

Caracterización del Daño de Formación por Hinchamiento y Migración de Finos

Richard D. Zabala Romero

MSc, Profesional Daño de Formación

Grupo Daño de Formación/Estimulación

Gerencia de Desarrollo de Yacimientos

Bogota – Diciembre de 2016



CONTENIDO

1. Planteamiento del Problema.
2. Justificación.
3. Modelamiento del Daño de Formación por Finos.
4. Metodología Propuesta.
5. Resultados: Aplicación de la Metodología.
6. Resultados: Impacto del Daño de Formación en Diversos Campos de Colombia.
7. Conclusiones.

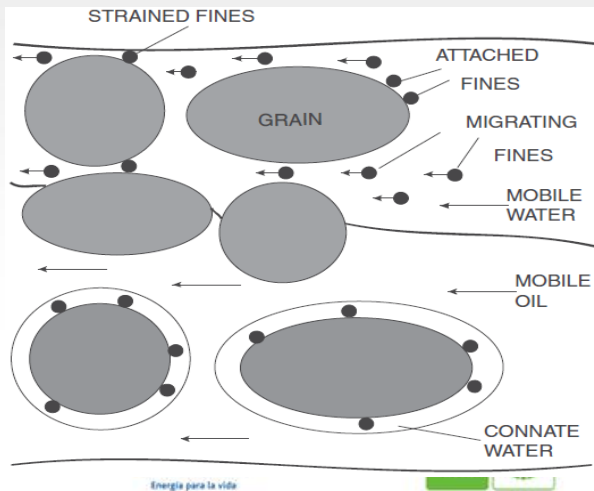
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Algunos tipos de arcilla migrables e hinchables

- Caolinita [$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$]
- Illita [$\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$]
- Feldespatos [$(\text{Na,K,Ca})\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$]
- Esmectita [$\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$]
- Glauconita [$\text{K}_2(\text{MgFe})_2\text{Al}_6(\text{Si}_4\text{O}_{10})_3(\text{OH})_{12}$]
- Clorita [$(\text{Mg,Fe})_3\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$]

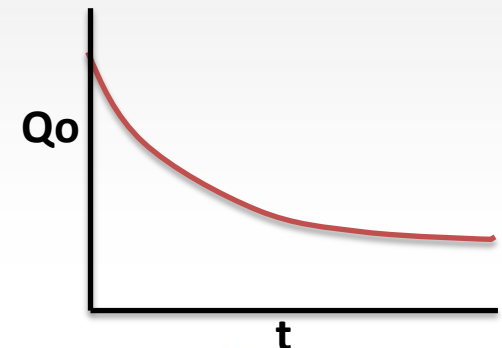
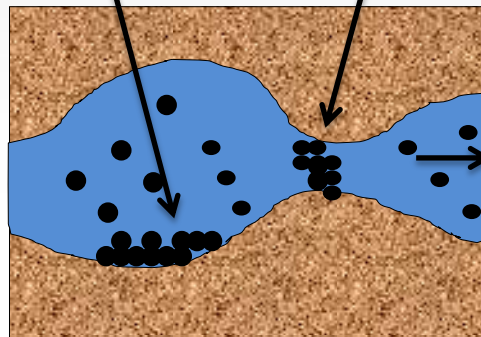
Fuentes Externas

- Materiales densificantes lodo
- Materiales control de perdidas
- Materiales de puenteo
- Fluidos de Inyección



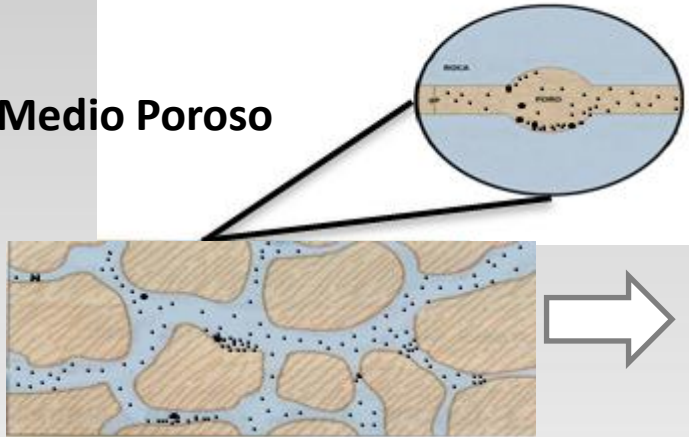
Deposición Superficial

Taponamiento

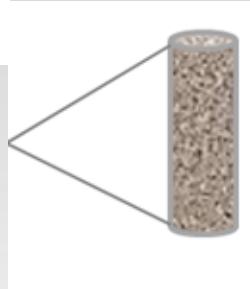


2. JUSTIFICACIÓN

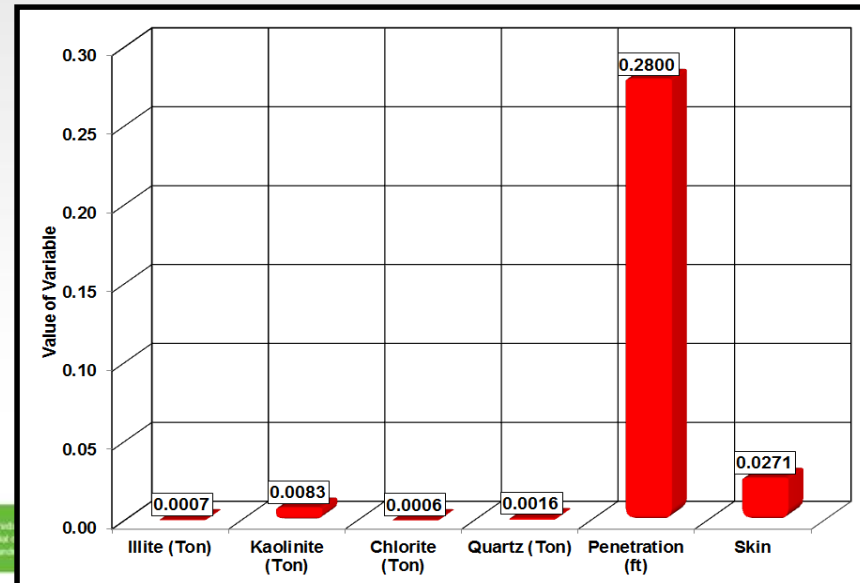
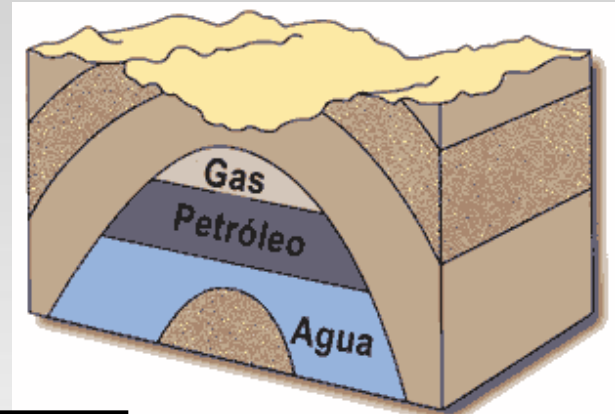
Medio Poroso



Núcleo

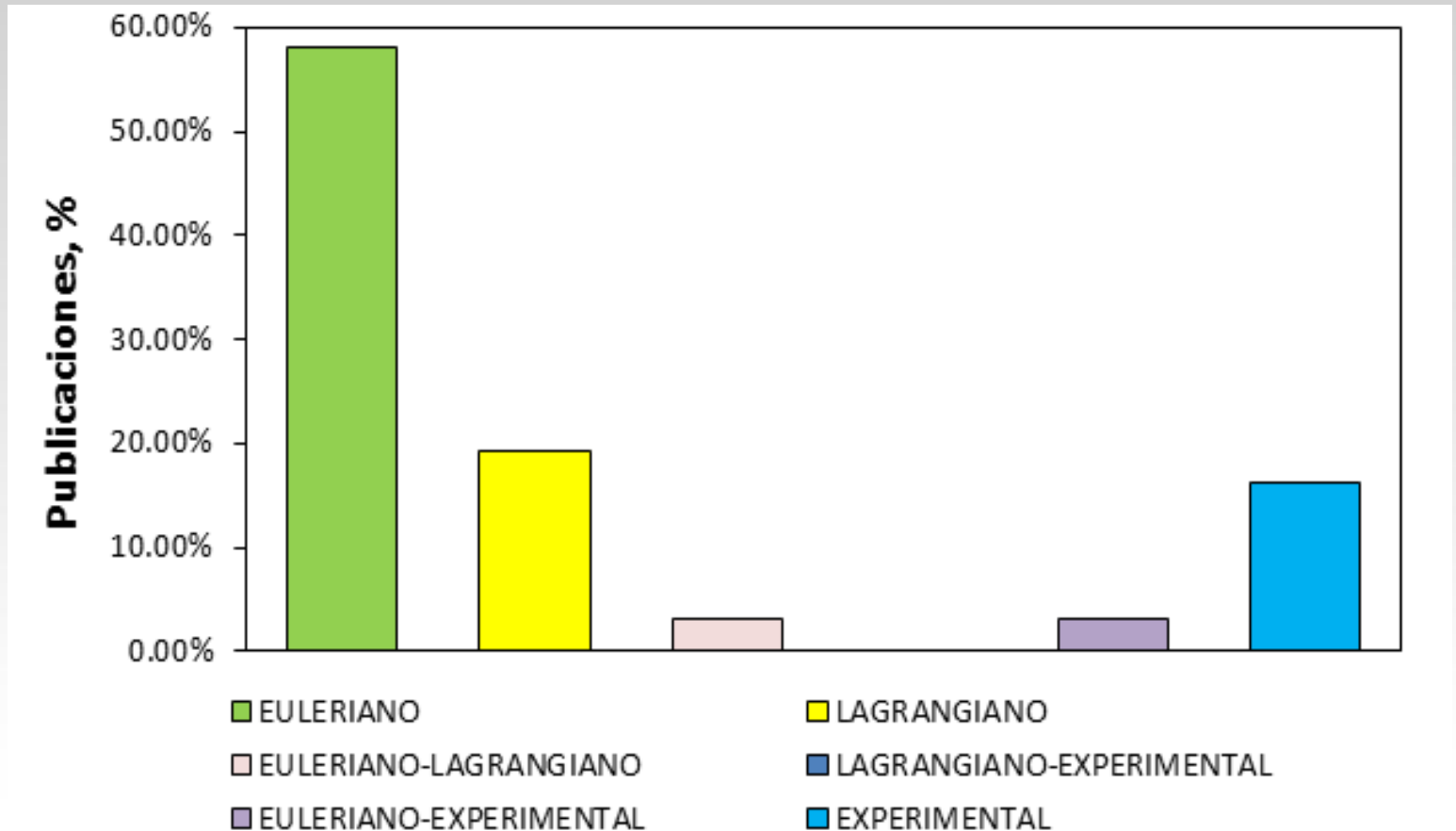


Yacimiento



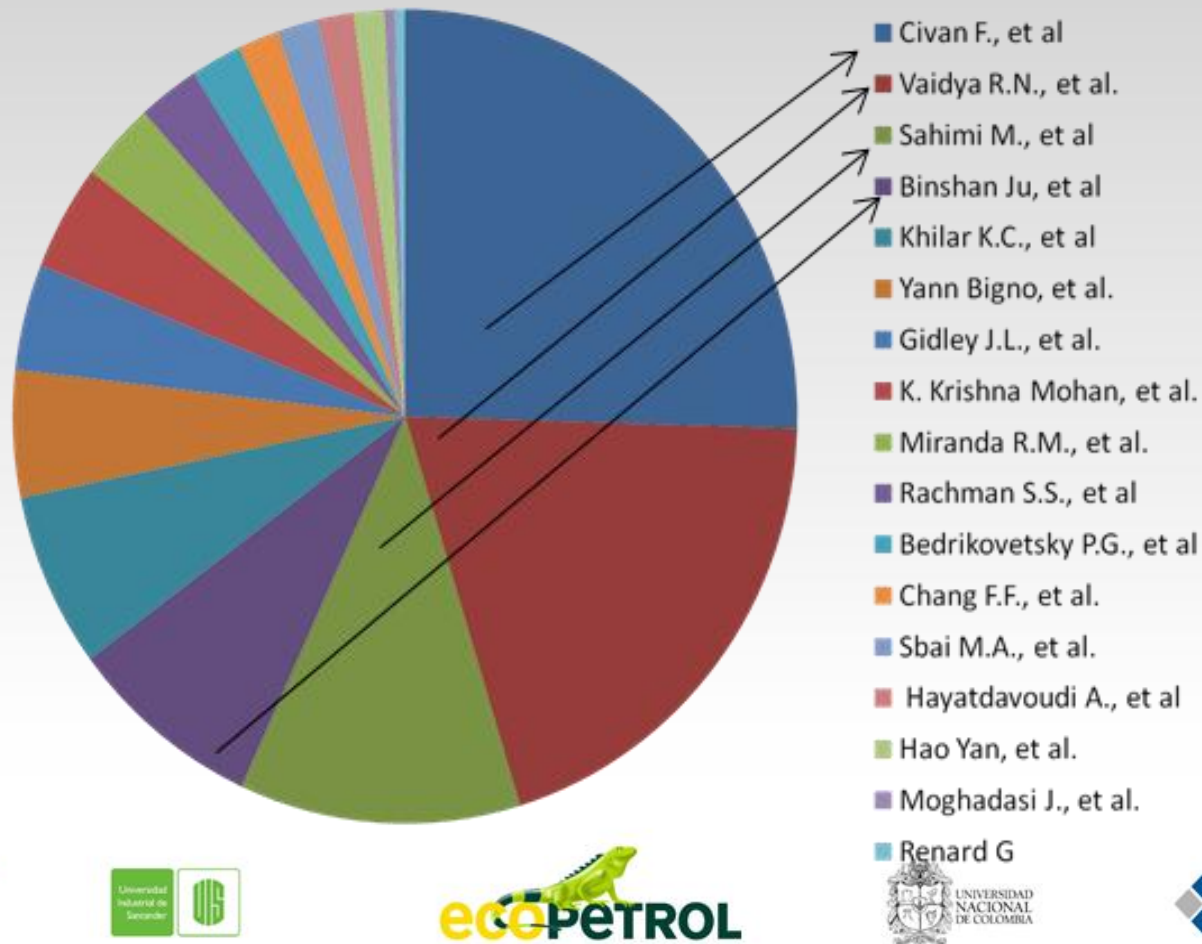
4. MODELAMIENTO DEL DAÑO DE FORMACIÓN

4.1 Estado del Arte



4. MODELAMIENTO DEL DAÑO DE FORMACIÓN

4.1 Estado del Arte



4. MODELAMIENTO DEL DAÑO DE FORMACIÓN

4.2 Modelo Matemático Civan Geometría Lineal

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{K}{\mu} \frac{\partial P}{\partial x} \right) = \frac{\dot{S}}{\rho_l} + \frac{1}{\rho_p} \frac{\partial}{\partial t} (\sigma_p + \sigma_p^*) + \frac{\partial \phi}{\partial t}$$

Hinchamiento

Depositación

Generación

- Tasa de Absorción Líquida de la Matriz Porosa.

$$\dot{S} = Bt^{-1/2}$$

- Daño por Expansión de la Matriz Porosa-Hinchamiento.

$$\left(\frac{k}{k_0} \right)_{sw} = \left(\frac{k_t}{k_0} \right) + \left[1 - \left(\frac{k_t}{k_0} \right) \right] \exp(-2ABt^{1/2})$$

- Depositación de Partículas Finas.

$$\frac{\partial \sigma_p}{\partial t} = k_1 (u_{p,f}) (\rho_p \phi) - k_2 \sigma_p \left[-\frac{\partial p}{\partial x} - \left(-\frac{\partial p}{\partial x} \right)_{cr} \right] U$$

- Generación de Partículas Finas.

$$\frac{\partial \sigma_p^*}{\partial t} = -k_3 \sigma_p^* [1 - \exp(-k_4 t^{1/2})] \exp(-k_5 \sigma_p) \left[\left(-\frac{\partial p}{\partial x} \right) - \left(-\frac{\partial p}{\partial x} \right)_{cr}^* \right] U$$

4. MODELAMIENTO DEL DAÑO DE FORMACIÓN

4.2 Modelo Matemático Civan Geometría Lineal

Parámetros por deposición: $k_1, k_2, \left. \frac{\partial P}{\partial x} \right)_{Cr}$

Parámetros por generación: $k_3, k_4, k_5, \left. \frac{\partial P}{\partial x} \right)^*_{Cr} \sigma_p^*$

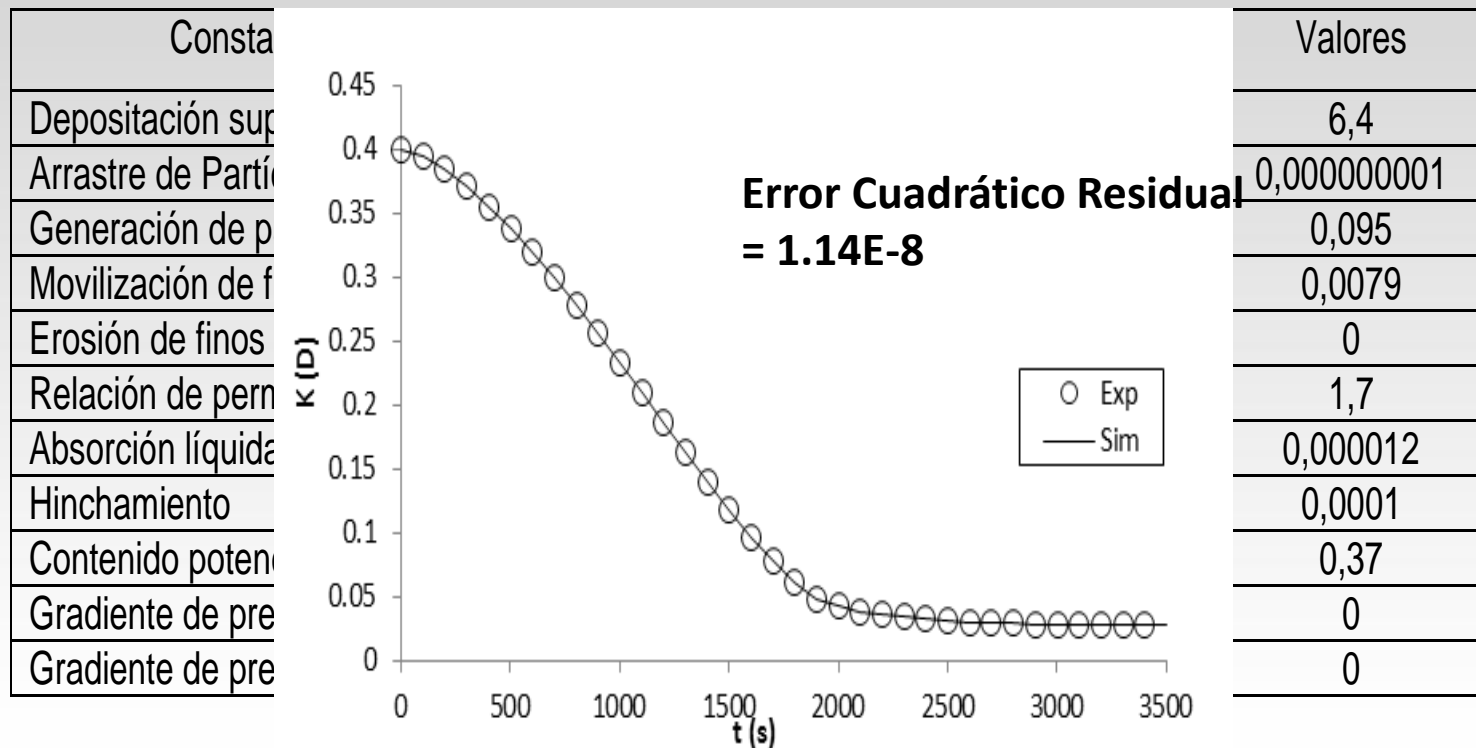
Parámetros por Hinchamiento: $k_6, B, 2AB,$

- k_1 constante fenomenológica por deposición superficial.
- k_2 constante fenomenológica por arrastre de partículas.
- k_3 constante fenomenológica por generación de partículas hinchables.
- k_4 constante fenomenológica por movilización de finos.
- k_5 constante fenomenológica por erosión de finos de la superficie.
- k_6 constante fenomenológica relación de permeabilidad por hinchamiento.
- B constante fenomenológica por absorción líquida.
- $2AB$ constante fenomenológica por hinchamiento.
- σ_p^* constante fenomenológica contenido potencial de partículas hinchables.
- $\left. \frac{\partial P}{\partial x} \right)^{0,*}_{Cr}$ gradiente de presión crítico por encima del cual se presenta arrastre.
- gradiente de presión crítico por encima del cual se presenta generación de finos.

4. MODELAMIENTO DEL DAÑO DE FORMACIÓN

4.3 Validación del Modelo de Daño en Geometría Lineal

Análisis de prueba de literatura de Khilar [12]



4. MODELAMIENTO DEL DAÑO DE FORMACIÓN

4.3 Método estadístico de ajuste no lineal Levenberg–Marquard

Se utiliza para estimar los parámetros del modelo.

$$A_{k,k}^{(0)} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1k} \\ a_{12} & a_{22} & \dots & a_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{k1} & a_{k1} & \dots & a_{kk} \end{bmatrix} \Rightarrow a_{ij} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f_i}{\partial \beta_i} \right)_0 \left(\frac{\partial f_i}{\partial \beta_j} \right)_0 \Rightarrow B_{k,1}^{(0)} = \begin{bmatrix} \Delta b_1^{(0)} \\ \Delta b_2^{(0)} \\ \dots \\ \Delta b_k^{(0)} \end{bmatrix} \Rightarrow Z_{k,1}^{(0)} = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \dots \\ z_k \end{bmatrix}$$

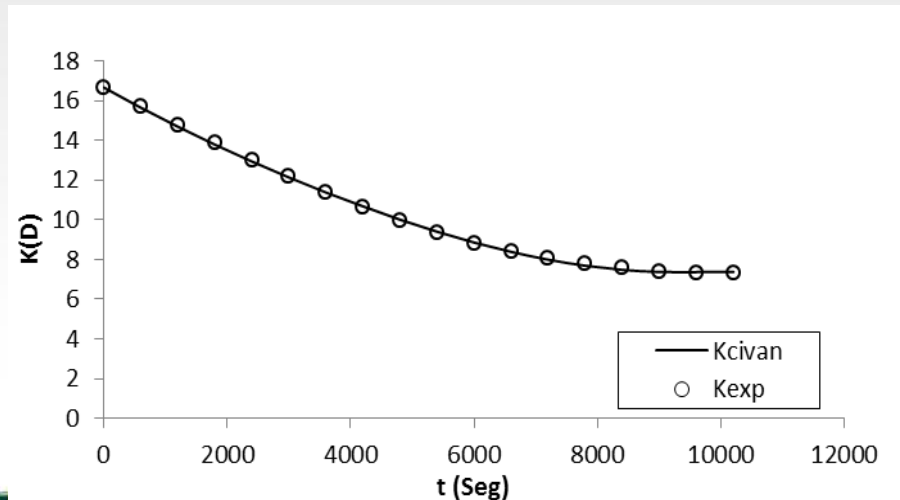
$$z_j = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i, b_j^{(0)})) \left(\frac{\partial f_i}{\partial \beta_j} \right)_0$$

$$A_{k,k}^{*(0)} B_{k,1}^{*(0)} = Z_{k,1}^{*(0)} \Rightarrow (A_{k,k}^{(0)} + \lambda I) B_{k,1}^{(0)} = Z_{k,1}^{(0)}$$

4.4 Validación del Modelo de Daño en Geometría Lineal

AJUSTE DAÑO POR DEPOSITACIÓN		
Constantes	Valores iniciales	Valores Ajustados
k1	0,7000000	0,2740883
k2	0,2000000	0,0833373
$\delta p / \delta x_r$	0,1000000	0,0775191

Constantes fenomenológicas de depositación estimadas para el Empaque R1 y Simulación del fenómeno de depositación.



4. MODELAMIENTO DEL DAÑO DE FORMACIÓN

4.4 Modelo Matemático Geometría Radial

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{rk}{\mu} \frac{\partial P}{\partial r} \right) = \frac{\dot{S}}{\rho_l} + \frac{\dot{\sigma}_p + \dot{\sigma}_p^*}{\rho_p} + \frac{\partial \phi}{\partial t}$$

Tasa de Absorción Líquida de la Matriz Porosa.

$$\dot{S} = Bt^{-1/2}$$

Daño por Expansión de la Matriz Porosa-Hinchamiento.

$$\left(\frac{k}{k_0} \right)_{sw} = \left(\frac{k_t}{k_0} \right) + \left[1 - \left(\frac{k_t}{k_0} \right) \right] \exp(-2ABt^{1/2})$$

Depositación de Partículas Finas.

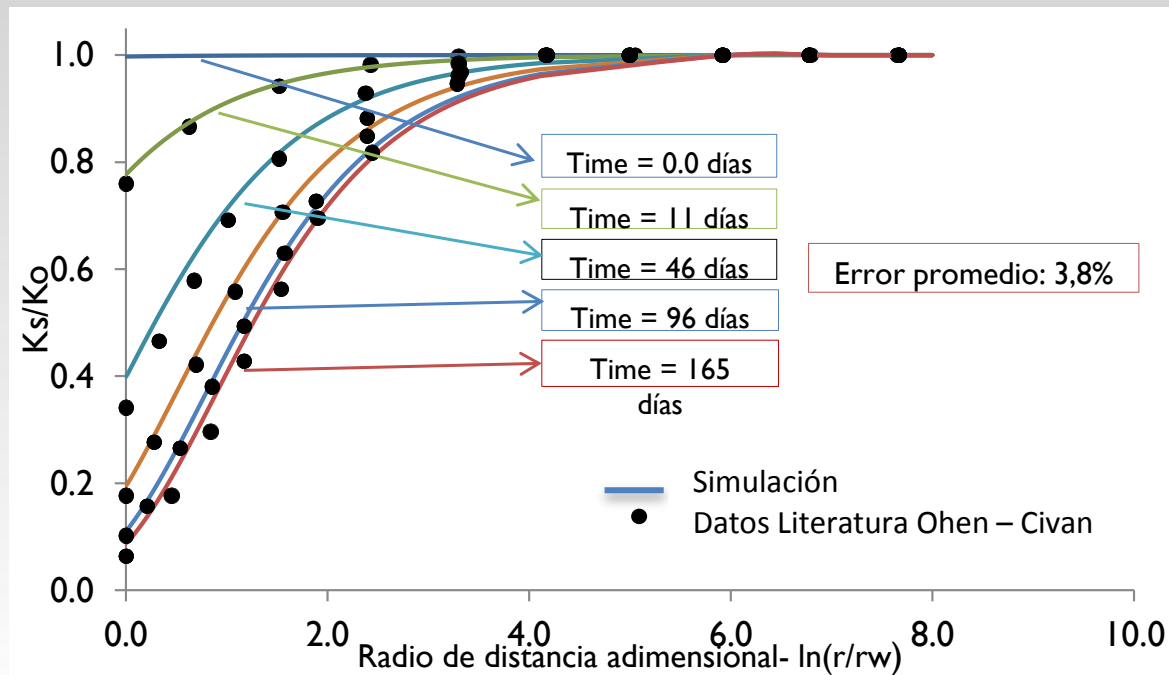
$$\frac{\partial \sigma_p}{\partial t} = k_1 (u_{p,f} \rho_p \phi) - k_2 \sigma_p \left[-\frac{\partial p}{\partial x} - \left(-\frac{\partial p}{\partial x} \right)_{cr} \right] U$$

Generación de Partículas Finas.

$$\frac{\partial \sigma_p^*}{\partial t} = -k_3 \sigma_p^* [1 - \exp(-k_4 t^{1/2})] \exp(-k_5 \sigma_p) \left[\left(-\frac{\partial P}{\partial x} \right) - \left(-\frac{\partial P}{\partial x} \right)_{cr}^* \right] U$$

4. MODELAMIENTO DEL DAÑO DE FORMACIÓN

4.5 Validación del Modelo de Daño Radial



El modelo matemático y computacional en coordenadas radiales de daño por migración y depositación de finos se valida con los datos de literatura presentados en Ohen.

5. METODOLOGÍA PROPUESTA

- Núcleo de formación
- Medida del coeficiente de migración de finos

- Datos de entrada
- Curva experimental
 - Condiciones (Salida), presión
 - $\Phi_o - K_o$
 - Cantidad de finos in situ.

- Datos de entrada
- Intervalos abiertos, radio pozo, área drenaje, densidad de disparos. Historia Producción
 - P_{wf} , P_{yac} inicial y actual
 - $\Phi_o - K_o$, - Viscosidad, densidad fluidos

Datos Salida
Constantes fenomenológicas

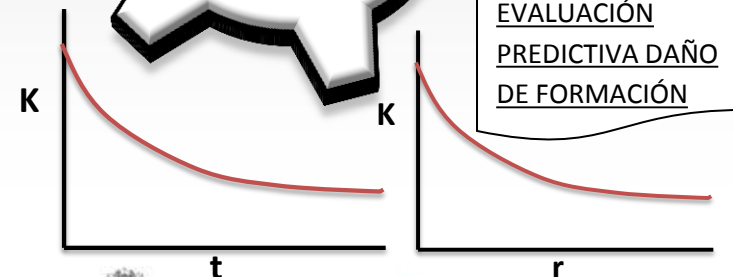
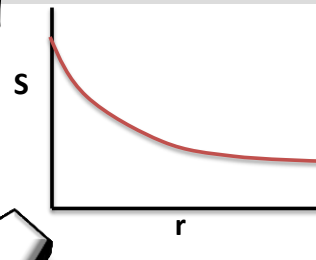
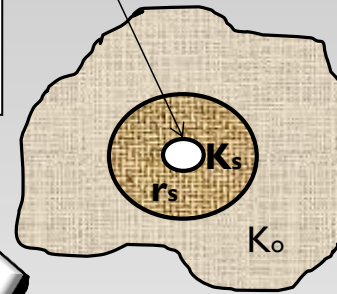
Prueba Experimental
(K vs t)

Ajuste a Modelo Lineal
Multitasa

Modelo Radial

Resultados

Pozo



EVALUACIÓN
PREDICTIVA DAÑO
DE FORMACIÓN

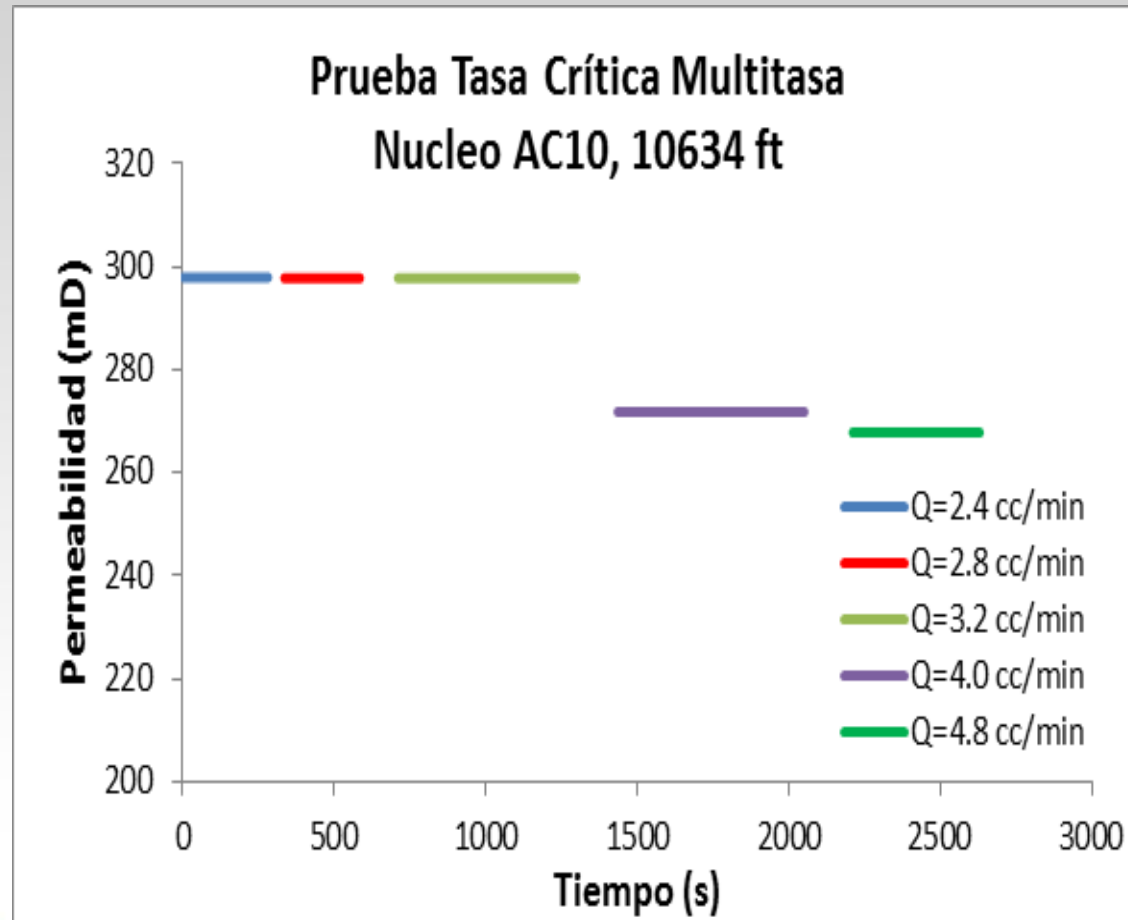


ecopETROL



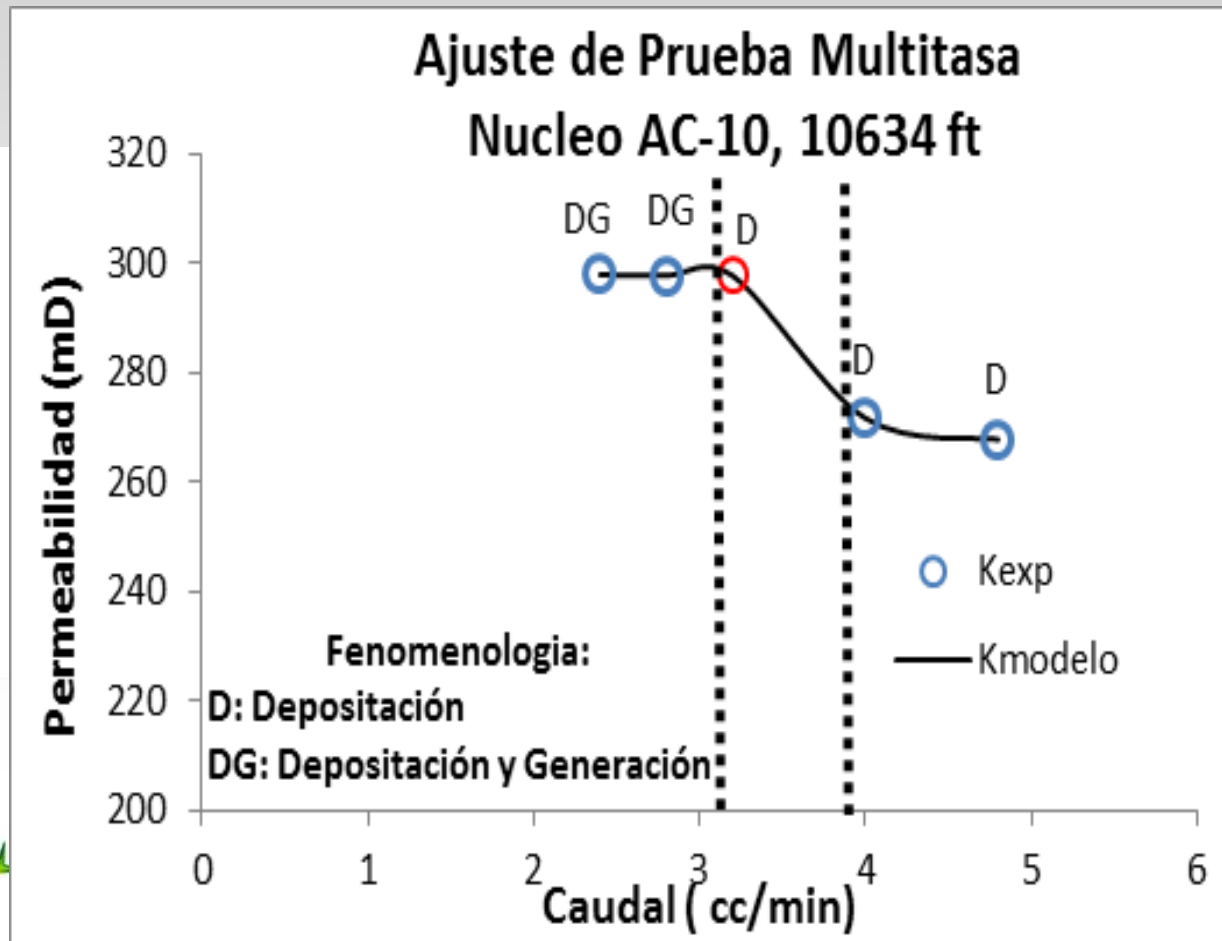
6. RESULTADOS: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

6.1 Datos Experimentales



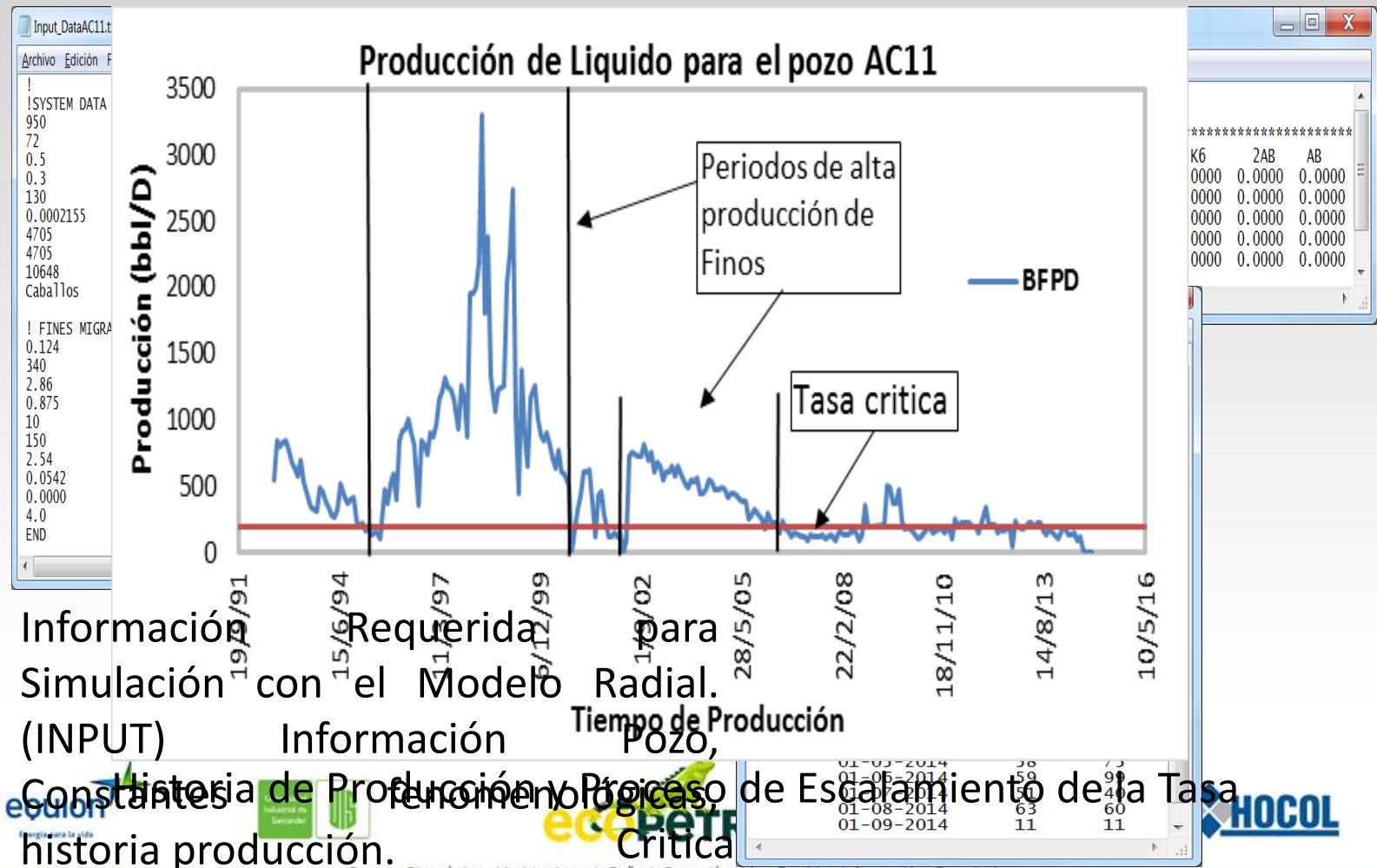
6. RESULTADOS: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

6.2 Metodología de Ajuste del Modelo Lineal para una Prueba de Tasa Crítica con Inyección a Múltiples Caudales



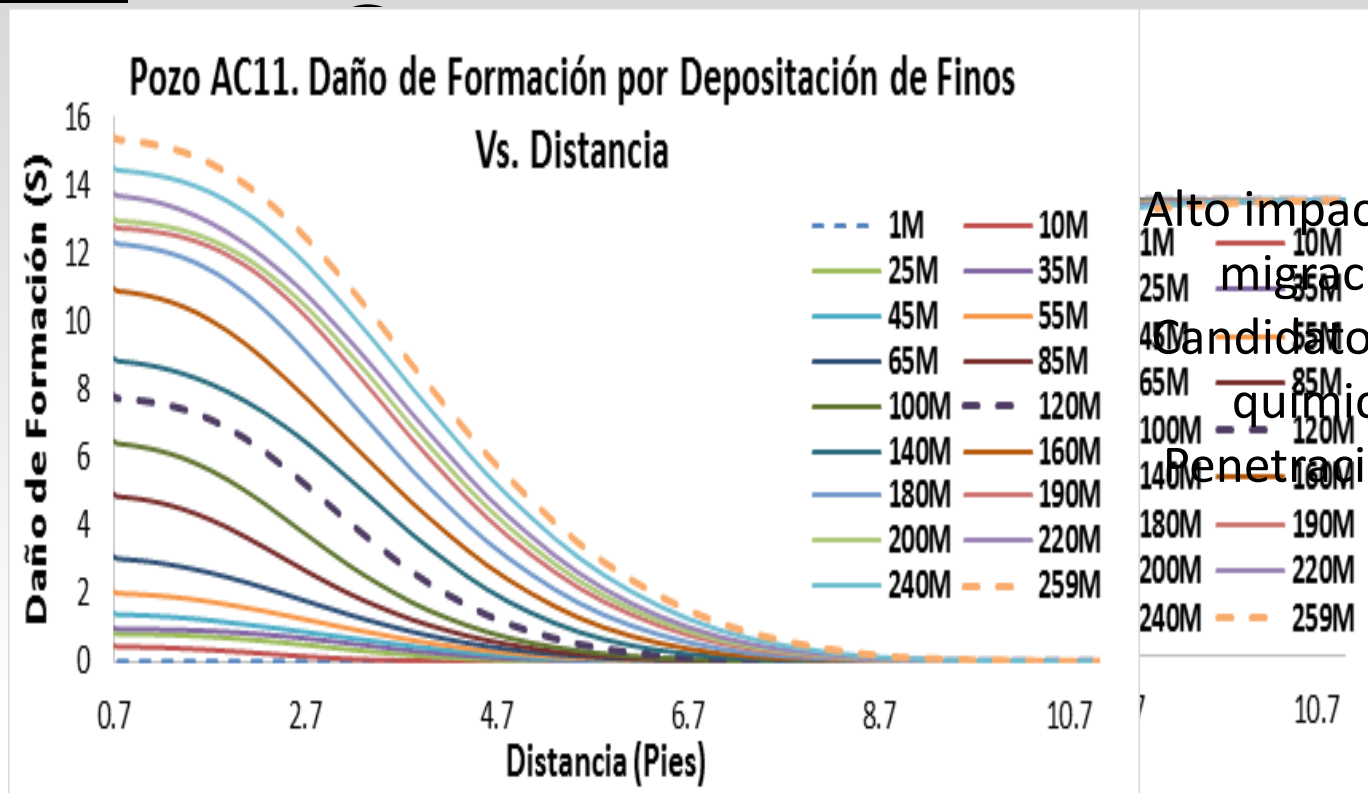
6. RESULTADOS: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

6.3 Escalamiento del Daño de Formación por Migración de Finos e Hinchamiento de Arcillas a Nivel de Yacimiento con el Modelo Radial



6. RESULTADOS: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

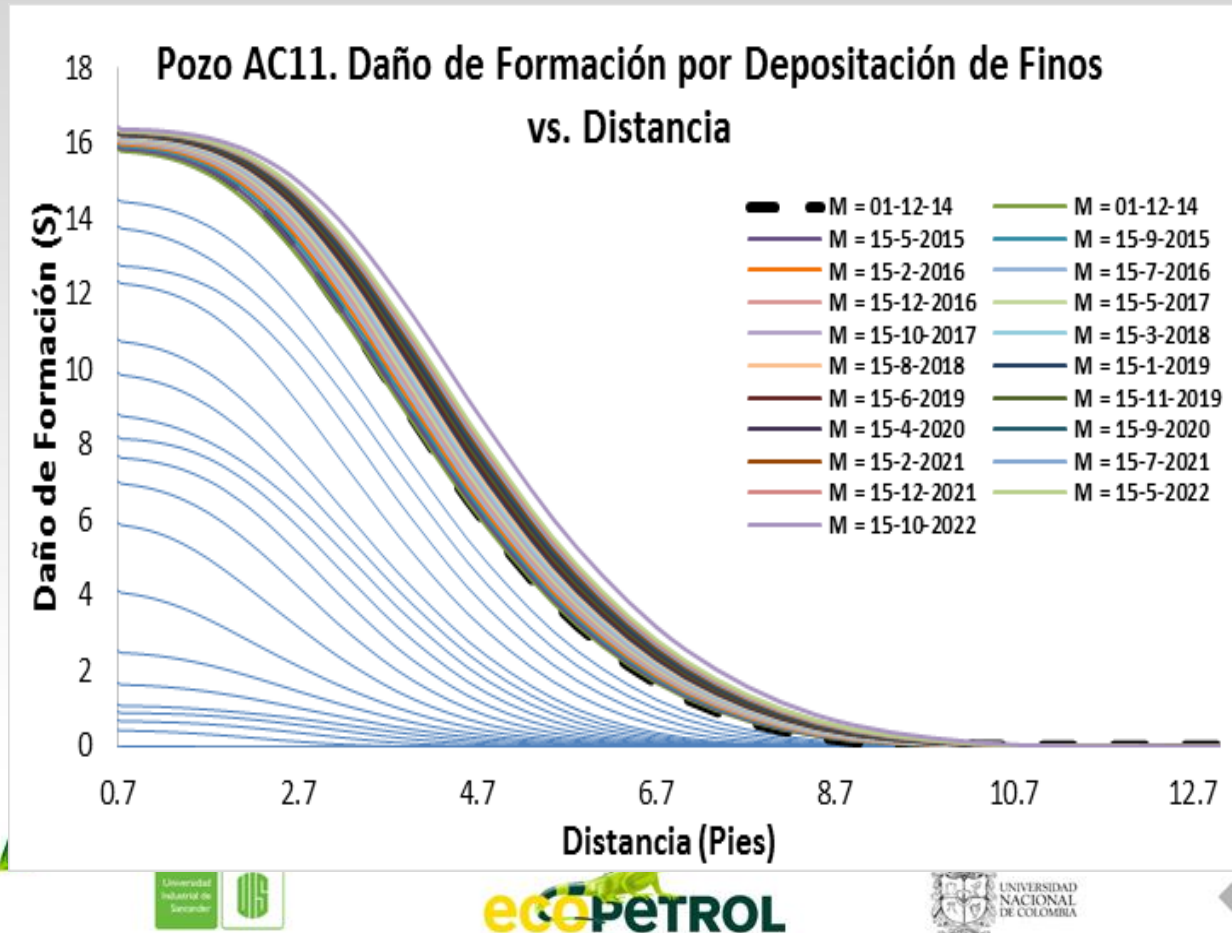
6.3 Escalamiento del Daño de Formación por Migración de Finos e Hinchamiento de Arcillas a Nivel de Yacimiento con el Modelo Radial



Alto impacto del daño por migración de finos. Candidato a estimulación química. Radio de Penetración 7.5 @ 9.4 ft

6. RESULTADOS: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

6.3 Escalamiento del Daño de Formación por Migración de Finos e Hinchamiento de Arcillas a Nivel de Yacimiento con el Modelo Radial



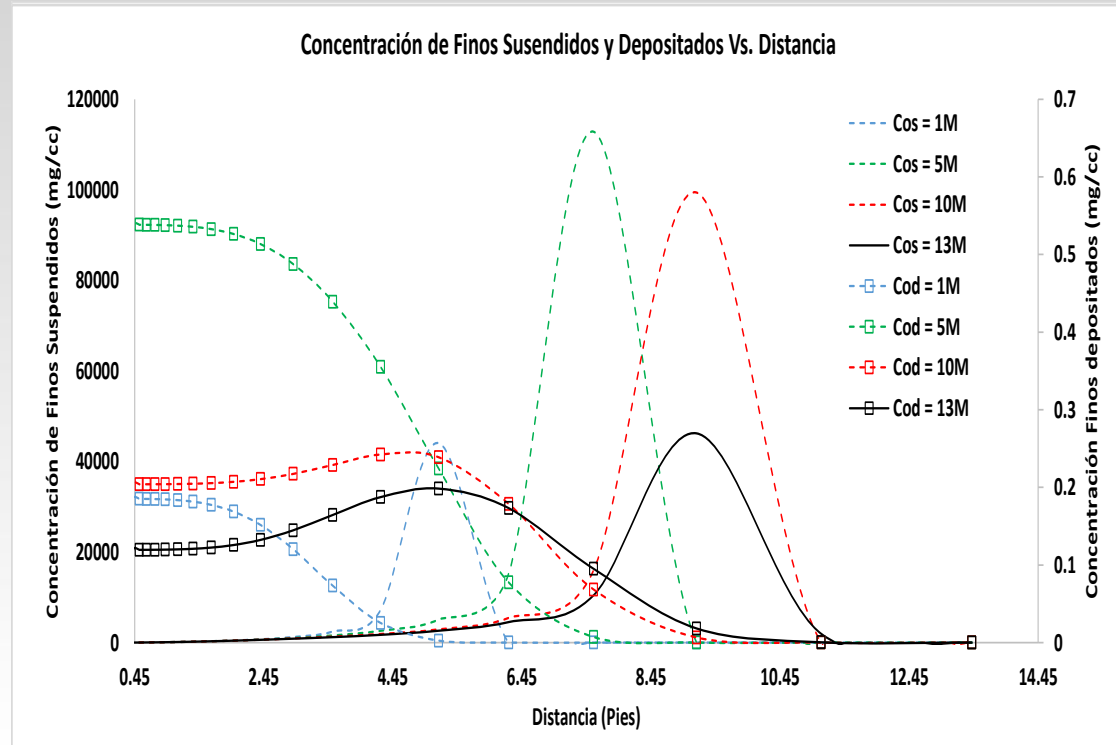
7. RESULTADOS: IMPACTO DEL DAÑO DE FORMACIÓN EN DIVERSOS CAMPOS DE COLOMBIA

Distribución campos productores para análisis de daño

Campo	Departamento	Formación	Pozo
AC	Putumayo	Caballos	AC11
			AC8
AP	Meta	K1	AP14
			AP22
CA	Santander	Mugrosa	CA1125
			CA1129
			CA444
CAS	Meta	K1	CAS37
CUP	Yopal	Barco	CUPE14
			CUPNW40
			CUPNW43
LAC	Santander	Mugrosa	LAC2253
			LAC797
OR	Putumayo	Caballos	OR111
			OR169
			OR2
			OR20
			OR36
TEN	Huila	Caballos	TEN1
			TEN2
			TEN3
			TEN7
			TEN8

7. RESULTADOS: IMPACTO DEL DAÑO DE FORMACIÓN EN DIVERSOS CAMPOS DE COLOMBIA

Diferencia en la producción de petróleo por daño de formación.

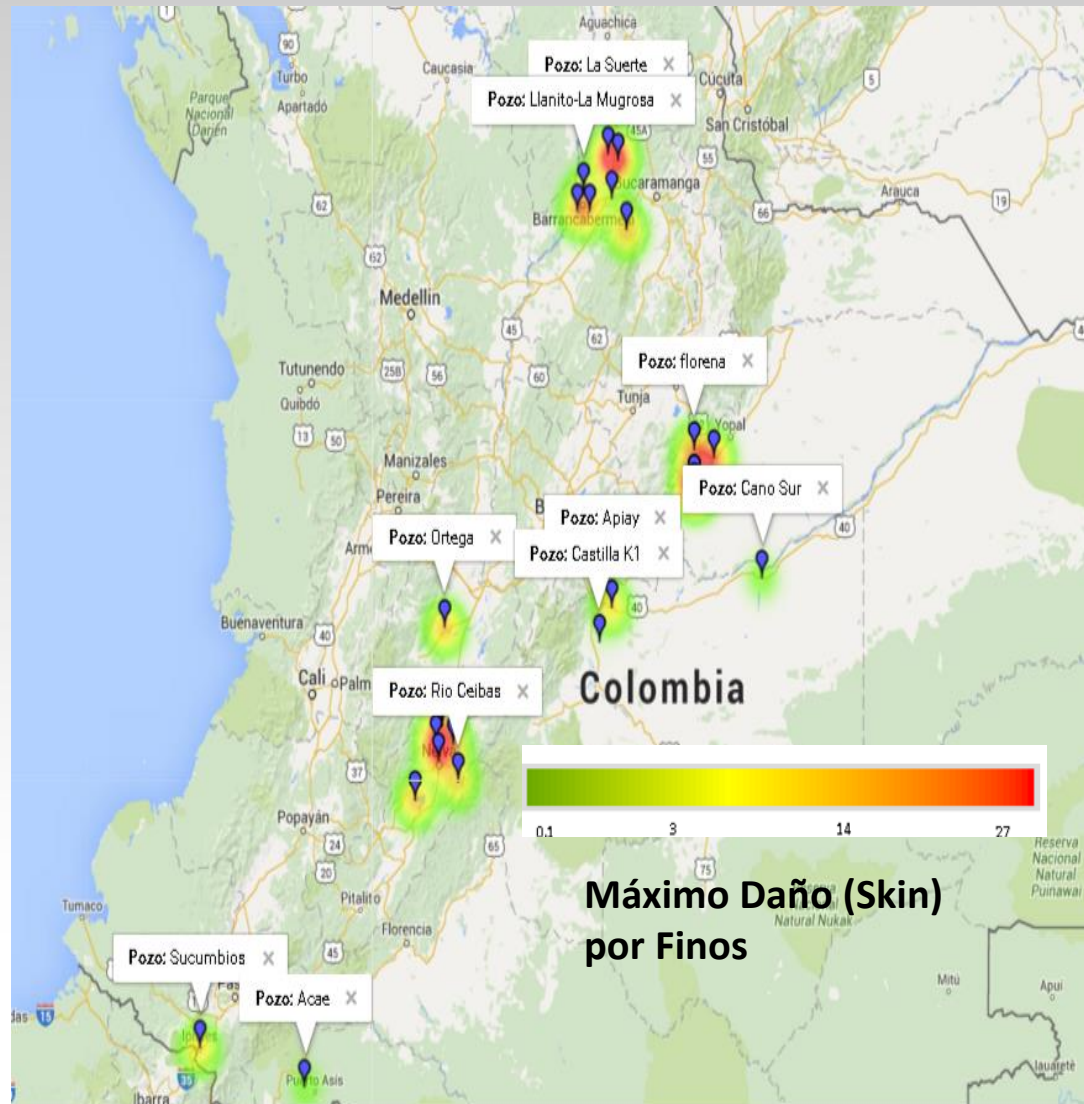


7. RESULTADOS: IMPACTO DEL DAÑO DE FORMACIÓN EN DIVERSOS CAMPOS DE COLOMBIA

1. Skin relación Permeabilidad y radio de daño. E.H.
2. Ranking de pozos analizados para estimulación.
3. Procesos de inhibición para evitar ascenso de nivel.

Pozo	% Reducción Permeabilidad	Maximo Daño (S)	Radio Daño (ft)	Severidad
OR20	89.11%	27.124	8.90	Alta
OR2	85.51%	18.150	9.00	
OR36	82.98%	18.100	8.90	
AC11	74.74%	15.370	8.50	
AP14	54.67%	4.100	3.00	Media
OR111	35.33%	2.760	5.00	
CUPNW43	41.62%	2.300	3.20	
CUPE14	39.51%	2.120	3.00	
CA444	22.81%	1.600	6.80	
TEN7	19.85%	1.550	6.33	
TEN1	20.03%	1.330	6.21	
OR169	20.82%	1.300	4.45	
TEN2	14.12%	0.810	7.68	
AC8	9.39%	0.580	4.00	
TEN3	9.66%	0.510	5.91	Baja
CUPNW40	10.39%	0.420	2.15	
CA1125	7.43%	0.310	1.60	
AP22	5.33%	0.223	1.22	
CA1129	4.05%	0.213	1.60	
CAS37	2.35%	0.204	4.30	
TEN8	1.92%	0.072	0.35	
LAC797	0.91%	0.064	0.35	
LAC2253	0.48%	0.034	0.35	

7. RESULTADOS: IMPACTO DEL DAÑO DE FORMACIÓN EN DIVERSOS CAMPOS DE COLOMBIA



REMEDIACIÓN DEL DAÑO DE FORMACIÓN POR FINOS

Objetivo: Desarrollar una metodología de elección y un modelo de comportamiento esperado de tratamientos remediales del daño de formación por flujo de finos mediante la elaboración de una herramienta computacional.



3 de cada 10 operaciones de estimulación son exitosas.

Elección de tratamiento.

Metodología propuesta por Kalfayan

1. Lavado de tubería
2. Desplazamiento de solventes
3. Desplazamiento de salmuera
4. Preflujo
5. Ácido Principal
7. Sobredesplazamiento
8. Dispersante

Tomada de: Kalfayan L. Production Enhancement with Acid Stimulation.

Comportamiento ácido en formación

Modelo de cuatro parámetros

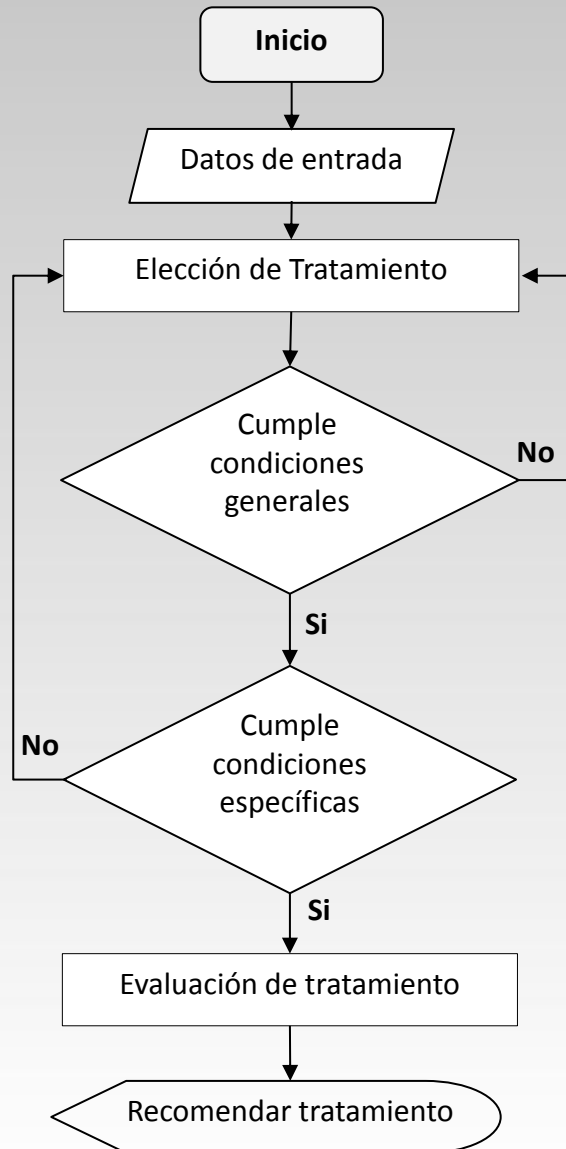
$$\varphi \left(\frac{\partial C_j}{\partial t} \right) + u_i \left(\frac{\partial C_j}{\partial x_i} \right) = \frac{\partial D_{i,j} \frac{\partial C_j}{\partial x_i}}{\partial x_i}$$

1. HF con aluminosilica
2. HF con cuarzo
3. H₂SiF₆ con aluminosilica
4. HF con sílice (Si(OH)₄)

• Gestor técnico: **RICHARD ZABALA**; Tutor: **MARCO ANTONIO RUIZ SERNA**; Estudiante: **DIANA ELIZABETH CORAL RODRIGUEZ**

GRUPO DE INVESTIGACIÓN YACIMIENTOS DE HIDROCARBUROS

REMEDIACIÓN DEL DAÑO DE FORMACIÓN POR FINOS



Avance: 60%

Falta: validación estadística del modelo de elección y modelamiento de interacción ácido.

Retos: Evaluación estadística y validación de modelos se debe realizar con banco de datos de estimulaciones realizadas en campo, estudios o pruebas experimentales. Conocimientos adquiridos a partir de la práctica en campo de procesos de estimulación.

8. CONCLUSIONES

- Se genera una metodología que permite escalar a nivel de yacimiento el impacto sobre la producción de hidrocarburos del daño de formación por migración de finos e hinchamiento de arcillas. La metodología tiene en cuenta las bases fenomenológicas de los procesos de partículas.
- Con base en la metodología, se desarrolla un modelo y simulador que permite escalar y predecir el daño de formación por migración de finos e hinchamiento de arcillas.
- El modelo de daño de formación por migración de finos e hinchamiento de arcillas en geometría lineal es validado de manera satisfactoria con datos de literatura.
- Se introduce la interpretación lineal de una prueba de desplazamiento multitasa, en la literatura estudiada las metodologías propuesta hablan de ajustes a una sola tasa. Esto permite estudiar la variación de los parámetros fenomenológicos con el caudal.
- Se hace una priorización de los pozos con el fin de definir el tipo de intervención a las que son candidatos, se definen candidatos a estimulación química para remediar daño de formación por migración de finos, candidatos para inhibir el daño o para realizar ambas operaciones.

¡¡QUE OPINAS!!

