

# MODELOS GEOESTADÍSTICOS DE VÚGULOS Y FRACTURAS A PARTIR DE LÁMINAS DELGADAS DE MUESTRAS DE ROCA DE LA BRECHA K/Pg

Rosario Pacheco-Serrano<sup>1</sup>, Vicente Ponce-Quitman<sup>2</sup>, Manuel Cruz-Castillo<sup>3</sup>, Martín A. Díaz-Viera<sup>4</sup>, Aarón Sánchez-Cruz<sup>5</sup>



1) Instituto Mexicano del Petróleo (IMP)  
e-mail: rpacheco@imp.mx, página web : http://www.imp.mx/  
2) Instituto Mexicano del Petróleo (IMP)  
e-mail: vpquiza@imp.mx, página web : http://www.imp.mx/  
3) Instituto Mexicano del Petróleo (IMP)  
e-mail: mcruz@imp.mx, página web : http://www.imp.mx/  
4) Instituto Mexicano del Petróleo (IMP)  
e-mail: mdiazv@imp.mx, página web: http://www.imp.mx/  
5) Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)  
e-mail: aaronsanchz@gmail.com; página web: https://www.unam.mx/

## RESUMEN

En este trabajo se presenta una metodología general para generar modelos geoestadísticos de vúgulos y fracturas, a partir de láminas delgadas extraídas de muestras de yacimiento (núcleos) y de muestras de afloramiento de la Brecha K/Pg. Esto con el fin de generar modelos geoestadísticos representativos de vúgulos y fracturas para posterior impresión y se pueda generar parámetros para estudios geomecánicos. La metodología consiste primordialmente en el procesamiento y análisis de imágenes de las láminas delgadas. Posteriormente, se realiza el análisis estadístico de los datos obtenidos y así poder establecer un modelo geoestadístico representativo de las rocas de yacimiento naturalmente fracturadas (Brecha K/Pg).

## Introducción

Para fines de este trabajo, se obtuvieron imágenes de las láminas delgadas de muestras de afloramiento (Puxcatán y El Guayal, Tabasco) y del núcleo C-1024D con intervalo en 3286-3289 m, todas con características diferentes que permiten la visualización de la geometría del sistema poroso en 2D. Las imágenes obtenidas de las láminas delgadas fueron tomadas a distintas resoluciones con el microscopio petrográfico del equipo Zeiss Axio Scan.Z1 [1].

El procesamiento de las imágenes de láminas delgadas tiene como finalidad entender la geometría en 2D del sistema poroso (vúgulos y fracturas) y poder segmentar en grupos sus componentes principales: vacíos (poros, vúgulos, fracturas) y material sólido (cristales, fósiles, etc.) y en algunos casos la impregnación de aceite. El proceso de mejoramiento fue realizado con el programa Image J [5] y para su segmentación se utilizó un plugin llamado Trainable Weka Segmentation [6], el cual permitió definir y diferenciar cada uno de los componentes en las imágenes (matriz, fracturas, vúgulos, recristalización e impregnación de aceite).

Otro de los objetivos principales al analizar estas imágenes, es el de adquirir la información de cada uno de los rasgos presentes en las mismas, tales como: diámetros de los vúgulos, tamaño de fracturas, longitud de las fracturas, orientación o dirección de las fracturas. Esto se logró realizar con ayuda de un plugin llamado Jpor [2], en Image J.

Posteriormente, se realiza un análisis exploratorio de datos, que permite entender el comportamiento estadístico de cada una de las propiedades del sistema de fracturas, como su orientación, longitud, apertura y su densidad, así como los diámetros de los vúgulos.

El análisis estadístico permitirá establecer un modelo geoestadístico en 2D de vúgulos y fracturas, que se verán complementados con un modelo 3D posterior.

## Adquisición

Microscopio digitalizador de muestras microscópicas:

- 1 cámara para 112 o 100 portaobjetos
- Bandejas para 4 portaobjetos de 26 mm x 76 mm o dos portaobjetos de 52 mm x 76 mm.
- 30 archivos .czi con múltiples imágenes a distintos tamaños de 16000 x 30000 hasta 300 x 700 píxeles.



Figura 1. Zeiss Axio Scan.Z1.

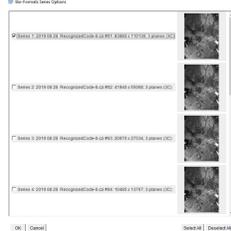
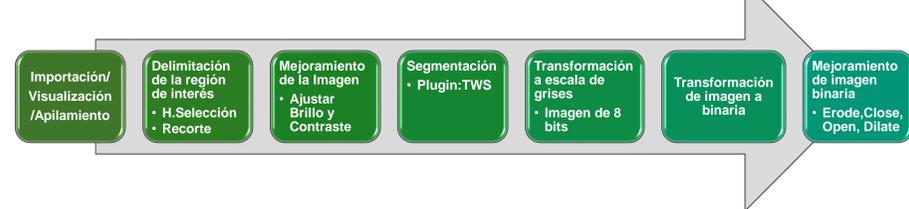
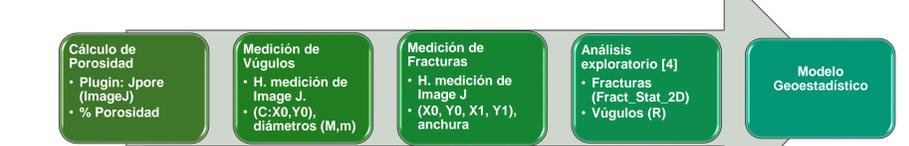


Figura 2. Archivos czi del Zeiss Axio Scan.Z1.

## Metodología de Procesamiento de Imágenes



## Metodología de Análisis de Imágenes



## Ejemplo:

### Descripción petrográfica:

Granos angulosos en tono café soportada por una matriz probablemente carbonatada, afectada por procesos de disolución y fracturamiento, formando fracturas y vúgulos [3].

### Procesamiento de imágenes:

Durante el procesamiento de la imagen se busca tanto mejorar, segmentar y su conversión binaria para el cálculo de la porosidad en cada una de ellas (Figura 3) [3].

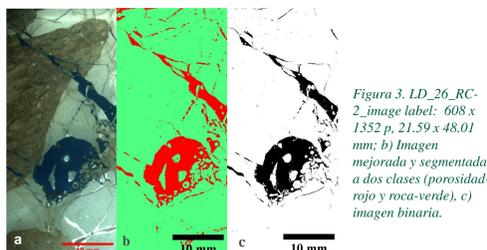


Figura 3. LD\_26\_RC-2\_image label: 608 x 1352 p, 21.59 x 48.01 mm; b) Imagen mejorada y segmentada a dos clases (porosidad-rojo y roca-verde); c) imagen binaria.

## Análisis de imágenes

1. Partiendo de la imagen binaria se hace uso del plugin Jpor para el cálculo de la porosidad [3].

### LD\_26\_RC-2\_image label

- Tamaño: 608 x 1352.
- Resolución: 1 p = 0.035 mm.
- Píxeles formando Porosidad: 94949 p.
- Porosidad: 11.551 %.
- Tipo de porosidad: vugular conectada por fracturas y en fracturas.

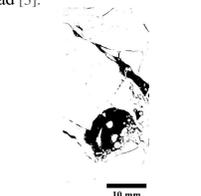


Figura 4. Imagen binaria de la LD\_26\_RC-2: Label Image.

- Fracturas: 42
  - 19 Fa
  - 23 Fc
- Vúgulos:
  - 2 vúgulos conectados por fracturas.

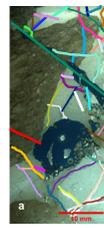


Figura 5. Fracturas medidas en LD\_26\_RC-2: Label Image.

### 26\_RC-7, label image

- Tamaño: 604x1268 p.
- Resolución: 1 p = 0.03551 mm.
- Píxeles formando Porosidad: 88226 p
- Porosidad: 11.5197 %
- Tipo de porosidad: vugular no conectada
- Fracturas: Sin Fracturas
- Vúgulos: 52 no conectados [3]



Figura 6. Imagen binaria de la LD\_26\_RC-7: Label Image.

- Fracturas: Sin Fracturas
- Vúgulos: 52 no conectados



Figura 7. Vúgulos medidos en la LD\_26\_RC-7: Label Image.

## Análisis exploratorio de imágenes

1. Análisis estadístico de las orientaciones de las fracturas

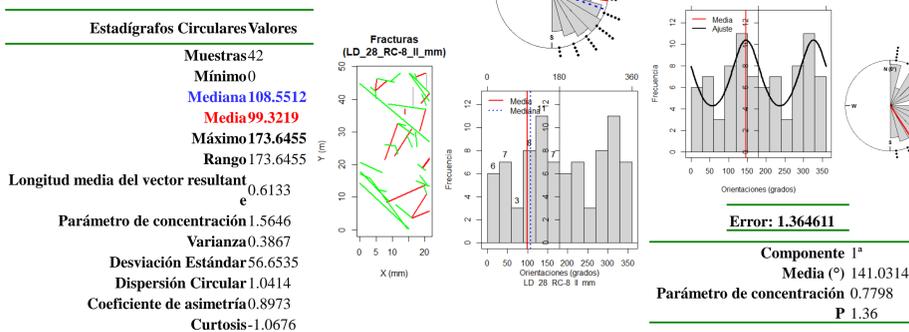


Figura 8. Estadísticos, Reproducción de las fracturas por familia (N-S: gris, NE-SW:verde, NW-SE:rojo), Roseta de orientaciones, e Histograma de frecuencia y tabla de estadísticos circulares.

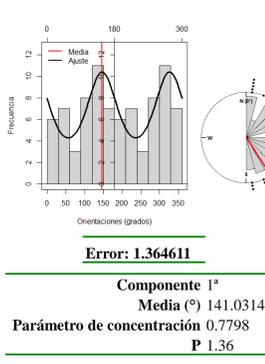


Figura 9. Ajuste de una combinación de distribución de Von Mises con un componente.

## 2. Análisis estadístico de las longitudes de las fracturas

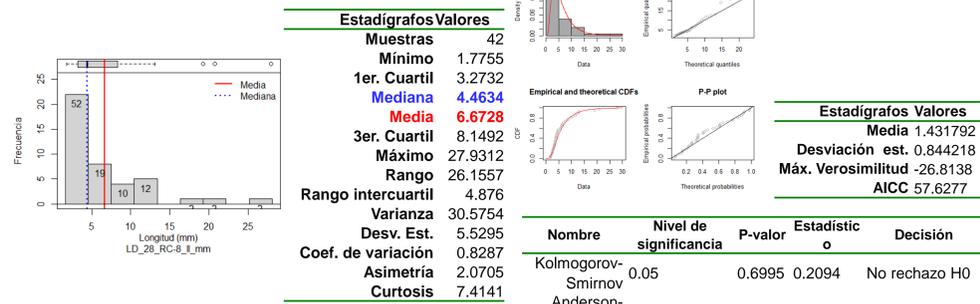


Figura 10. Histograma y estadísticos de longitudes.

## 3. Análisis estadístico de las aperturas.

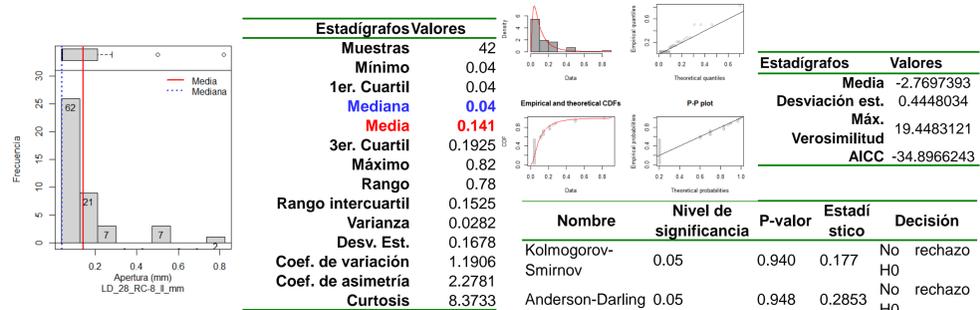


Figura 12 Histograma y estadísticos de aperturas.

## 4. Análisis estadístico de la intensidad de fracturas.

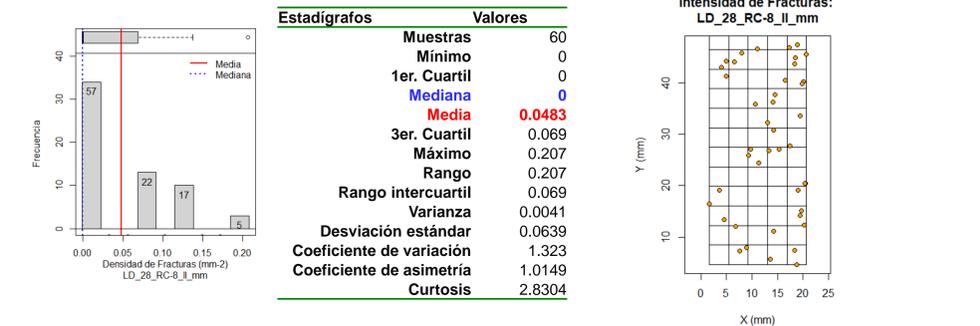


Figura 14. Histograma, estadísticos y representación de la intensidad de fracturamiento en una malla regular de 3.92 x 3.92 mm..

## Análisis exploratorio de imágenes: vúgulos

1. Análisis estadístico de los diámetros mayores.

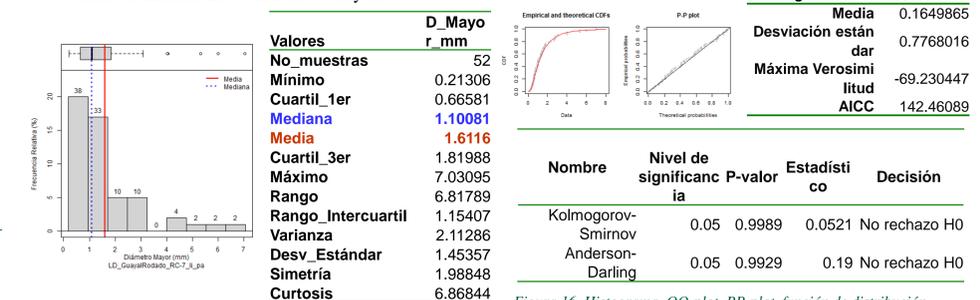


Figura 15. Histograma y estadísticos para los diámetros mayores.

2 Análisis estadístico de los diámetros menores.

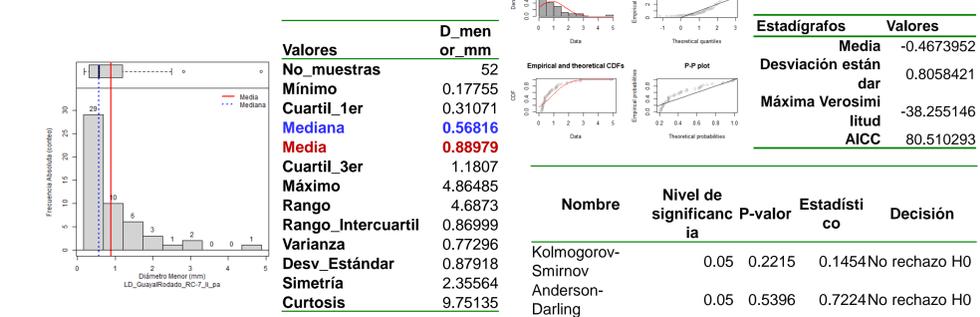


Figura 17. Histograma y estadísticos para los diámetros menores.

## Resultados y trabajo futuro

La porosidad para la Brecha en la LD\_C1024D está concentrada mayormente en los vúgulos y en pequeña proporción en fracturas, en la LD\_Guayal está concentrada en los vúgulos y en la LD\_Puxcatán está en las fracturas, que disminuye por la recristalización de las paredes de las fracturas. Del análisis estadístico se concluye que la LD\_C1024D tiene orientaciones con mediana de 114° y media de 108°, longitudes con mediana = 4.9 mm y media = 6.3 mm, apertura con mediana=0.05 mm y media=0.09 mm y densidad de fracturamiento con mediana de 0.0093 fract/mm2 y media = 0.16 fract/mm2. En cuanto a los vúgulos se contaron apenas 3 vúgulos principales con DM=12-1.7 mm y Dm=9-1 mm, caso contrario para LD\_Guayal, donde su sistema de porosidad esta concentrada en vúgulos con DM=0.5-2.1 mm. Después de realizar el análisis estadístico se planea realizar el modelo 2D, que posteriormente complementará al modelo geoestadístico 3D a partir de microtomografías de alta resolución de muestras de yacimiento de la Brecha K/Pg.

## Menciones especiales

El presente trabajo está asociado al Proyecto de investigación "Efecto del cambio del estado de esfuerzos en las propiedades dinámicas de rocas", lo cual ha facilitado de información al desarrollo del mismo.

## Referencias

- [1] Carl Zeiss Microscopy. 2014. ZEISS Axio Scan.Z1 Digital Slide Scanner: https://www.biocompare.com/12104-Equipment/4462209-Axio-Scan-Z1-Slide-Scanner/
- [2] Grove, C., & Jerram, D. A. 2011. JPOR: An ImageJ macro to quantify total optical Porosity (%) from blue-stained thin sections. Computers and Geosciences, 37(11), 1850-1859
- [3] Pacheco, R., Díaz, M., & Ponce, V. 2020. Procesamiento de Imágenes de Láminas delgadas. Reporte de actividades asociado al Proyecto: Efecto del cambio de esfuerzos en las propiedades dinámicas de las rocas, Instituto Mexicano del Petróleo, p.55.
- [4] Díaz, M., Médez, J., & Hernández, V. 2014. Manual de usuario: FRACT\_STAT\_2D: Análisis de fracturas en 2D. Nuevas metodologías y herramientas de caracterización estática y dinámica considerando las propiedades fractales de los yacimientos petroleros. Proyecto Fondos SENER-CONACYT. No. 143935. Instituto Mexicano del Petróleo, p.89.
- [5] Rasband, W.S., ImageJ. U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA. https://imagej.nih.gov/ij/, 1997-2018.
- [6] Frank, E., Hall, M. A., & Witten, L. H (2016). The WEKA Workbench. Online Appendix for "Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques", Morgan Kaufmann, Fourth Edition.