



# INTEGRACION DE LA MICROSISMICIDAD Y LA SISMICA 3D EN PROYECTOS NO CONVENCIONALES

---

Thomas H. Wilson, Professor Geophysics  
West Virginia University



Audience and Date  
February 19, 2016



# Resumen

1. Descripción del prospecto
2. Fracturación hidráulica, eventos microsísmicos y el sistema de fracturas
3. Interpretación de sísmica 3D y de la microsismicidad
4. Estimación del volumen de reservorio
5. Desarrollo de un modelo de reservorio fracturado

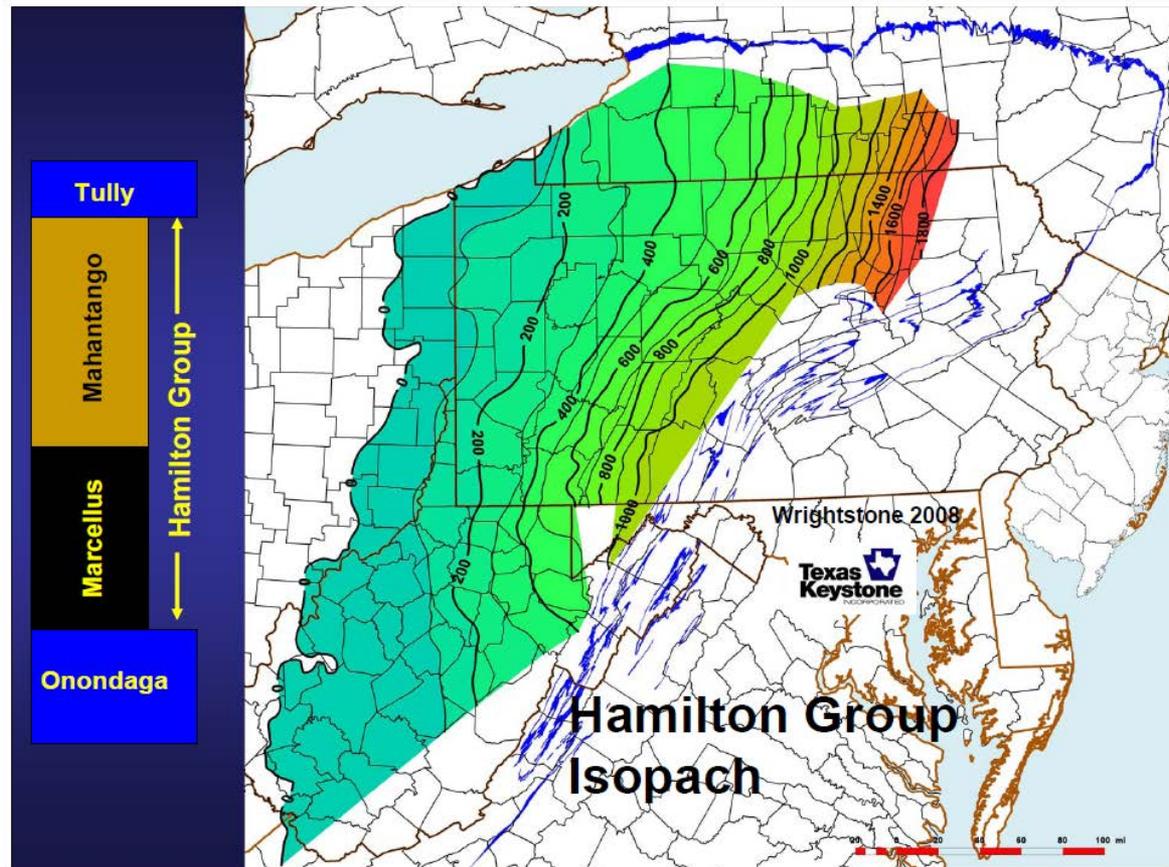


# Subtemas presentados en las imágenes siguientes:

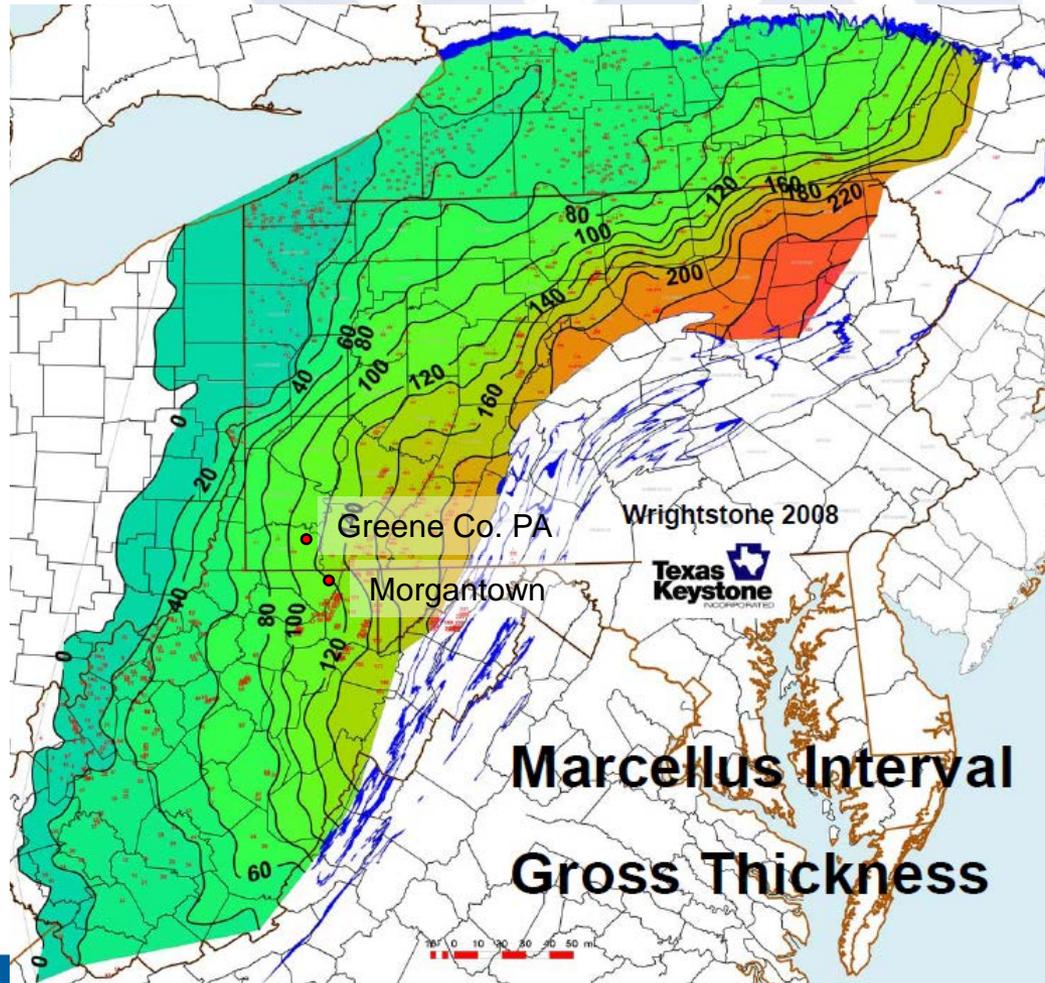
1. {
  - I. Localización de los ejemplos presentados
  - II. Problemas con los “plays” no convencionales más profundos
  - III. Caracterización del subsuelo
2. {
  - IV. Estimación con Fracturamiento Hidráulico (HFS)
  - V. Tipos de fracturas producidas por HFS
  - VI. Eventos microsísmicos producidos durante HFS
3. {
  - VII. Estimación del sistema de fracturas 3D sísmico
  - VIII. Interpretación de la orientación de eventos microsísmicos
  - IX. Relación entre la orientación de los eventos microsísmicos y la sísmica 3D
4. {
  - X. Estimación del volumen de reservorio estimulado y de la energía sísmica
5. {
  - XI. Elaboración de un sistema discreto de fracturas creadas por HFS
  - XII. Modelado de la estimación de fracturas naturales



# I. Distribucion del Grupo Hamilton en la Cuenca de los Apalaches

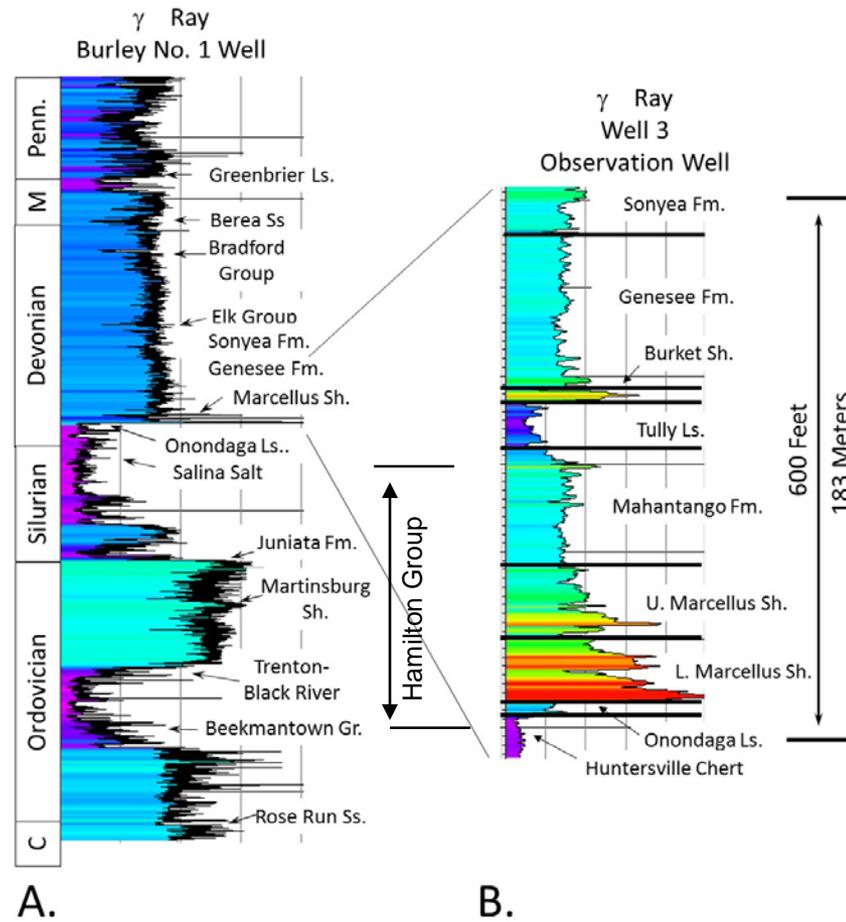


# Mapa de Espesor del Marcellus



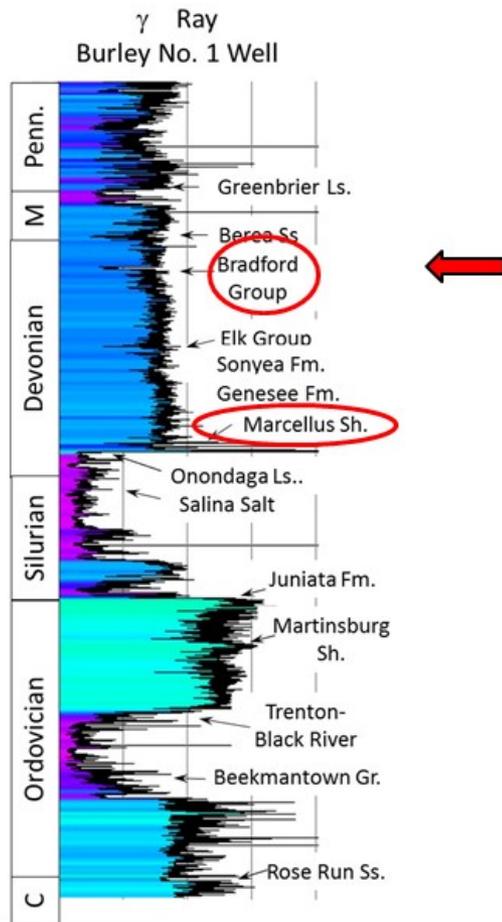
# Ejemplo del Marcellus en Greene Co. PA – contexto estratigrafico

Example central Appalachian stratigraphic column

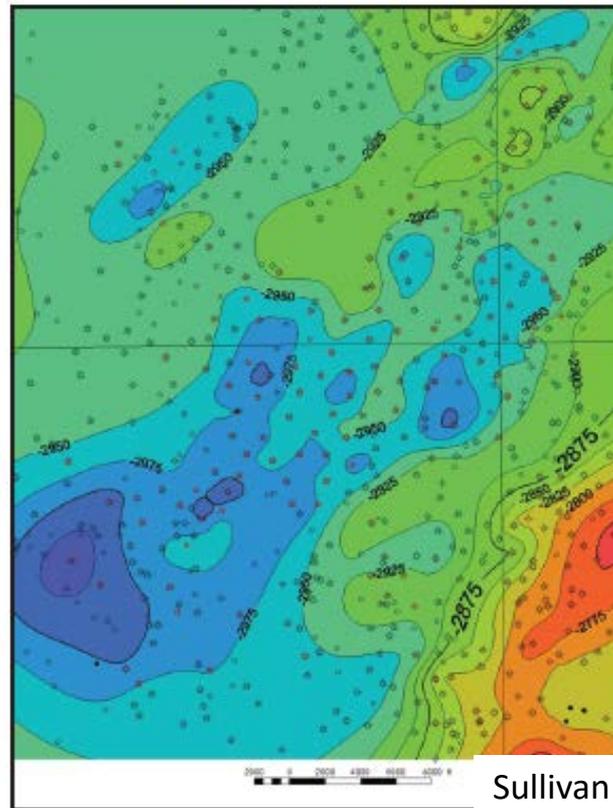


# II. Problema:

## Conoce su “play”?

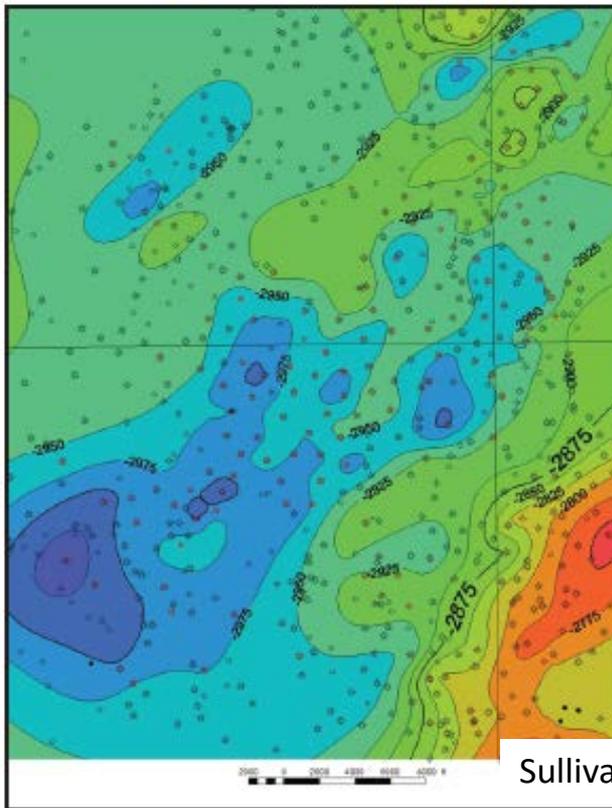


Structure Map of Upper Devonian First Bradford Sandstone



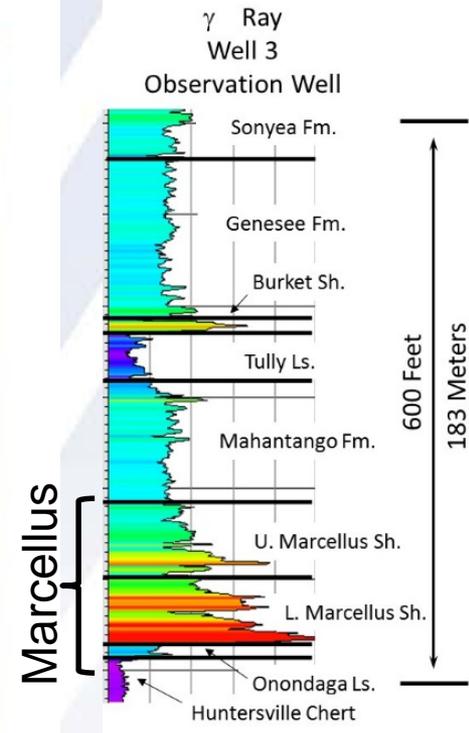
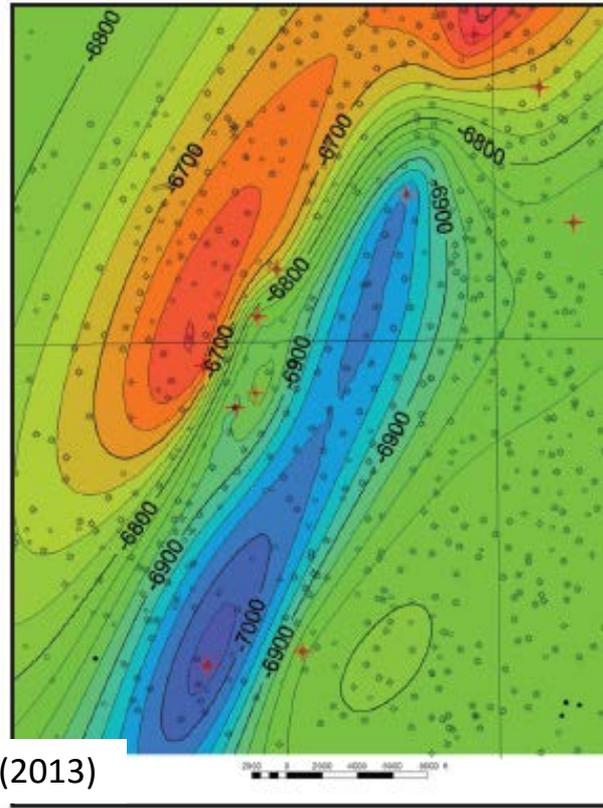
# Los primeros pozos indican que la estructura del Marcellus es mas compleja

Structure Map of Upper Devonian First Bradford Sandstone



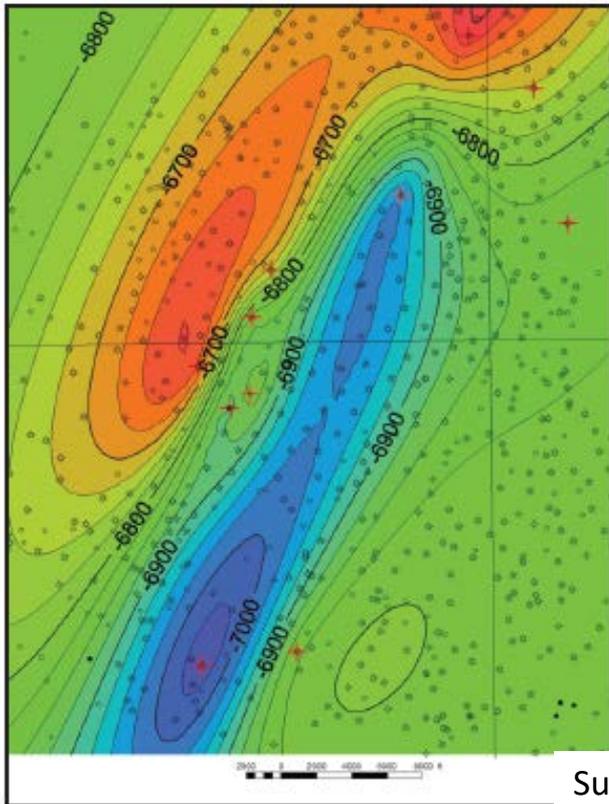
Sullivan (2013)

Structure Map after Nine Initial Marcellus Vertical Wells

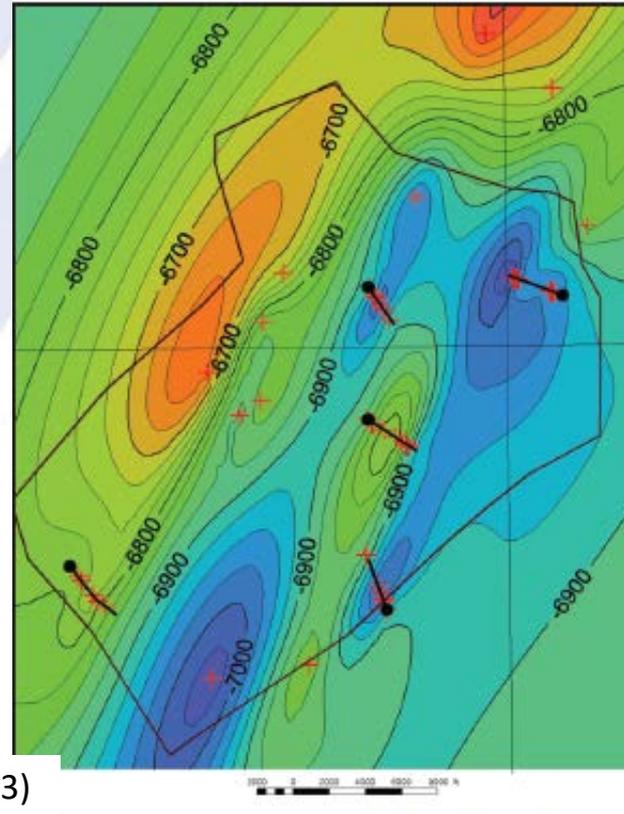


# El conocimiento de la estructura avanza lentamente con la perforacion- la sismica es necesaria

Structure Map after Nine Initial Marcellus Vertical Wells



Structure Map after First Five Marcellus Horizontal Wells

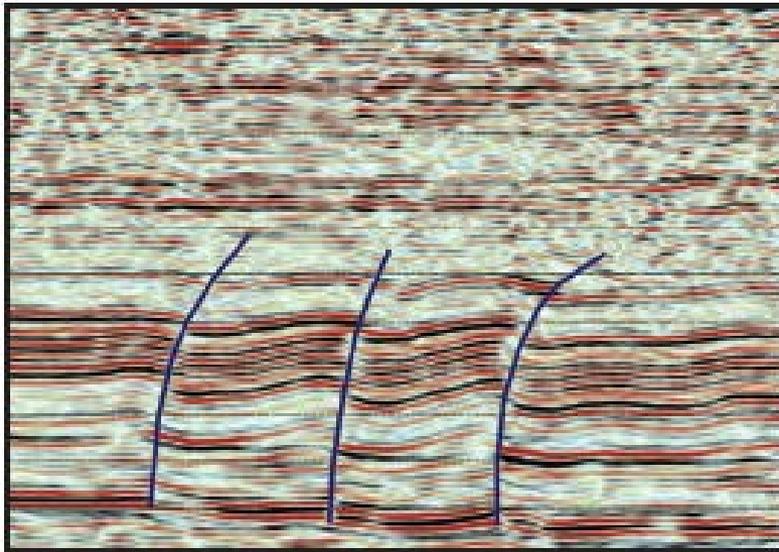


Sullivan (2013)

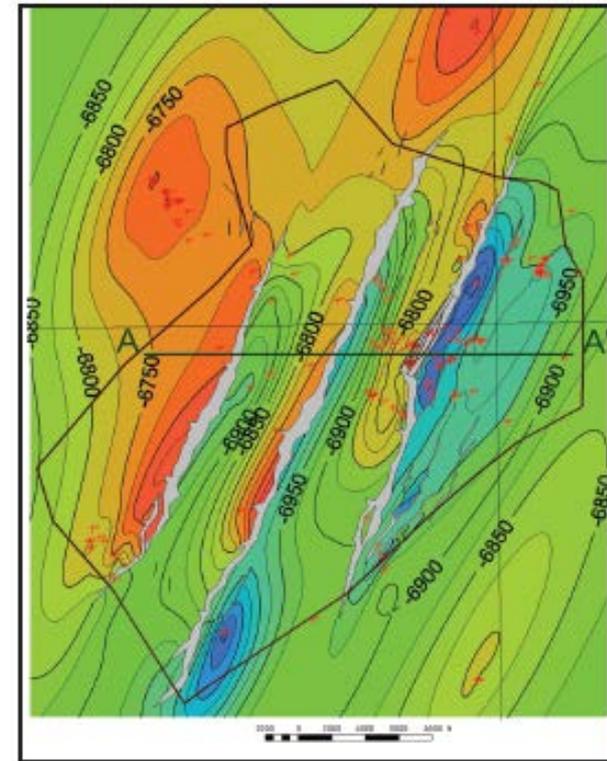


# La sismica 3D muestra estructuras con fallas

In-Line Seismic Section



Location of Seismic Line  
In Structure Map

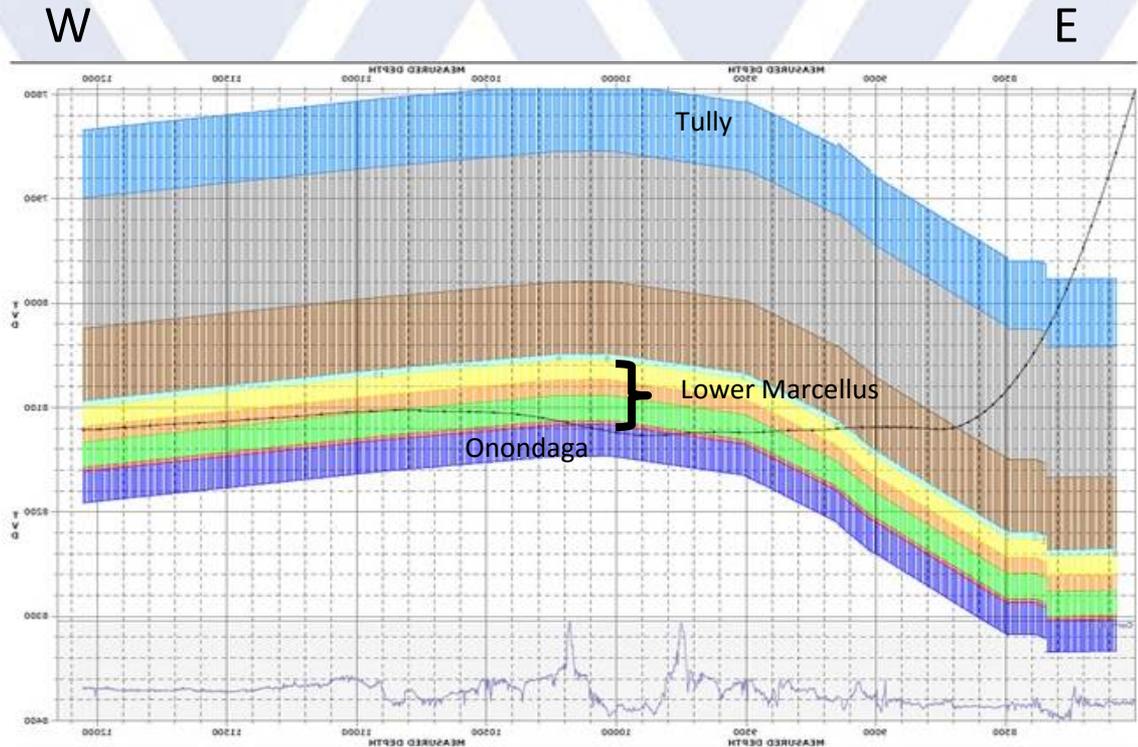
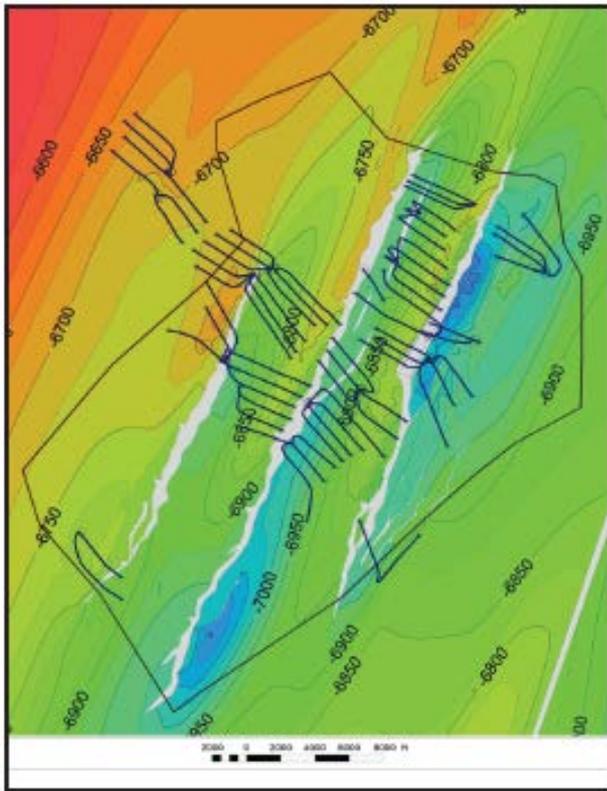


Sullivan (2013)



# La sismica 3D ayuda a colocar los pozos

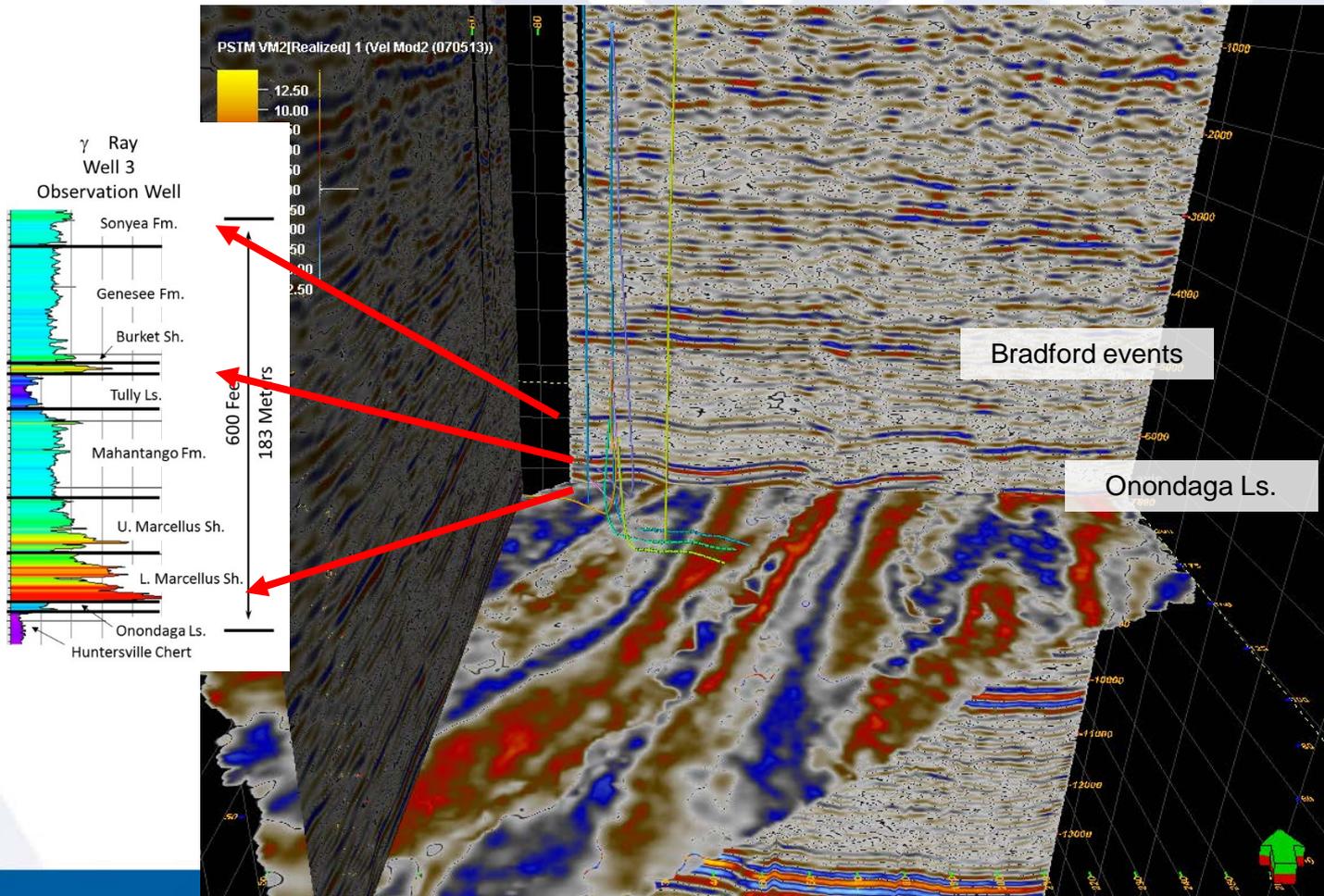
Post-Seismic Structure Map and Horizontal Wells



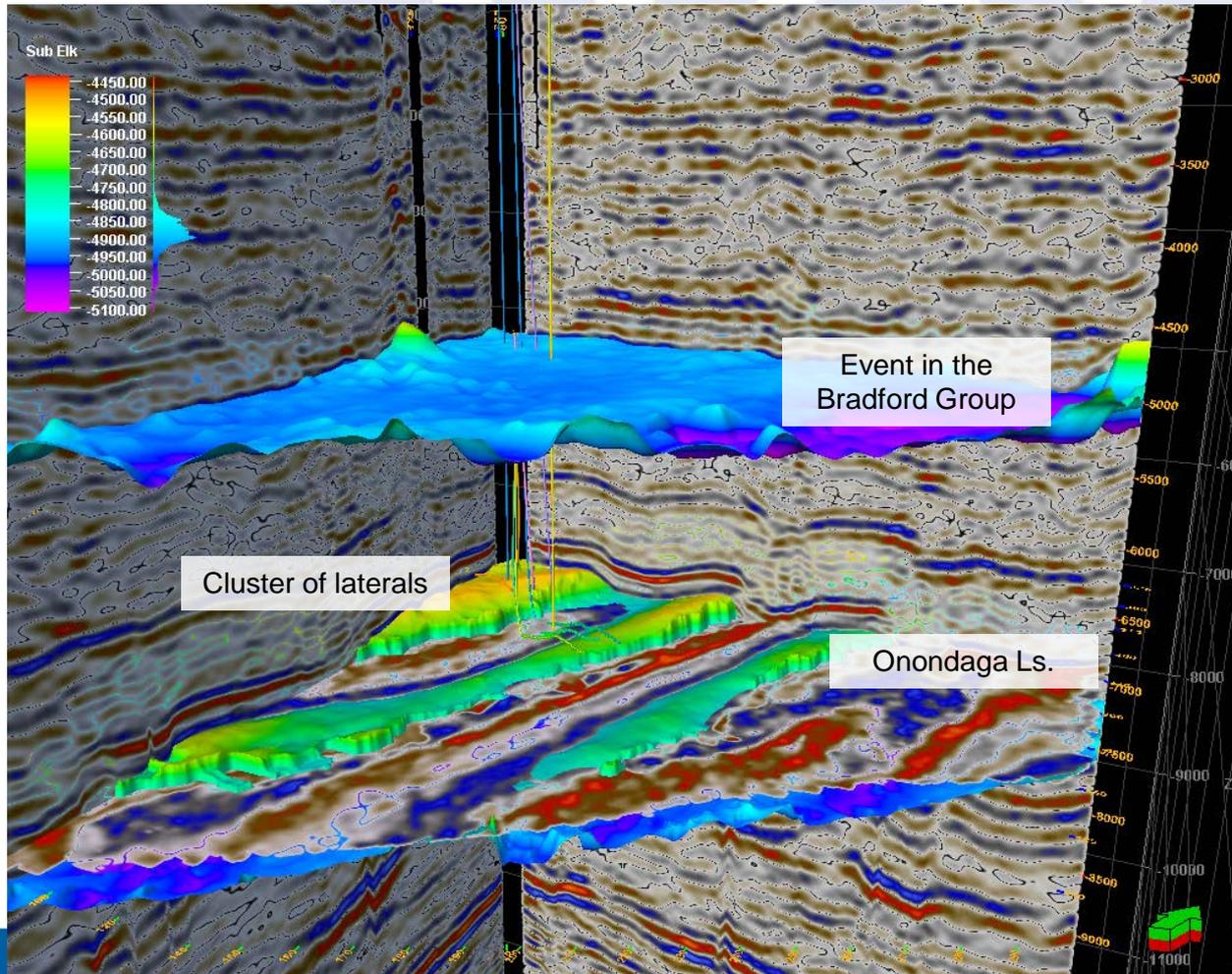
Sullivan (2013)



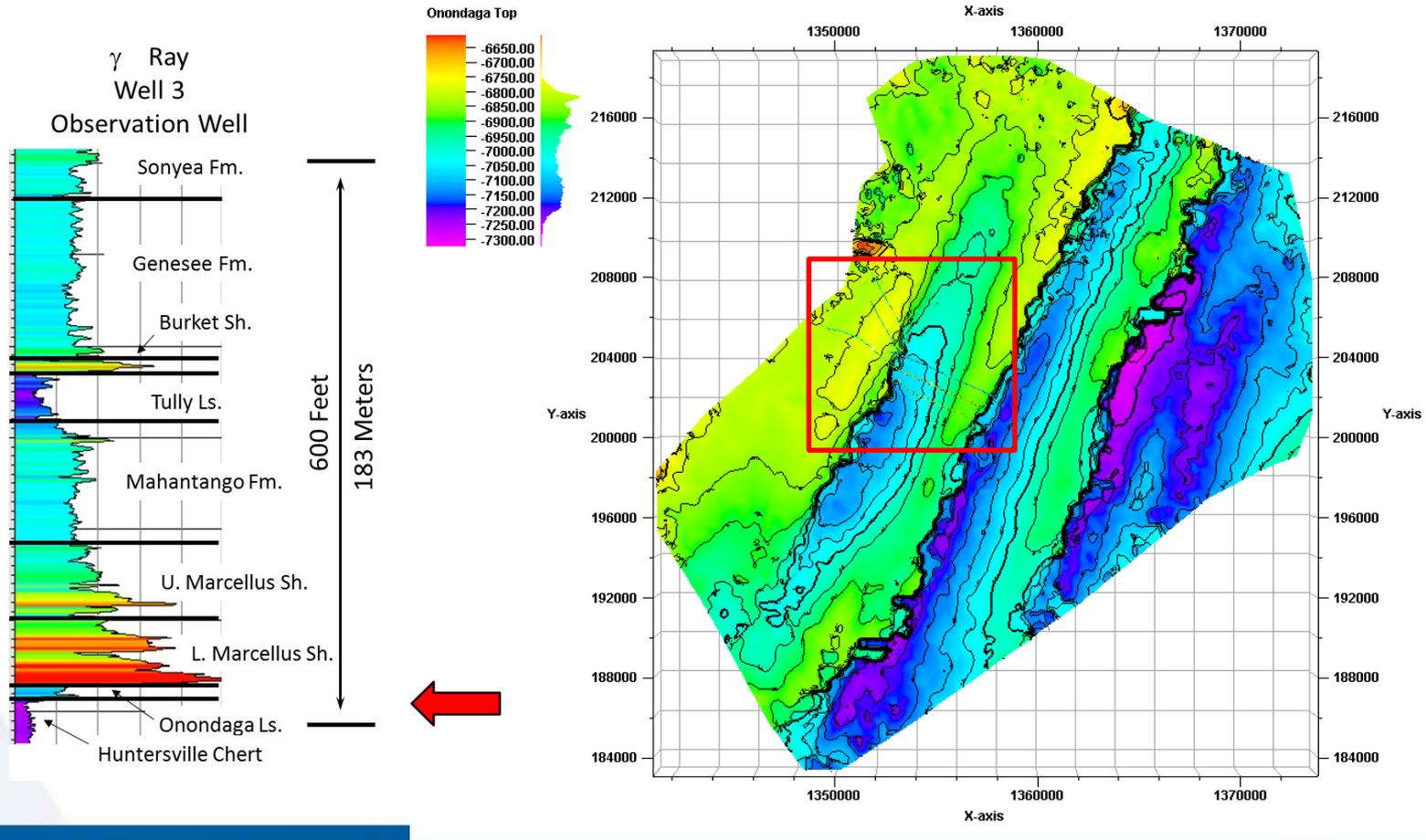
# III. Caracterizacion del subsuelo Sismica de 3D



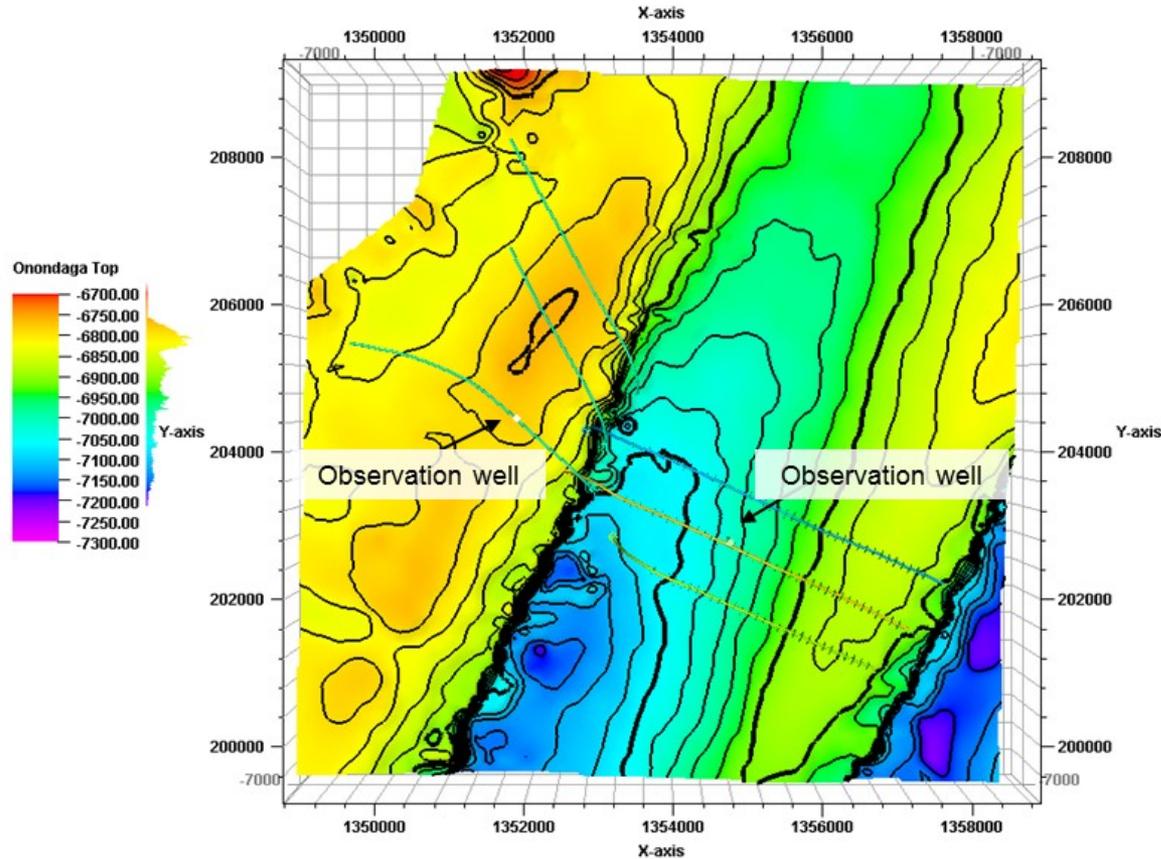
# Disarmonia entre la estructura somera y la profunda



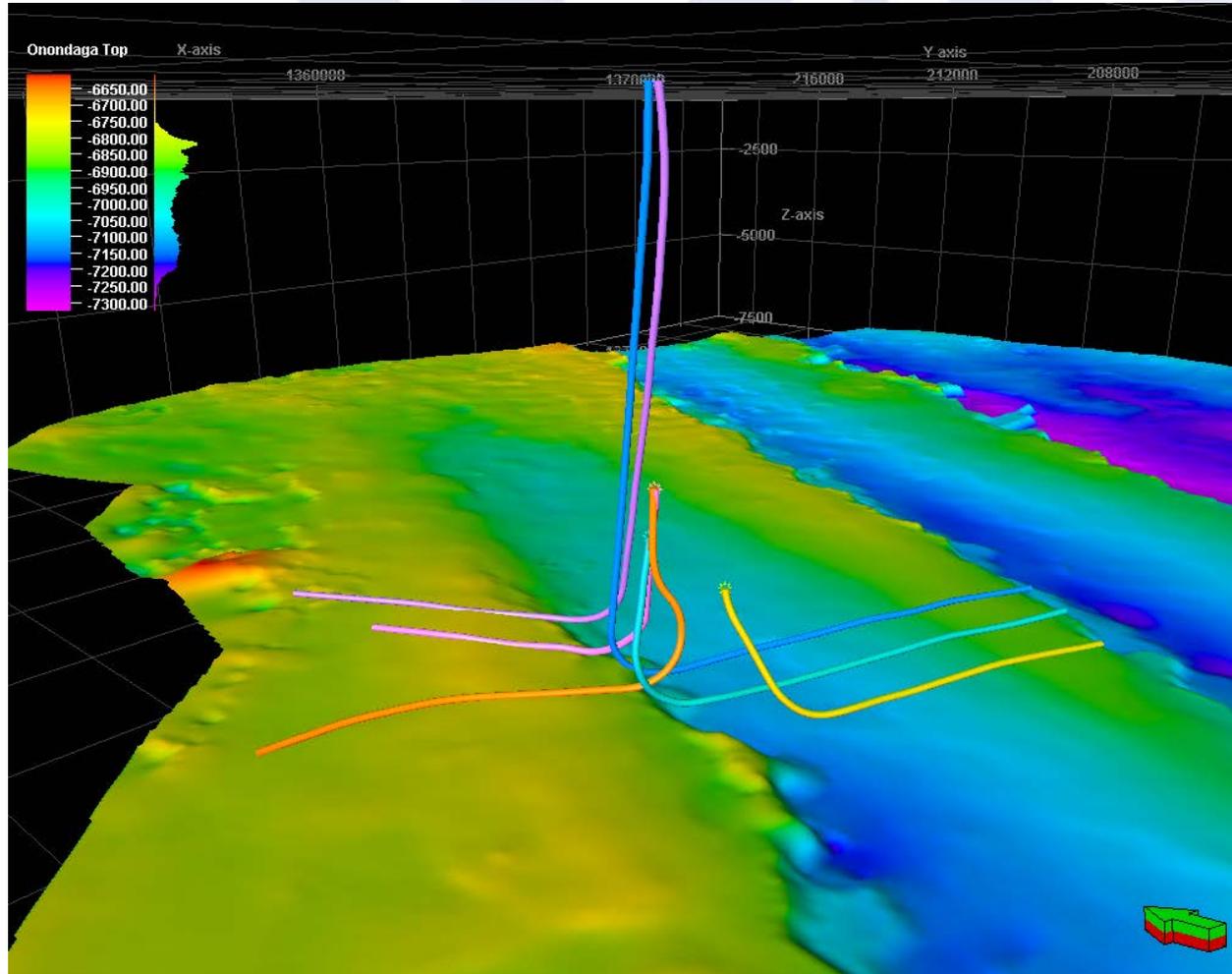
# Estructura interpretada en el 3D del tope Onondaga Ls./base del Marcellus



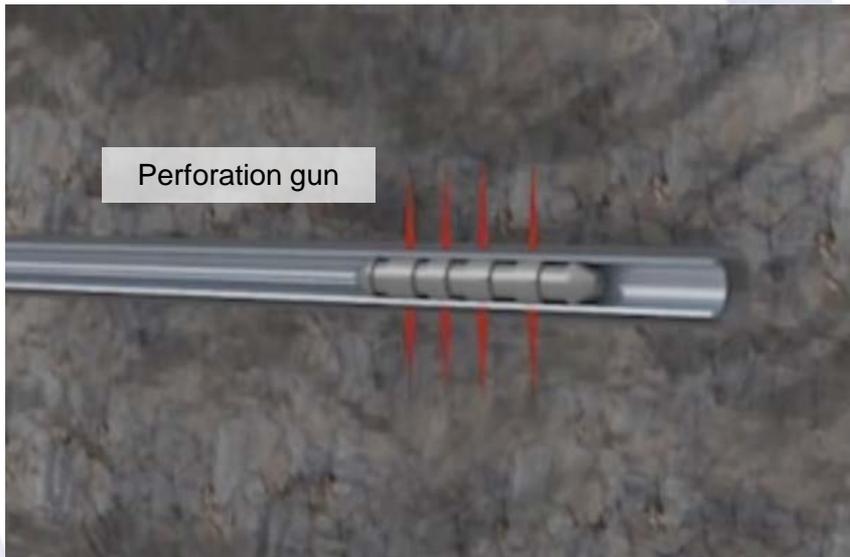
# Vamos a ver los datos microsismicos de estos pozos



Varios pozos desde una sola localizacion reducen el impacto ambiental y maxizan el contacto con el reservorio



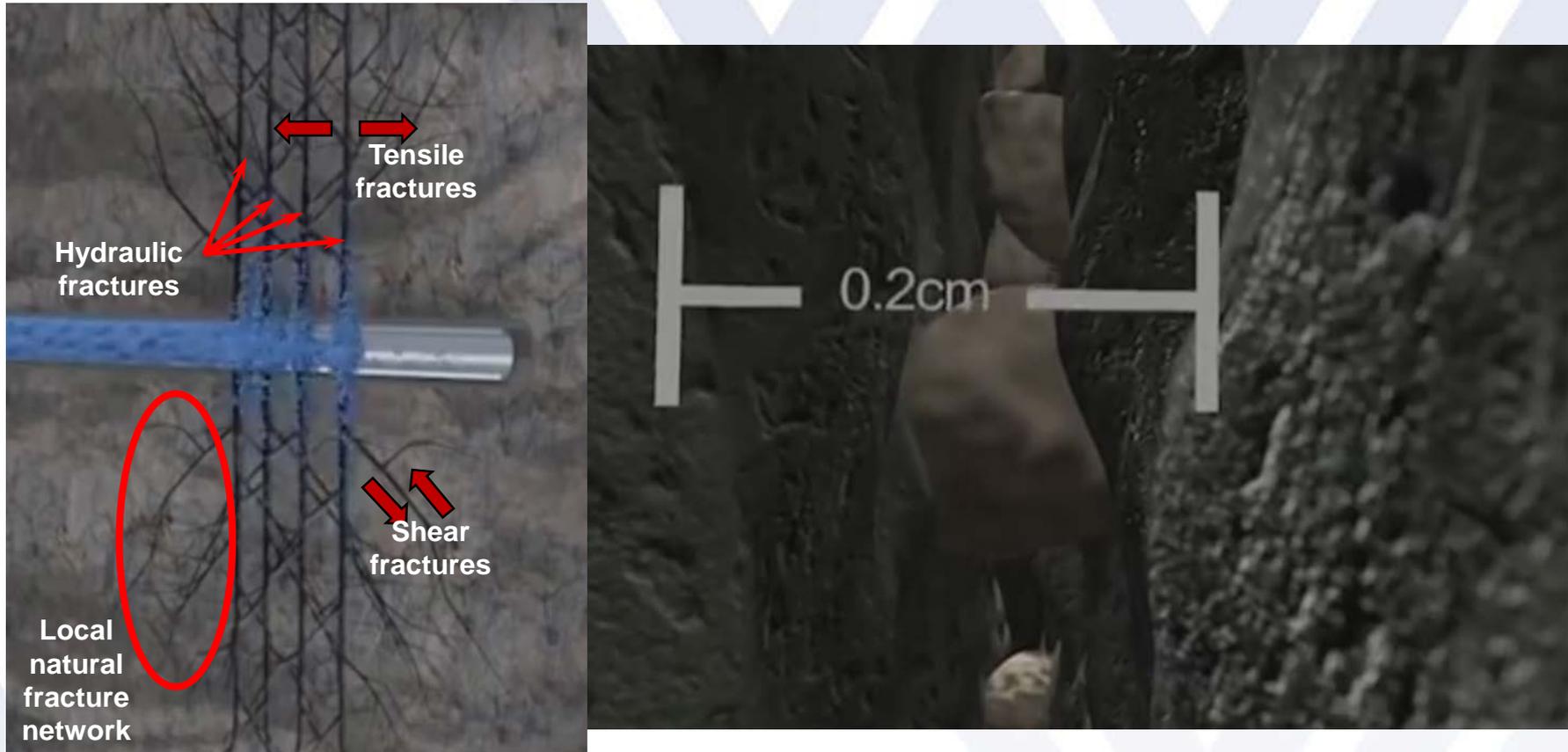
# IV. Estimulación hidraulica (HFS)



See <https://www.youtube.com/watch?v=VY34PQUiwOQ> Marathon Oil



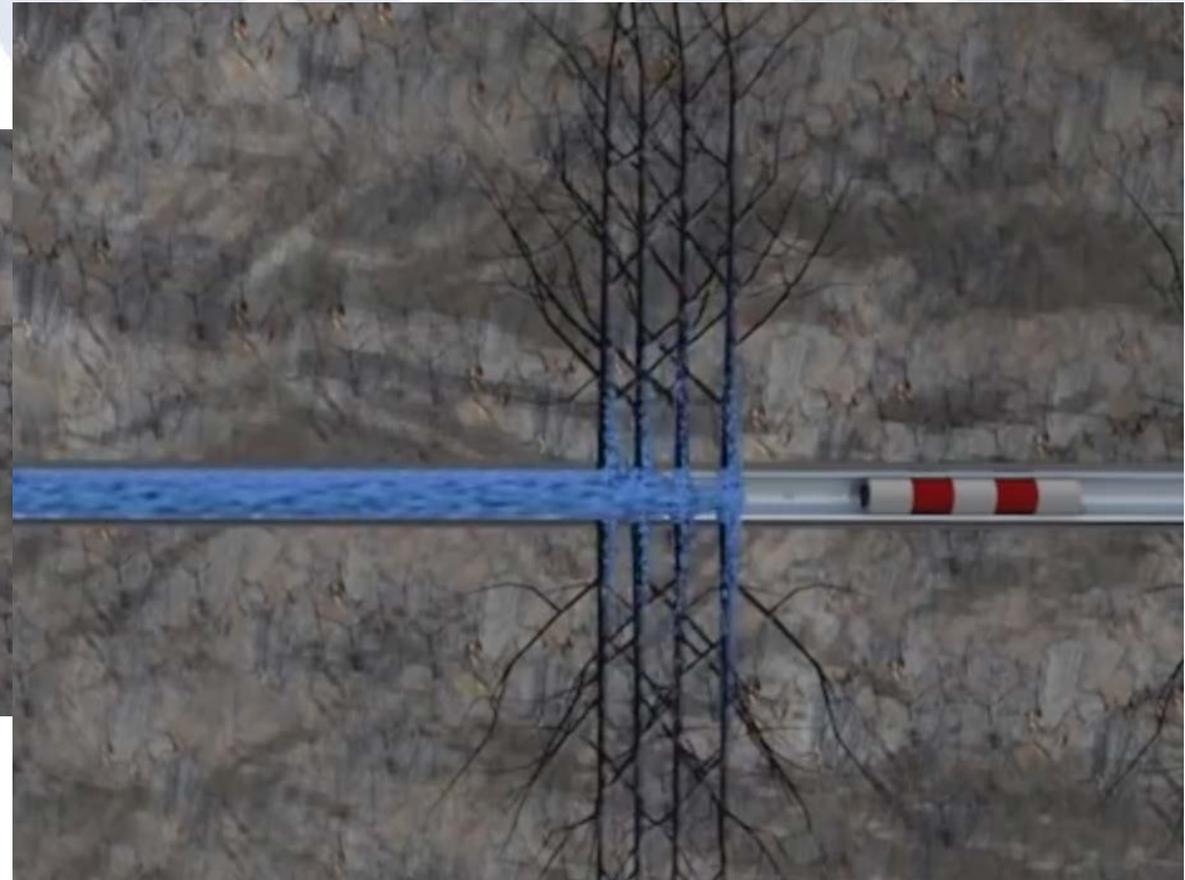
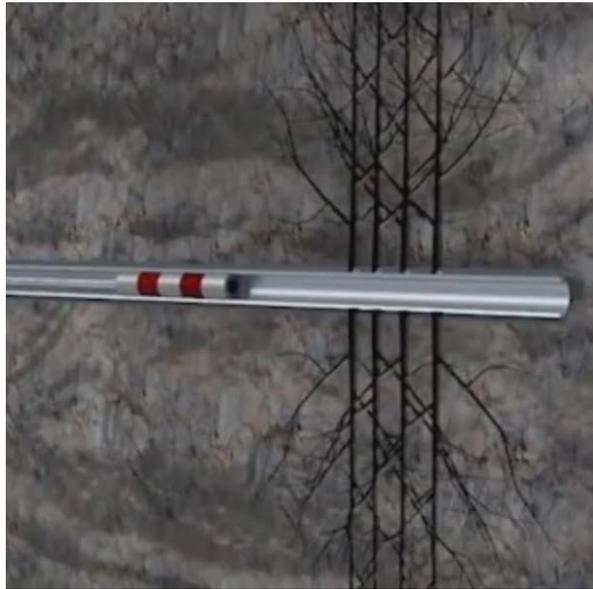
# Fluido y agentes de sosten se inyectan a alta presion para crear fracturas en el reservorio



See <https://www.youtube.com/watch?v=VY34PQUiwOQ> Marathon Oil



# Cada etapa se aísla con un tapon antes de fracturar la siguiente etapa



See <https://www.youtube.com/watch?v=VY34PQUiwOQ> Marathon Oil



Este proceso se repite muchas veces a lo largo del pozo horizontal

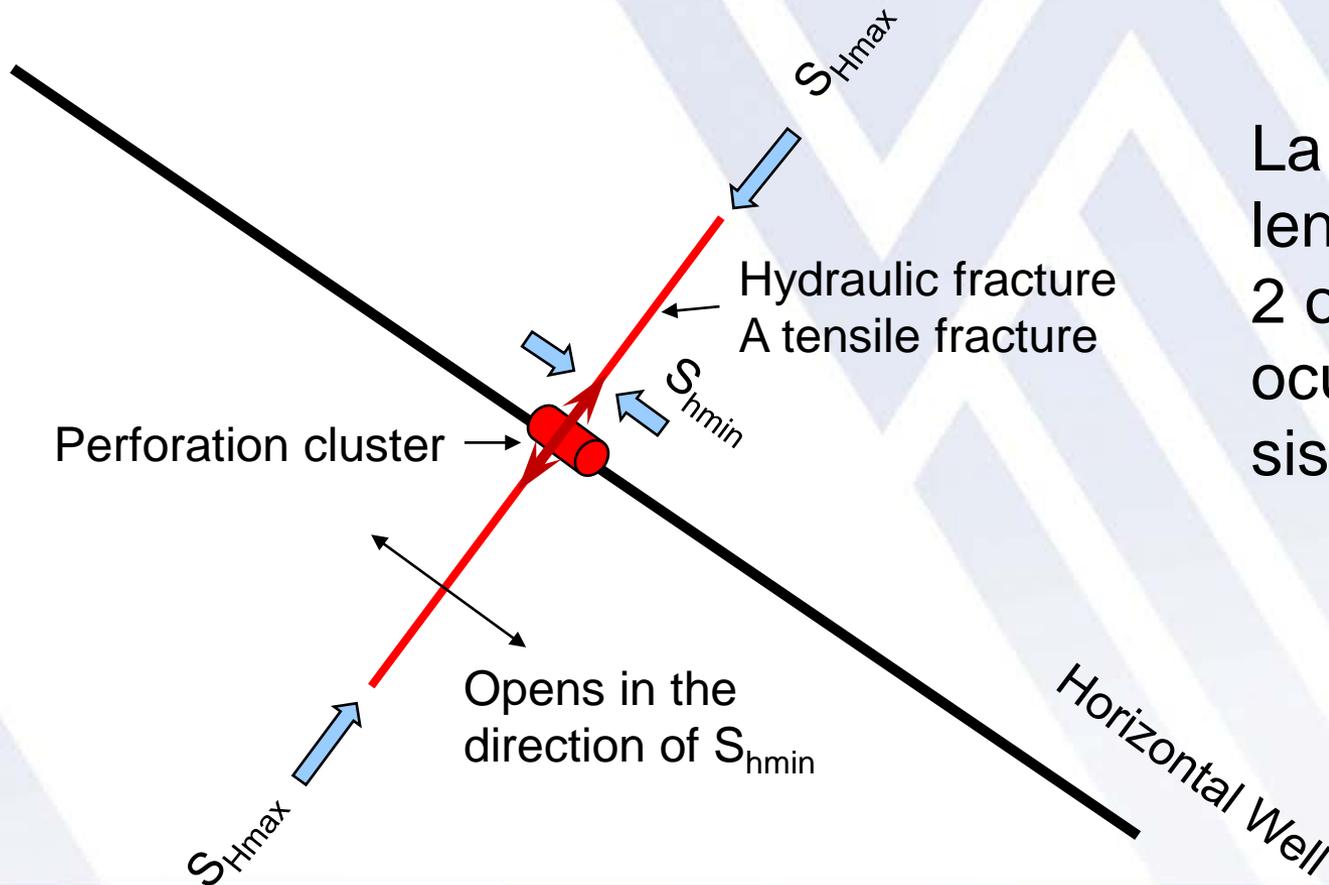


See <https://www.youtube.com/watch?v=VY34PQUiwOQ> Marathon Oil



# V. Eventos microsismicos producidos por la fracturacion

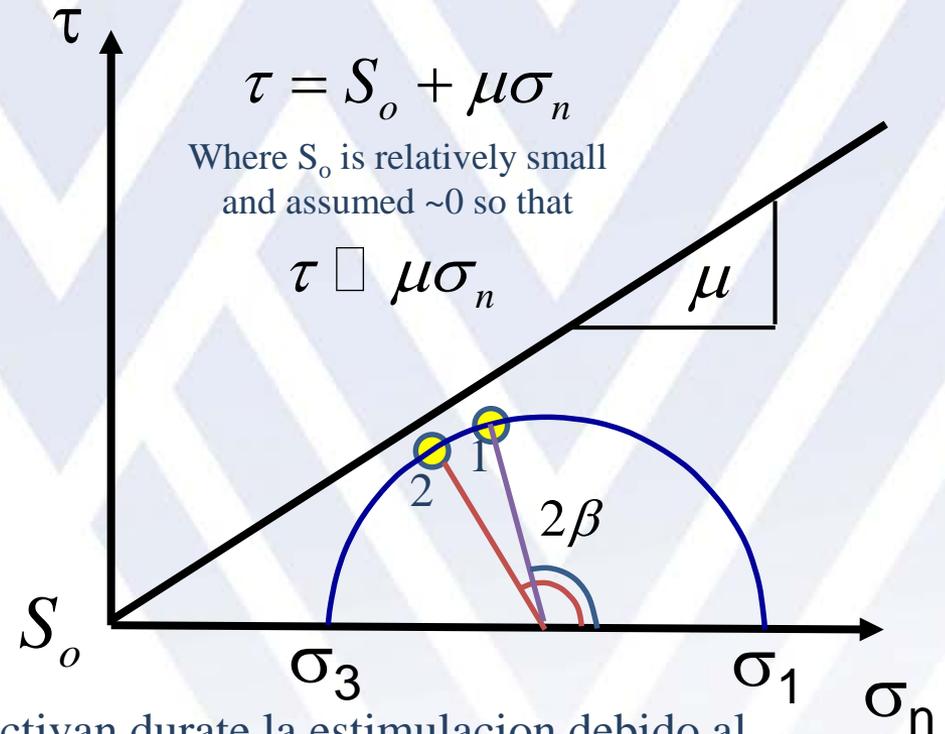
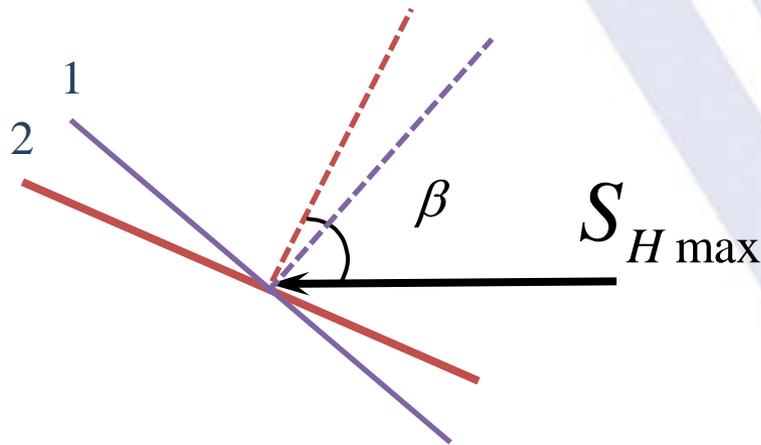
Principalmente son fracturas tensionales



La fractura crece lentamente durante 2 o 3 horas. Esto ocurre sin actividad sismica.



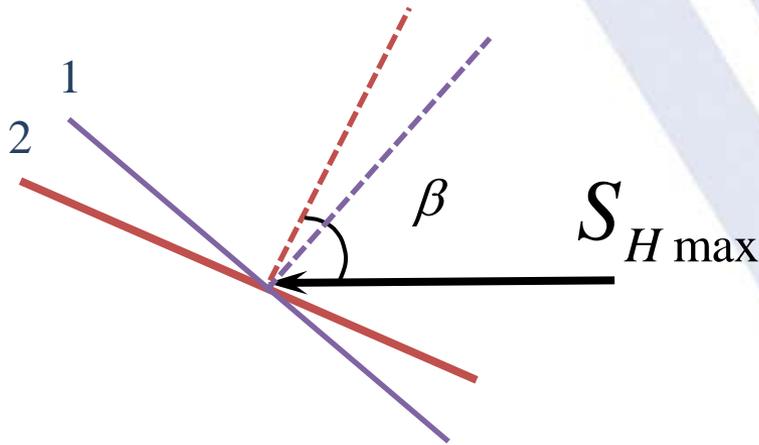
# Fallas o fracturas antiguas – Efecto del aumento de presión durante la estimulación hidráulica



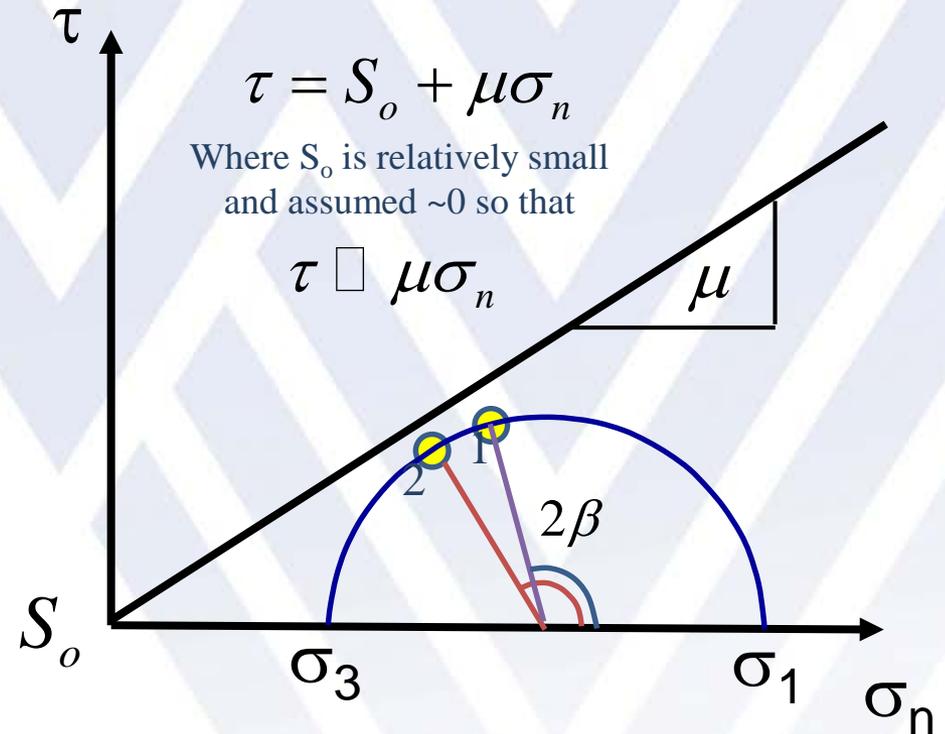
Con frecuencia, antiguas fallas se reactivan durante la estimulación debido al aumento de presión del fluido.  $\sigma = S - P_p$  así que durante la estimulación hidráulica  $\sigma$  se mueve a la izquierda.



# Old faults and fractures in the Earth's stress field and the influence of increased pore pressure through hydraulic fracture stimulation



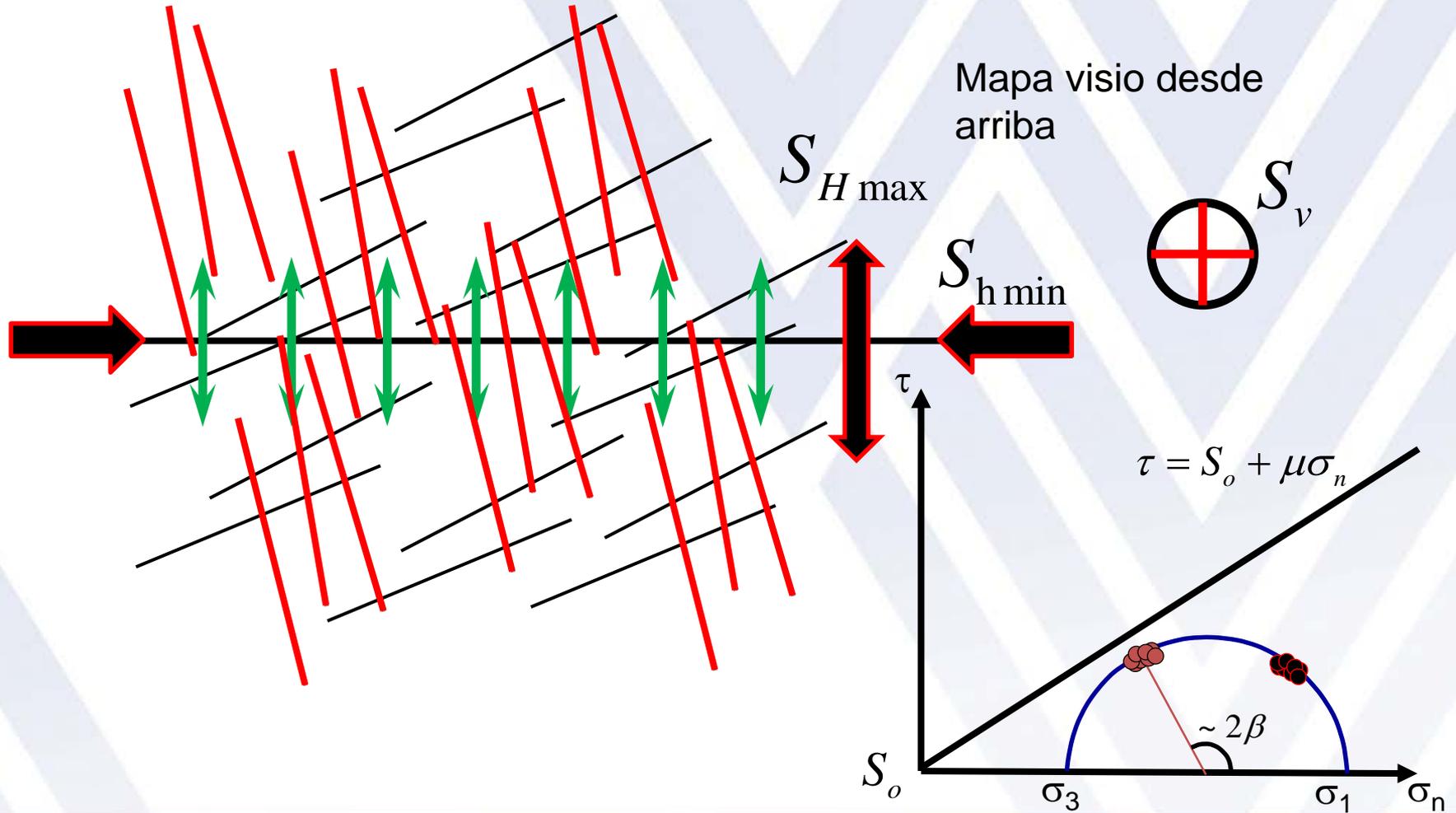
The near zero  $S_o$  assumes the fractures are critically stressed or near failure to begin with



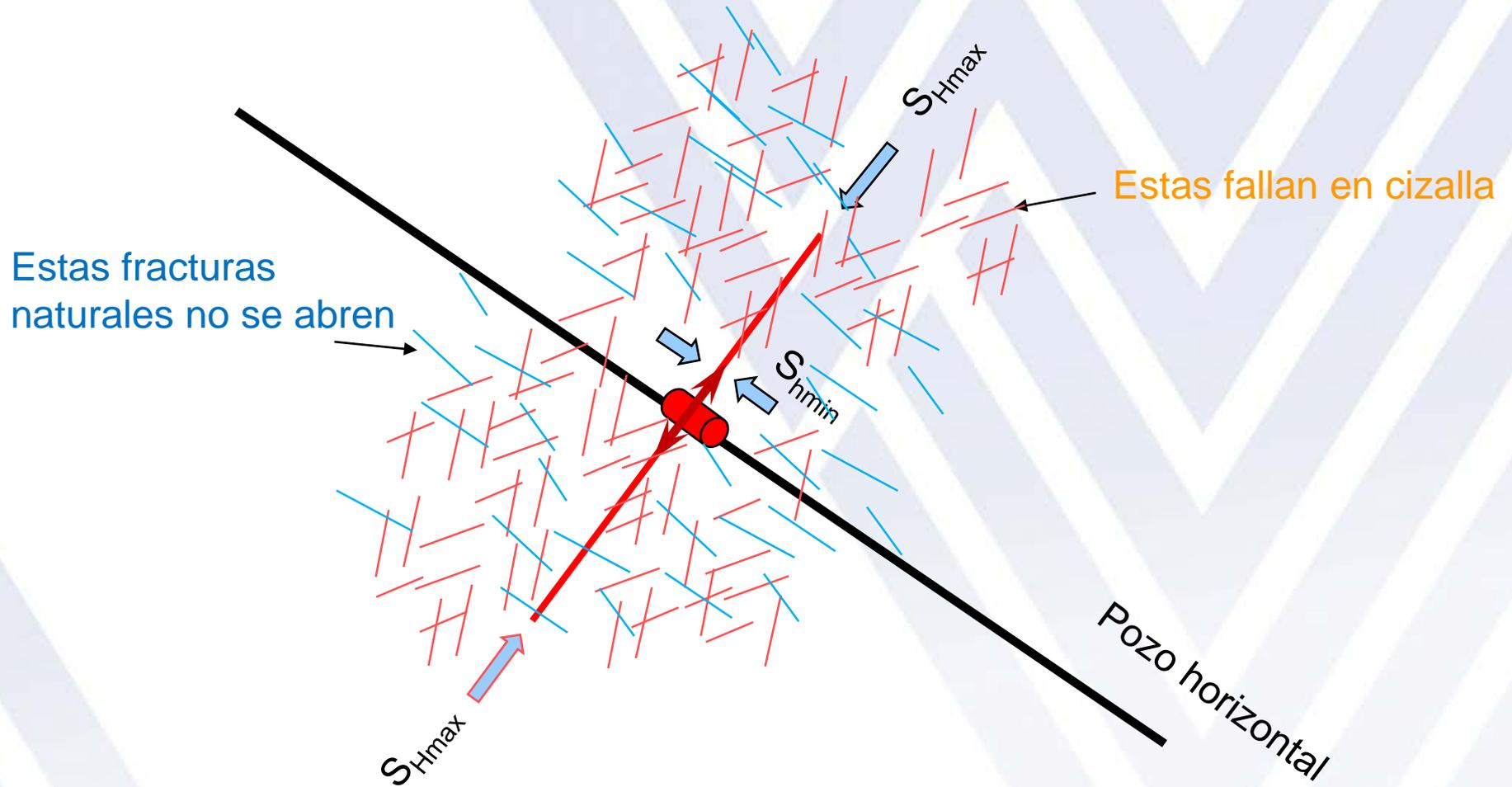
The increase in pore pressure associated with hydraulic fracture stimulation can lead to rupture on previously existing faults and fractures optimally oriented with respect to  $S_{Hmax}$  for failure to occur.



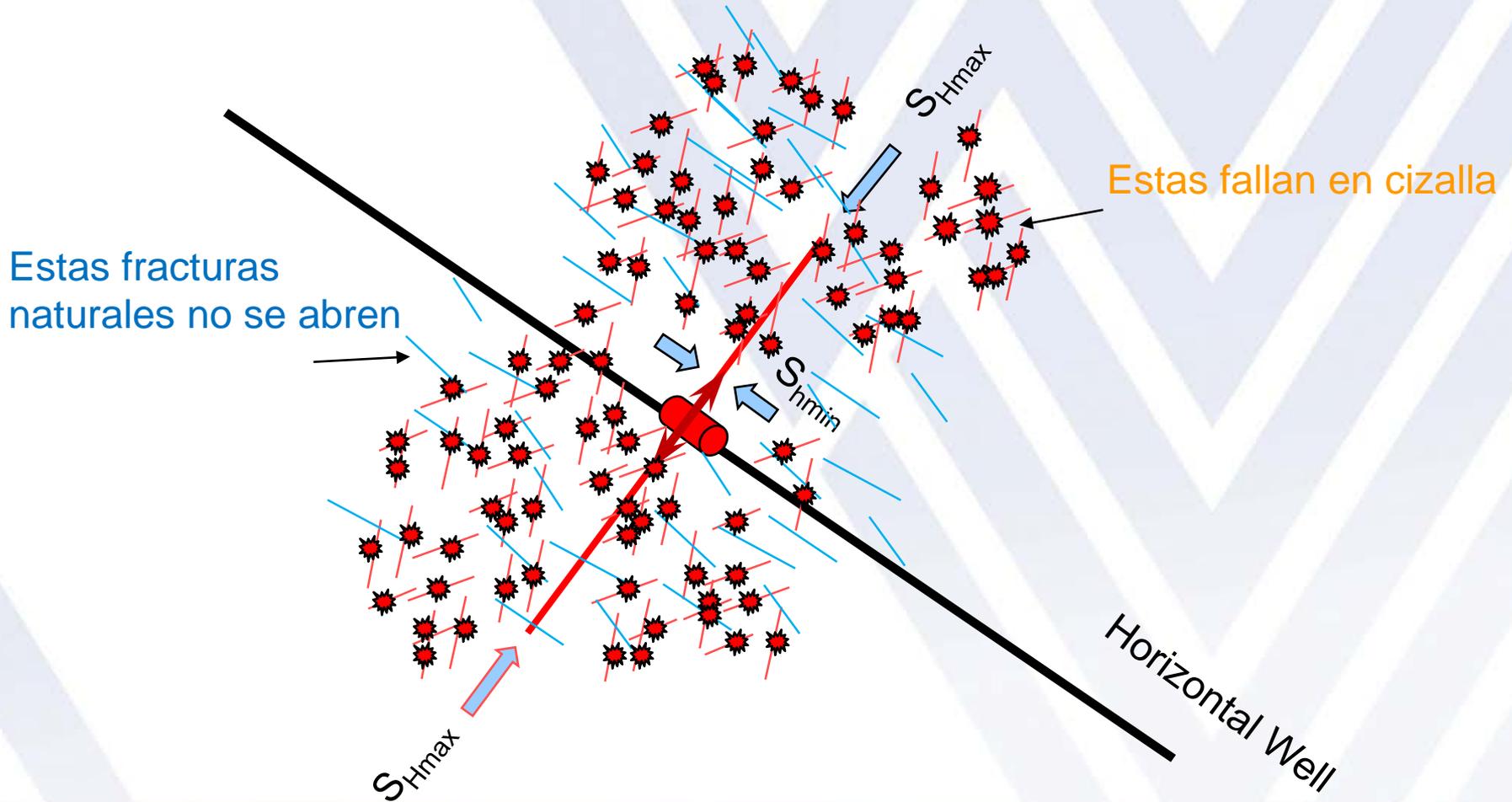
# Información importante: orientación de las fracturas naturales, orientación de los esfuerzos y presión del fluido



# Fracturación hidráulica

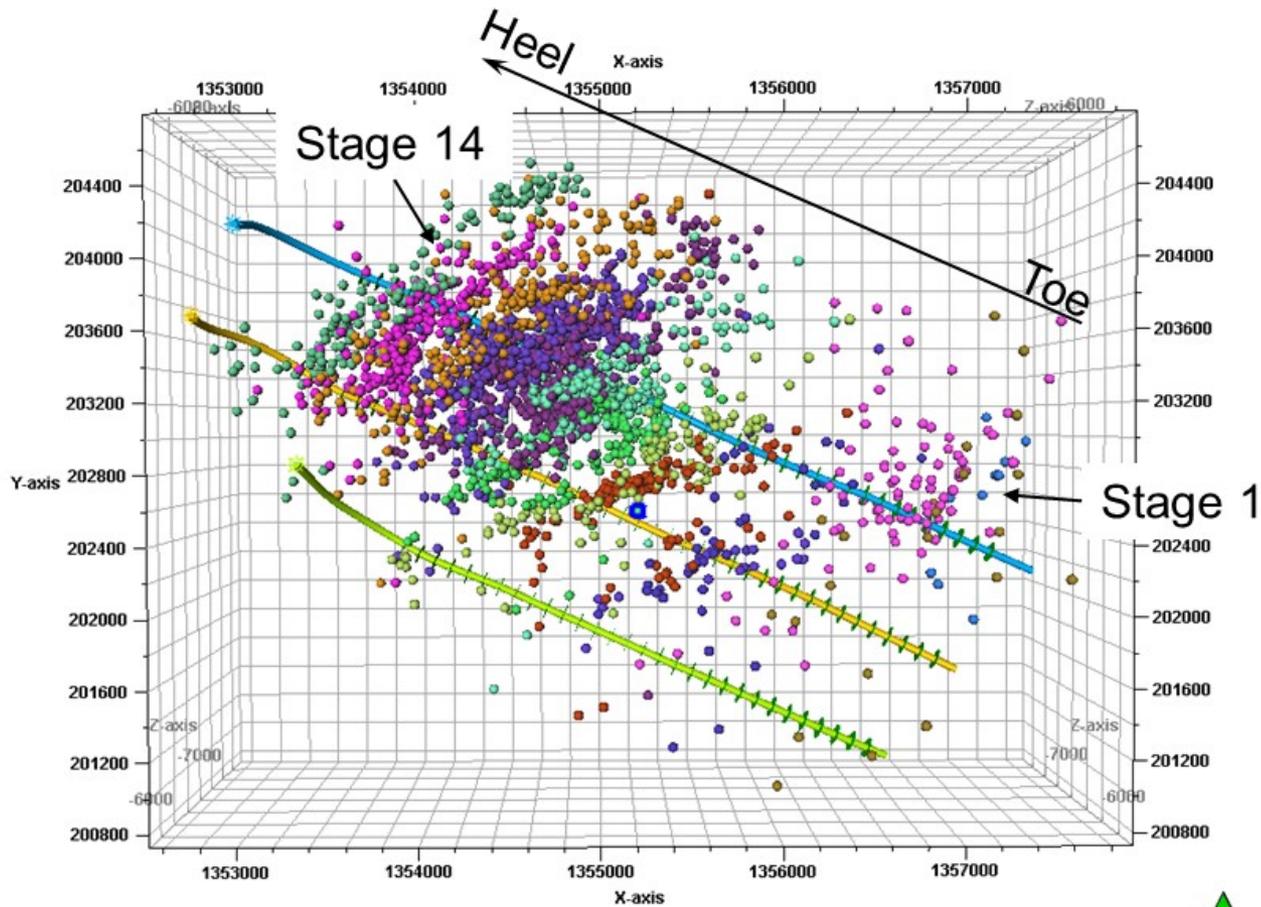


# VI. Los eventos microsismicos se asocian con cizallas

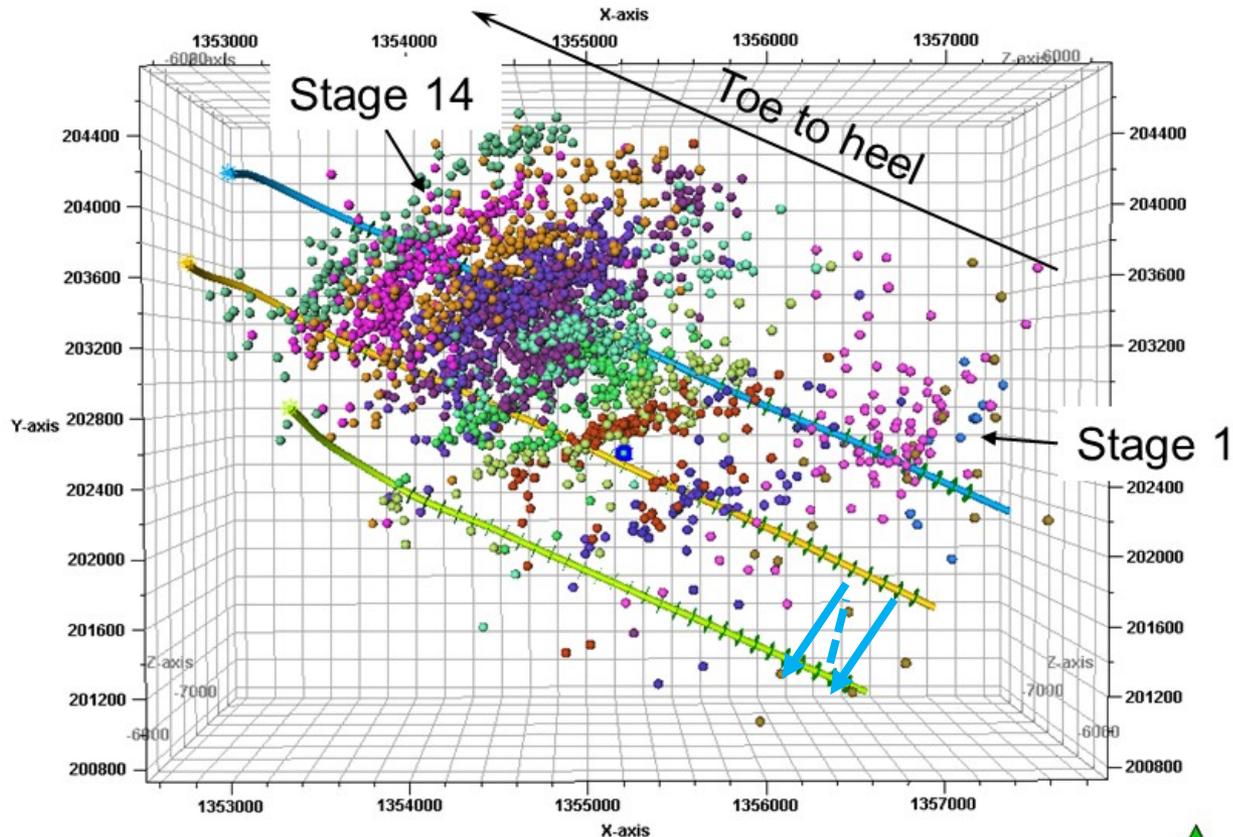


# Eventos microsismicos en el Pozo 1

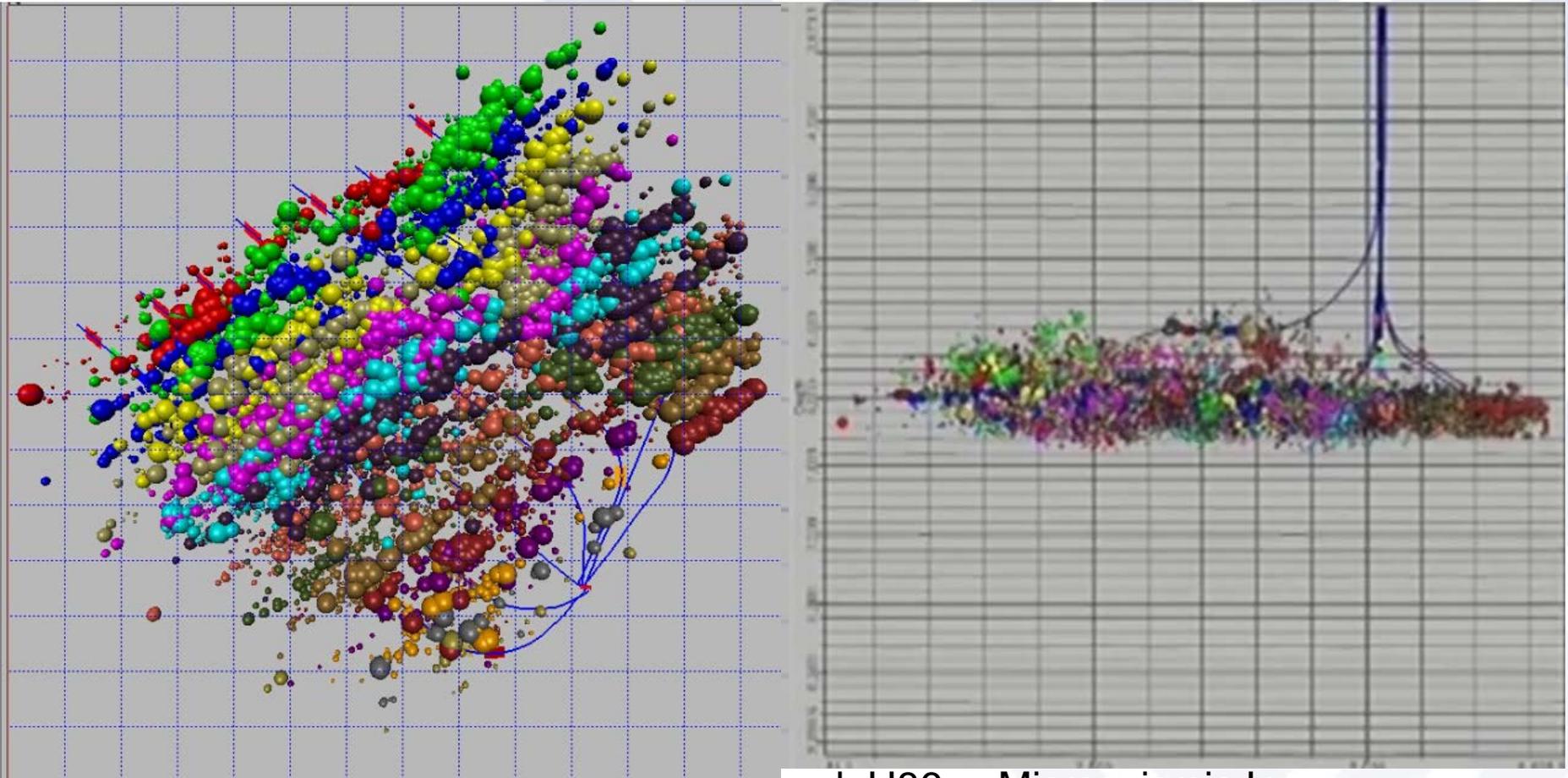
## Cada color es una etapa



# El tratamiento se puede hacer en cada pozo o alternando entre pozos: “zipper frac”



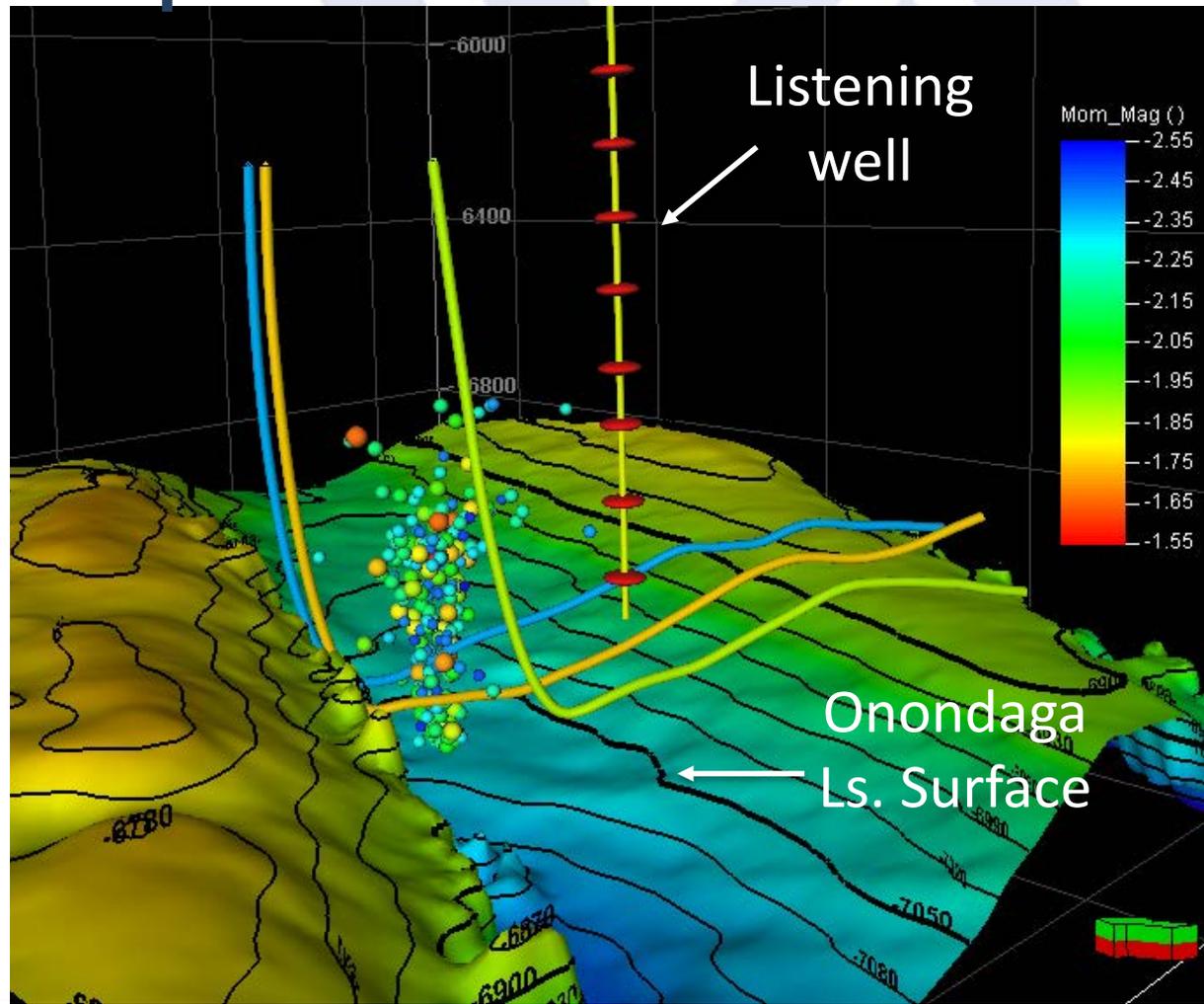
# El “zipper frac” facilita habrir las fracturas del pozo vecino



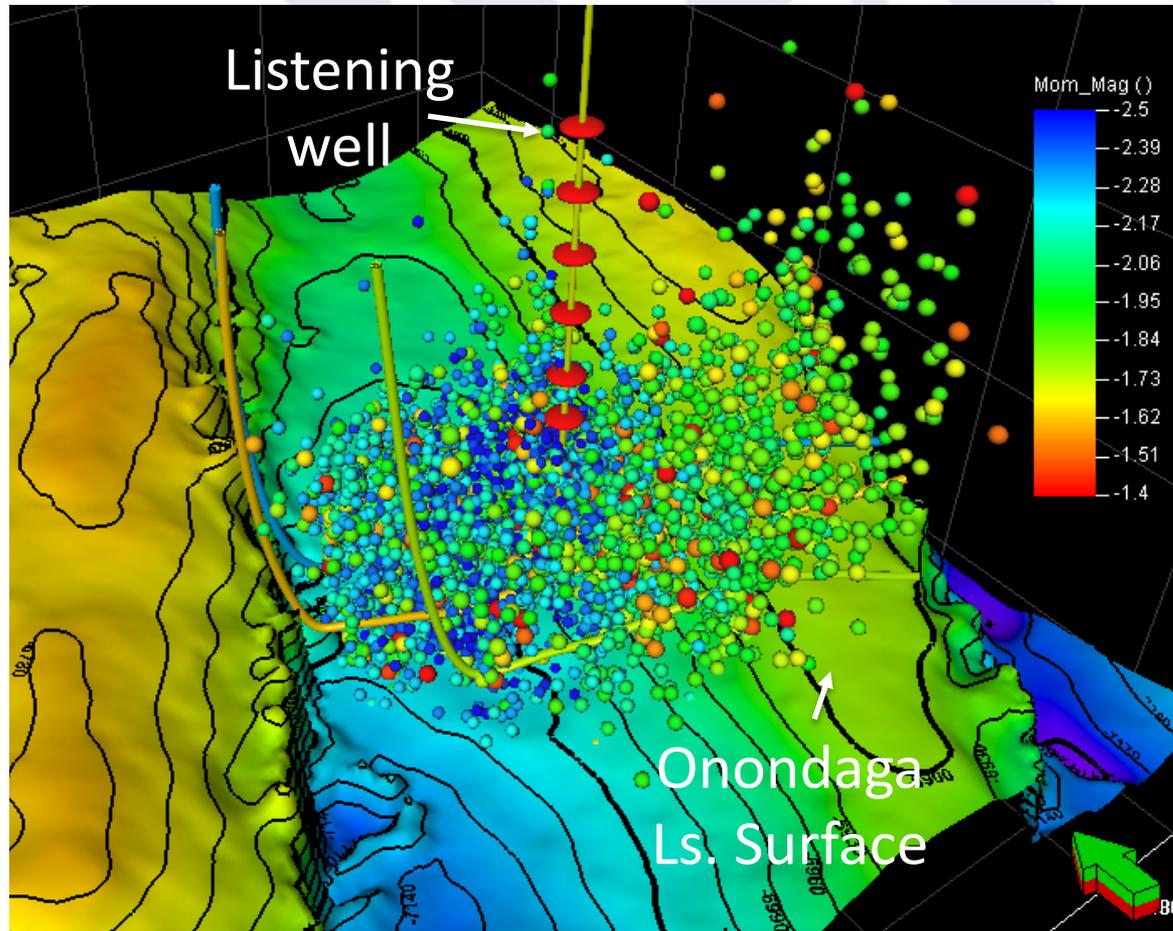
[https://www.youtube.com/watch?v=zLgmleH86\\_s](https://www.youtube.com/watch?v=zLgmleH86_s) Microseismic Inc



# Geophone sensor locations



# Events from three wells



Magnitude varies from about -2.5 to -1.4



# Magnitud Sismica y Energia Equivalente

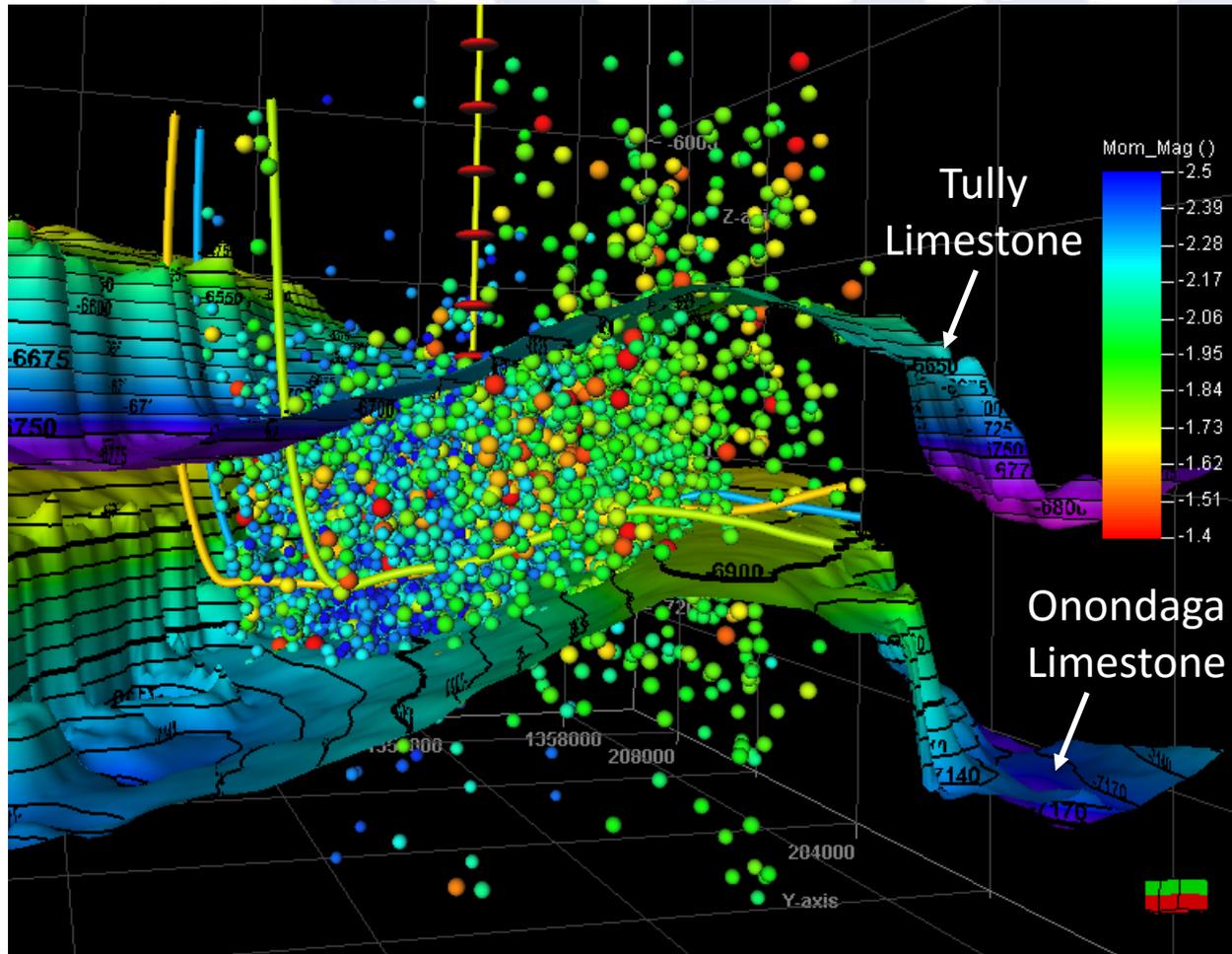
Magnitud -2.25 es la energia producida al dejar caer un gallon de agua desde un metro de altura

Moment Magnitude	Energy Release (kJ)	Energy Equivalent
-4	0.00006241	key press on keyboard
-3.5	0.00035138	heartbeat
-3	0.00197829	dropping an apple 6 ft
-2.5	0.01113778	air gun/bb gun
-2	0.06270569	powerful sling shot
-1.5	0.35303305	Firecracker
-1	1.98757607	home-run hit
-0.5	11.19005329	.50 caliber rifle
0	63.00000000	15 grams of TNT
0.5	355.00000000	35 mph car crash
1	1998.65000000	stick of dynamite
1.5	11252.39950000	WWII conventional bomb
2	63351.00918500	Quarry Blast
2.5	356666.18171155	lightning bolt
3	2008030.60303603	15 gallons of gasoline

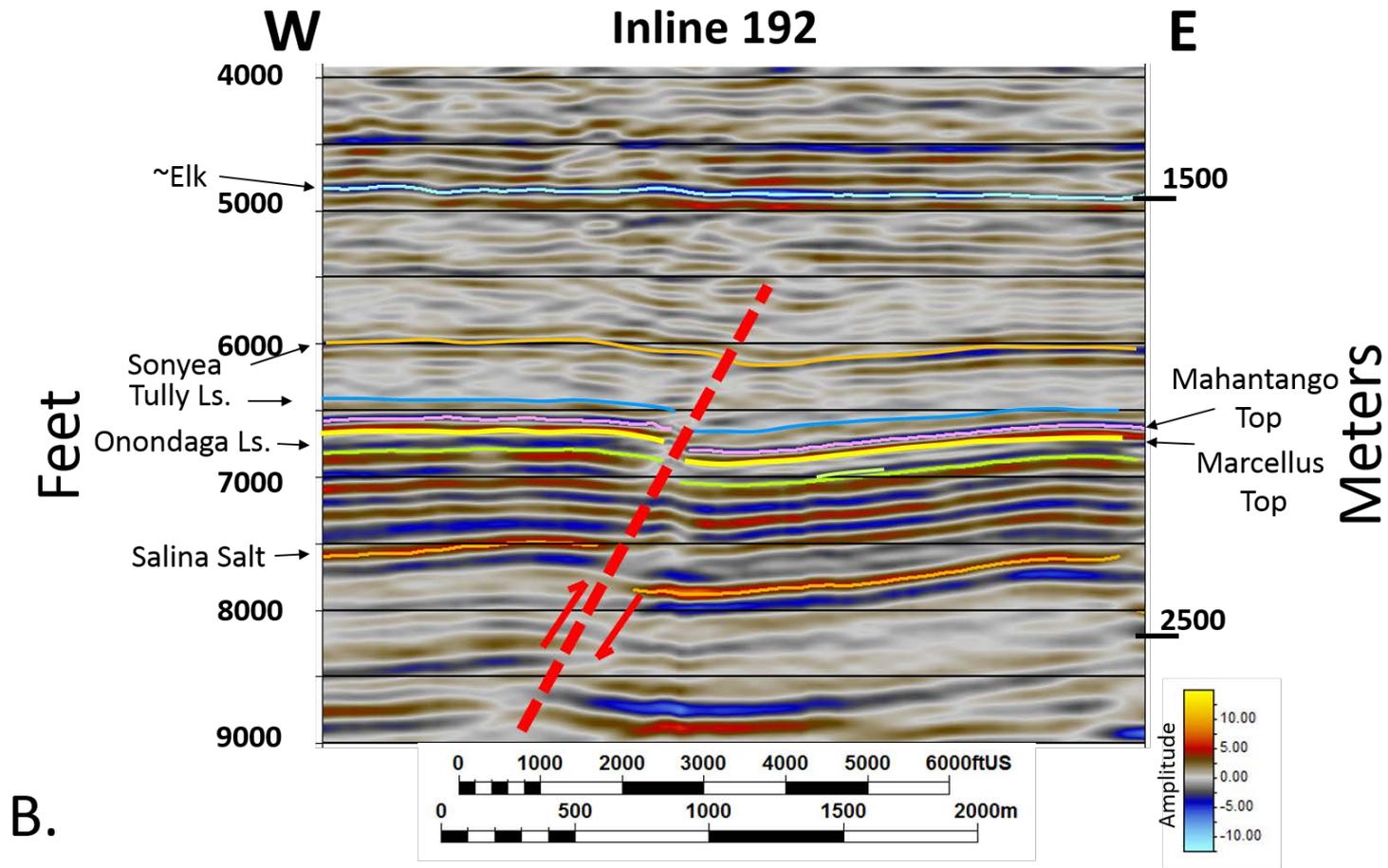
**Microseismic Range:**  
.5 to -4



# Events are largely confined between frac barriers



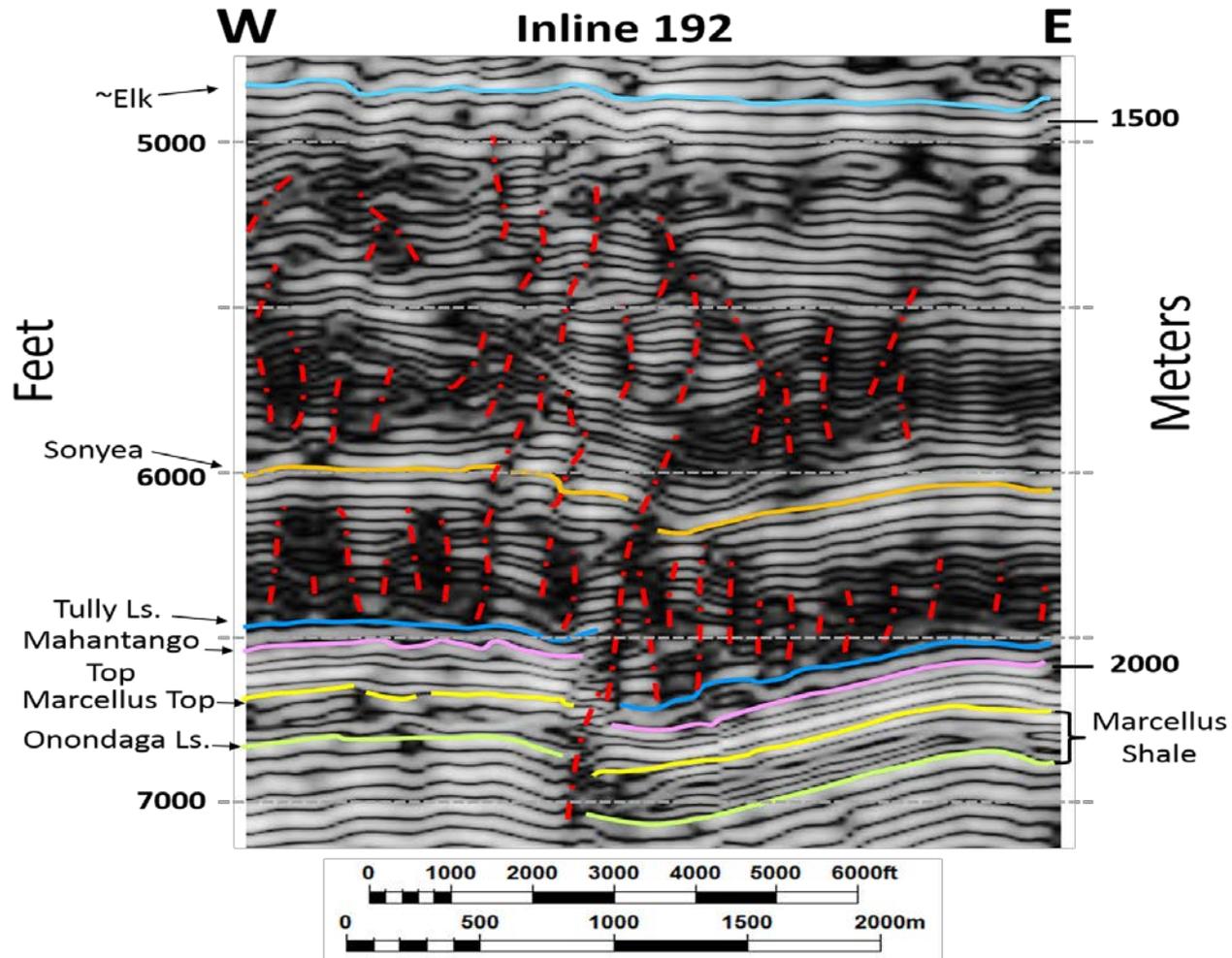
# VII. Unveiling subsurface faults and fracture zones in 3D seismic using post-stack processing



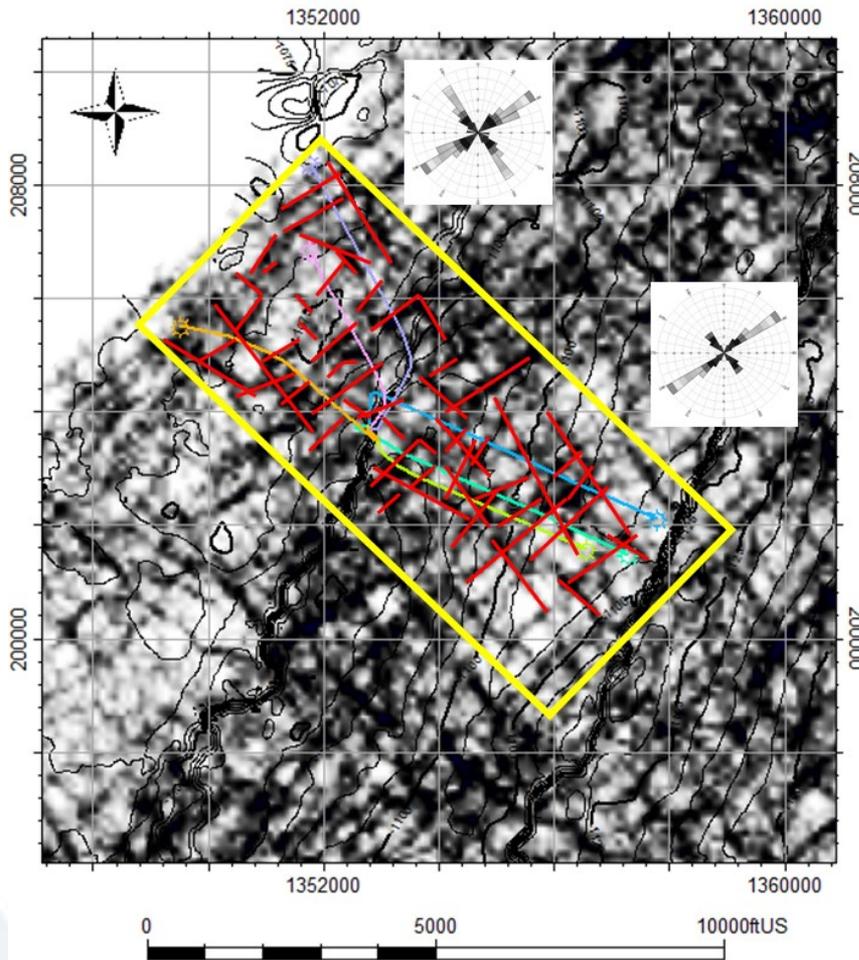
B.



# Time variant trace amplitude slice view



Mapa muestra discontinuidades sismicas.  
Que dicen del reservorio?

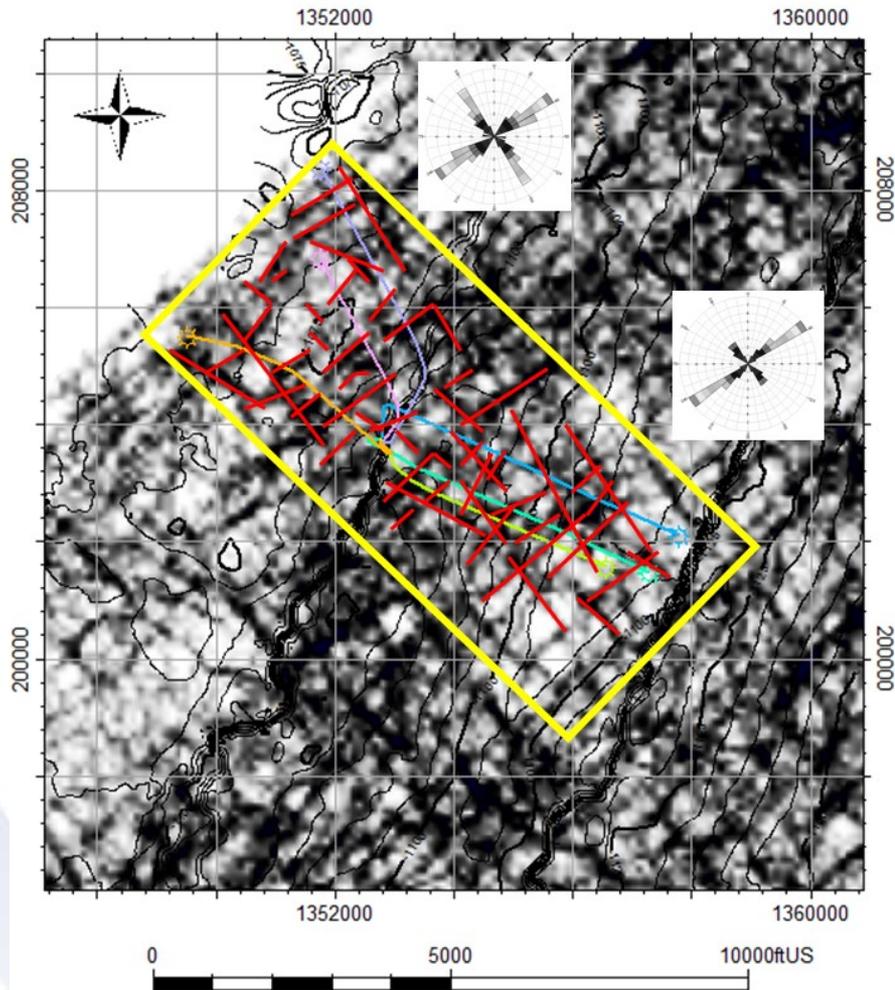


## Base del Marcellus

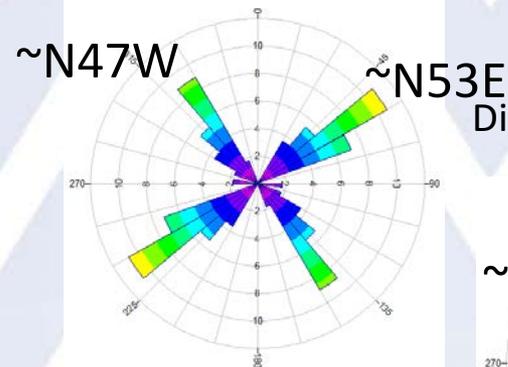
Las discontinuidades se deben a antiguas fallas. Estas pueden re-activarse durante la estimulación hidraulica.



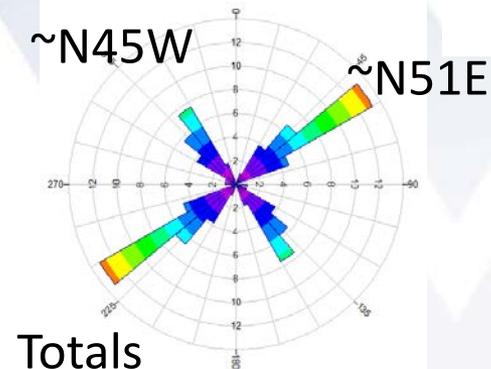
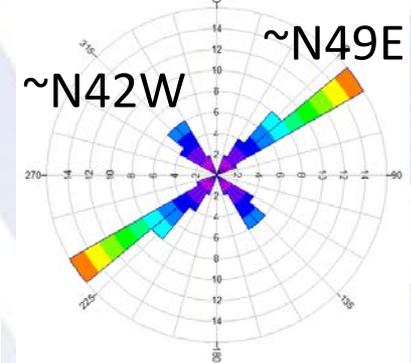
# Hay dos direcciones preferenciales de fracturas en esta area



Discontinuities trends  
interpreted northwest laterals



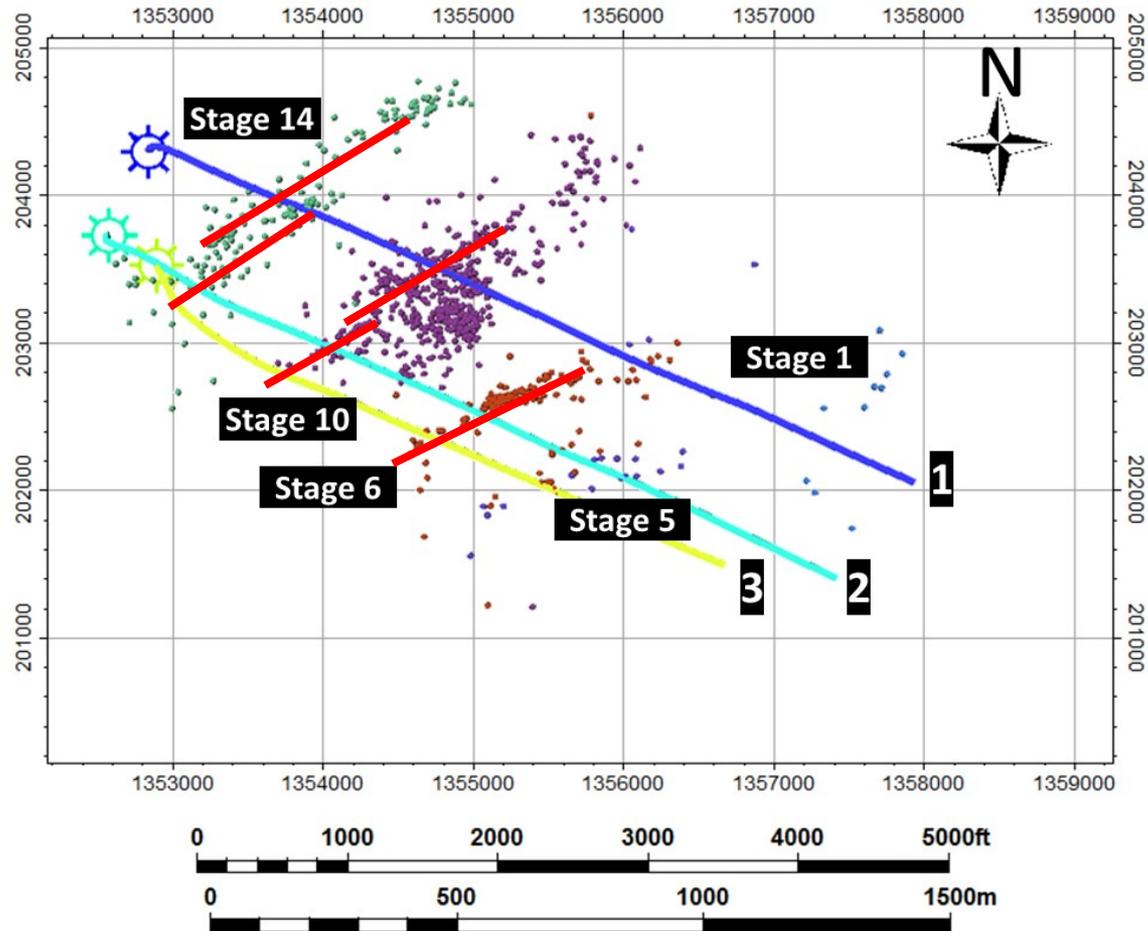
Discontinuities trends  
southeast laterals



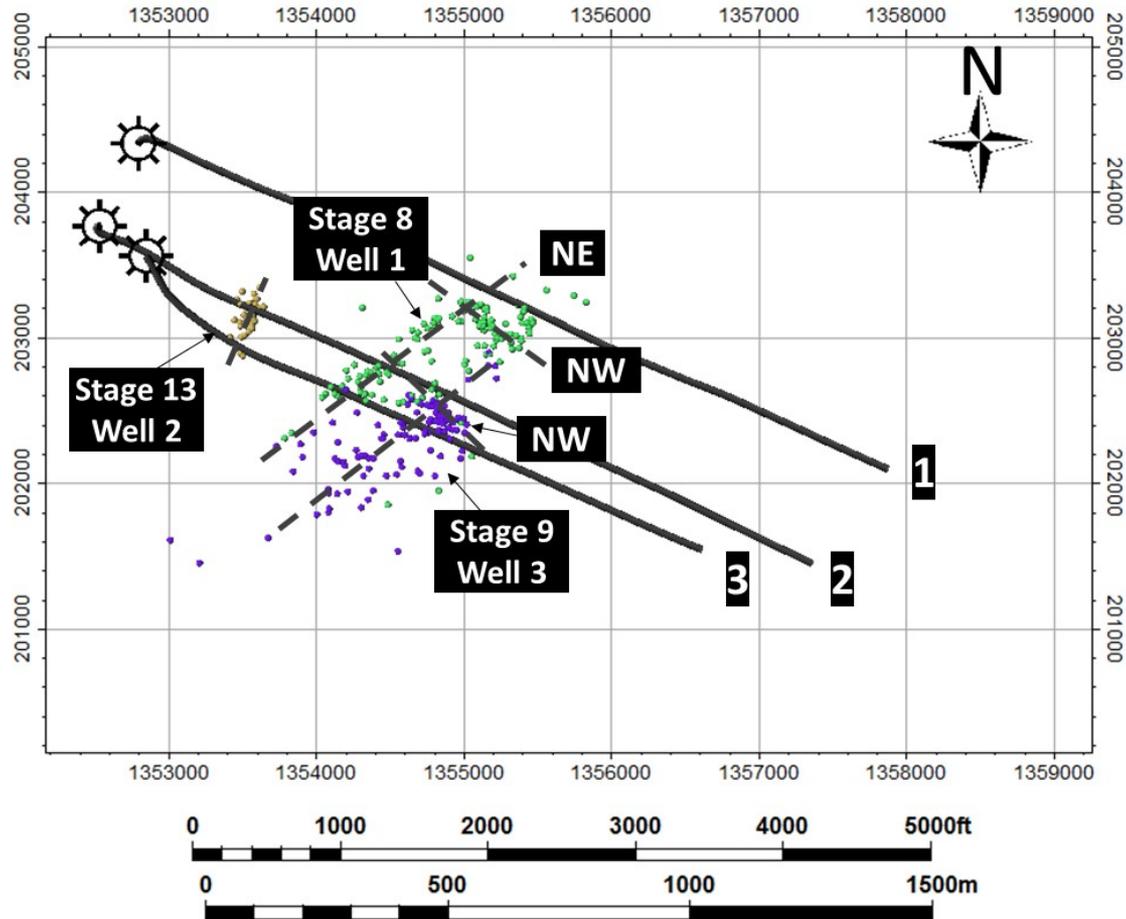
Totals



# VIII. Orientacion de los eventos microsismicos

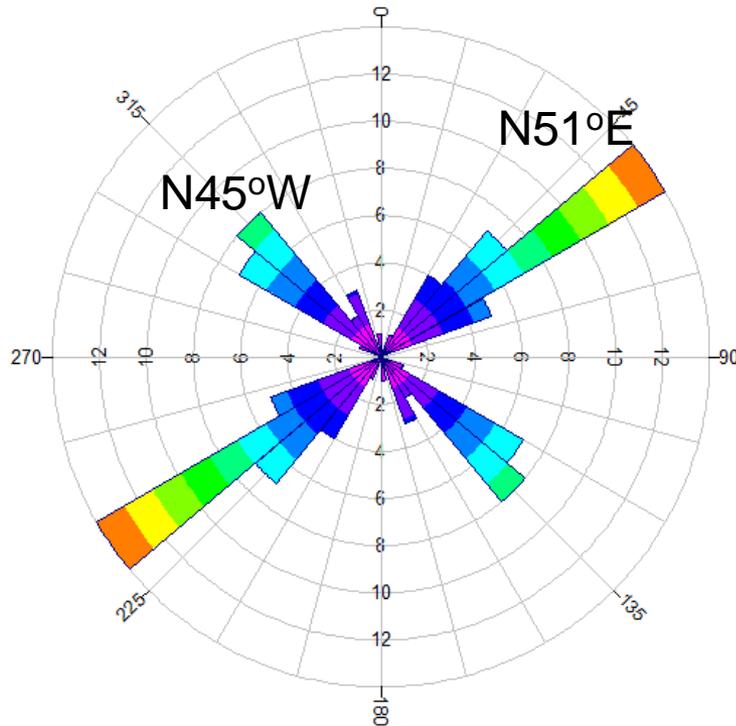


# Orientacion de los eventos microsismicos

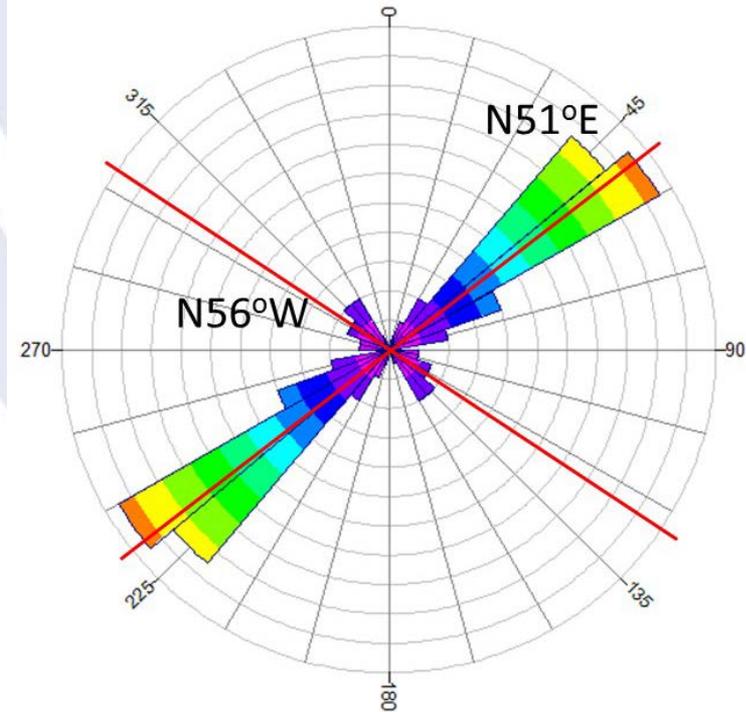


# IX. Comparacion de microsismos con las discontinuidades

Interpreted discontinuity trends



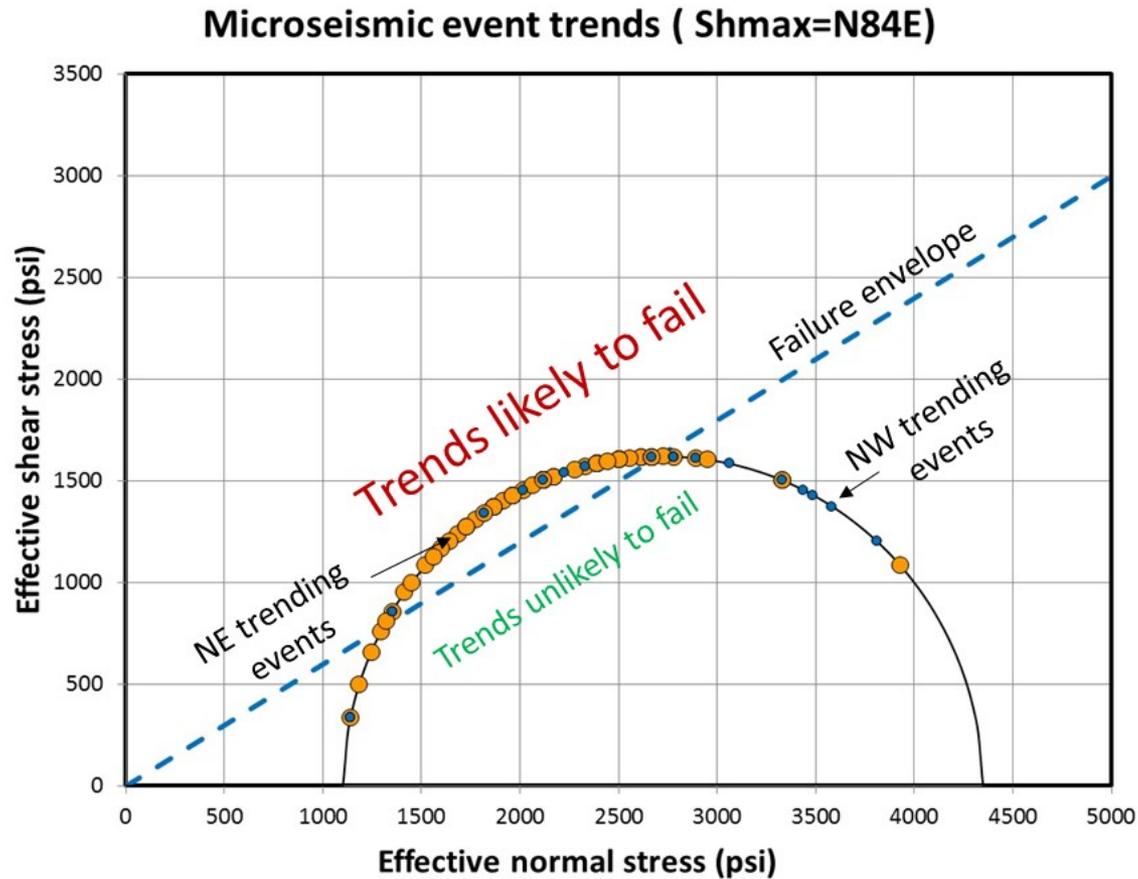
Interpreted microseismic event trends



El parecido entre la orientacion de discontinuidades sismicas y la orientacion de grupos de microsismos demuestra la reactivacion de pequeñas fracturas durante la estimulación hidraulica

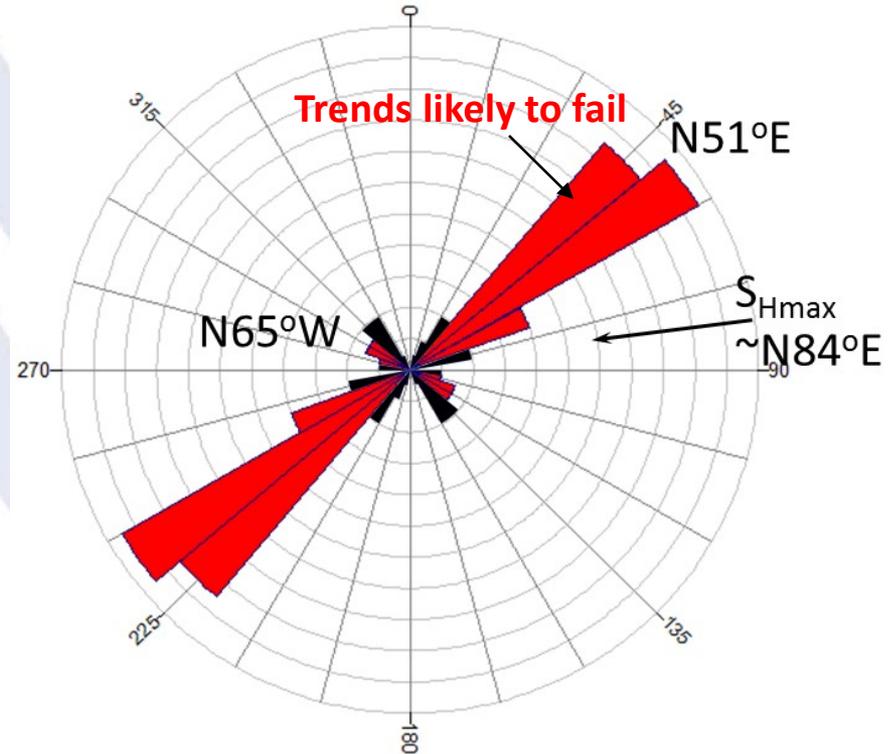
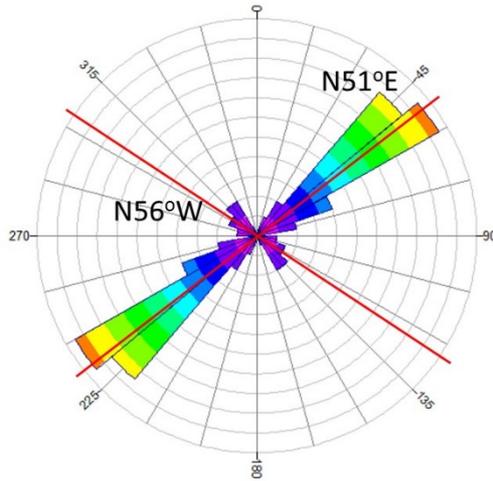


# El criterio de fractura nos muestra las orientaciones que pueden reactivarse

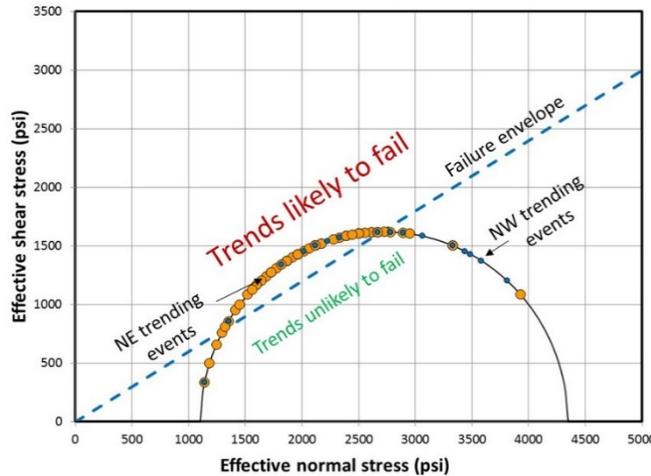


# Evaluación de la orientación de grupos de eventos microsísmicos

Interpreted microseismic event trends



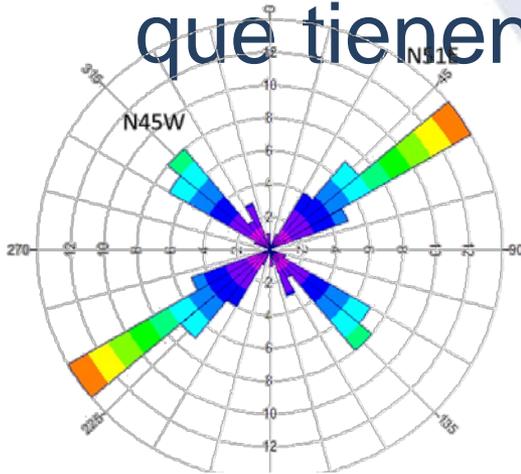
Microseismic event trends ( SHmax=N84E)



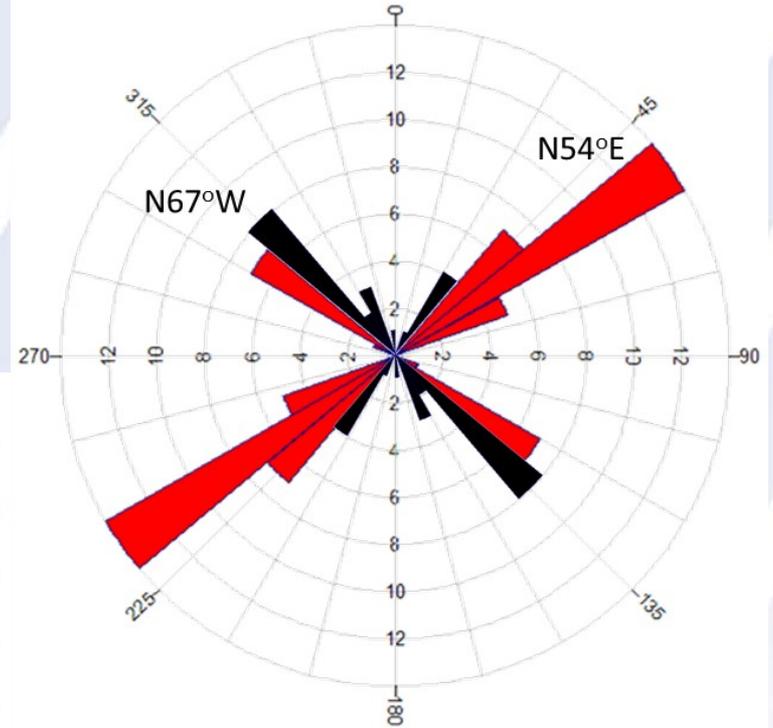
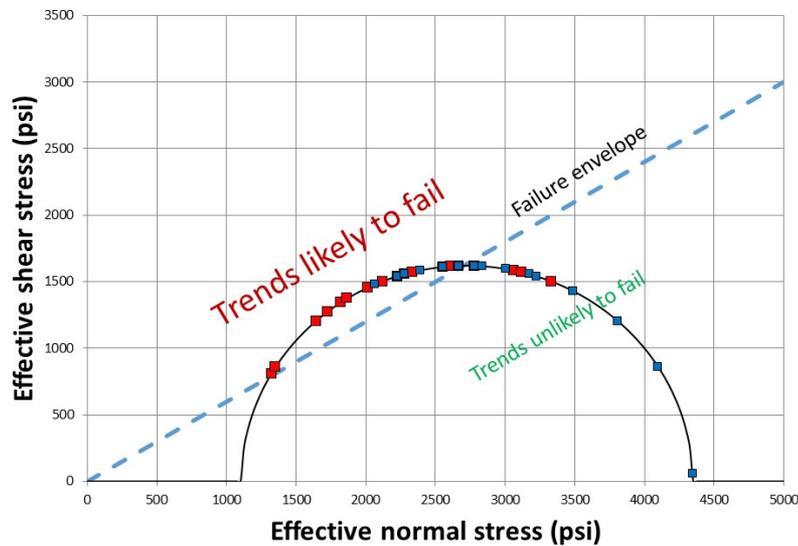
Se usan las orientaciones mas probables de fallas para crear el sistema de fracturas discretas



# Orientacion de discontinuidades sismicas que tienen mayor probabilidad de fallar

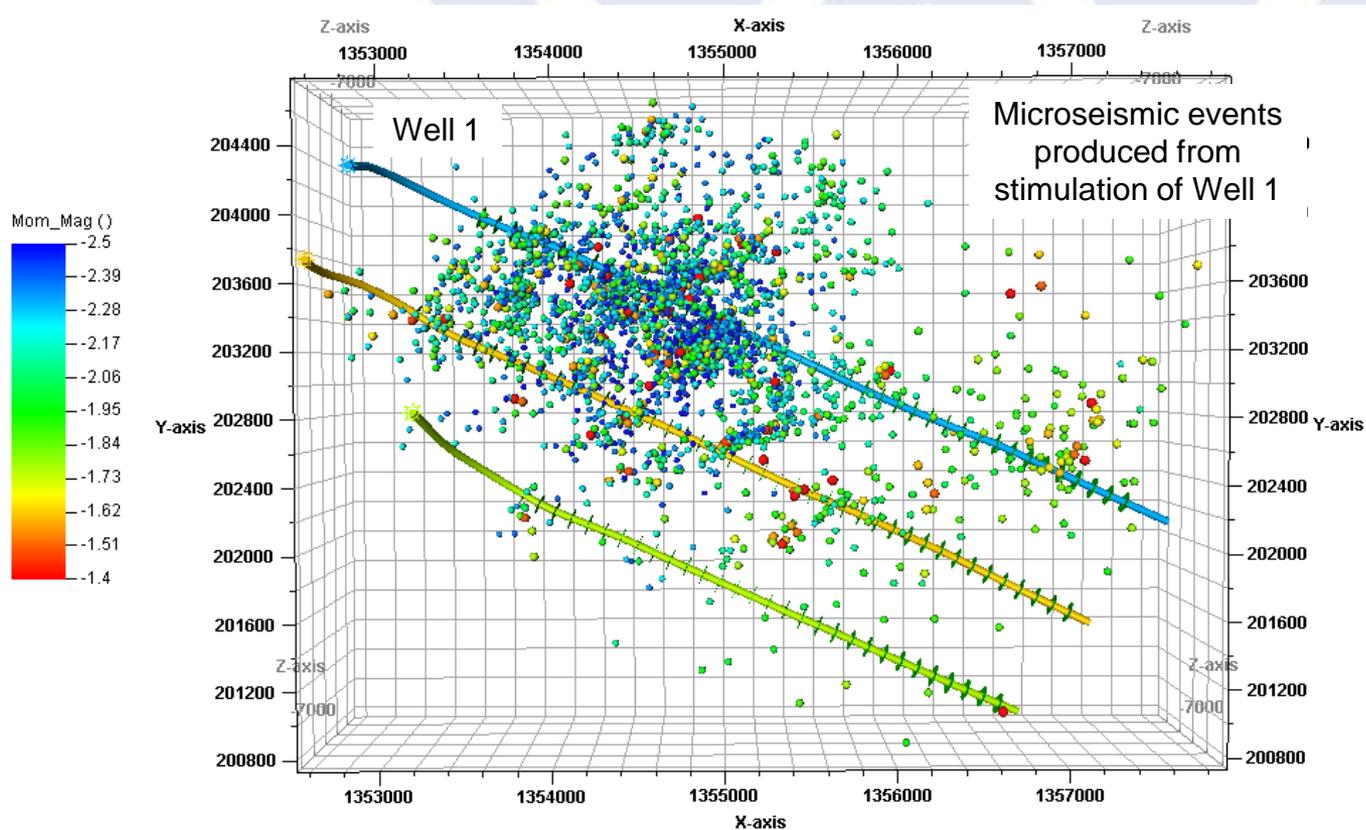


Seismic discontinuities (SHmax = N84E)



# X. Volumen de reservorio estimulado (SRV)

Los microsismos muestran el volumen estimulado



# Estimacion del numero de eventos en el volumen (“dots in the box”)

Orientation

Strike:  deg  Fix strike

Dip:  deg

Outliers filter

Filter method:  ?

Dimension

Half length L1:  ft

L2:  ft

Half height H1:  ft

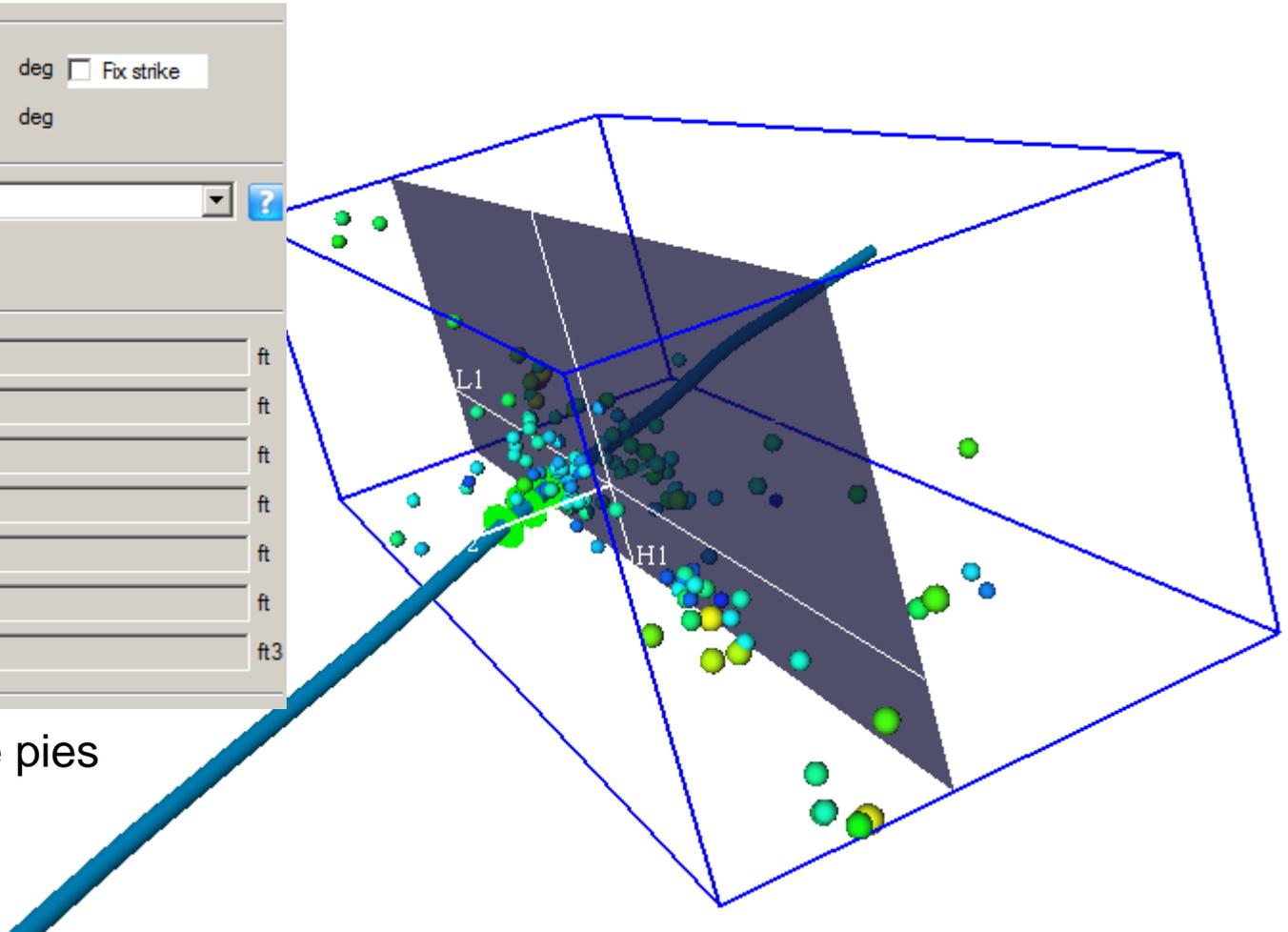
H2:  ft

Half width W1:  ft

W2:  ft

Volume:  ft<sup>3</sup>

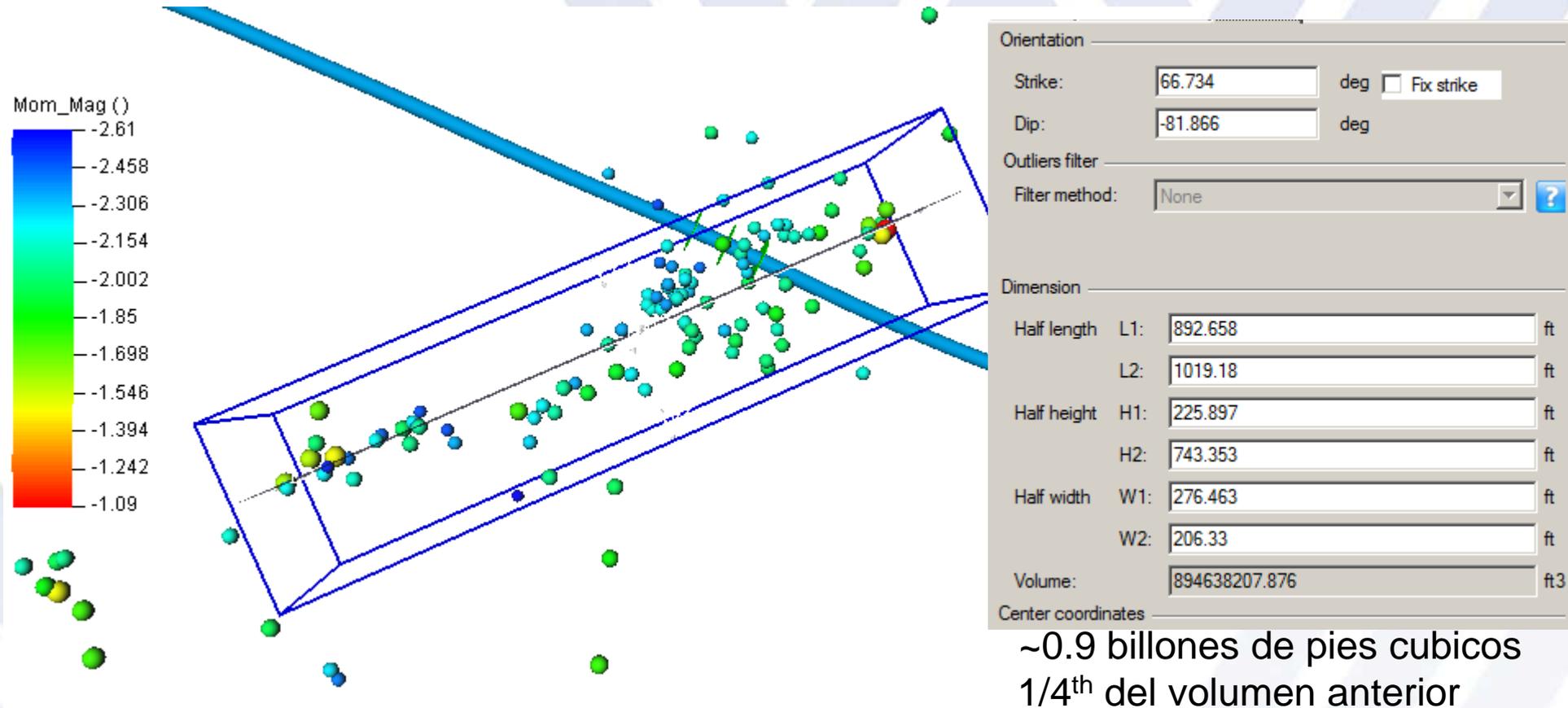
Center coordinates



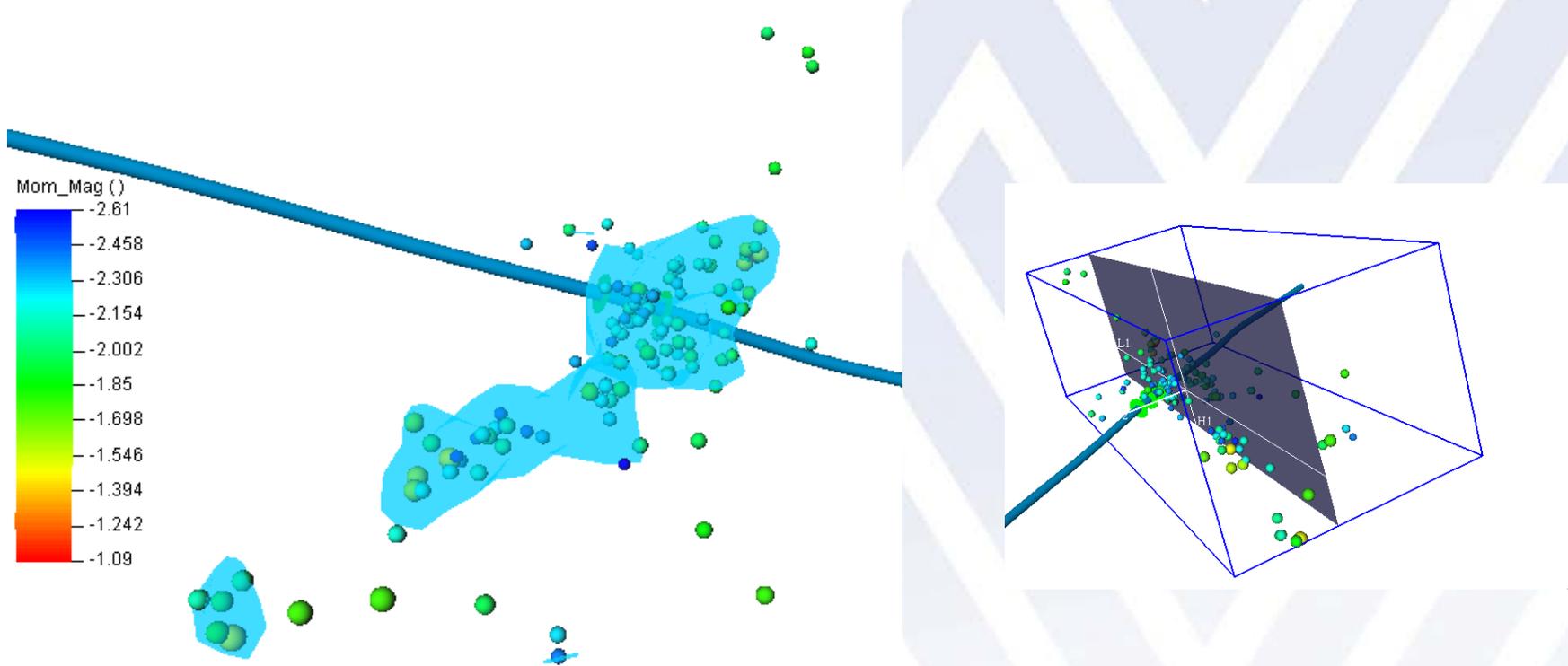
3.7 billions de pies cubicos



# Reduciendo el volumen se puede incluir mayor densidad de sismos



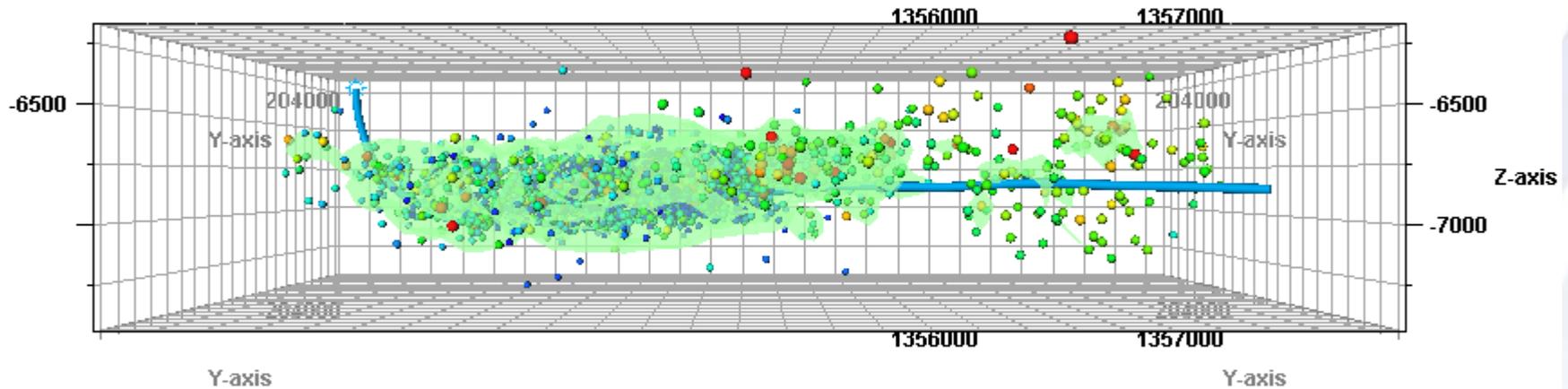
# Voumen estimado “retractilado” (shrink wrapped)



0.2 billones de pies cubicos, 1/19 de lo estimado inicialmente.



# Usando el metodo “retractilado” obtenemos ~1.9Bcf para todo el pozo



El volumen estimulado calculado con este metodo para todo el pozo es  $\frac{1}{2}$  del volume de **una sola etapa** de fracturacion calculada con “dots in a box”



# Calculo de volumen fracturado usando la Energia Sismica. Energia es directamente proporcional al area de falla

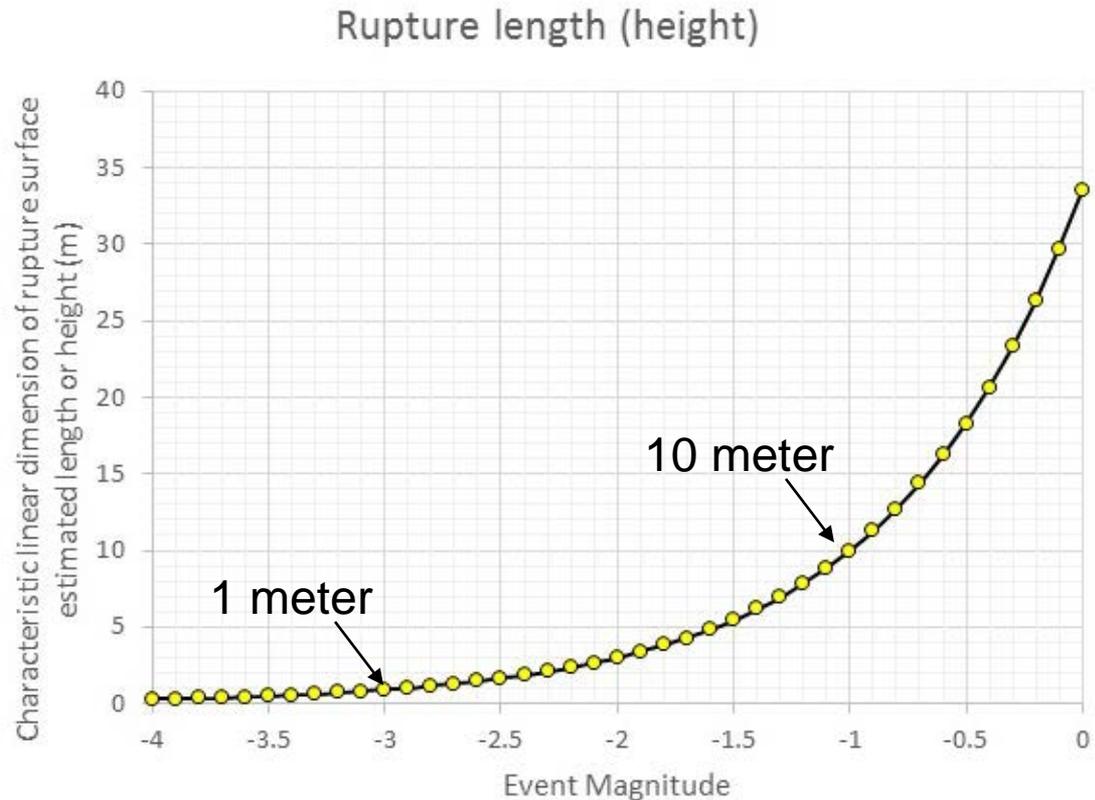
$$\log E_{\text{oneevent}} = 1.5M_{\text{thatevent}} + 4.8$$

$$E = 63096 * 10^{1.5M}$$

$$\log A = 1.05M - 2.95$$

$$A = 1122.02 (10^{1.05M})$$

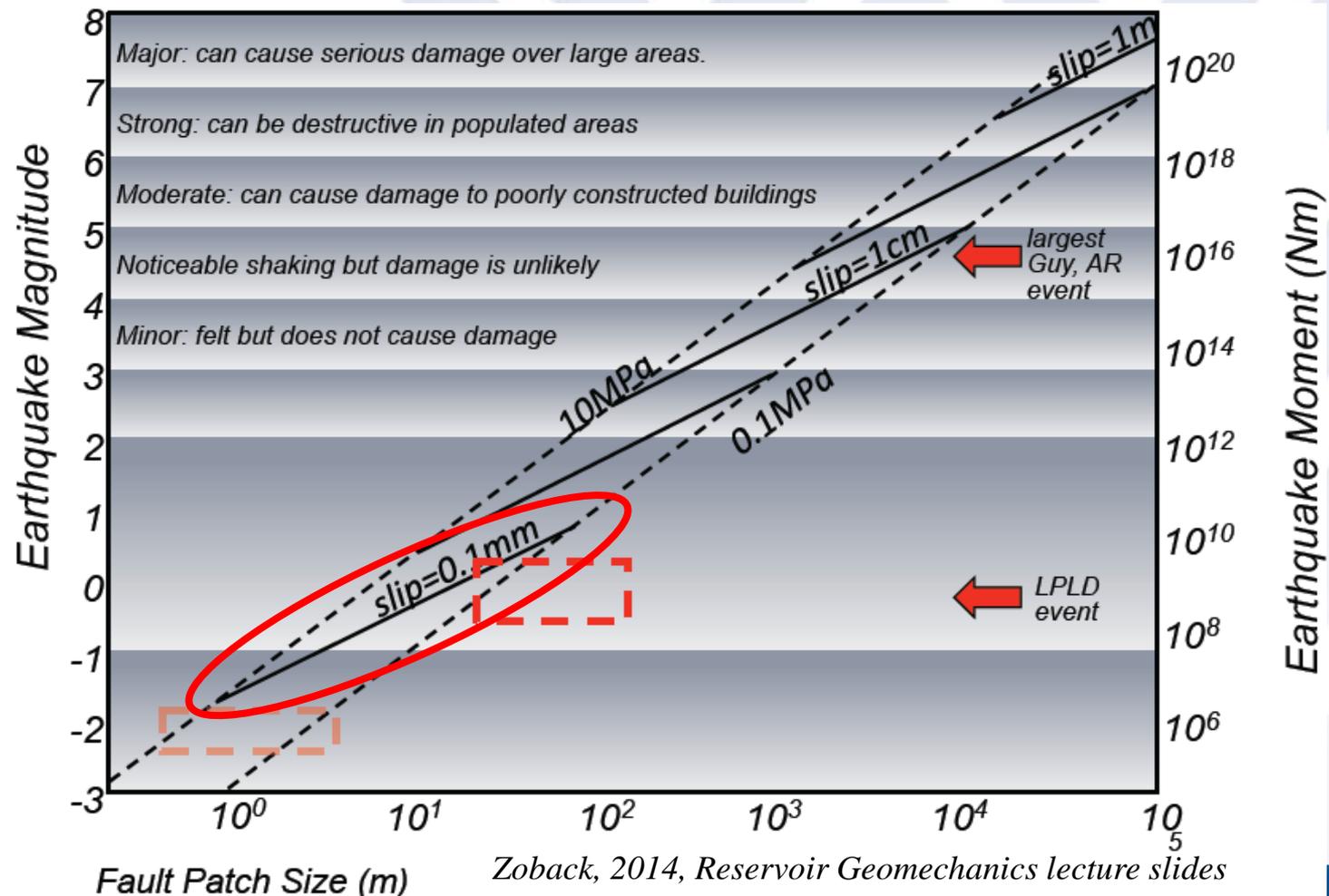
Energy in  
Joules and  
area in m<sup>2</sup>



Characteristic linear dimension  $\sim \sqrt{\text{fracture area}}$

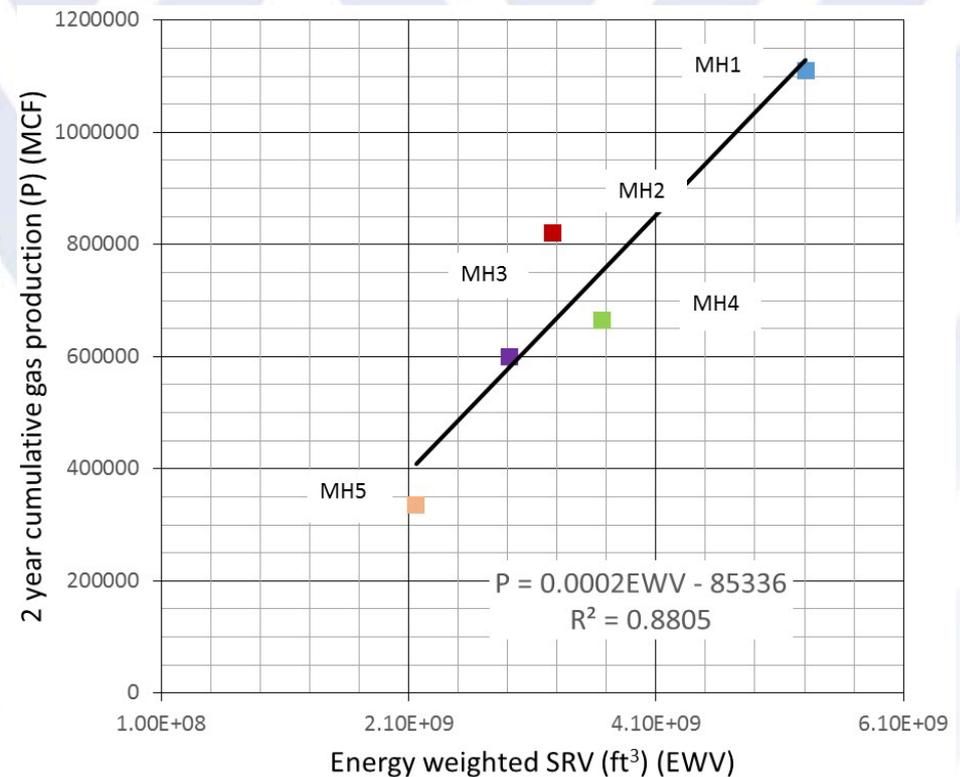
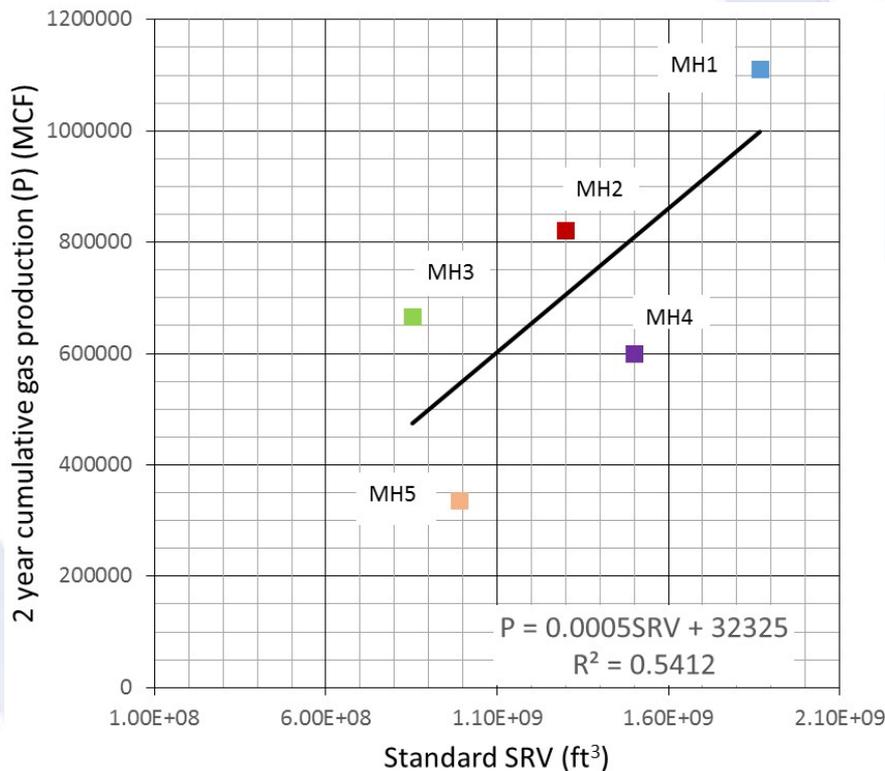


# Relacion entre magnitud y area de falla

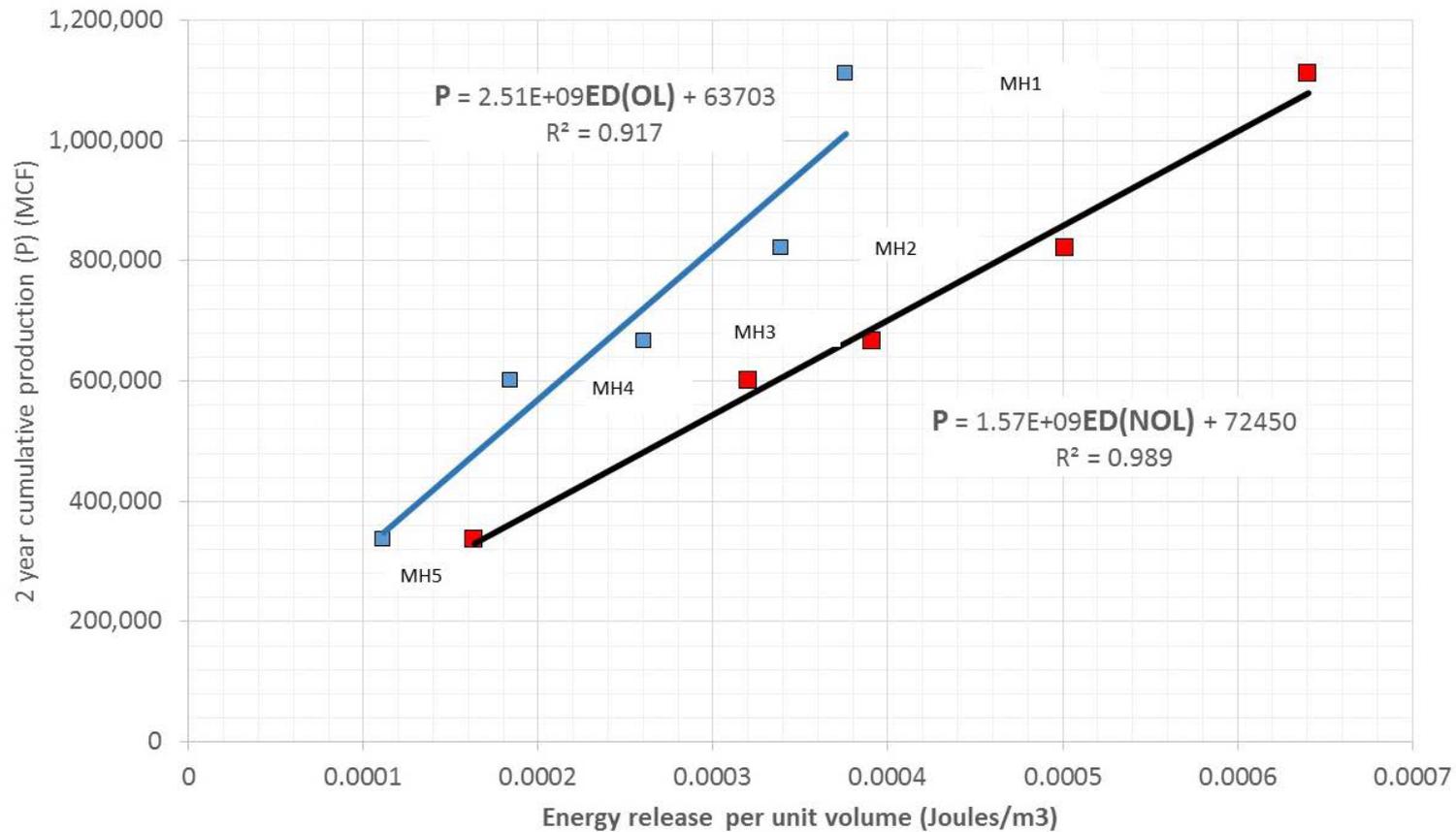


# Graficas basadas en **todos** los microsismos – incluyen eventos fuera del reservorio

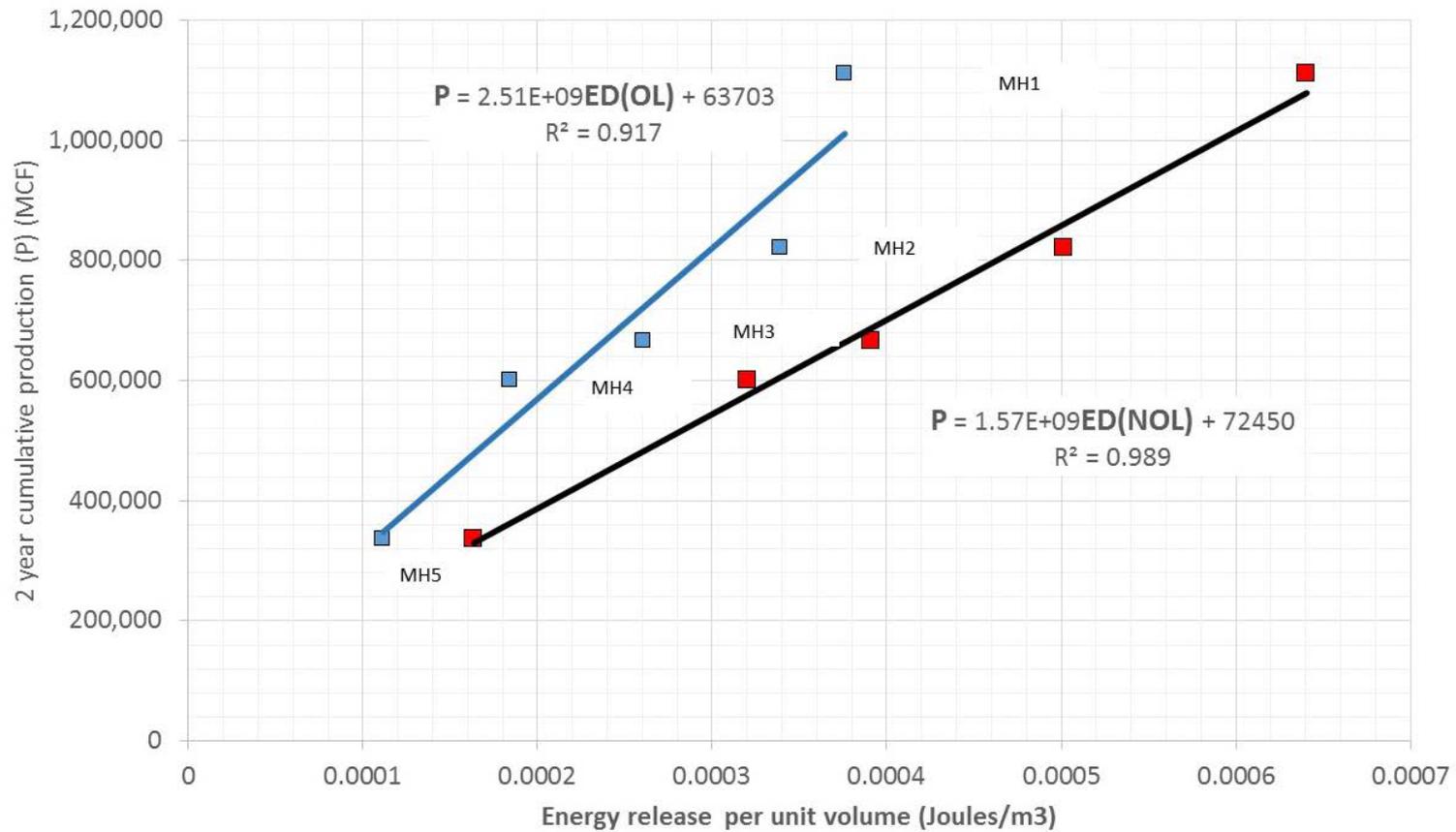
Volumen estimado usando la energia sismica es proporcional a la superficie de ruptura. La correlacion con la produccion de gas es mejor.



# Energia emitida por unidad de volumen depende del area total de ruptura



# Se puede predecir la producción de pozos en el futuro

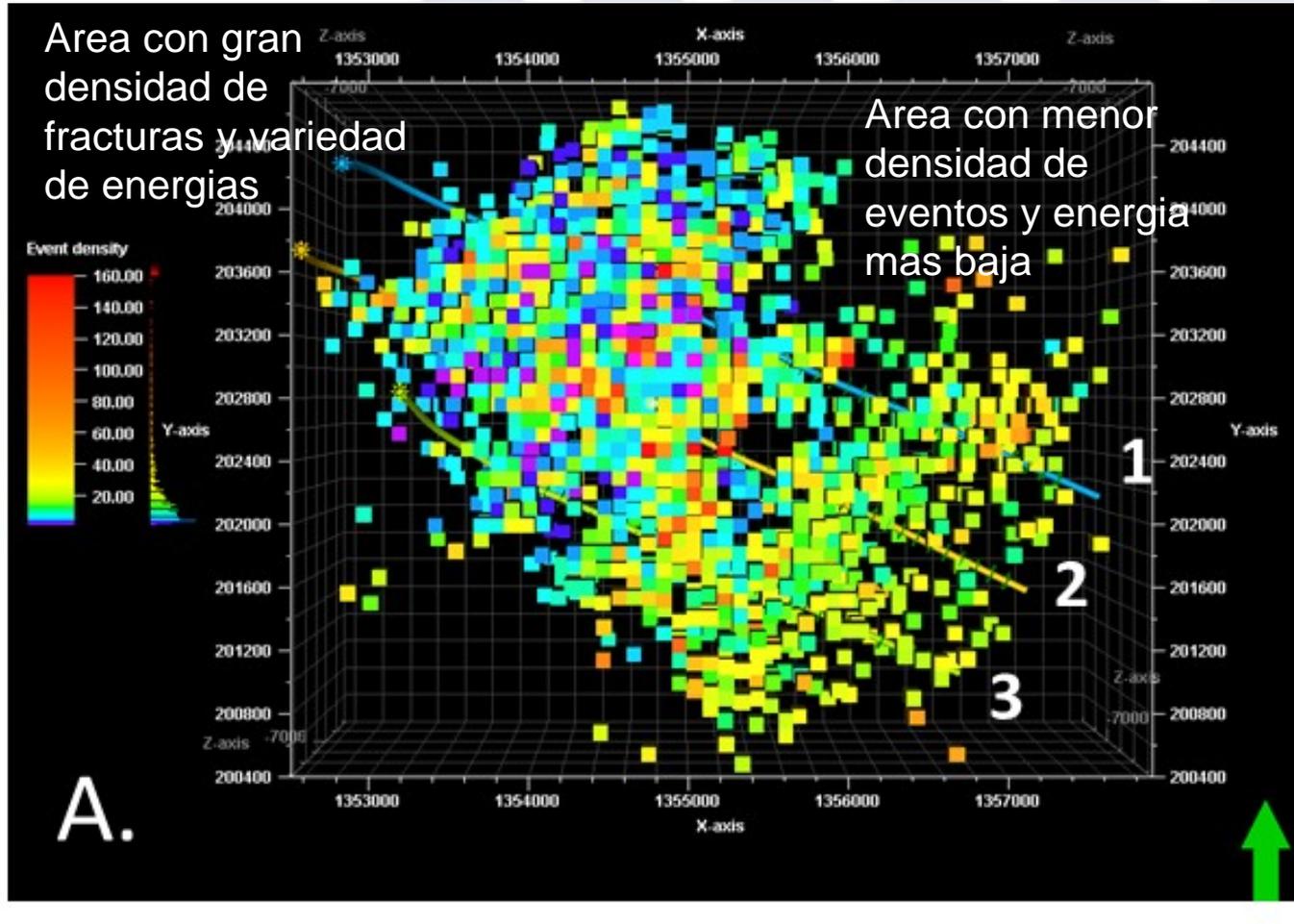


# XI. Modelamiento del Sistema de Fracturas Artificiales

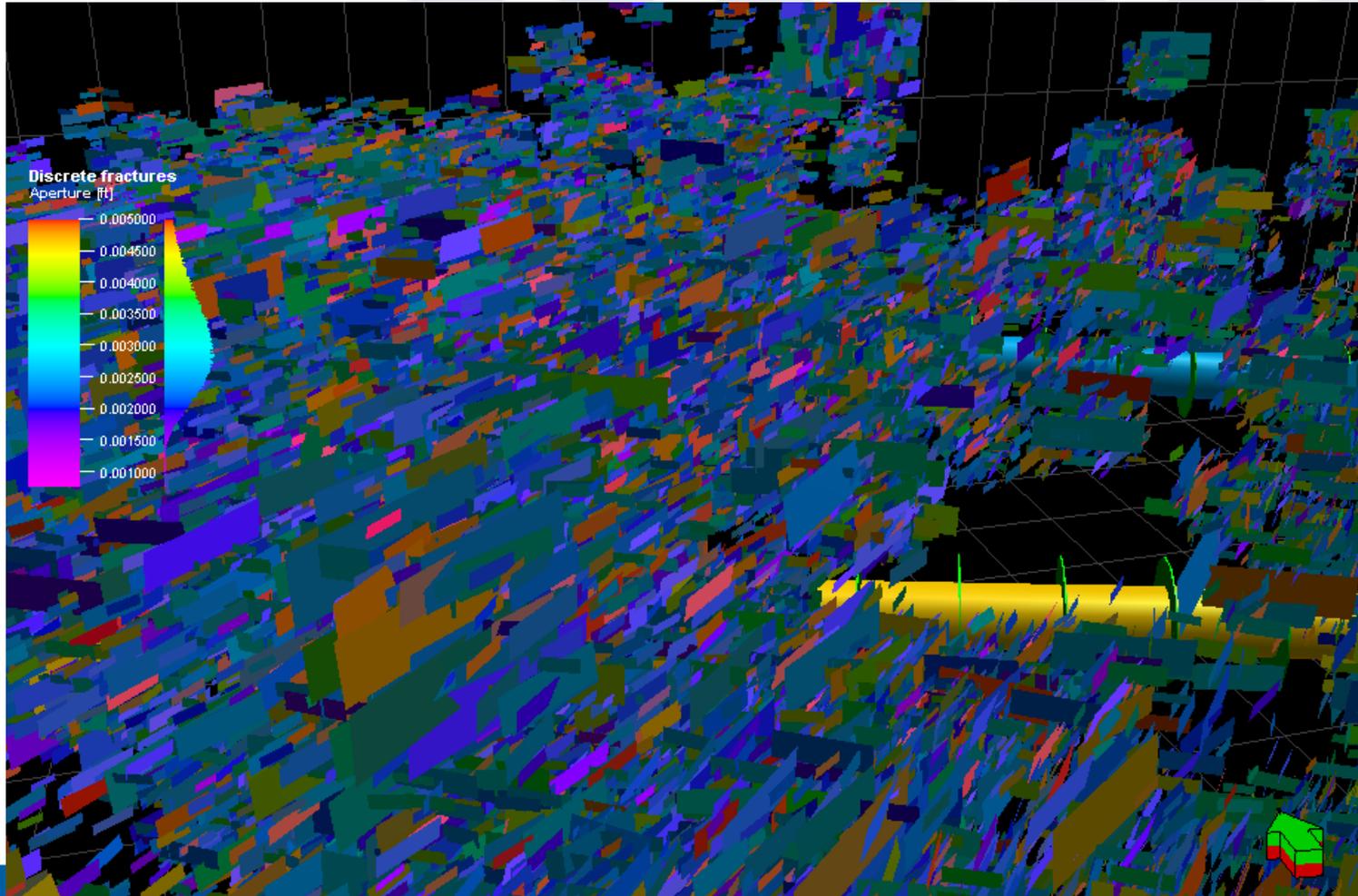
- Usamos la energía sísmica para determinar el área de fracturas creadas durante la estimulación hidráulica
- Las fracturas se distribuyen en el modelo DFN usando una cuadrícula ponderada con la energía sísmica
- Si no hay imágenes de registros (FMI), se usa la orientación de eventos microsísmicos con mayor probabilidad de ser fallados.
- La cuadrícula ponderada con la energía representa la densidad de fracturas
- Se hacen dos cuadrículas: cada una en proporción a su frecuencia



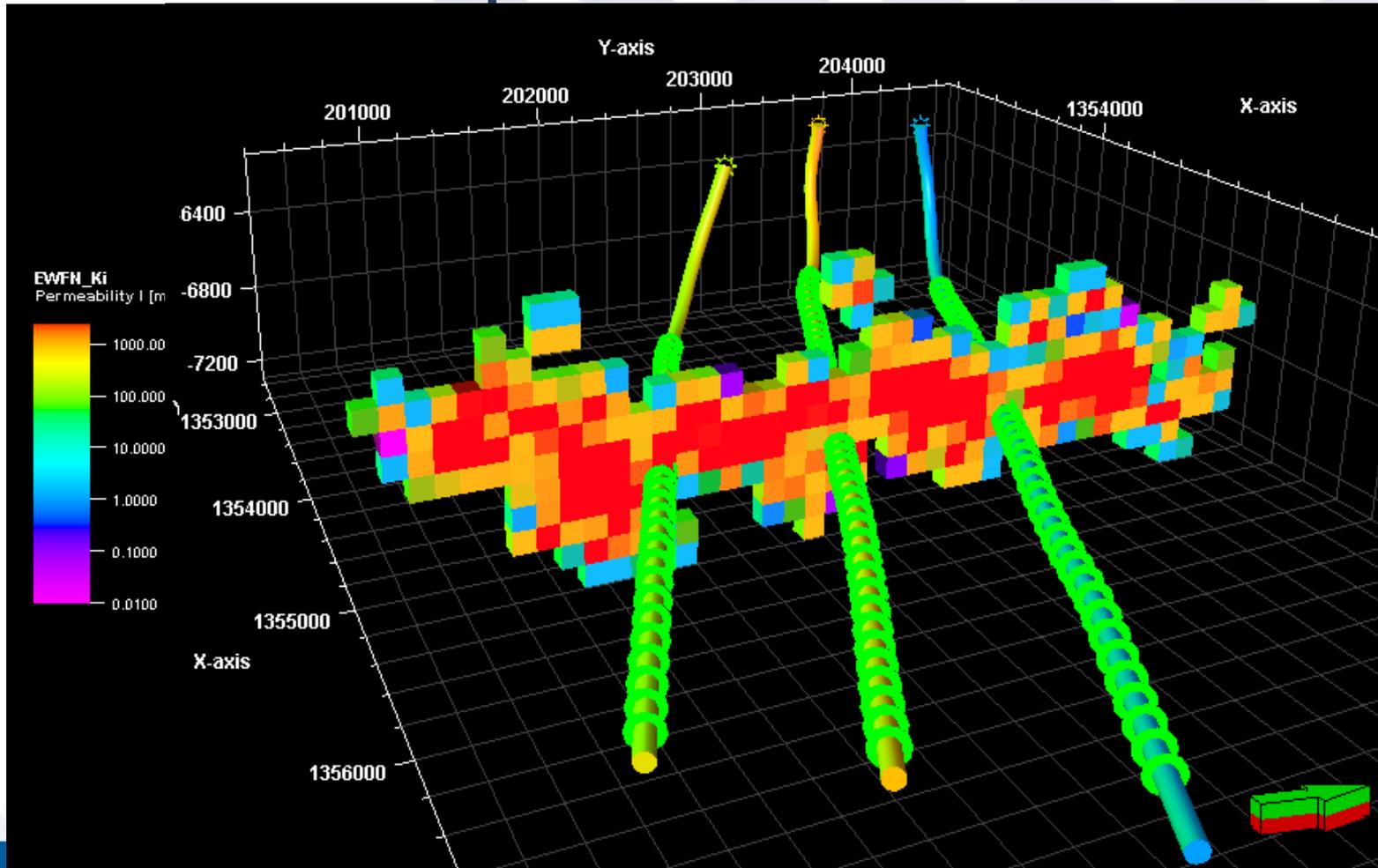
# Cuadrícula ponderada por la densidad de eventos se usa para controlar la densidad de fracturas



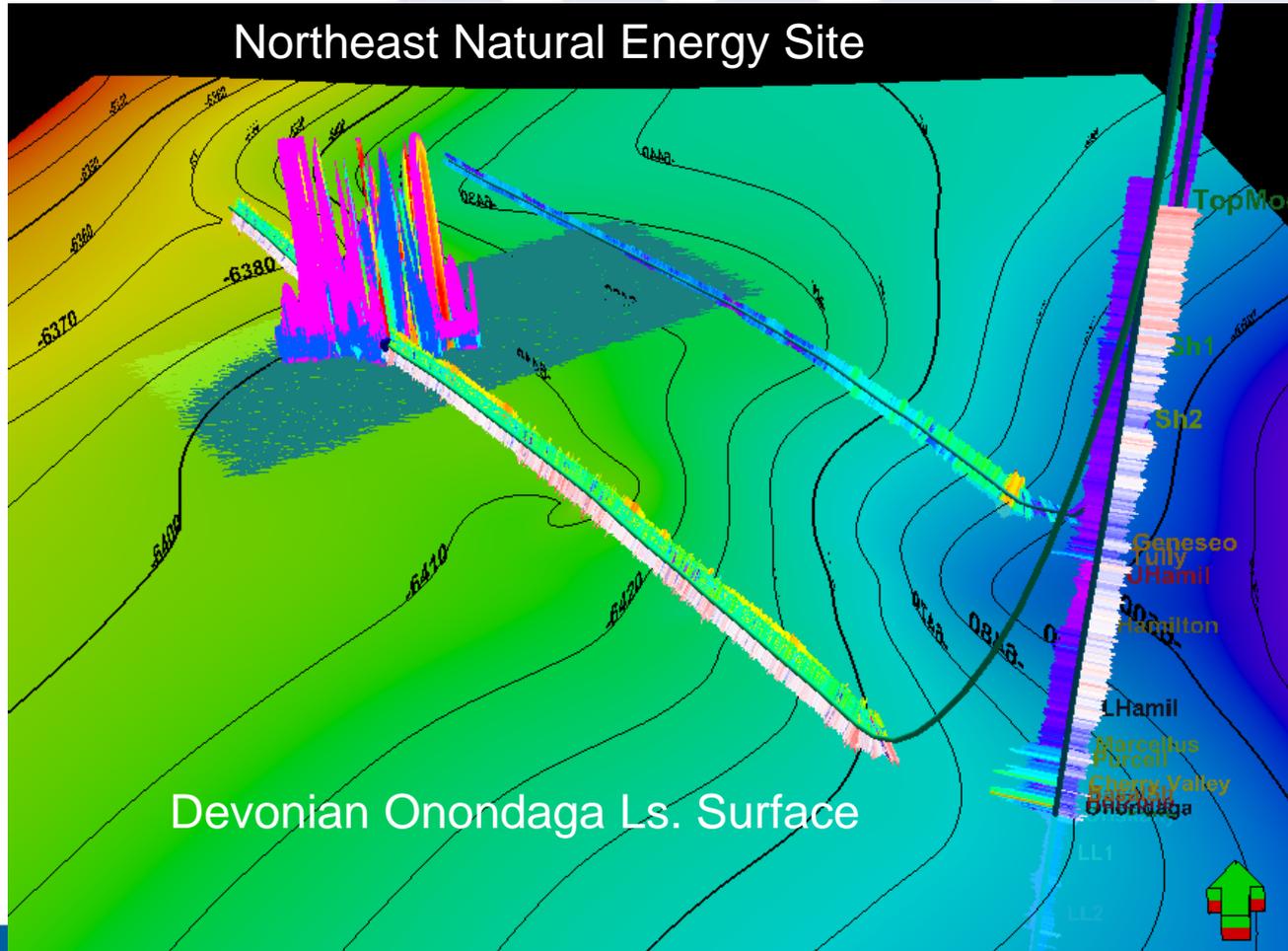
# Modelo del Sistema de Fracturas Artificiales



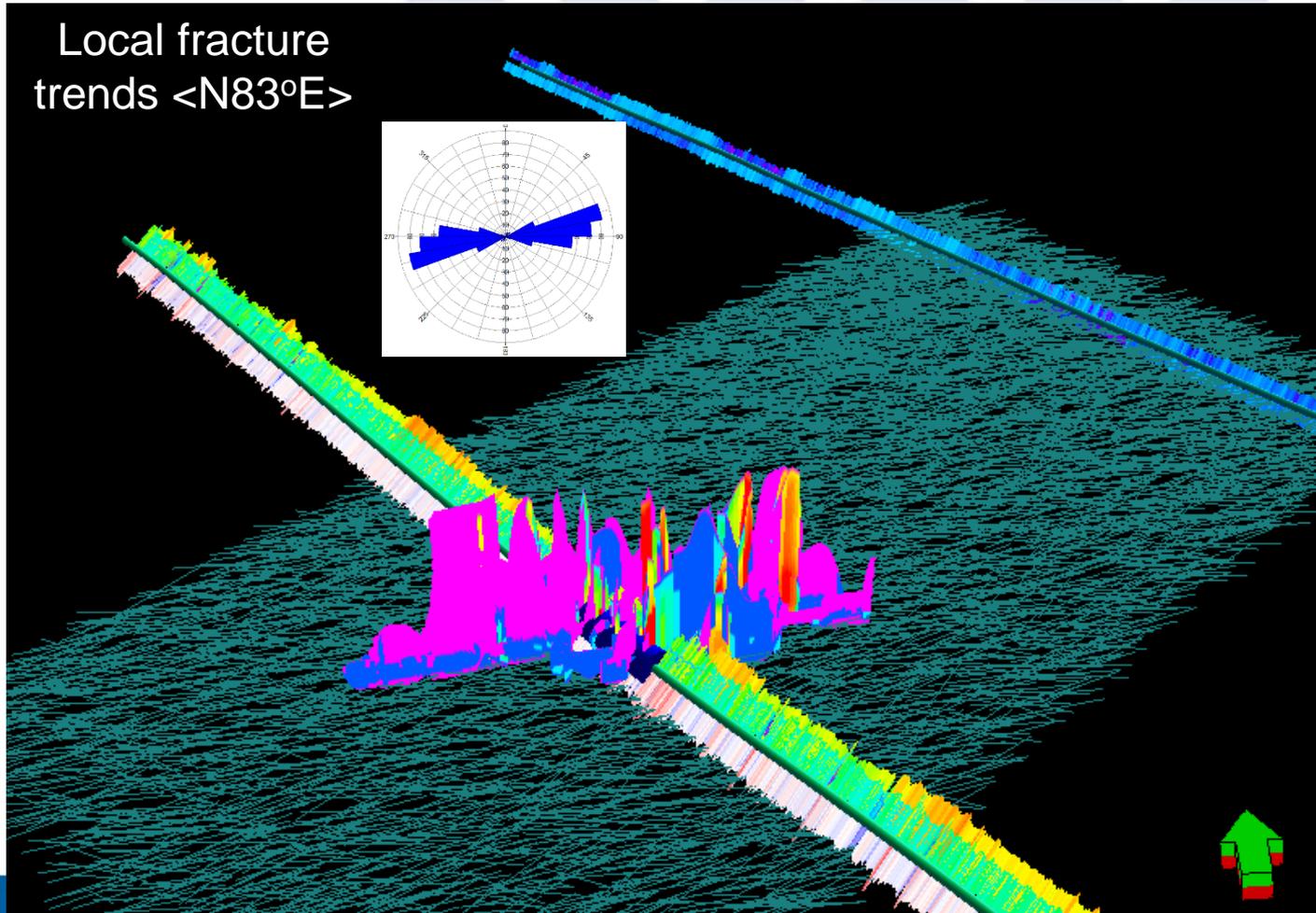
# Cubos de permeabilidad y porosidad



## XII. Los nuevos metodos de modelamiento de reservorios permiten simular un sistema de fracturas naturales



# Orientacion de fracturas del Quanta Geo log fue usado para crear un DFN



# Conclusiones

- *La sísmica 3D ayuda a optimizar los proyectos no convencionales*
- *Conocimiento del sistema de fracturas naturales y de la orientación del máximo esfuerzo horizontal ayudan a maximizar el volumen de reservorio estimulado*
- *La densidad de energía sísmica permite estimar la producción futura*
- *Información sobre el sistema local de fracturas ayuda a crear modelos precisos del reservorio estimulado y a definir la localización de nuevos pozos*

