Macuspana Muspac.

Pertenece a la AIPM, el CIPM y la SPE.

### Rafael Pérez Herrera

En 1987 obtuvo la Licenciatura de Ingeniero Petrolero en la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del Instituto Politécnico Nacional.

Ingresó a Petróleos Mexicanos el 23 de febrero de 1988 y hasta 2003 trabajó como Ingeniero de yacimientos, realizando numerosos estudios de comportamiento primario, recuperación secundaria, simulación numérica, desarrollo de campos y caracterización de fluidos de los campos petroleros de la Región Sur.

Ha participado en el desarrollo de más de 40 artículos técnicos presentados en congresos nacionales e internacionales.

En abril de 2014 recibió el reconocimiento como Experto Tecnológico Nivel II de Pemex Exploración y Producción, entregado por la Dirección General de Petróleos Mexicanos.

Recibió el Premio Estatal de Ingeniería 2015 en julio de 2015, otorgado por los Colegios de Profesionales de la Ingeniería y Asociaciones del Estado de Tabasco, por trayectoria y destacada labor profesional en la rama de la Ingeniería Petrolera, entregado por el Gobernador Constitucional del Estado de Tabasco.

Es miembro de número de la Asociación de Ingenieros Petroleros de México; del Colegio de Ingenieros Petroleros de México y de la Society of Petroleum Engineers.

A partir de junio de 2014 ocupa el cargo de Administrador del Activo de Producción Bellota Jujo, en la Subdirección de Producción Región Sur.