

**HERRAMIENTA SOFTWARE BASADA EN GEOMETRÍA FRACTAL PARA LA
OBTENCIÓN DE LA POROSIDAD POR MEDIO DE IMÁGENES DE
MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (S.E.M.)**

**JEISON QUIROGA ABAD
JESÚS EDUARDO SUÁREZ BUITRAGO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA
2016**

**HERRAMIENTA SOFTWARE BASADA EN GEOMETRÍA FRACTAL PARA LA
OBTENCIÓN DE LA POROSIDAD POR MEDIO DE IMÁGENES DE
MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (S.E.M.)**

**JEISON QUIROGA ABAD
JESÚS EDUARDO SUÁREZ BUITRAGO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO DE PETRÓLEOS**

**Director:
M.Sc Fernando Enrique Calvete González
Ingeniero de Petróleos**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA
2016**

DEDICATORIA

A Dios , por darme la oportunidad de culminar mi carrera universitaria , por llevarme, por iluminarme en cada decisión que tomé y por haber puesto en mi camino a cada una de esas personas que me ayudaron a realizar mi sueño realidad durante todo el período de estudio.

A mis padres, por darme ese apoyo, cariño, confiar en mí durante todo ese período de mi carrera, padre y madre le dedico con todo mi corazón este triunfo conseguido. Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

A mis hermanos que estuvieron, que me apoyaron en cada paso que di y de acuerdo con el camino que escogí a ellos muchas gracias por todo.

Jeison Quíroga abad

DEDICATORIA

*A Dios, a mi madre Zulay Raquel Buítrago Pimienta, mis hermanos
al igual que mis allegados, con mucho cariño y esfuerzo.*

Jesús Eduardo Suárez Buítrago

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias que nos brindaron un apoyo durante toda esta formación.

A la Universidad Industrial de Santander, por formarnos como excelentes personas y profesionales de calidad, para un mejor futuro.

A los docentes e ingenieros de la escuela de Ingeniería de Petróleos, quienes nos brindaron sus conocimientos para ser personas con excelente formación académica y buenos profesionales.

Al M.Sc Fernando Enrique Calvete González por la confianza depositada, la paciencia y por darnos el apoyo para la realización de este trabajo de investigación.

A la ingeniera Helena Ribón por su aportes que nos ayudaron a guiarnos y centrarnos en cada una de las dudas presentadas.

A todos los ingenieros y auxiliares del laboratorio de Análisis Petrofísicos que nos proporcionaron las muestras para realizar el proyecto.

A todos los profesionales del laboratorio de microscopia al Dr. Carlos Alberto Ríos Reyes, Físico MSc Carlos Alberto Chacón Ávila, Física Carolina Mendoza Luna que nos colaboraron con la de imágenes a ellos mil gracias por esa ayuda tan grande.

A todos nuestros compañeros y amigos que aportaron su granito de arena en la realización de este proyecto de una manera desinteresada.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	20
1.1. GEOMETRIA FRACTAL.	20
1.1.1. Origen	20
1.1.3. Escalante.	22
1.1.4. Conjunto de fractales	22
1.1.5. Dimensión fractal:	22
1.1.6. Características de los fractales:	22
1.2. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (S.E.M.).....	24
1.2.1. Definición	25
1.2.2. Funcionamiento:	26
1.2.3. Equipos y partes:	27
1.3 MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO (S.E.M) EN EL PARQUE TECNOLÓGICO GUATIGUARÁ.....	29
1.4. CONCEPTOS GEOLOGICOS.	31
1.4.1. Porosidad:.....	31
1.4.2. Porosidad en rocas sedimentarias:	32
1.5. LENGUAJE DE PROGRAMACION.	33
1.5.1. PHP	34
2. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	41
2.1. RECONOCIMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	41
2.2. RECOPIACIÓN DE IMÁGENES	42
2.2.1. Recopilación de muestras.....	42
2.2.2. Cortes de muestras.....	44
2.2.3. Preparación de las muestras para la realización toma de imágenes de Microscopía Electrónica de barrido (S.E.M.).....	46
2.2.4. Limpieza y secado de muestras.....	47
2.2.5 Recubrimiento de muestras con carbono:.....	48

2.2.7. Montaje de la muestra	49
2.2.9. Procedimiento para la toma de imágenes.....	49
2.2.10. Resultados de imágenes.....	54
2.3. DIAGRAMA DE FLUJO DEL ALGORITMO BASADO EN GEOMETRÍA FRACTAL.....	56
2.3.1.Etapas del algoritmo	56
2.4. DESARROLLO DE SOFTWARE.	65
2.4.1. Lenguajes de programación.....	65
2.4.2. Formato de las imágenes.....	65
2.4.3. Implementación del algoritmo	66
2.5. SELECCIÓN DE LOS FACTORES.....	81
2.5.1. Niveles de factores	82
2.6. SELECCIÓN DE LA VARIABLE DE RESPUESTA.....	82
2.7. ELECCIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL	82
2.8. REALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO	83
2.8.1. Efectos principales.....	84
2.8.2. Efectos de dos factores.....	85
2.8.3. Efecto de tres factores	86
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	88
3.1. REMOCIÓN DE PUNTOS AISLADOS	91
3.2. ANÁLISIS BIDIMENSIONAL.....	91
3.3. BASE DEL PLUG.....	92
4. CONCLUSIONES	93
5. RECOMENDACIONES	94
BIBLIOGRAFÍA.....	95
ANEXOS.....	98

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Triangulo de Sierpinski.	20
Figura 2. Conjunto de cantor	21
Figura 3. Equipo de microscopio de barrido electrónico (S.E.M.).....	28
Figura 4. Equipo y partes de microscopio de barrido electrónico (S.E.M.).	28
Figura 5. Describe el proceso como se aplica o desarrolla la Microscopa Electrónica de Barrido (S.E.M).....	30
Figura 6. Operaciones a partir Java Script.	39
Figura 7. Muestra 1 BS-09.....	43
Figura 8. Muestra 1 GRM 23.....	43
Figura 9. Muestras BS-09 Y GRM-23	44
Figura 10. Muestras BS-09 corte.	45
Figura 11. Muestras GRM-23 corte.....	45
Figura 12. Muestras BS-09 Y GRM-23 corte.....	46
Figura 13. Esquema para método de tratamiento de la muestra.	47
Figura 14. Laboratorio de microscopia electrónica de barrido (S.E.M.) Parque Tecnológico Guatiguará.....	50
Figura 15. Microscopio QUANTA 650 FEG.....	50
Figura 16. Esquema de un instrumento combinado.	51
Figura 17. Imagen 1 JPEG .BS-09.....	54
Figura 18. Imagen 2 JPEG .BS-09.....	54
Figura 19. Imagen 1 JPEG GRM 23.	55
Figura 20. Imagen 2 JPEG GRM 23.	55
Figura 21. Estructura con HTML5, las bases de una página web.	56
Figura 22 .Estructura HTML5 con CSS3, al ingresar código CSS3 la estructura de la página web se hace más estética.	57
Figura 23. Proceso Recorrido por Ajax, algoritmo realizado para enviar una respuesta a través de Ajax.....	58
Figura 24. Algoritmo de la etapa 2, concerniente a la transferencia de imágenes y las funciones a seguir para su procesamiento.....	59

Figura 25. Transferencia de ficheros, servidor y usuario transfiriendo ficheros	60
Figura 26. Función Organizando, muestra una matriz en el orden de llegada al servidor y el orden final al ser procesada por la función organizando	61
Figura 27. Función Mosaico, muestra el resultado final de la función Mosaico.	61
Figura 28. Punto Aislado, se observa claramente que un punto aislado no posee puntos vecinos. 62	
Figura 29. Algoritmo Etapa 4, se observan los diferentes ciclos a recorres en esta etapa con el fin de enviar como respuesta la porosidad obtenida.	63
Figura 30. Conteo de Cajas, diferentes iteraciones variando el tamaño de caja, para determinar la dimensión del fractal que recubre.	64
Figura 31. Estructura-html	66
Figura 32. CODIGO_INDEX_HTML.....	67
Figura 33. Imagen_Estilos_CSS3	68
Figura 34. Imagen_Eventos_Java	69
Figura 35. Figura del mosaico.....	74
Figura 36. Mosaico 1, respuesta obtenida al ingresar las imágenes para que sean procesadas.....	75
Figura 37. Mosaico 2, respuesta obtenida al ingresar las imágenes para que sean procesadas.....	75
Figura 38. Distribución con aislados.	76
Figura 39. Sin puntos aislados.....	78
Figura 40. Puntos del box-counting.....	80
Figura 41. Resultados Muestra 1, se muestra la respuesta final del software al terminar todas las etapas.	89
Figura 42. Resultados Muestra 2, se muestra la respuesta final del software al terminar todas las etapas.	89

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Rangos de valores de porosidad	33
Tabla 2. Operaciones java script.....	40
Tabla 3. Muestras.	42
Tabla 4. Matriz de experimentos.....	83
Tabla 5. Efecto de los factores y sus interacciones	84
Tabla 6. Experimentos rango de color y cantidad de pasos.	87
Tabla 7. Datos Otorgados por el Laboratorio de Análisis Petrofísicos de las muestras BS-09 y GRM-23.	88
Tabla 8. Análisis Resultados, comparación de resultados software con los resultados Laboratorio Análisis Petrofísicos.....	90
Tabla 9. Error, muestra el porcentaje de error del software.....	91

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A: MANUAL DE USO Y FUNCIONAMIENTO DEL SOFTWARE	98

NOMENCLATURA

AF: Análisis de Frontera

b: Pendiente

CP: Cantidad de Pasos

D: Dimensión fractal

D_T : Dimensión que se crea el fractal

D_H : Dimensión de Hausdorff

$N(r)$: Cantidad de cuadrados que contienen por lo menos un punto del fractal

r: Longitud de los cuadrados

t_i : Logaritmo natural de la cantidad de cuadrados que contienen por lo menos un punto fractal para cada (i),

X_i : Logaritmo natural del recíproco de la longitud de los cuadrados para cada (i).

%E: Porcentaje de error

ϕ : Porosidad

RESUMEN

TITULO: HERRAMIENTA SOFTWARE BASADA EN GEOMETRÍA FRACTAL PARA LA OBTENCIÓN DE LA POROSIDAD POR MEDIO DE IMÁGENES DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (S.E.M.)

AUTORES: Jeison Quiroga Abad ^{**}
Jesús Eduardo Suarez Buitrago

PALABRAS CLAVES: Geometría fractal, Microscopía Electrónica de Barrido (S.E.M.), PHP, porosidad, Html5, JavaScript.

DESCRIPCIÓN

En la industria de hidrocarburos existen varios procedimientos para el cálculo de la porosidad, los cuales presentan un grado de incertidumbre. En busca de solucionar este problema se implementan diversas técnicas, entre ellas se encuentra una rama de la matemática novedosa, llamada geometría fractal.

Con el objetivo de conocer la porosidad de un yacimiento por medio de la geometría fractal, se debe aplicar una metodología en la cual se analizan muestras porosas, obtenidas del laboratorio de Petrofísica ubicado en el Parque Tecnológico de Guatiguará.

En este trabajo de investigación se requieren datos e imágenes que fueron tomadas en el laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido (S.E.M.), en el cual se utilizaron dos muestras porosas, a cada una de ellas se logró tomar una serie de 25 imágenes, a diferentes resoluciones, con una duración de dos días, para un total de 50 imágenes.

Una vez obtenidos los datos e imágenes tomadas, se procede a realizar diferentes diagramas de flujo para establecer las etapas y parámetros del software, basándose en la geometría fractal, luego se utilizan diferentes lenguajes de programación y se crea diferentes códigos para la construcción del algoritmo, el cual permita obtener una importante propiedad de la petrofísica, la cual es la porosidad.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: MSc. Fernando Enrique Calve te González

ABSTRACT

TITLE: “SOFTWARE TOOL BASED ON FRACTAL GEOMETRY TO OBTAIN THE PORE VOLUME USING SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (S.E.M.) IMAGES”*

AUTHORS: Jeison Quiroga Abad **
Jesús Eduardo Suarez Buitrago

KEYWORDS: fractal geometry, scanning electron microscopy, porosity, Html5, JavaScript.

DESCRIPTION

In the oil industry there are several processes to calculate the porosity, it has a degree of uncertainty. In order to solve this problem, there were implemented various techniques, among them is, there is a new branch of mathematics, called fractal geometry.

In order to know the porosity of a reservoir by through of fractal geometry, should be apply a methodology in which porous samples are analyzed, obtained Petrophysical laboratory located in the Technology Park Guatiguará.

In this research, data and images that are required were taken in the laboratory of Electronic Microscopy sweep (SEM), in which two porous samples, each one of them managed to take a series of 25 images at different used are required resolutions, lasting two days, for a total of 50 images.

After obtaining the data and images taken, it proceed to make various flowcharts to establish the steps and parameters of the software, based on fractal geometry, then different programming languages are used and different codes for the construction of the algorithm is created, which allows to obtain an important petrophysical property which is porosity.

* Work Degree.

** Faculty of Physicochemical's Engineering. School of Petroleum Engineering. Director: MSc. Fernando Enrique Calvete González

INTRODUCCIÓN

Para la industria del petróleo es de suma importancia conocer cuánto hidrocarburo puede ser almacenado en la roca para así determinar la viabilidad del proyecto, por esto, una propiedad petrofísica de la roca de suma importancia es la porosidad, la cual es definida como el porcentaje de la fracción del volumen poroso de la roca sobre el volumen total de la misma. Es significativo obtener un dato de porosidad más exacto, debido a que este influye enormemente en el cálculo de reservas que posee un yacimiento, además de las propiedades que dependen de este parámetro directa o indirectamente.

El proyecto de investigación se basa en implementar un nuevo método para calcular la porosidad de ciertas muestras, sabiendo que actualmente existen diferentes métodos para calcular esta propiedad petrofísica, tales como, saturación de la muestra, por medio de registros de pozos, entre otros, los cuales presentan un grado de error como cualquier tipo de medición que se realice en el laboratorio.

La geometría fractal se basa en estudiar las diferentes formas irregulares que puede tomar un objeto. Partiendo de la premisa que los poros no son esferas regulares o perfectamente modelables, se hace necesario recurrir a un tipo de geometría donde se consideren figuras totalmente irregulares, es donde la Geometría Fractal se hace fundamental al momento de realizar esta investigación.

El Diagrama de flujo del algoritmo basado en geometría fractal se enfoca en el desarrollo del software y sus etapas principales para realizar el algoritmo, donde se muestra las diferentes descripciones del proceso.

Al implementar el software se hizo necesario realizar un diseño experimental con el fin de analizar las diferentes variables y las relaciones entre ellas, y así determinar los efectos o la manera en que influyen en la porosidad, para que así sea más eficiente y exacta.

Al cumplir con todos los objetivos planteados y desarrollar de una manera apropiada la “herramienta software basada en geometría fractal para la obtención de la porosidad por medio de imágenes de Microscopía Electrónica de Barrido (S.E.M.)”, se obtiene resultados el cual analizados correctamente se pueden dar conclusiones pertinentes y así poder obtener el resultado porosidad esperado.

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

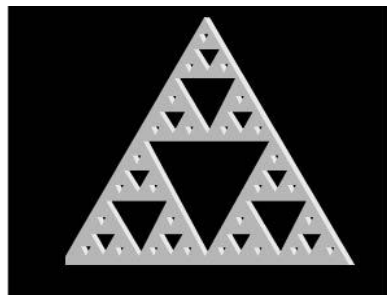
Para cumplir el objetivo del trabajo de investigación se debe tener conocimientos conceptuales, los cuales son vitales para la finalidad del proyecto.

1.1. GEOMETRIA FRACTAL.

Es importante tener en cuenta el concepto de geometría fractal, sus características y aplicaciones, por ello se explicarán a continuación:

1.1.1. Origen: Los Fractales son objetos matemáticos que constituyen la Geometría de la Teoría del Caos. Los sistemas caóticos y dinámicos fueron conocidos y descubiertos mucho antes que los Fractales. De hecho se pueden encontrar y reconocer figuras con características fractales como la del triángulo de Sierpinski (Fig. 1), en grabados de tela de hace varias décadas atrás, hasta en los años de 1400 se hallaron grabados japoneses con estas estructuras.¹

Figura 1. Triangulo de Sierpinski.

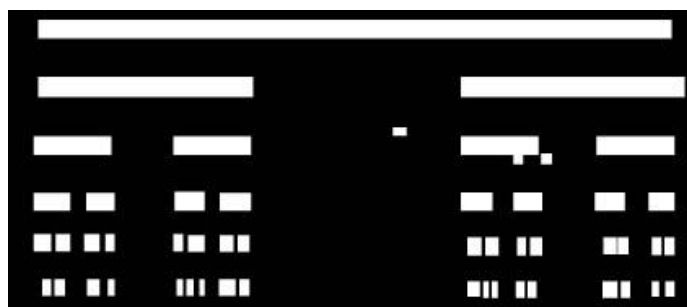


Fuente: SABOGAL, Sonia Una introducción a la geometría fractal 2011

¹ SABOGAL, Sonia ,ARENAS, Gilberto, introduccion a los fundamentos de la geometria fractal. libro, universidad industrial de santander, 2001 pag 58

Un grupo de matemáticos comenzó a darse cuenta que en la naturaleza se daba muy seguido el fenómeno de irregularidades y que no eran excepciones como se suponía. Los primeros que comenzaron a demostrar teóricamente esta problemática fueron Cantor (con su famoso y casi místico conjunto de Cantor (Fig. 2), Hasta llegar a los años de 1880 con Poincaré, al que se lo conoce como el padre de la Teoría del Caos.²

Figura 2. Conjunto de cantor



Fuente: SABOGAL, Sonia Una introducción a la geometría fractal 2011

1.1.2. Fractal: ¿Qué es un fractal?; debemos aclarar en primer lugar, que aún no existe una definición formal (desde el punto de vista matemático). Pero algunos se basan en que tiene una forma, bien sea sumamente irregular, interrumpida o fragmentada. Se puede decir que en la naturaleza abundan objetos cuyas mejores representaciones son conjuntos fractales, es necesario disponer de una palabra apropiada que no sea compartida con ningún otro significado.³

² Ibid; Pág 59

³ Ibid; Pag 25

1.1.3. Escalante: Dícese de una figura geométrica o de un objeto natural cuyas partes tienen la misma forma o estructura que el todo, salvo que están a diferente escala y pueden estar ligeramente deformadas.⁴

1.1.4. Conjunto de fractales: Se puede deducir que se tiene entre conjuntos matemáticos (la teoría) y objetos naturales (la realidad).⁵

1.1.5. Dimensión fractal: Número que sirve para cuantificar el grado de irregularidad y fragmentación de un conjunto geométrico o de un objeto natural. La dimensión fractal no es necesariamente entera.⁶

- **1.1.5.1. Objeto Fractal:** Objeto natural que resulta razonablemente útil representarlo matemáticamente por un conjunto fractal.

1.1.6. Características de los fractales: A continuación se nombrarán las características de los fractales más importantes a tener en cuenta en el desarrollo de este software.

- **1.1.6.1. Autosimilitud:** La autosimilitud en un fractal consiste básicamente en que sus partes tienen la misma forma o estructura del todo, aunque pueden presentarse a diferentes escalas y pueden estar ligeramente deformadas, existen tres tipos:
 - **1.1.6.1.1. Autosimilitud Exacta:** Exige que el fractal parezca idéntico a diferentes escalas y se obtiene a través de sistemas de funciones iteradas.

⁴ Ibid; Pág. 28.

⁵ Ibid; Pág. 30.

⁶ Ibid; Pág. 45.

- **1.1.6.1.2. Cuasi-Autosimilitud:** Exige que el fractal parezca aproximadamente idéntico a diferentes escalas, estos fractales se definen a través de relaciones de recurrencia.
- **1.1.6.1.3. Autosimilitud Estadística:** El fractal debe definirse de medidas estadísticas que se preserven con el cambio de escala.⁷
- **1.1.6.2.1. Dimensión topológica:** Es el mínimo valor de n para el que toda cubierta abierta admita un valor de orden no superior a $n+1$. El orden de una cubierta es el máximo número de subconjuntos de la cubierta al que pertenece cualquier punto del conjunto. En otras palabras, cuando se cubre una línea con intervalos siempre estos intervalos tienen en común dos puntos como mínimo, igualmente sucede en un plano si este se recubre con una cubierta abierta o una bola abierta, estas siempre mínimamente tienen la intersección de tres de ellas. Para determinar la dimensión se necesita la cantidad mínima de recubrimientos que debe tener el ente geométrico y según la definición de Poincaré que dice que para todo espacio topológico X su dimensión será $m-1$ donde m es obtenido de la manera mencionada anteriormente.
- **1.1.6.2.2. Dimensión Hausdorff-Besicovitch:** Se estipula de la siguiente manera, si al obtener desde un ente H , N entes iguales, semejantes al original, con razón de semejanza igual a E , entonces la dimensión topológica de H es el número real D que verifica la siguiente ecuación:

$$N * E^D = 1 \quad (1)$$

⁷ Hinestrosa moises. Aplicación de geometría de fractales a la descripción de microestructuras metálicas. 1996. P.10

Lo que diferencia a un fractal de una figura geométrica euclidiana es que en los fractales siempre se cumple que la dimensión de Hausdorff-Besicovitch siempre es mayor que la dimensión topológica.⁸

1.2. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (S.E.M.)

No se tiene certeza de quien propuso primero la idea de un microscopio electrónico de barrido. La primera descripción de un instrumento que utilizaba un haz de electrones que barría la superficie de la muestra para producir una imagen de electrones secundarios fue hecha por el Dr. Max Snell, físico alemán en 1935.

Luego, en 1937, el Dr. Manfred van Ardenne realizó algunos experimentos con unos aparatos que podían ser considerados como (S.E.M.); pero no fue sino hasta el año 1992, cuando tres físicos americanos, los doctores Zworykin, Hiller y Snijder describieron el primer microscopio electrónico de barrido con una capacidad de amplificación de hasta 8000X y un poder de resolución de 50 nm.

Actualmente, con el desarrollo de la electrónica, de la óptica, de la tecnología de fabricación de lentes y la capacidad de producir ambientes al vacío, estos instrumentos pueden ampliar las imágenes hasta 500.000X y alcanzar resoluciones de entre 3 y 4 nm.

Es así como, años más tarde, en la década de los sesenta, recién se introdujeron los primeros microscopios de barrido de uso comercial y para 1969 se produjo el primer STEM desarrollado por el Dr. ONG, investigador de la División de Instrumentos Electrónicos de la compañía holandesa Philips, con una resolución de 25 nm y capacidad de amplificación de hasta 100.000X.

⁸ Ibid; Pág. 12.

A partir de los años setenta, el uso de microscopios electrónicos se amplió a ámbitos completamente nuevos como la electrónica misma; fabricación de semiconductores, transistores y luego circuitos integrados, wafers; en metalurgia, minería, petróleos, etc.; prácticamente con cada nuevo ámbito de estudio que se desarrollaba, se encontraba una nueva aplicación del microscopio electrónico; en tal medida, en la actualidad son utilizados no sólo en áreas de investigación, sino en análisis de rutina en laboratorios, hospitales, industrias, universidades, y otros.⁹

1.2.1. Definición: En el microscopio electrónico de barrido, un campo magnético permite enfocar los rayos catódicos (electrones) y obtener una imagen tridimensional, por el examen de la superficie de las estructuras, permitiendo la observación y la caracterización de materiales orgánicos e inorgánicos.

En esta Microscopía, la superficie del sólido se barre mediante un rastreo programado con un haz de electrones de elevada energía focalizados por un sistema de lentes electromagnéticas. Como consecuencia de ello se producen en la superficie diversos tipos de señales. Estas incluyen electrones retro dispersados, secundarios y Auger; fotones debidos a la fluorescencia de rayos X y otros fotones de diversas energías. Todas estas señales se han utilizado en estudios de superficies, pero las más usuales son las que corresponden a: (1) electrones retro dispersados y secundarios, en los que se fundamenta este tipo de microscopio y (2) la emisión de rayos X, que se utiliza en el análisis con microsonda de electrones.

Las muestras que conducen la electricidad son las más fáciles de estudiar, ya que a libre circulación de los electrones a tierra permite minimizar los problemas asociados con la acumulación de carga. Además, las muestras que son buenas conductoras de la electricidad son también buenas conductoras del calor, lo que probablemente minimiza su degradación térmica. Para las muestras no

⁹ Mejía Enrique. Síntesis y caracterización de grafeno químicamente reducido empleando técnicas de espectroscopia y microscopia electrónica de barrido. 2012. P.16.

conductoras se ha desarrollado una gran variedad de técnicas que permiten obtener imágenes por (S.E.M.). Las más comunes implican el recubrimiento de la muestra con una película metálica que debe ser delgada y uniforme, para que no enmascare los detalles de la superficie

El microscopio electrónico de barrido proporciona información morfológica y topográfica sobre la superficie de los sólidos. En la mayoría de las aplicaciones, los datos se recogen en un área seleccionada de la superficie del espécimen, generando imágenes tridimensionales computarizadas. Áreas de 1 cm a 5 μm de ancho pueden ser analizadas en el modo de exploración utilizando técnicas convencionales de SEM, con aumentos que van desde 20x a 1.000.000x y con una resolución espacial de 3 a 100 nm.¹⁰

1.2.2. Funcionamiento: La muestra es colocada en un pequeño espacio, al cual se le hace vacío después de cerrada la puerta. La puerta tiene tres palancas que el operador usa para: subir y bajar la muestra, rotar la muestra y acercarla o alejarla. Un haz delgado de electrones, es producido en la parte superior del microscopio por medio del calentamiento de un filamento metálico (10-30 KV). El rayo de electrones primarios sigue un recorrido a través de la columna de vacío del microscopio, esto, con el propósito, de evitar la dispersión de los electrones. El trayecto del haz de electrones es enseguida modificado por un conjunto de bobinas deflectoras que lo hacen recorrer la muestra punto por punto y a lo largo de líneas paralelas (barrido), y a su vez atraviesa las lentes condensadoras o electromagnéticas que le permiten ser reenfochado o centrado hacia la muestra.

Posteriormente, el diámetro del haz de electrones puede ser modificado al pasar por las lentes objetivas que controlan la cantidad de electrones dentro de este.

¹⁰ Investigaciones uniandes. Microscopia de barrido electrónico. vicerrectora de investigaciones.
<https://investigaciones.uniandes.edu.co/index.php/es/centro-de-microscopia/microscopio-electronico-de-barrido-meb/descripcion-de-la-tecnica-meb>

Cuando los electrones primarios golpean la muestra, son emitidos electrones secundarios por el propio espécimen. Un haz delgado de electrones, es producido en la parte superior del microscopio por medio del calentamiento de un filamento metálico (10-30 KV). El rayo de electrones primarios sigue un recorrido a través de la columna de vacío del microscopio, esto, con el propósito, de evitar la dispersión de los electrones. El trayecto del haz de electrones es enseguida modificado por un conjunto de bobinas deflectoras que lo hacen recorrer la muestra punto por punto y a lo largo de líneas paralelas (barrido), y a su vez atraviesa las lentes condensadoras o electromagnéticas que le permiten ser reenfoqueado o centrado hacia la muestra. Posteriormente, el diámetro del haz de electrones puede ser modificado al pasar por las lentes objetivas que controlan la cantidad de electrones dentro de este. Cuando los electrones primarios golpean la muestra, son emitidos electrones secundarios por el propio espécimen.

Estos electrones secundarios son atraídos por un colector donde se aceleran y se dirigen al escintilador, donde la energía cinética es convertida en puntos de mayor o de menor luminosidad, es decir, en luz visible. Esta luz es dirigida a un amplificador donde se convierte en señal eléctrica, la cual pasa a una pantalla de observación donde la imagen es formada línea por línea y punto por punto. Los circuitos que dirigen las bobinas de barrido (que obligan al haz a barrer la muestra), son las mismas que dirigen la parte de colección de electrones y que producirán la imagen.¹¹

1.2.3. Equipos y partes: Existen diferentes tipos de microscopios de electrónico de barrido (S.E.M.), pero todos con el mismo proceso físico (Fig. 3). También puede observar las partes del microscopio. (Fig. 4)

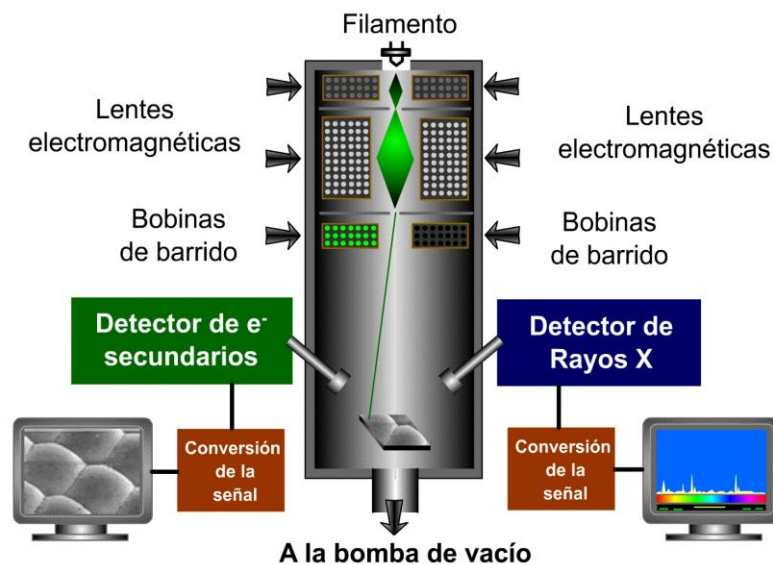
¹¹ Ibid; url <http://ciencias.javeriana.edu.co/neurobioquimica/libros/celular/melecbarrido.htm>

Figura 3. Equipo de microscopio de barrido electrónico (S.E.M.).



Fuente: Laboratorio análisis petrofísicos Parque Tecnológico Guatiguará.

Figura 4. Equipo y partes de microscopio de barrido electrónico (S.E.M.).



Fuente: <http://up.cerebrodigital.org/media/partes-del-microscopio-electronico-de-barrido>.

Otros componentes importantes que debe el llevar el microscopio electrónico de barrido (S.E.M) son:

1. Cañón de electrones (e-).
2. Filamento de tungsteno.
3. Ánodo.
4. Columna en vacío.
5. Lentes condensadores (centran y dirigen el rayo de electrones).
6. Lentes Objetivas (controlan la cantidad de electrones del haz).
7. Detectores para coleccionar y medir electrones (producción de imagen).
8. Bobinas de barrido (obligan al haz a barrer la muestra).
9. Control de aumento.
10. Generador de barrido.
11. Colector de electrones electrones se atraen y se aceleran).
12. Escintilador (convierte la energía cinética de los e- en luz visible).
13. Amplificador.
14. Pantalla (imagen).

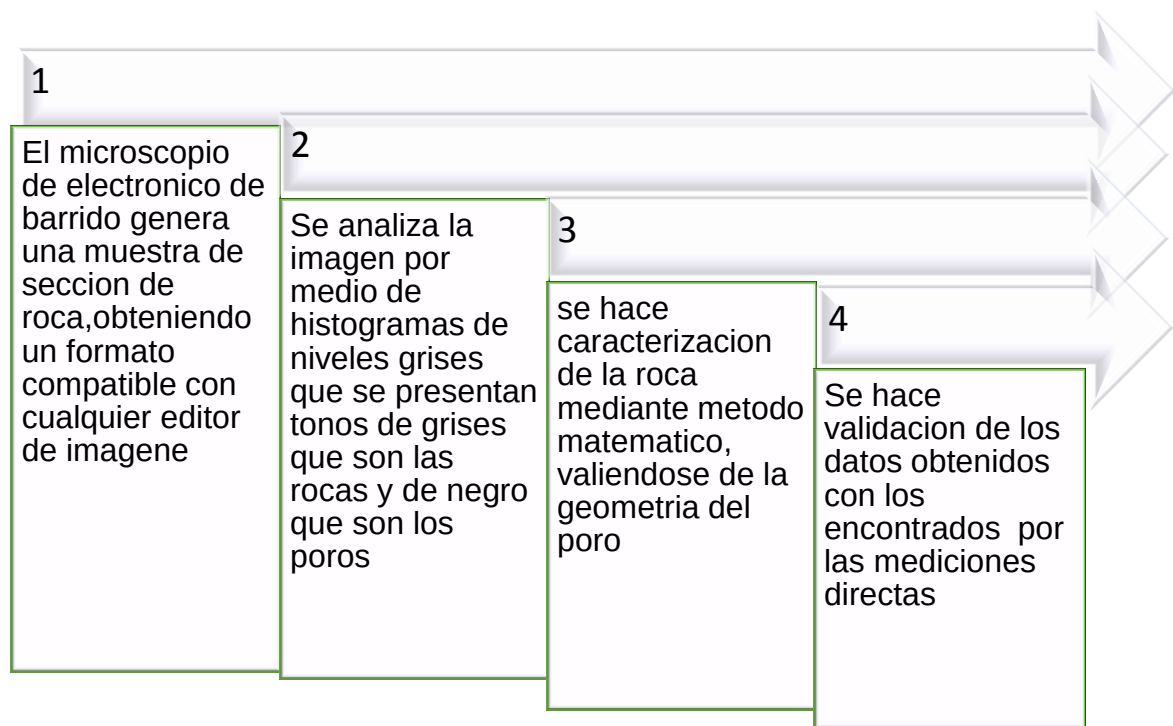
1.3 MICROSCOPIÓ ELECTRÓNICO DE BARRIDO (S.E.M) EN EL PARQUE TECNOLÓGICO GUATIGUARÁ.

El laboratorio de Microscopía Electrónica de la sede Guatiguará, centra su trabajo en el análisis de diferentes muestras de roca, entre eso la porosidad valiéndose de muestras que se toman de los corazones de la roca, (pequeños bloques de roca) (Fig. 5).

Generalmente la composición de la superficie de un sólido difiere a menudo

Significativamente de la del interior del mismo. En ciertas áreas de la ciencia y la ingeniería, la composición de una capa de la superficie de un sólido que tiene de unos pocos angstroms a unas pocas decenas de angstroms de grosor es mucho más importante que la composición en el seno del material. Los campos en que las propiedades de la superficie son de especial importancia incluyen la catálisis heterogénea, la tecnología de películas delgadas de semiconductor, los estudios de corrosión y de adhesión, la actividad de superficies de metales, las características de dureza y los estudios sobre el comportamiento y las funciones de membranas biológicas.

Figura 5. Describe el proceso como se aplica o desarrolla la Microscopía Electrónica de Barrido (S.E.M).



Fuente: Síntesis y caracterización de grafeno químicamente reducido (crg), empleando técnicas espectroscópicas y Microscopía Electrónica de Barrido.

Los electrones se adaptan perfectamente a tales estudios ya que en muchas ocasiones, los electrones sólo pueden penetrar, o escapar, de las capas más externas del sólido. Por ejemplo, un haz de electrones de 1keV penetrará normalmente sólo en los 25 Å externos de un sólido, por el contrario, un fotón de 1 keV puede penetrar hasta una profundidad de 1 µm o más.¹².

1.4. CONCEPTOS GEOLOGICOS.

Para el entendimiento preciso de la composición de las muestras es necesario comprender cuales variables están presentes, para esto se debe definir algunos conceptos geológicos.

1.4.1. Porosidad: La porosidad de una roca está determinada por la proporción que ocupan huecos o Intersticios en su volumen total. Cuanto más porosa es una roca, más grande es la cantidad de espacios abiertos que contiene. A través de estos espacios debe abrirse Camino al agua subterránea. La porosidad difiere de un material a otro. Por ejemplo, los lodos recientemente Depositados (llamados emulsiones de lodo) pueden tener hasta un 90 por ciento de agua en volumen, en tanto que el granito puede tener apenas una fracción del uno por ciento.¹³

¹² Gomez ivan Dario. síntesis y caracterización de grafeno químicamente reducido (crg), empleando técnicas espectroscópicas y microscopía electrónica de barrido.2012.p.45.

¹³VELAZQUEZ NIN GERARDO. Introduccion a la microscopia electronica aplicada a las ciencias. Mexico. 2000. P.92.

1.4.2. Porosidad en rocas sedimentarias: La historia de las rocas sedimentarias comienza con los procesos de intemperismo. Los ríos, los glaciares, el viento y las corrientes oceánicas desplazan los materiales intemperados hacia nuevas localidades y los depositan como arena, grava o fango. La transformación de estos sedimentos en roca viene a ser la etapa final en el desarrollo de las rocas sedimentarias.

El adjetivo sedimentario, del latín *sedimentum* significa asentamiento. Las rocas sedimentarias son rocas formadas por la acumulación de sedimentos, que pueden consistir de fragmentos de roca de varios tamaños, los restos o productos de animales vegetales, el producto de la acción química o de la evaporación o mezcla de éstos. La porosidad es la proporción, en porcentaje, entre volumen de espacio vacío y el volumen total de la roca. La porosidad de un sedimento resulta del hecho que las Partículas no ocupan todo el espacio posible. Los poros en rocas sedimentarias generalmente acumulan agua y no tan comúnmente, petróleo o gas. No fue hasta el año 1958 cuando Benoit Mandelbrot ingresa a trabajar en los laboratorios de IBM para hacer un análisis del ruido y perturbaciones eléctricas. Él notó que la distribución de la señal de ruido es estadísticamente similar en muchas escalas de observación. En gráficas de intensidad contra tiempo las distribuciones son muy parecidas en diferentes rangos de tiempo: minutos, segundos, milisegundos, etc. Entre otros fenómenos aleatorios, como variación de precios en la bolsa de valores o el comportamiento anual de las riadas del Nilo, encontró aspectos semejantes, en forma de ruidos Brownianos.¹⁴

$$\text{porosidad } (\emptyset) = \frac{\text{volumen total} - \text{volumen de granos}}{\text{volumen total}} \quad (1)$$

Fuente: RODRIGUEZ, José, ingeniería básica de yacimientos

¹⁴ Ibid; p.95.

Los poros en rocas sedimentarias generalmente acumulan agua y no tan comúnmente, petróleo o gas.

Es importante tener en cuenta los rangos de porosidad en condiciones operacionales promedio y rocas almacenadoras de crudo típicas, los valores de porosidad pueden ser vistos de este modo (tabla 1).

Tabla 1. Rangos de valores de porosidad

Porcentaje de porosidad $\emptyset$	Evaluación cualitativa
0-5	Despreciable
5-10	Muy baja
10-15	Regular
15-20	Buena
Mayor de 20	Muy buena

Fuente: Modificada RODRIGUEZ, José, ingeniería básica de yacimientos

1.5. LENGUAJE DE PROGRAMACION.

A continuación se presentaran los lenguajes de programación usados en la realización de este trabajo.

1.5.1. PHP: El lenguaje PHP fue creado por Rasmus Lerdorf en 1994. Sin embargo al ser desarrollado en política de código abierto, ha recibido muchas contribuciones de otros desarrolladores. PHP se encuentra en la versión 7, que utiliza el motor Zend y cuenta con una extensa librería de funciones de soporte a los programadores.¹⁵

➤ **1.5.1.1. Definición:** PHP (Hypertext Preprocessor) es un lenguaje de programación del lado del servidor diseñado originalmente para la generación de páginas Web dinámicas. Es un lenguaje de programación interpretado o de script que permite insertar fragmentos de código dentro de una página HTML5 y realizar determinadas acciones de una forma fácil y eficiente sin tener que generar programas en un lenguaje distinto al HTML. Por otra parte, PHP ofrece un sin fin de funciones para el aprovechamiento de las potencialidades de bases de datos de una manera llana y sin complicaciones. PHP generalmente se ejecuta en un servidor Web, tomando el código en PHP como su entrada y creando páginas Web como salida.¹⁶

➤ **1.5.1.2. Funcionamiento:** El lenguaje de programación PHP presenta algunas características como los son:

1. Es un lenguaje multiplataforma.
2. Capacidad de conexión con la mayoría de los manejadores de base de datos que se utilizan en la actualidad, destaca su conectividad con MySQL.

¹⁵ Beati,Hernán, PHP creación de páginas web dinámicas.Libro,2000,p 58.

¹⁶ Ibid; p 67

3. Capacidad de expandir su potencial utilizando la enorme cantidad de módulos (llamados ext's o extensiones).
4. Posee una amplia documentación en su página oficial, entre la cual se destaca que todas las funciones del sistema están explicadas y ejemplificadas en un único archivo de ayuda.
5. Es libre, por lo que se presenta como una alternativa de fácil acceso para todos.
6. Permite las técnicas de programación orientada a objetos.
7. Biblioteca nativa de funciones sumamente amplia e incluida
8. No requiere definición de tipos de variables.
10. Tiene manejo de excepciones.¹⁷

➤ **1.5.1.3. Aplicaciones:** Los principales usos o aplicaciones del PHP son los siguientes:

- Programación de páginas web dinámicas, habitualmente en combinación con el motor de base datos MySQL, aunque cuenta con soporte nativo para otros motores, incluyendo el estándar ODBC, lo que amplía en gran medida sus posibilidades de conexión.
- Programación en consola, al estilo de Perl o Shell scripting.
- Creación de aplicaciones gráficas independientes del navegador, por medio de la combinación de PHP y Qt/GTK+, lo que permite desarrollar aplicaciones de escritorio en los sistemas operativos en los que está soportado.¹⁸

1.5.2. JavaScript: El JavaScript es un lenguaje de programación que surgió por la necesidad de ampliar las posibilidades del HTML5. En efecto, al poco

¹⁷ Ibid; p 68

¹⁸ Ibid; p 63

tiempo de que las páginas web apareciesen, se hizo patente que se necesitaba algo más que las limitadas prestaciones del lenguaje básico, ya que el HTML5 solamente provee de elementos que actúan exclusivamente sobre el texto y su estilo, pero no permite, como ejemplo sencillo, ni siquiera abrir una nueva ventana o emitir un mensaje de aviso. La temprana aparición de este lenguaje, es posiblemente la causa de que se haya convertido en un estándar soportado por todos los navegadores actuales, a diferencia de otros, que solo funcionan en los navegadores de sus firmas creadoras.

Como tantas otras aportaciones al mundo www, fue Netscape quien inició la implementación de JavaScript (aunque al principio no se llamaba así), y posteriormente, una alianza entre Netscape y Sun, creadora del lenguaje Java, permitió que JavaScript tomase la debida consistencia, definiéndose como una variante de Java, pero mucho más simple de usar. Esto no significa que JavaScript sea Java simplificado o reducido. Salvo el nombre y la sintaxis, JavaScript no tiene mucho en común con Java, pero cumple su propósito de lenguaje auxiliar del HTML en los navegadores, y sólo en ellos ya que no es posible utilizarlo fuera del entorno de las páginas. No hay que confundirlo con el JavaScript de Microsoft, que aunque bastante parecido, no tiene la compatibilidad del original JavaScript, ya que, como todo lo que hacen, está pensado exclusivamente para su propio navegador.

- **1.5.2.1. Definición:** Java es un lenguaje compilado, es decir, que una vez escrito el programa, y a partir de su código fuente, mediante la compilación se genera un fichero ejecutable para una determinada plataforma (Unix, Windows, etc.) que será completamente autónomo. Es un lenguaje de propósito general, infinitamente más potente que JavaScript, con el que se han escrito infinidad de aplicaciones muy conocidas, entre ellas los sistemas de telefonía móvil.

JavaScript es un lenguaje interpretado línea a línea por el navegador, mientras se carga la página, que solamente es capaz de realizar las acciones programadas en el entorno de esa página HTML donde reside. Sólo es posible utilizarlo con otro programa que sea capaz de interpretarlo, como los navegadores web.

Este es un lenguaje orientado a objetos, es decir que la mayoría de las instrucciones que se emplean en los programas, en realidad son llamadas a propiedades y métodos de objetos del navegador, y en algunos casos del propio lenguaje. En Java, en cambio, no hay nada que no esté en un objeto.

- **1.5.2.2. Funcionamiento:** Las instrucciones JavaScript se pueden incluir en un archivo externo de tipo JavaScript que los documentos XHTML enlazan mediante la etiqueta `<script>`. Se pueden crear todos los archivos JavaScript que sean necesarios y cada documento XHTML puede enlazar tantos archivos JavaScript como necesite.

Ejemplo:

Archivo `codigo.js`

`Alert ("Un mensaje de prueba");`

Documento XHTML

```
<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN" "http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml">
<Head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=iso-8859-1" />
<title>Ejemplo de código JavaScript en el propio documento</title>
<script type="text/javascript" src="/js/codigo.js"></script>
</head>
<body>
<p>Un párrafo de texto.</p>
</body></html>
```

Además del atributo `type`, este método requiere definir el atributo `src`, que es el que indica la URL correspondiente al archivo JavaScript que se quiere enlazar. Cada etiqueta `<script>` solamente puede enlazar un único archivo, pero en una misma página se pueden incluir tantas etiquetas `<script>` como sean necesarias.

Los archivos de tipo JavaScript son documentos normales de texto con la extensión `.js`, que se pueden crear con cualquier editor de texto como Notepad, Wordpad, EmEditor, UltraEdit, Vi, etc. La principal ventaja de enlazar un archivo JavaScript externo es que se simplifica el código XHTML de la página, que se puede reutilizar el mismo código JavaScript en todas las páginas del sitio web y que cualquier modificación realizada en el archivo JavaScript se ve reflejada inmediatamente en todas las páginas XHTML que lo enlazan.

- **1.5.2.3 Aplicaciones:** Existen diferentes aplicaciones en el cual javascript es muy importante entre los que se encuentran.
- **1.5.2.3.1. Variables y operaciones:** En muchos lenguajes si una variable toma valores de texto y luego se quiere hacer que tome números, resulta imposible hacerlo. No es el caso de JavaScript ya que realiza conversiones implícitas. Ejemplo (Fig. 12)

Figura 6. Operaciones a partir Java Script.

```
var x="50" //x es una variable de texto
var y=30 //y es una variable numérica
z1= x+y //z1 es variable de texto y vale "5010"
z2= y+x //z2 es numérica y vale 60
/*Dependiendo de cuál sea el primer operando, se determina
el tipo del resultado*/
```

Fuente: Navegar en internet: diseño de páginas web interactivas con JavaScript

Naturalmente ocurrirá un error si pretende convertir a un número, un texto normal como "Hola" por ejemplo. En cualquier caso no conviene hacer conversiones de tipo 5 en ningún caso¹⁹. Otras operaciones son dadas por elementos que permiten realizar operaciones con los datos del código (tabla 2).

¹⁹ Ibid; p 70

Tabla 2. Operaciones java script.

Operador	Significado
+	Suma
-	Resta
*	Multiplicar
/	Dividir
%	Resto de la división
++	Incremento
--	Decremento

Fuente: Navegar en internet: diseño de páginas web interactivas con java script y CSS.

2. DISEÑO EXPERIMENTAL

La importancia de este diseño experimental radica en investigar, indagar sobre los pasos que se realizan y hacer una planeación previa al experimento. Del mismo modo, comprender diferentes tipos de análisis que se pueden desarrollar en el trabajo de investigación.

2.1. RECONOCIMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la industria del petróleo se desarrollan diferentes investigaciones para obtener las propiedades y características del yacimiento, en la cual algunas se basan en hallar la porosidad utilizando diferentes procesos matemáticos y experimentos de laboratorio, donde se busca obtener un margen de error mínimo en el momento del resultado final de la porosidad, ya que en algunos casos asumen los poros como esferas, argumentadas en la Geometría Euclidiana.

Basándose en dicha problemática se busca dar solución utilizando métodos microscópicos que permitan hallar la porosidad. Además, analizar de una forma irregular el poro, en este punto surge la idea de una posible solución identificando los poros como fractales, de lo cual se han demostrado con proyectos de investigación anteriores como es el “estudio de factibilidad sobre la aplicación de la geometría fractal en la caracterización de la porosidad de las rocas sedimentarias”²⁰

²⁰ PINILLA, Johana, estudio de factibilidad sobre la aplicación de la geometría fractal en la caracterización de la porosidad de las rocas sedimentarias “, Tesis de grado, universidad industrial de Santander 2004.

2.2. RECOPIACIÓN DE IMÁGENES

Para realizar el diseño experimental es necesario recopilar las imágenes otorgadas por el Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido (S.E.M.), además de diseñar y realizar el software, con el fin de analizar los efectos de las variables que influyen en el cálculo de la porosidad.

2.2.1. Recopilación de muestras: Antes de proceder a la toma de imágenes en el microscopio electrónico de barrido (S.E.M.), se escogieron dos núcleos de roca prestadas por el Laboratorio de Petrofísica del Parque Tecnológico Guatiguará en apoyo al trabajo de investigación. Los datos petrofísicos de la muestra 1 BS-09 (Fig. 13) son diferentes a los de la muestra 2 GRM-23 (Fig. 14), como se observa a continuación: (tabla 4). 1 BS-09 y GRM-23 (Fig. 15)

Tabla 3. Muestras.

Muestras		
	BS-09	GRM-23
altura	5.5 cm	6 cm
permeabilidad (k)	200,52 d	178,98 d
densidad	2,64	2,29
diámetro	37,6	38,1
porosidad	20,3	15,3

Fuente: Laboratorio análisis petrofísicos Parque Tecnológico Guatiguará.

Figura 7. Muestra 1 BS-09



Figura 8. Muestra 1 GRM 23.



Figura 9. Muestras BS-09 Y GRM-23



2.2.2. Cortes de muestras: Para la realización de las toma de imágenes en el laboratorio de Microscopía de Electrónica Barrido (S.E.M) se debe llevar a cabo un procedimiento muy importante, el corte a las muestras BS-09 (Fig. 17) y GRM-23 (Fig. 18). Con este corte se obtiene un área de 1 cm^2 , conservando los mismo datos petrofísicos presentados en la tabla anterior, esto se hace para poder cumplir las especificaciones del microscopio (S.E.M), ya que las muestras deben colocarse en un porta muestra que posee dimensiones tales como lo es su área de un 1 cm^2 .

A la hora de la realización del corte se utilizó una perfiladora estándar con un disco de 9 pulgadas (in), lo cual permite cortar las muestras con 1 cm de alto cada una, manteniendo su diámetro.

Figura 10. Muestras BS-09 corte.



Figura 11. Muestras GRM-23 corte.



Figura 12. Muestras BS-09 Y GRM-23 corte.



2.2.3. Preparación de las muestras para la realización toma de imágenes de Microscopía Electrónica de barrido (S.E.M.): La metodología empleada para la preparación de la muestra que será observada en el microscopio electrónico, se debe apreciar correctamente en todos sus aspectos, para así lograr una excelente interpretación de las imágenes.

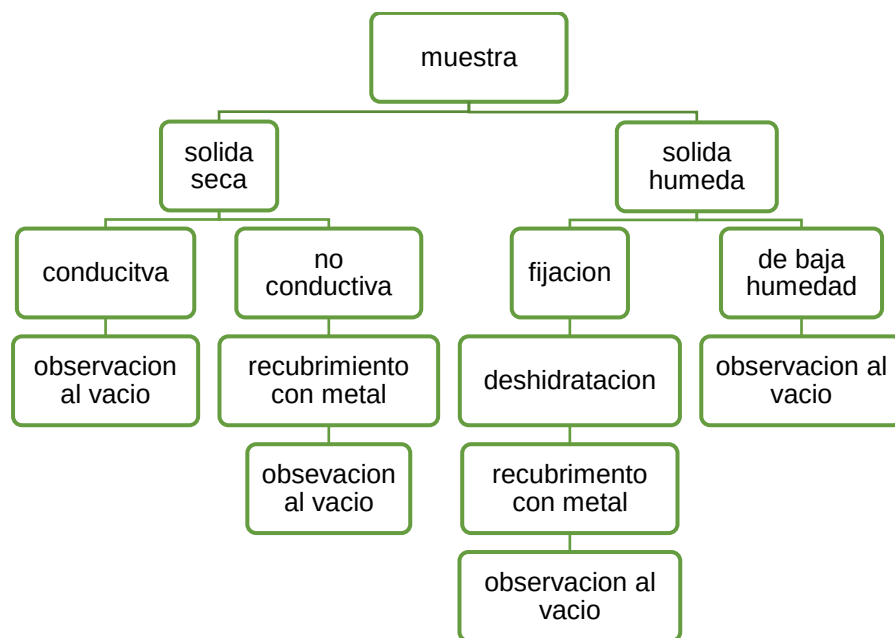
Para seleccionar el método a usar, se deberá elegir la ruta de acuerdo a la naturaleza de la muestra (Fig. 6). En la obtención de la topografía superficial se realiza observaciones por Microscopía Electrónica de Barrido con detector de electrones retrodispersados. Las condiciones de operación del equipo que se utiliza en la observación dependen del tipo de muestra y la clase de instrumento utilizado.

La preparación de las muestras para microscopía electrónica de barrido (S.E.M.) es un proceso donde cada pieza es fundamental y se debe llevar un procedimiento minucioso para cumplir con los objetivos. Se debe tener en cuenta

que las muestras sean correctas, lo cual dependerá del control y de la exactitud de todas las operaciones que se manejen.

Una vez entregada las muestras al laboratorio de microscopia electrónica de barrido (S.E.M.) del parque Tecnológico Guatiguará se procede a preparar las muestras para la toma de imágenes.

Figura 13. Esquema para método de tratamiento de la muestra.



Fuente: NIETO, María, fundamentos en la preparación de muestras para microscopía electrónica de barrido Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido. 2010

2.2.4. Limpieza y secado de muestras: Se lleva a cabo una limpieza para asegurar que las superficies a estudiar estén completamente limpias y pulidas, sin rastros de otras sustancias que impidan la interpretación de las imágenes o que tienda a confundir los resultados.

El proceso de limpieza se realiza con un lavado simple de etanol, para asegurar que la muestra representativa este completamente limpia, y así permitir un proceso más eficaz.

Una vez realizado el proceso de limpieza, se debe asegurar que las muestras estén completamente secas, después de esto se lleva a cabo un preservando de la estructura original de la muestra, para lograr esto, primero se traslada la muestra a una estufa convencional de 30 a 35 grados centígrados, y luego a un desecador de sílice gel común durante un tiempo aproximadamente de un día.

2.2.5 Recubrimiento de muestras con carbono: En cualquier caso, las muestras deben estar limpias previamente a su recubrimiento con una película conductora, para evitar contaminación superficial por hidrocarburos, ya que el craqueo de las mismas puede producir carbono en la superficie alterando la emisión de electrones secundarios en zonas localizadas. Este efecto aparece en pantalla dejando un marco más oscuro al cambiar de mayores a menores aumentos.²¹

Todas las muestras deben ser conductoras para que el Microscopio Electrónico de Barrido pueda mandar su haz de electrones y así realizar una apreciación. El procedimiento es el siguiente:

1. Se realiza al vacío, se realiza una película de recubrimiento de 20 nanómetros de espesor de carbono.
2. Se aplica una diferencia de potencial entre un hilo de grafito que actúa como la resistencia de una bombilla al pasar la corriente. Al calentarse se desprenden átomos de carbono por efecto termoiónico. Estos caen por gravedad recubriendo la muestra.

²¹ Ibid; p.50.

3. Una vez realizado el recubrimiento por carbono, se debe llevar a un porta-muestra cuidadosamente, la cual permite que la toma de imágenes sea satisfactoria ²²

2.2.7. Montaje de la muestra: La muestra seleccionada seca y limpia, hay varios factores que se deben tener en cuenta, entre ellos podemos citar: el tipo de material, la señal que se detectará, el adhesivo a emplear, y la orientación de la muestra dentro del microscopio electrónico de barrido.

La muestra debe montarse y mantenerse cubierta en un lugar libre de polvos contaminantes y también protegerlas para que no se dañen.²³

2.2.9. Procedimiento para la toma de imágenes: El laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido SEM (Fig. 9), cuenta con un microscopio electrónico de barrido QUANTA 650 FEG (Fig. 10), el cual es un equipo versátil que proporciona imágenes en alto vacío, bajo vacío y vacío extendido (ambiental) para la caracterización de muestras conductoras y no conductoras, la realización de experimentos dinámicos y el análisis químico mediante la técnica EDS.

Una vez obtenida las muestras secas y conductoras se procede a la recopilación de imágenes de los dos tipos de muestras BS-09 y GRM-23. Donde se debe precisar el buen desempeño del equipo asegurándose en tener una calibración adecuada del equipo.

²² URL. http://ocw.uc3m.es/ciencia-e-oin/caracterizacion-de-materiales/practicas-2/Practicas_de_SEM.pdf

²³ Ibid; p.40.

Figura 14. Laboratorio de microscopia electrónica de barrido (S.E.M.) Parque Tecnológico Guatiguará.



Fuente: Laboratorio análisis petrofísicos Parque Tecnológico Guatiguará

Figura 15. Microscopio QUANTA 650 FEG.

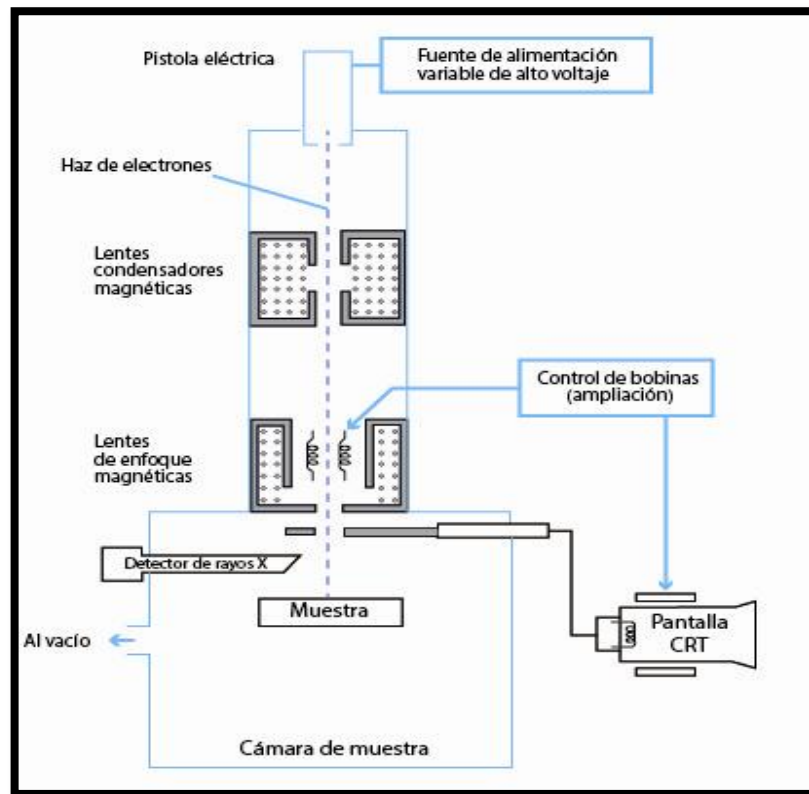


Fuente: Laboratorio análisis petrofísicos Parque Tecnológico Guatiguará

El esquema de un instrumento combinado (Fig. 11), es a la vez un microscopio de electrones y una microsonda de barrido de electrones. Obsérvese que se utiliza una fuente y un sistema de focalización de electrones común pero que el microscopio utiliza un detector de electrones.

El microscopio electrónico de barrido Quanta 650 FEG posee diferentes detectores de haz de luz para obtener las imágenes como los cuales son: Detector de electrones secundarios (SE): Detector de electrones retrodispersados (BSE), Detector de rayos X (EDS): Detector de electrones retrodispersados difractados (BSED):

Figura 16. Esquema de un instrumento combinado.



Fuente: GONZÁLEZ, Javier, Práctica de Microscopía Electrónica de Barrido

Los detectores de electrones retrodispersados (BSE) en los cuales se producen cuando un electrón del haz choca frontalmente con el núcleo de un átomo de la muestra, siendo repelido en sentido contrario fuera de la muestra. La intensidad de dicho efecto varía proporcionalmente con el número atómico de la muestra. Por esta razón se utilizan para obtener un mapa con información sobre la composición superficial de la muestra, Su ventaja consiste en que es sensible a las variaciones en el número atómico de los elementos presentes en la superficie. Si tenemos una superficie totalmente lisa observaremos distintos tonos de gris en función de que existan varias fases con distintos elementos.

Una vez se tiene el detector utilizado en la muestra se tiene diferentes observaciones, donde se tienen en cuenta varios factores para lograr una imagen aceptable a la magnificación deseada; éstos son la distancia de trabajo (DT), el tamaño de la apertura de los lentes electrónicos finales (lentes objetivo), el tamaño del diámetro del haz de electrones (SS, spot size) y el voltaje de aceleración (kV).

Respecto a la distancia de trabajo, se recomienda lo más corta posible, pues a medida que aumenta esta medida, se aleja la muestra del detector y la señal para la imagen es más pobre. Para ello es recomendable no tratar de fotografiar especímenes completos de un tamaño mayor a 2 o 3 mm, para que la DT no pase de 10 mm, muestras de mayor tamaño requieren mayores DT para que salgan completas en un campo de observación. También suele aumentarse un poco la DT para obtener una mayor profundidad de foco.

Las lentes objetivos cuentan con una tira de aperturas variables; 30, 50, 100 y 200 micras, éstas delimitan la cantidad final de electrones que llegan a la muestra y afectan a la profundidad de foco. Se recomienda utilizar las dos más pequeñas con altos kV (5-20) para exploraciones a grandes aumentos que requieran mayor resolución o para obtener una mayor profundidad de foco. Lo más recomendable es comenzar con la apertura de 100 micras y explorar kV vs menores a 5, si la

resolución o señal no es aceptable, se cambiará a 50 micras, son estos dos últimos valores los que más se emplean en la mayoría de las observaciones.²⁴

El diámetro del haz de electrones, se manipula bajo el razonamiento de imaginar la punta de un lápiz; para definir mejor los bordes de los componentes o ultraestructura de la muestra, se procede a disminuir el SS y viceversa, aunque también depende del kV, ya que si este es bajo, requerirá un mayor diámetro para que pasen suficiente electrones que formen la señal para la imagen. También se recomienda comenzar a explorar con un valor medio de SS dentro de la escala, en el caso del MEB Topcon SM 510, éste será un valor de 5 ó 6.²⁵

Por último el voltaje de aceleración, kV, determina el diferencial de voltaje aplicado al filamento para acelerar los electrones primarios a su salida, afectando también el impacto que tengan sobre la muestra y la posibilidad de emisión de electrones secundarios desde la muestra. Para la mayoría de las muestras biológicas se recomienda utilizar de 10-15 kV, asumiendo que a este valor los electrones primarios impactan hasta una profundidad de 5-10 nm y desprende electrones secundarios de los átomos de la muestra, con la que se forma la señal para la imagen en el CRT. Valores mayores de kV hacen que los electrones impacten a mayores profundidades y disminuye la probabilidad de emisión de electrones secundarios; bajos voltajes producen una mayor cantidad de señal secundaria. Se recomienda comenzar a hacer exploraciones a bajos voltajes y elevar su valor para aumentar la resolución de la imagen, si es necesario una vez observada.

²⁴ Nieto maria Guadalupe. Fundamentos en la preparación de muestra para microscopia de barrido electrónica. 2010.

²⁵ Ibid; p.15.

2.2.10. Resultados de imágenes: Cada una de las muestras BS-09 y GRM-23 se le realizó el procedimiento detallada en cual consistió con la toma de 25 imágenes por cada muestra, donde estas imágenes fueron guardadas en un formato de imagen JPEG para poderlas ingresar en el algoritmo y así desarrollar la porosidad a partir de la geometría fractal. Imagen 1 JPEG .BS-09 (Fig. 19). Imagen 2 JPEG .BS-09 (Fig. 20) y Imágen 1 JPEG GRM 23 (Fig. 21), Imagen 2 JPEG GRM 23 (Fig. 22).

Figura 17. Imagen 1 JPEG .BS-09.

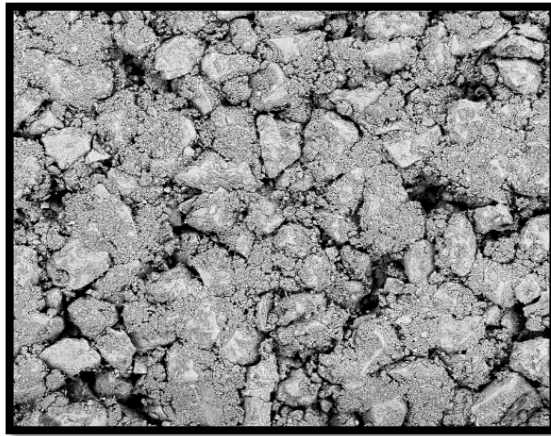


Figura 18. Imagen 2 JPEG .BS-09.

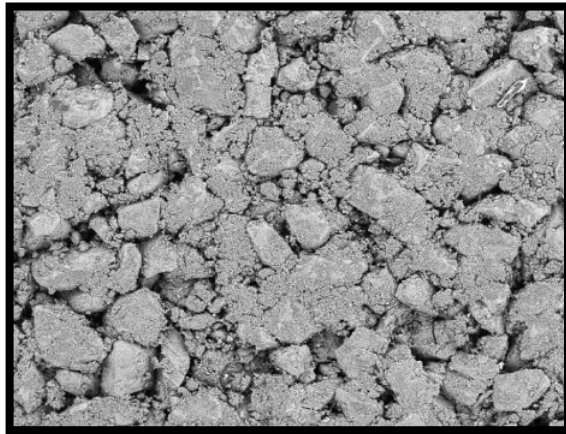


Figura 19. Imagen 1 JPEG GRM 23.

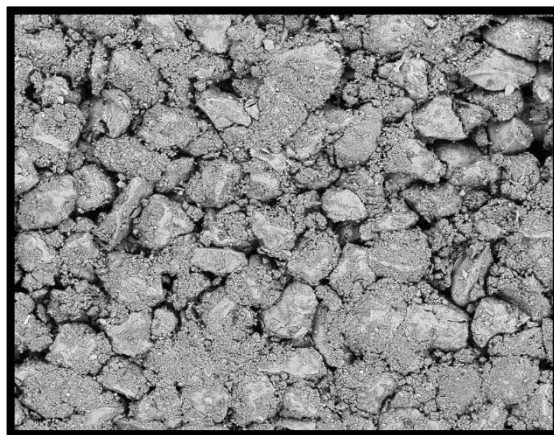
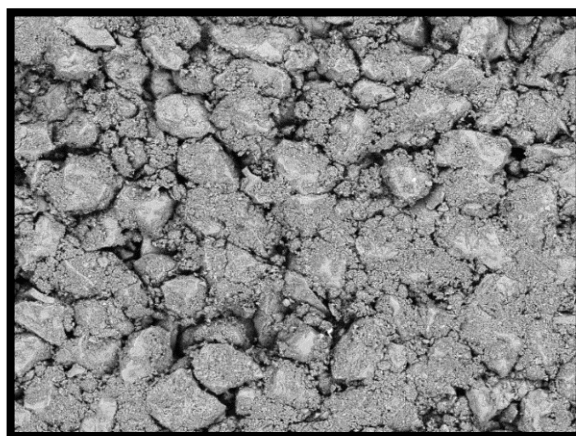


Figura 20. Imagen 2 JPEG GRM 23.



Las imágenes anteriores fueron tomadas por el laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido del parque tecnológico Guatiguará, en cual se registraron un total de 25 imágenes por cada muestra (BS-09 y GRM-23) y se da como ejemplo en el trabajo de investigación dos de ellas.

2.3 DIAGRAMA DE FLUJO DEL ALGORITMO BASADO EN GEOMETRÍA FRACTAL.

En el anexo A se muestra un diagrama de flujo general el cual permite desarrollar el algoritmo y también dar a conocer las diferentes etapas para el desarrollo del software.

2.3.1 Etapas del algoritmo: Dentro del diagrama de flujo general se puede apreciar diferentes etapas, las cuales se clasifican dependiendo del tipo de lenguaje de programación que se lleva a cabo, es importante recalcar que cada etapa presenta diferentes sub-etapas.

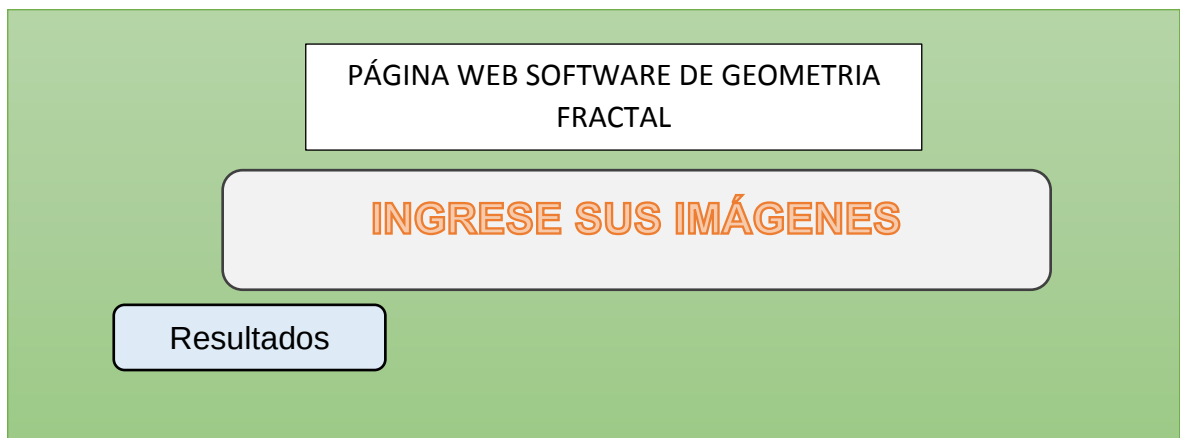
- **2.3.1.1 Etapa 1:** diseño e interacción del usuario: En esta etapa lo que se busca es crear la estructura de la página, con los diferentes estilos, ya sean el tipo de fuente, el tamaño de la fuente, entre otros, y también los eventos que permiten estar a la escucha de actividades específicas que realice el usuario.
- **2.3.1.1.1 Estructura:** Es necesario crear con HTML5 los elementos que componen la página web, tales como el botón de análisis de imágenes y el recuadro en donde se ingresan las imágenes, en otras palabras dar una estructura en la que otros lenguajes de programación pueden hacer uso de ella (Fig. 23).

Figura 21. Estructura con HTML5, las bases de una página web.



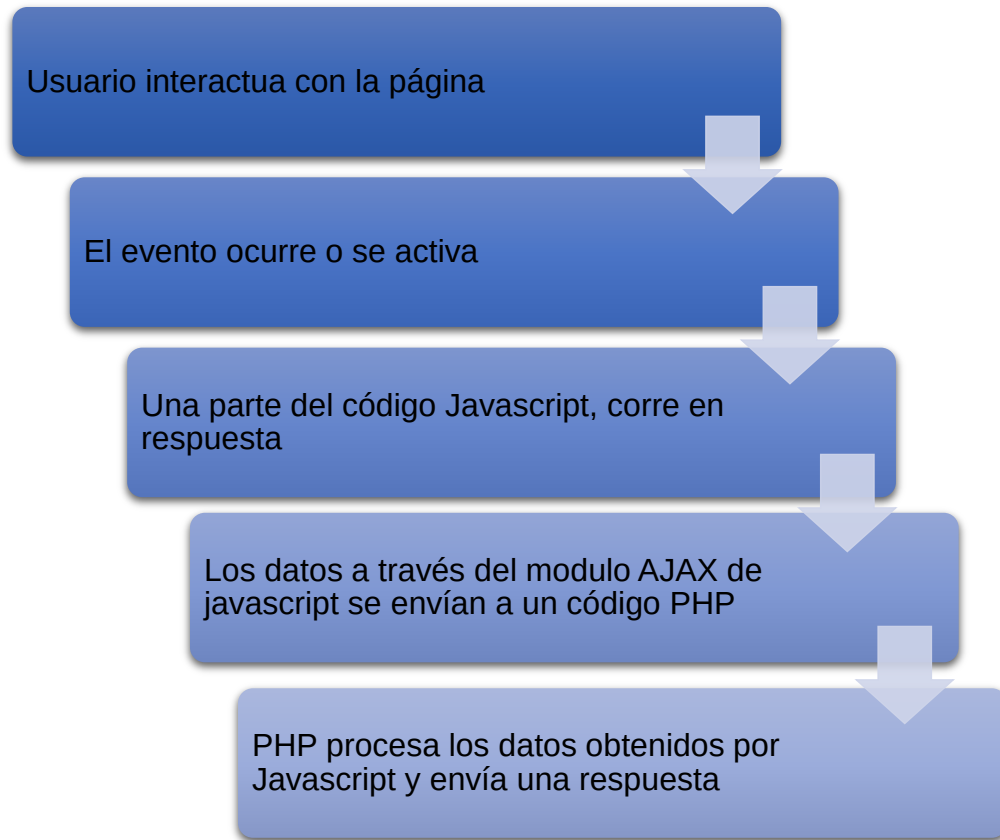
- **2.3.1.1.2. Estilos:** A parte de definir una estructura a la página web, es necesario utilizar el lenguaje de programación CSS3 para que la página web sea mucho más estética, ya sea cambiando el color de fondo, el tipo y tamaño de fuente, entre muchos más, para cualquier elemento que pertenezca a la página (Fig. 24).

Figura 22. Estructura HTML5 con CSS3, al ingresar código CSS3 la estructura de la página web se hace más estética.



- **2.3.1.1.3. Eventos:** Este paso permite proporcionar eventos, es decir, le permite al software estar a la espera de una actividad programada y específica que realice el usuario, como por ejemplo, al arrastrar las imágenes al recuadro de "Ingrese sus imágenes" como se puede observar en la figura 24, este dispara inmediatamente un evento ya programado en donde inmediatamente se envía a la etapa dos de procesamiento de imágenes.

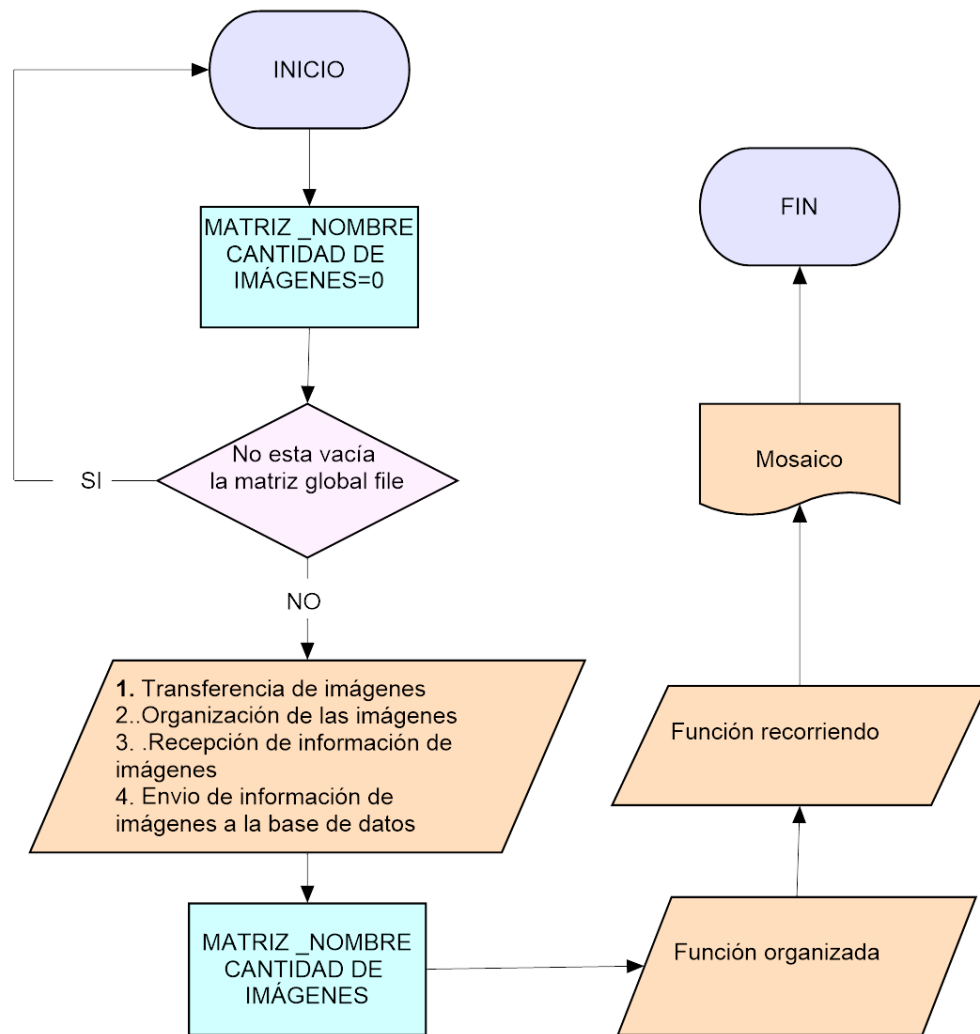
Figura 23. Proceso Recorrido por Ajax, algoritmo realizado para enviar una respuesta a través de Ajax



Por otro lado, este lenguaje permite la implementación de AJAX, con el cual se puede obtener resultados del procesamiento a la vez los datos se direccionan a la hora de producirse el evento, de manera asíncrona, siendo este un beneficio para el usuario a la hora de procesar los datos, debido a que el tiempo de respuesta se disminuye en gran medida (Fig. 25).

- **2.3.1.2 Etapa 2:** Procesamiento de imágenes: Esta etapa recorre todo los píxeles de cada una de las imágenes con el fin de obtener los colores en formato RGB (Fig. 26).

Figura 244. Algoritmo de la etapa 2, concerniente a la transferencia de imágenes y las funciones a seguir para su procesamiento.



- **2.3.1.2.1 Transferencia de imágenes al servidor:** Este proceso se encarga de guardar las imágenes en un directorio del servidor (Fig. 27).

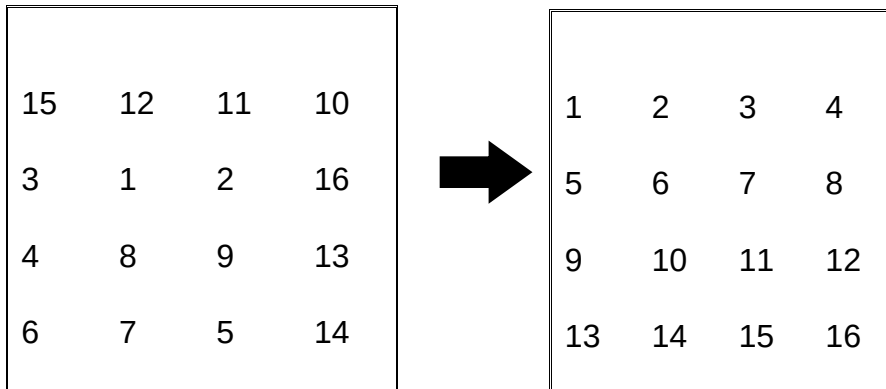
Figura 25. Transferencia de ficheros, servidor y usuario transfiriendo ficheros



Fuente.<http://www.caconsumibles.com/blog/wpcontent/uploads/2015/08/TransferFilesAlt.jpg>

- **2.3.1.2.2. Organización de las Imágenes:** Es la encargada de organizar en un matriz los nombres de las imágenes que son transferidas desde el usuario al servidor, debido a que durante la transferencia estas se envían de manera aleatoria, por lo que la matriz que recibe tales datos estaría en desorden (Fig. 28).
- **2.3.1.2.3. Recolección y Envío de la Información de las Imágenes a una Base de Datos:** En este punto del algoritmo, se hace un recorrido pixel por pixel en el que se obtengan datos de importancia, tales como: la imagen analizada, el pixel horizontal, el pixel vertical, y el color, de esta forma la información se envían a una base de datos para guardarlos y acceder a ellos desde cualquier etapa si es necesario, y así, no se encuentren en una variable aleatoria como lo es una matriz.

Figura 26. Función Organizando, muestra una matriz en el orden de llegada al servidor y el orden final al ser procesada por la función organizando



2.3.1.2.4. Mosaico: Es la encargada de reunir a todas las imágenes en un cuadrado, que es enviado como respuesta al usuario (Fig. 29).

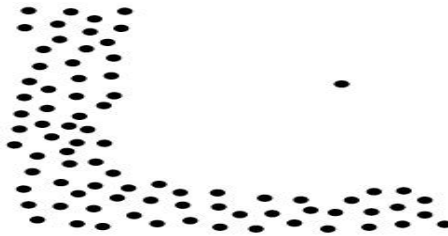
Figura 27. Función Mosaico, muestra el resultado final de la función Mosaico.



Fuente. http://www.designboom.com/weblog/images/images_2/2011/jenny/0-massgames/massgames08.jp

- **2.3.1.3. Etapa 3:** análisis y refinación de imágenes: Esta etapa consiste en analizar todos los píxeles de interés y refinarlos de tal manera que los que se encuentran en el rango de interés pero que no lo son, no sean procesados para obtener el resultado de porosidad en la etapa siguiente.
- **2.3.1.3.1. Obtención de la información de las imágenes:** Se encarga de obtener información de la base de datos que se enviaron y guardaron en la etapa 2.
- **2.3.1.3.2. Análisis de fronteras:** Para realizar el análisis de fronteras es necesario tener en cuenta un rango de color (rgb) que representan los poros, por lo tanto es necesario determinar cuál es el rango óptimo a través del diseño experimental, el cual se realizará más adelante, para definir dicha variable. Además, se encarga de depurar los píxeles que representan poros, pero que son aislados (Fig. 30).

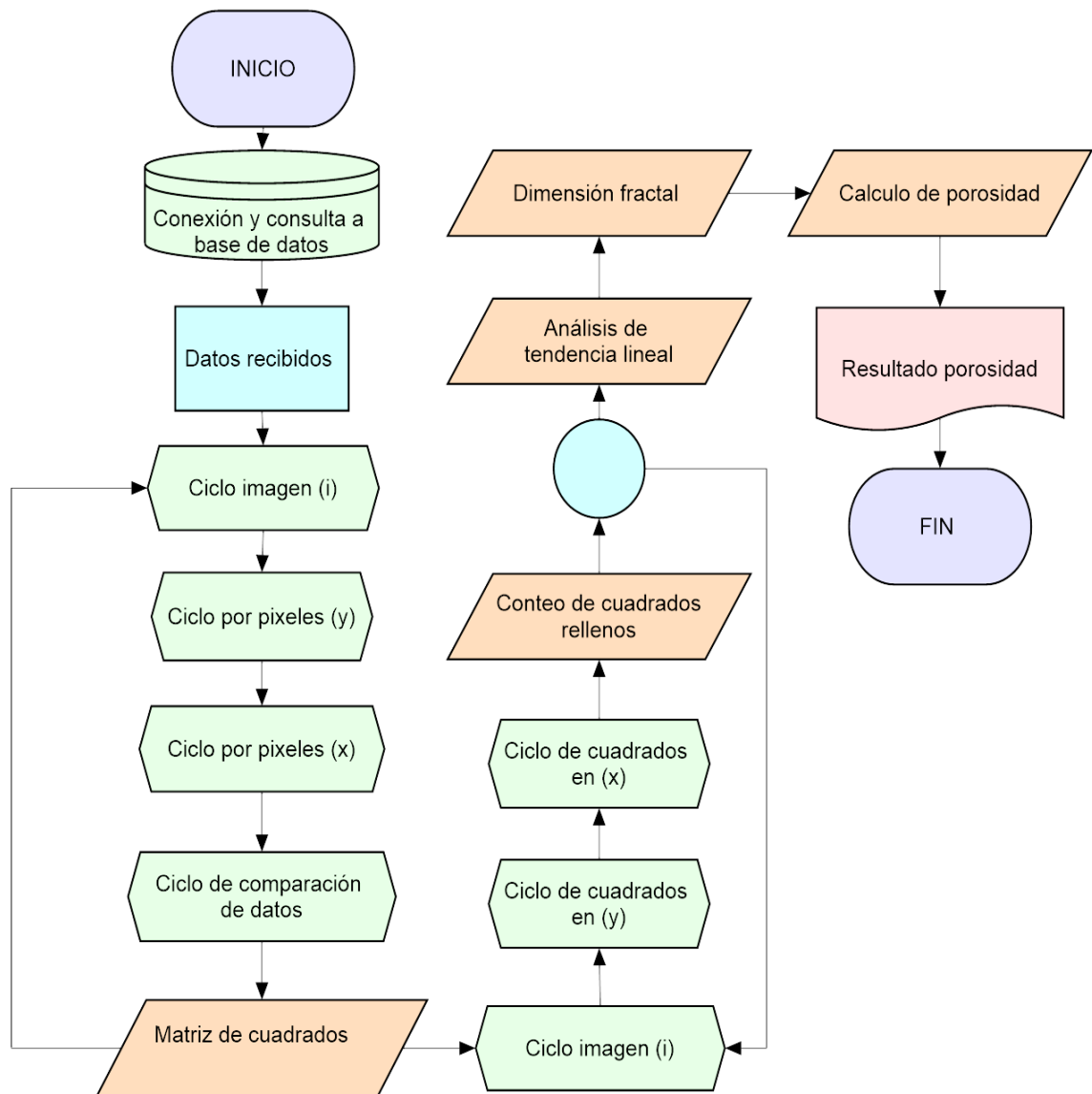
Figura 28. Punto Aislado, se observa claramente que un punto aislado no posee puntos vecinos.



Fuente. <http://www.neuronilla.com/images/stories/noticias/diferenciarse.jpg>

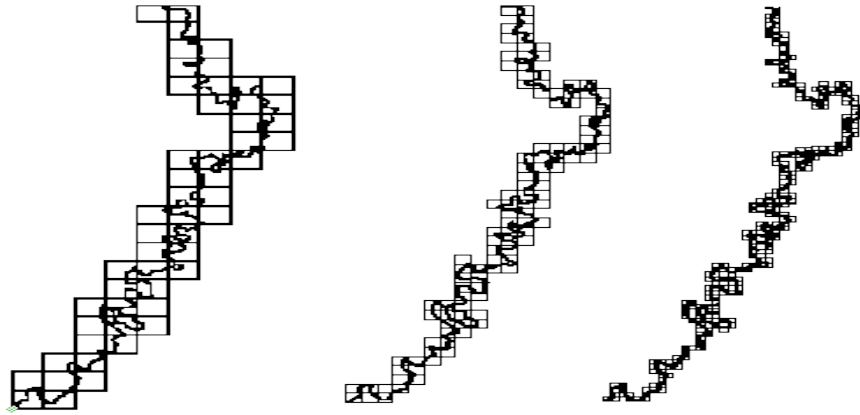
- **2.3.1.3.3. Etapa 4:** Cálculo final para obtención de la porosidad: Esta etapa final aplica métodos iterativos con el fin de obtener la dimensión fractal y a su vez la porosidad (Fig. 31).

Figura 29. Algoritmo Etapa 4, se observan los diferentes ciclos a recorrer en esta etapa con el fin de enviar como respuesta la porosidad obtenida.



- **2.3.1.3.4. Dimensión fractal:** Se encarga de obtener la dimensión fractal de la imagen en su totalidad a través de un método iterativo conocido como Box Counting o en español Conteo de Cajas, el cual calcula la dimensión de Hausdorff, que a su vez corresponde a la dimensión fractal de la imagen (Fig. 32).

Figura 30. Conteo de Cajas, diferentes iteraciones variando el tamaño de caja, para determinar la dimensión del fractal que recubre.



Fuente: <http://www.dmae.upm.es/cursofractales/capitulo8/River2.gif>

- **2.3.1.3.5. Cálculo de la porosidad:** Se encarga de obtener la porosidad del plug, a través de la dimensión fractal obtenida en la sub-etapa anterior, teniendo en cuenta que estas dimensiones fractales representa que tanto llena a la dimensión en la que se forma el fractal, por lo que en base a esta ecuación obtenemos la porosidad.

$$\phi = \frac{D_H - D_T}{D_T}$$

2

2.4. DESARROLLO DE SOFTWARE.

Teniendo en cuenta el diagrama de flujo realizado, para el cálculo de la porosidad por medio de la geometría fractal, se procede a la fase de codificación y depuración de los algoritmos.

2.4.1. Lenguajes de programación: Se hace necesario el lenguaje de programación PHP, el cual permite de una manera sencilla y practica procesar imágenes a través de funciones nativas del mismo, como a su vez posee una curva de aprendizaje mucho mayor que otros lenguajes de programación como C++, el cual permite el funcionamiento del software a nivel local, mientras que PHP lo permite a nivel web, por otra parte se utilizaron lenguajes secundarios de apoyo para obtener una interacción gráfica y amigable con el usuario, estos lenguajes son: HTML5 (Estructura de la página), CSS3 (Diseño de etiquetas), Javascript (Drag and drop y procesador de eventos), AJAX (Procesos Asíncronos) y como editor de texto y código fuente SublimeText 2 y XAMPP como servidor local, este último se hizo necesario debido a que permite simular el servidor sin necesidad de costear un hosting durante el período de desarrollo del software.

2.4.2. Formato de las imágenes: Las imágenes obtenidas en el laboratorio de microscopia se encuentran en formato tiff, pero no es necesario programar al software que realice la conversión de este formato al formato jpg, debido a que el laboratorio puede otorgar las imágenes en dicho formato, el cual se hace más fácil de manipular en PHP. Éste permite realizar compresión de la imagen sin pérdida de calidad y además posee etiquetas que definen la geometría de la imagen, mientras que el formato jpeg además de pérdidas de calidad se hace acumulativa, pero en el desarrollo del software no se hace necesario la compresión de imágenes, por lo que el formato jpeg por este lado se hace fundamental.

2.4.3. Implementación del algoritmo: El diagrama de flujo posee cuatro procesos principales:

- **2.4.3.1. Etapa 1:** diseño e interacción del usuario: Como se muestra en el capítulo tres, esta etapa se encarga de la estructura, los estilos y los eventos programados, en donde intervienen en Html5, Css3, Java Script respectivamente.

Las diferentes etiquetas como por ejemplo <html>, marcan el inicio y el final del documento, por otro lado la etiqueta <head>, la cual corresponde a la cabecera del documento, permite incluir archivos externos, los cuales pueden ser de cualquier lenguaje de programación que pueda ser leído por el servidor o por el navegador, esto beneficia enormemente la programación debido a que en diferentes páginas web, se pueden utilizar estos archivos externos sin necesidad de re-escribir el código del mismo.

A continuación, se puede apreciar las diferentes etiquetas utilizadas durante el desarrollo del software y sus diferentes funciones (Fig. 34).

Figura 31. Estructura-html

```
1  <html>
2  INICIO DEL HTML
3  <head>
4  CABECERA DEL DOCUMENTO
5  <title>TITULO DE LA PÁGINA</title>
6  </head>
7  <body>
8  CUERPO DEL DOCUMENTO
9  </body>
10 CIERRE DEL HTML
11 </html>
```

Figura 32. CODIGO_INDEX_HTML

```
1  <!doctype html>
2  <html>
3  <head>
4      <meta charset="utf-8">
5      <title>Drag & Drop Uploading</title>
6      <link rel="stylesheet" href="../css/global.css">
7  </head>
8  <body>
9      <button id="resultados" type="button">Análisis de Imágenes</button>
10     <div class="dropzone" id="dropzone">Ingrese sus Imágenes!</div>
11     <script>
```

Como se puede observar en la figura 34, se encuentran las etiquetas mencionadas anteriormente, <html> y <head>, pero con diferencias notorias, tales como, la etiqueta <link rel=" " href=" " /> la cual permite por medio de dos parámetros rel y href, obtener la información codificada de un archivo externo, que en este caso particular rel especifica el tipo de formato del archivo el cual corresponde a stylesheet o en otras palabras CSS3 y por otra parte href se encarga de recibir la ruta en donde se almacena el archivo.

Es de importancia ingresar el archivo global.css por que proporciona el código que permite darle los estilos al documento HTML. Por otra parte se encuentran otras series de etiquetas como <button>, <div> y <script>, las cuales permiten crear botones, contenedores y por último ingresar código del lenguaje JavaScript, en donde por medio de los id que se observan en las etiquetas <button> y <div> se pueden generar los eventos dependiendo de la actividad que se espera que realice el usuario.

El CSS3 Como se ha mencionado en capítulos anteriores este lenguaje se encarga de proporcionar estilo a las etiquetas que componen el documento HTML. (Fig. 35)

Figura 33. Imagen_Estilos_CSS3

```
1  body {  
2      font-family:"Arial", sans-serif;  
3  }  
4  
5  .dropzone {  
6      width:300px;  
7      height: 300px;  
8      border: 2px dashed #ccc;  
9      color: #ccc;  
10     line-height:300px;  
11     text-align: center;  
12 }  
13  
14 .dropzone.dragover {  
15     border-color: #000;  
16     color: #000;  
17 }
```

Como se pudo observar en (Fig. 35), este lenguaje de programación permite por medio de atributos tales como id y class asignarles diferentes estilos, con diferentes propiedades que posee, como: El Font-family: la cual permite cambiar el tipo de letra del elemento seleccionado en el documento HTML, desde el tipo de letra por defecto a Arial, como se muestra en la figura (Imagen_Estilos_CSS3).

El JavaScript es la mayor fortaleza de este lenguaje de programación orientando a objetos, es la posibilidad de crear eventos, lo que permite una interacción más amigable y animada con el cliente, como se muestra en (Fig. 36), se hace uso del objeto document que es aquel que posee todo los elementos del DOM (Estructura de objetos que genera el navegador, debido al html), en otras palabras, contiene todos los elementos que se muestran en la página web, ya sean texto, imágenes, enlaces, entre otros. La variable

dropzone que posee el elemento del html al cual identificamos con un id llamado dropzone, esto debido a la función `getElementById`, para así generar los eventos que se pretenden realizar, el cual como se ve en la imagen, consiste en el envío de datos de la forma drag and drop (arrastrar y soltar), como se puede ver claramente en las líneas de código `dropzone.ondrop`, `dropzone.ondragover` y `dropzone.ondragleave` cada una posee una función para que el evento al arrastrar y soltar un archivo se active la función que se encuentra contenida en la variable `upload`, que a su vez hace una llamada al objeto `XMLHttpRequest` nativo de javascript, el cual permite el envío de las imágenes de forma asíncrona (AJAX), en esto proceso se envía las imágenes al servidor, e inmediatamente se avanza a la etapa dos del software.

Figura 34. Imagen_Eventos_Java

```

<script>
(function(){
    var dropzone = document.getElementById('dropzone');

    var upload = function(files) {
        var formData = new FormData(),
            xhr = new XMLHttpRequest(),
            x;

        for(x = 0; x<files.length; x=x+1){
            formData.append('file[]', files[x]);
        }

        xhr.open('post', 'upload.php');
        xhr.send(formData);
        xhr.onload= function(){
            var data = this.responseText;
            var response = document.getElementById("uploads");
            response.innerHTML = data;
        }
    }

    dropzone.ondrop = function(e){
        e.preventDefault();
        this.className = 'dropzone';
        upload(e.dataTransfer.files);
    };

    dropzone.ondragover = function() {
        this.className = 'dropzone dragover';
        return false;
    };

    dropzone.ondragleave = function() {
        this.className = 'dropzone';
        return false;
    };

})();
</script>

```

- **2.4.3.2. Etapa 2:** procesamiento de imágenes: Para realizar el proceso descrito el cual se basa en obtener el color de cada pixel en formato rgb (modelo de color en el que es posible mediante la mezcla por adición de los tres colores primarios de la luz representar otros colores), es necesario realizar otras funciones que permitan llegar a tal objetivo. De esta manera se hace necesario, realizar la transferencia de las imágenes al servidor para que cuando finalice el proceso estas imágenes no se remuevan debido a que son variables aleatorias, por lo tanto se hace necesario el uso del lenguaje de programación PHP, el cual permite una conexión directa entre el usuario y el servidor.

La transferencia de las imágenes se lleva a cabo gracias principalmente a la función nativa de PHP, `move_uploaded_file` y a la matriz global `$FILE`, en donde ambas se encargan con solo añadir la matriz global a la función y especificando una ruta de destino, el envío satisfactorio de las imágenes al servidor.

Sin embargo, la transferencia presenta un inconveniente al momento de enviar las imágenes y consiste en la forma aleatoria en cómo se envía desde el usuario o como las recibe el servidor, esto afecta el orden de la matriz en donde se guardan los nombres de las imágenes, debido a que a la hora de recorrer la matriz con un bucle, al índice cero le puede corresponder el nombre de la imagen de índice 17, lo que implica que no se tendría control del recorrido a la hora de capturar la información de las imágenes para conocer su color.

Por lo tanto, se hace necesario generar una función la cual se ha denominado `Organizando`, la cual recibe como variable independiente los nombres de la matriz, luego esta función ejecuta un ordenamiento matricial tipo burbuja que consiste en revisar cada elemento con su posterior,

intercambiándolos de posición en caso de encontrarse en el orden equivocado. Posteriormente, se procede a ejecutar la función más importante de esta etapa, y se ha denominado Recorriendo, esta función requiere de dos variables independientes, nombre de las imágenes ya ordenadas gracias a la función anterior y el índice que consiste en términos de programación simplemente en un valor numérico que sirve como identificador haciendo más fácil el acceso a los registros o datos que posee una matriz, por otra parte la función hace uso de la función `imagecreatefromjpg` nativa de php, según el manual de PHP: Crea una nueva imagen a partir de un fichero o de una URL(Localizador de Recursos Uniformes, en español). Por lo tanto, la función permite generar la imagen desde un archivo asignándole la ruta del archivo como variable independiente, esto es de vital importancia porque permite el acceso total a la imagen, con ayuda de las funciones `imagesx` e `imagesy`, es posible calcular tanto el ancho como el alto de la imagen, lo cual sirve como parámetro límite a la hora de realizar el recorrido de todos los píxeles de la imagen.

Luego de calcular esa limitante, se hace necesario generar dos ciclos o bucles que permiten recorrer todos los píxeles horizontalmente a medida que se realiza el recorrido verticalmente, esto es, a medida que avanzamos de uno en uno por los píxeles verticales en el primer ciclo, se recorren todos los píxeles horizontales en el segundo ciclo.

Cuando se ingresa al primer ciclo, es necesario realizar una petición en código MySQL el cual es un sistema de gestión de base de datos relacional de código abierto, que consiste en generar una tabla que permite guardar la información de la imagen que son, índice de la imagen, pixel vertical, pixel horizontal y color.

Luego de generar la tabla, se ingresa al segundo ciclo el cual se ejecutará tantas veces como lo indique el parámetro límite, o sea hasta que se recorran todos los píxeles horizontales, durante este proceso se requiere una petición por MySQL en donde se ingresen toda la información obtenida de la imagen en la base de datos en donde se creó la tabla.

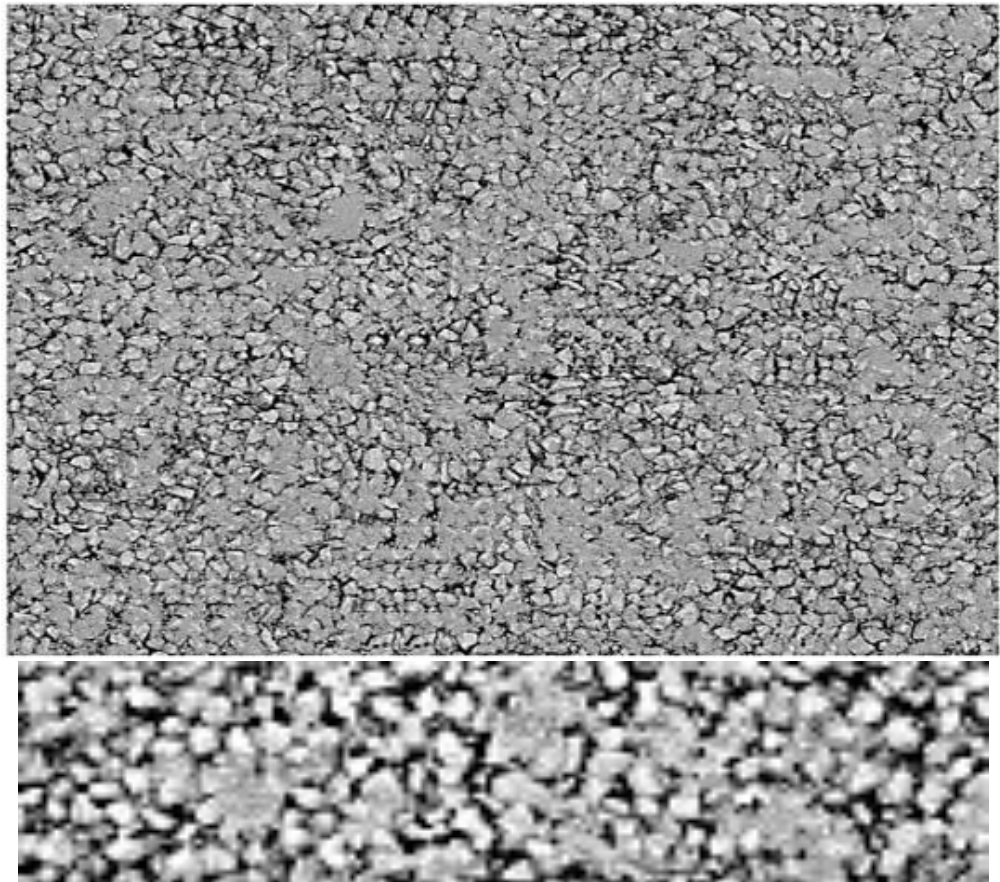
Finalizando ambos ciclos, se realiza un conteo de la cantidad de píxeles horizontalmente y la cantidad de píxeles verticalmente, para luego repetir nuevamente el proceso para la imagen posterior, hasta que se realice para todas las imágenes.

Terminada la función Recorriendo, se realiza otra petición por MySQL para generar una tabla e insertar la cantidad de imágenes, la cantidad de píxeles horizontales y la cantidad de píxeles verticales, debido a que estos datos son necesarios en etapas posteriores.

Finalizando la etapa dos, se envía como respuesta al usuario un mosaico de todas imágenes ingresadas al software, para esto se requiere el uso de la función Mosaico, que recibe como variables independiente la cantidad de píxeles horizontal, la cantidad de píxeles vertical y la matriz con los nombres de las imágenes, con el fin de generar mediante un recorrido por ciclo a la matriz nombre y un condicional basado en la cantidad de imágenes que se ingresaron al software para determinar cuándo es necesario crear contenedores en código html en donde se ingresan la ruta de la imagen para que sea mostrada y además se especifica tanto el ancho como el alto de estas; El condicional se hace necesario para que el mosaico sea un cuadrado, debido a que sin este las imágenes se muestran todas en un solo contenedor. Una representación gráfica de ambos casos (Fig. 37). Muestra la diferencia entre el uso del condicional que permite crear los

contenedores para que el mosaico sea cuadrado, a la derecha, mosaico sin condicional, a la izquierda mosaico con condicional.

Figura 35. Figura del mosaico.



Finalmente, cuando se termina de ejecutar la función se envía una respuesta al usuario de manera asíncrona del mosaico, como se pueden observar (Fig. 38) Y (Fig. 39).

Figura 36. Mosaico 1, respuesta obtenida al ingresar las imágenes para que sean procesadas.

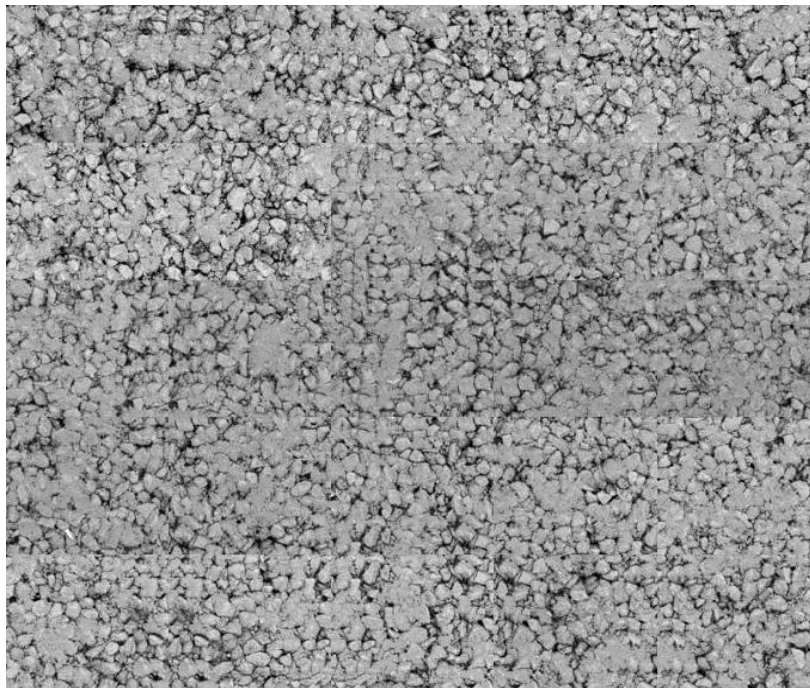
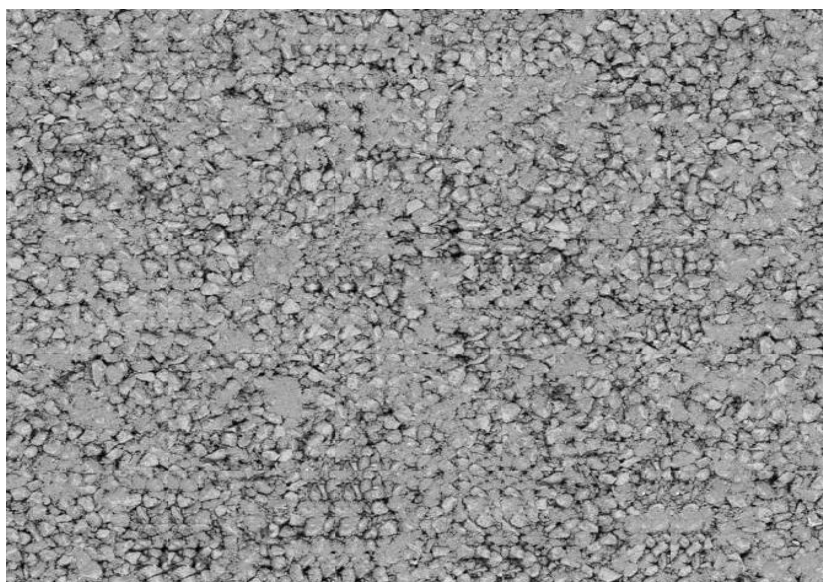
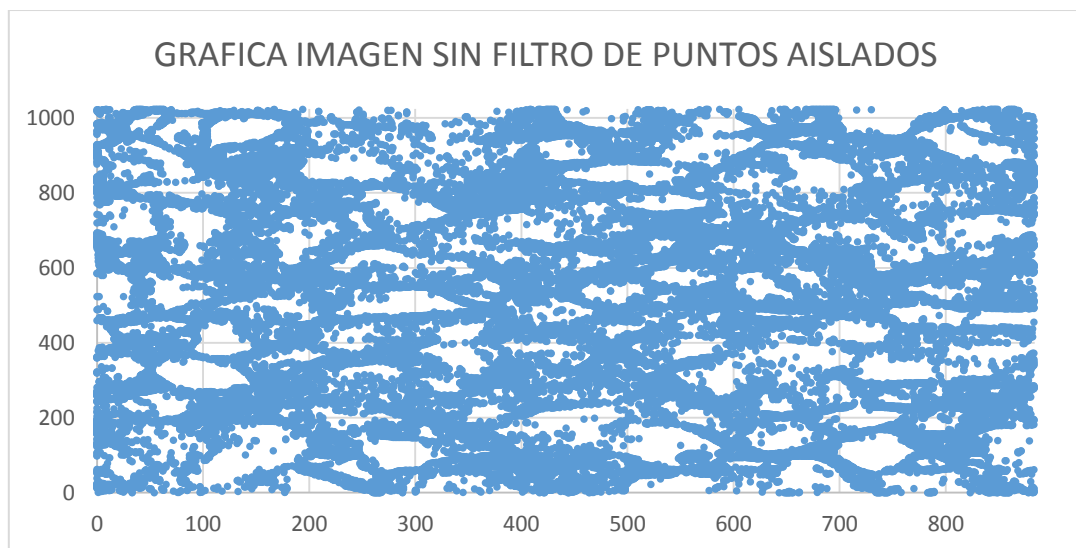


Figura 37. Mosaico 2, respuesta obtenida al ingresar las imágenes para que sean procesadas.



- **2.4.3.3. Etapa 3:** análisis y refinación de imágenes: Para el análisis y refinación de imágenes se hace necesario realizar el diseño experimental que permita obtener el rango de colores como se mencionó anteriormente, por lo tanto se fijó un rango de colores temporal de $[0,50]$, con el fin de obtener colores oscuros los cuales representan los poros, como se puede observar en la (Fig. 40), en donde las abscisas corresponden a los píxeles verticales y las ordenadas corresponde a los píxeles horizontales, se muestra los píxeles concernientes a tal rango.

Figura 38. Distribución con aislados.



Esta distribución de puntos, permitió determinar puntos aislados que pertenecen al rango calculado anteriormente y que no representan un poro, esta particularidad se conoce como ruido y se define como “interferencia

electrónica que se hace presente en situaciones en las que se necesita alta sensibilidad del sensor y exposición relativamente baja²⁶

Por consiguiente, se hizo necesario realizar un análisis de frontera para eliminar el ruido, para tal objetivo el software inicia con un ciclo para recorrer todas las imágenes y durante cada paso por el ciclo la imagen agrega la primera fila correspondiente al pixel vertical cero, debido a que este píxel no se puede comparar con dos filas de la imagen, luego se procede con otro ciclo en donde se avanza verticalmente uno por uno por las filas y por cada paso del ciclo se ingresa a otro ciclo en donde se avanza horizontalmente pixel a pixel para luego realizar las siguientes comparaciones:

al realizar la comparación uno, sí el pixel anterior más uno es igual al pixel en análisis y sí el pixel posterior menos uno es igual al pixel en análisis, significa que hay dos píxeles consecutivos, por lo tanto se agregan dos píxeles a una variable llamada conteo, la cual guarda la cantidad de píxeles consecutivos. Luego de ingresar a tal condicional en el caso de que cumpla la condición, se ingresa a un ciclo en donde se recorren todos los píxeles horizontales de la fila anterior o pixel vertical anterior, para así realizar la comparación con cada uno y encontrar si existe el mismo pixel para dicha fila, en caso tal de que se encuentre el mismo pixel para la fila anterior, entonces se le agrega más uno a conteo, en caso tal de que no exista la igualdad con los píxeles de la fila anterior, se procede a otro bucle que realiza el mismo proceso pero con la fila posterior o píxel vertical posterior.

Al realizar la comparación dos, sí el píxel anterior más uno es igual al píxel en análisis pero el píxel posterior menos uno es diferente al píxel en análisis o sí el píxel posterior menos uno es igual al pixel en análisis pero el píxel

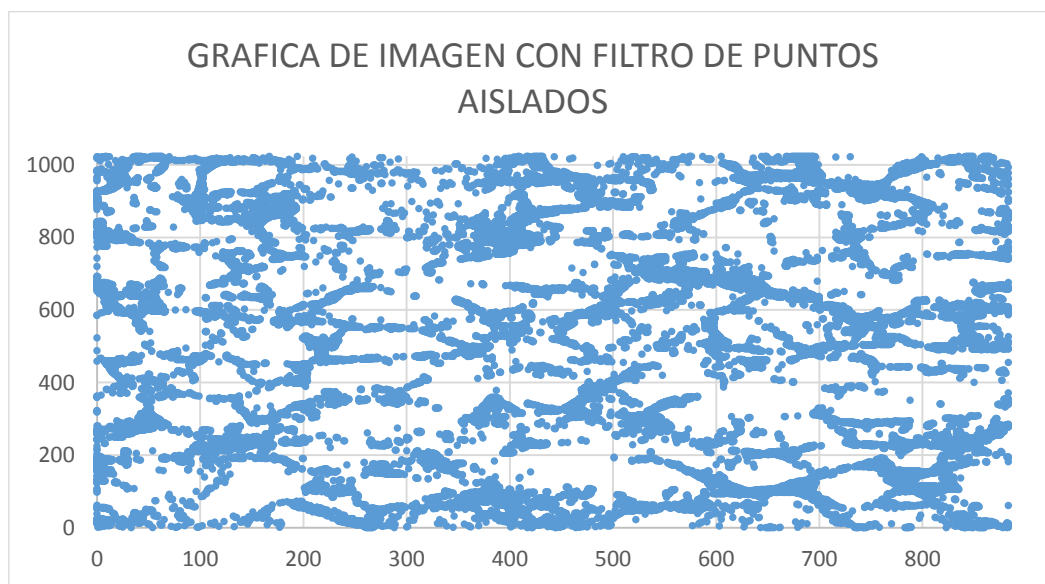
²⁶ .Monzon,Marcelo ,Photoshop desde cero: Retoque y Perfeccione sus Fotos como un Profesional, 1 Edición,Tesis, 2009- Pág 89.

anterior más uno es diferente al píxel en análisis, se realiza el mismo proceso de la comparación uno.

Luego de realizar tales procesos se ingresa a un condicional en donde la variable conteo debe ser mayor que dos, debido a que si no cumple tal condición significa existen tres puntos consecutivos pero no se encuentran en un conglomerado de puntos, que representa un poro.

Posteriormente, se agrega la fila final por la misma razón que la fila inicial, al no poseer dos filas de comparación no se pueden procesar en el algoritmo; Luego de realizar el análisis de frontera se tabularon los píxeles obtenidos de la imagen_001 y como se puede observar en la (Fig. 41), es notable la remoción de ruido.

Figura 39. Sin puntos aislados.



En este punto análisis de frontera finaliza, sin embargo, la etapa tres finaliza con la creación de una tabla en donde se envíen los datos procesados en

base a dichos análisis a través de peticiones MySQL, esto es necesario, debido a que en este caso particular la cantidad de píxeles por cada imagen corresponde a 1024x884, y en todas las imágenes corresponden a 1024x884x25 lo que es igual a 22630400 píxeles, haciendo una conversión a la mínima cantidad de bytes que puede tener un píxel, por ejemplo el número uno que representa el píxel horizontal uno, pesa 0,125 byte, lo que implica que la cantidad de recursos que se consume mínimamente sería 2,69775 MB sin incluir la cantidad de recursos que ocupa la variable en donde se almacenan los datos durante el proceso de análisis de frontera, tal cantidad representa una gran cantidad memoria para una variable aleatoria, lo que puede conllevar a un fallo del software.

- **2.4.3.4. Etapa 4:** cálculo final para obtención de la porosidad: El objetivo es realizar métodos iterativos para calcular la dimensión fractal y a partir de este dato obtener la porosidad: Para lograrlo, se realiza una petición a la base de datos con el fin de obtener los datos enviados en la etapa tres, debido a que son los datos de interés. Basándose en el método iterativo Box-Counting ó Conteo de Cajas, se realiza el proceso para calcular la dimensión fractal.

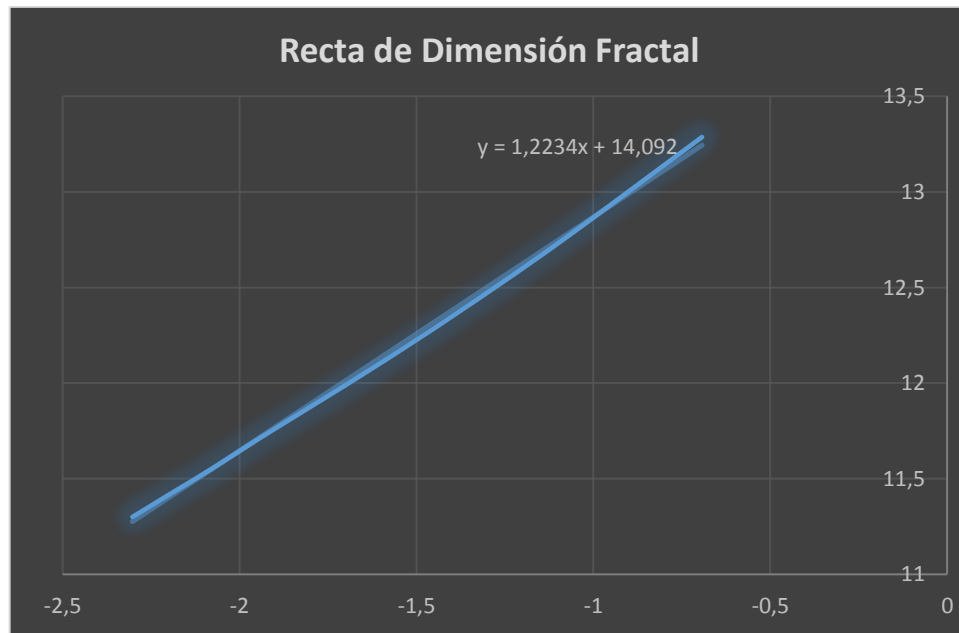
El método iterativo Box Counting consiste en dibujar una malla formada a partir de cuadrados de longitud fija sobre el fractal, y contar la cantidad de cuadrados que al menos contienen un punto del fractal, este proceso se debe realizar a diferentes longitudes de cuadrados.

Con los datos obtenidos para las diferentes longitudes, se procede a calcular la dimensión del fractal, la cual se obtiene a partir de la constante D de la siguiente ecuación:

$$\ln N(r) = D * \ln \frac{1}{r} + C \quad (3)$$

Al graficar los puntos obtenidos en cada proceso, y realizar una gráfica log-log donde r pertenece a las abscisas y $N(r)$ a las ordenadas, se obtiene una gráfica donde la pendiente equivale a la dimensión del fractal. (Fig. 42).

Figura 40. Puntos del box-counting.



Para obtener la dimensión, se hace necesario un análisis estadístico el cual permite generar una regresión lineal de los puntos obtenidos con el menor porcentaje de error posible con respecto a todos los puntos, para esto el software calcula la sumatoria del logaritmo natural del recíproco de la longitud de los cuadrados, la sumatoria de los productos entre el logaritmo natural del recíproco de la longitud de los cuadrados y el logaritmo natural

de la cantidad de cuadrados obtenidos, la sumatoria del logaritmo natural de la cantidad de cuadrados obtenidos, la sumatoria del logaritmo natural del recíproco de la longitud de los cuadrados elevada a su segunda potencia.

Luego de calcular los datos mencionados anteriormente, se ingresan a la siguiente ecuación:

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i t_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n t_i}{n \sum_{i=1}^n t_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n t_i \right)^2} \quad (3)$$

Luego de haber obtenido la dimensión fractal o la pendiente de la regresión lineal, es importante recordar lo estipulado en el capítulo 3 sección 1.4.2 que dice que las dimensiones fractales representan qué tanto llena a la dimensión en la que se forma el fractal y en base a la ecuación planteada en esa misma sección, el software calcula la porosidad ingresando el valor de la dimensión fractal obtenido.

Al finalizar todo el proceso, el usuario recibe una respuesta con el valor de la porosidad determinado por el software.

2.5. SELECCIÓN DE LOS FACTORES

La selección de factores simplemente consiste en cada una de las variables que pueden afectar directa o indirectamente la variable de respuesta, sin embargo, los factores pueden ser controlables o no controlables, entre los cuales tenemos:

- Factores controlables: Rango de Color en formato rgb, cantidad de iteraciones o pasos de análisis de frontera.

- Factores no controlables: Corte del plug, extracción de núcleo y plug, ruido en las imágenes de microscopía, talento humano, tiempo de procesamiento de datos.

2.5.1. Niveles de factores: Los niveles son las variaciones que se pueden realizar a los diferentes factores controlables que se encuentran en el diseño experimental, por consiguiente, las variaciones a realizar en el rango de color debido al formato manejado por el software y al tiempo de ejecución por experimento es de [0,50] y de [0,100], aunque el formato RGB tenga como rango de colores de [0,255] , no es posible modificar el rango de colores a más de 100 debido al consumo de recursos y al tiempo de ejecución, por otra parte, los colores que se encuentran por encima de este intervalo son grises muy cercanos al blanco, por lo que es claro, que no es un poro.

Por otra parte, la cantidad de pasos permite dos niveles tales como 20 y 80 pasos debido a que la cantidad de pasos que se pueden modificar es infinita, se toma un valor muy bajo y otro muy alto con el fin de analizar los efectos que causan ambos sobre la variable de respuesta.

En cuanto, al análisis de frontera simplemente es una variable cualitativa que consta de dos niveles, sí y no.

2.6. SELECCIÓN DE LA VARIABLE DE RESPUESTA

La variable de respuesta seleccionada es la porosidad, debido a que el objetivo principal de esta investigación y del software es calcular tal propiedad petrofísica.

2.7. ELECCIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Teniendo en cuenta los diferentes factores controlables del software y los diferentes niveles en los cuales pueden variar dichos factores, el diseño experimental mejor ajustado es el 2^3 , debido a que presenta dos niveles para 3 factores.

2.8. REALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO

La realización del experimento basado en la elección del diseño experimental 2^3 , se muestra a continuación en la tabla 5.

Tabla 4. Matriz de experimentos

Experimentos	Rangos cantidad	De color de pasos	análisis de frontera	Respuesta	Orden de experimentación
1	50	20	NO	43,88389119	5
2	100	20	NO	75,37113832	8
3	50	80	NO	69,73797987	4
4	100	80	NO	88,40046965	6
5	50	20	SI	25,24393563	7
6	100	20	SI	47,51114902	1
7	50	80	SI	45,72865738	3
8	100	80	SI	69,09099034	2

En la tabla anterior se puede observar claramente que los tres factores (rango de color, cantidad de pasos, análisis de frontera) poseen dos niveles, por lo que se hace necesario realizar ocho experimentos para obtener los diferentes efectos que realizan cada uno de los factores sobre la variable de respuesta, el rango de color representa los colores en formato RGB, que se tienen en cuenta en el análisis del software para obtener como respuesta la porosidad, la cantidad de pasos se

define como la cantidad de puntos que se necesitan para realizar la regresión lineal y así calcular la dimensión fractal la cual tiene relación directa en la ecuación de porosidad y el análisis de frontera simplemente es una variable cualitativa que implica si es necesario o no realizarlo.

Luego de obtener las respuestas en los diferentes experimentos realizados de manera aleatoria, en la tabla 6 se muestran los diferentes efectos que realiza cada uno de los factores junto con sus interacciones.

Tabla 5. Efecto de los factores y sus interacciones

EFEECTO:	
Promedio	58
RC	23,94482081
CP	20,23699577
AF	-22,45468667
RC x CP	-2,932409442
RC x AF	-1,130047642
CP x AF	0,795285762
RC x CP x AF	3,479969231

2.8.1. Efectos principales: A continuación se presenta algunos efectos principales:

- **2.8.1.1. Rango de Colores (RC):** Como se puede notar la variación del rango de color de 50 a 100 tienen un diferencia de medias en las respuesta entre los valores bajos (50) y los valores altos (100) de 23,94 en cuanto a la

porosidad esto implica que al incrementar el rango de colores la porosidad aumenta debido a que tiene en cuenta colores de RGB los cuales no representan un poro, en vista de tal consecuencia, se hace necesario realizar experimentos con respecto a la variación del color por debajo de 50 con el fin de determinar el rango de color óptimo, esto se debe a que el resultado promedio de la porosidad es de 58%.

- **2.8.1.2. Cantidad de Pasos (CP):** Representa una variación considerable debido a que al aumentar los pasos se obtienen porosidades más altas si el rango de color es alto y porosidades más bajas si el rango de color es bajo, lo que implica un error debido a que entre más puntos se obtengan en la regresión lineal, ayudará a una mayor variación en la pendiente, afectando la variable de respuesta. De igual manera que el efecto del rango de colores, se debe determinar la cantidad de pasos óptima para obtener el resultado de porosidad con menos margen de error.
- **2.8.1.3 Análisis de Frontera (AF):** No utilizar el análisis de frontera implica que los puntos que se encuentren en el rango de colores se tendrán en cuenta a la hora de calcular la variable de respuesta por lo que la cantidad de puntos se hace mayor aunque estos simplemente sean causado por ruido.

2.8.2. Efectos de dos factores: A continuación se presenta los efectos de dos factores:

- **2.8.2.1 Rango de Colores (RC) y Cantidad de Pasos (CP):** Como el efecto es negativo aunque sea poco se puede concluir de este que a menor cantidad de pasos se obtienen resultados más bajo de porosidad, afectando el efecto de incrementar el rango de colores (RGB).

- **2.8.2.2. Rango de Colores (RC) y Análisis de Frontera (AF):** Al igual que en el efecto anterior el incremento de rango de colores se ve afectado de manera positiva cuando se realiza el análisis de frontera.
- **2.8.2.3. Cantidad de Pasos (CP) y Análisis de Frontera (AF):** Se concluye que del incremento de la cantidad de pasos y no realizar un análisis de frontera permiten un efecto negativo sobre la variable de respuesta aumentando la porosidad

2.8.3. Efecto de tres factores: A continuación se presenta efectos de tres factores

- **2.8.3.1. Rango de Colores (RC), Cantidad de Pasos (CP) y Análisis de Frontera (AF):** Como se puede notar el efecto indica que al incrementar el rango de colores, la cantidad de pasos y omitir el análisis de frontera permite valores más altos de porosidad.

Teniendo en cuenta, todos los efectos se hizo necesario realizar una experimentación más profunda en donde se varíe el rango de color, la cantidad de pasos y permitiendo un análisis de frontera, a continuación la tabla 7 muestra la fracción de interés de los experimentos que se realizaron para obtener el rango óptimo de color y la cantidad de pasos en donde se obtiene la porosidad con menos margen de error.

Como se puede observar en la tabla 7 para un rango de colores entre 30 y 33 se concluye que el rango de color óptimo es de 30 para una cantidad de pasos de 8, debido a que, a medida que se aumenta el rango de colores, aumenta la porosidad gracias al incremento del intervalo en donde se

consideran más colores asumiéndolos como poros, permitiendo valores erróneos para mayor cantidad de pasos la pendiente tiene mayor variación para un rango de colores alto aumentando el valor de porosidad y viceversa para un rango de colores bajo.

Tabla 6. Experimentos rango de color y cantidad de pasos.

COLOR RGB	CANT PASOS	ANÁLISIS FRONT	RESPUESTA
30	4	SI	26,53367356
30	8	SI	16,53906158
30	12	SI	12,71617261
30	16	SI	11,51124235
30	20	SI	11,45028567
31	4	SI	27,03646555
31	8	SI	17,37583878
31	12	SI	13,47560471
31	16	SI	12,35036986
31	20	SI	12,32775517
32	4	SI	27,41007657
32	8	SI	17,95708345
32	12	SI	14,17957116
32	16	SI	13,1437616
32	20	SI	13,17216162
33	4	SI	27,86488141

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos por el software para cada muestra, se procede a realizar una comparación con los resultados otorgados por el Laboratorio de Análisis Petrofísicos del Parque Tecnológico Guatiguará.

Las muestras de las imágenes otorgadas por el Laboratorio de Análisis Petrofísicos del Parque Tecnológico de Guatiguará se clasificaron en BS-09 que corresponde a la muestra 1 y GRM-23 que corresponde a la muestra 2, ambas otorgadas por el Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido (S.E.M).

Tabla 7. Datos Otorgados por el Laboratorio de Análisis Petrofísicos

MUESTRAS		
NOMBRE	BS-09	GRM-23
ALTURA (cm)	5.5	6
PERMEABILIDA (K)	200,52 D	178,98 D
DENSIDAD	2,64	2,29
DIAMETRO (mm)	37,6	38,17
POROSIDAD	20,3	15,3

Los resultados obtenidos por el software en la muestra 1 y 2 se pueden observar en las (Fig. 41) y (Fig. 42), respectivamente.

Figura 41. Resultados Muestra 1, se muestra la respuesta final del software al terminar todas las etapas.

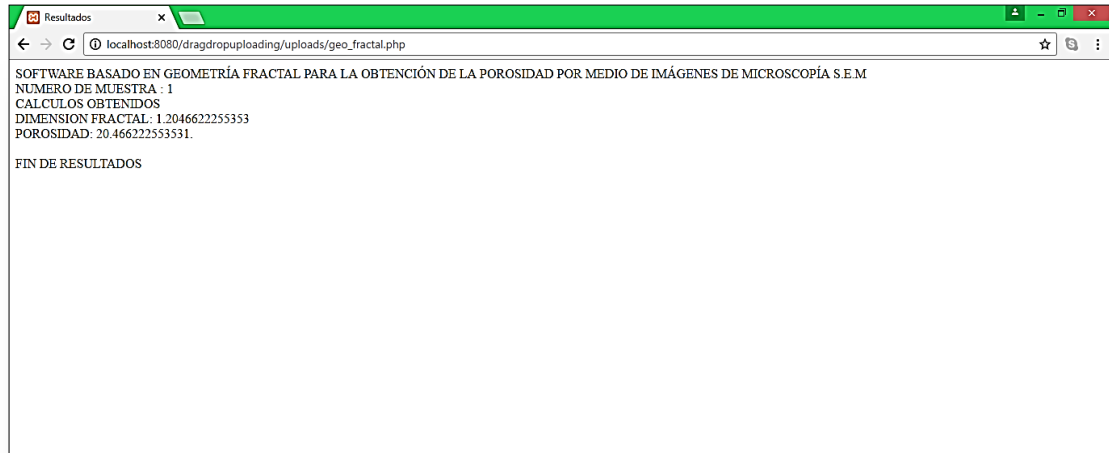


Figura 42. Resultados Muestra 2, se muestra la respuesta final del software al terminar todas las etapas.



En base a los resultados obtenidos por el software se realizó la (Tabla 8) de comparación con los resultados obtenidos en el Laboratorio de Análisis Petrofísicos.

Tabla 8. Análisis Resultados, comparación de resultados software con los resultados Laboratorio Análisis Petrofísicos.

NOMBRE- MUESTRA	POROSIDAD- LABORATORIO	POROSIDAD- SOFTWARE
BS-09	20,3	20,46
GRM-23	15,3	16,53

En base a los resultados obtenidos por ambos métodos de medición, se procede a calcular la desviación o el error del dato obtenido por el software con respecto al dato obtenido en el laboratorio de análisis petrofísicos, el cual se toma como dato teórico, para que sea posible tener una referencia.

Los resultados obtenidos de error o desviación del dato del software con respecto al dato del laboratorio.se calculan de la siguiente manera:

$$\%E = \frac{X_{teorico} - X_{experimental}}{X_{teorico}} * 100$$

Basándose en esta ecuación, se muestra los resultados obtenidos. (Tabla 9)

Tabla 9. Error, muestra el porcentaje de error del software.

NOMBRE MUESTRA	POROSIDAD LABORATORIO
BS-09	0,78%
GRM-23	8,039%

Como se puede observar la variación de los resultados obtenidos por el software en comparación con los resultados obtenidos en el laboratorio, es en promedio en ambas muestras de 4,4095%, lo que implica que hay una variación no lo suficientemente grande, ósea, no mayor al 5% haciendo del software una alternativa de medición confiable.

El error obtenido se debe posiblemente por los siguientes factores:

3.1. REMOCIÓN DE PUNTOS AISLADOS

Debido a que el algoritmo de análisis de frontera, aunque emplea un análisis pixel a pixel, no es posible a través de este analizar las líneas de frontera o límites de cada imagen, o sea, no es posible analizar la primera ni la última fila tanto vertical como horizontal.

3.2. ANÁLISIS BIDIMENSIONAL

Es un factor muy importante y que genera mucha incertidumbre, debido a que las imágenes otorgadas por el Laboratorio de Microscopía Electrónica (S.E.M), todas poseen datos bidimensionales, esto quiere decir que, solo se realizaron capturas de imágenes a la superficie del plug, lo cual solo permite calcular la porosidad

para tal superficie, y se desprecian los datos que se pueden obtener con un avance tridimensional.

3.3. BASE DEL PLUG

Este factor depende de cual base del cilindro se hayan tomado las imágenes de microscopía, el plug al tener una altura muy grande para el ingreso al microscopio se debe cortar, por lo que la superficie al ser alterada pierde la confianza en sus datos. Por lo tanto, es necesario realizar la obtención de imágenes en la base que no se alteró debido al corte. Las imágenes otorgadas por el Laboratorio de Microscopía Electrónica (S.E.M), presentaron dicho factor, por lo que contribuye enormemente en el error de la medición.

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos por el software se desvían en promedio 8,039% para la muestra 1: BS-09 y 0,78 para la muestra 2: GRM-23 con respecto a los obtenidos en el laboratorio de análisis petrofísicos, lo cual hace del software una herramienta útil y efectiva para calcular la porosidad de un plug.

La geometría fractal se ajusta para determinar la porosidad de ciertas muestras, la cual a pesar de ser una relación de volúmenes, se puede definir como una relación de dimensiones.

En el cálculo de la dimensión fractal se determinó la porosidad efectiva, ya que se eliminaron puntos de la imagen que pertenecen a poros aislados y ruido instrumental.

5. RECOMENDACIONES

Realizar varios cortes al plug para obtener de cada superficie imágenes de microscopia electrónica, y así por medio del software adquirir los resultados de porosidad de cada superficie en la que se toman las imágenes, de esta manera obtener un promedio de porosidad con el fin de disminuir el error obtenido por la medición de un solo corte.

Aumentar la capacidad de recursos en el ordenador en caso tal de que el software se encuentre en modo local, o aumentar la capacidad del servidor y la conexión a internet en caso tal de que el software se encuentre en modo web, en cuanto al aumento de la capacidad del servidor es recomendable un servidor dedicado con todos los privilegios; Ambas opciones permiten optimizar el tiempo de procesamiento, análisis y respuesta del software.

Obtener imágenes de microscopia electrónica a partir de la base en la que no se altera la superficie debido al corte y al pulido del plug.

Aumentar el número de muestras para analizarlas en el diseño experimental y determinar un nuevo rango de color y cantidad de pasos con un tamaño de muestra mucho mayor en donde el margen de error sea menor, por otra parte también se hace muy importante a la hora de analizar la variabilidad en la respuesta del software con respecto a la del Laboratorio de Análisis Petrofísicos y de esta manera reducir aún más el sesgo de error entre ambas.

BIBLIOGRAFÍA

BEATI, Hernán, PHP creación de páginas web dinámicas. Libro, 2000, pág.56.

CASTILLO, Gibran, CASTRO, Jorge, evaluación de modelos ir para pozos productores verticales de crudo extrapesado utilizando una herramienta Software. Tesis, Universidad Industrial de Santander 2015, pág. 28

CORREA, Natalhie, OROZCO, Eusebio; evaluación de los componentes efectivos del mucílago del fique para la inhibición de arcillas. Tesis Universidad Industrial de Santander 2010, pág. 53

DOUGLAS, Montgomery, diseño y análisis de experimentos. Libro, Universidad Estatal de Arizona, pág. 49.

GOMEZ, Iván, síntesis y caracterización de grafeno químicamente reducido (crg), empleando técnicas espectroscópicas y microscopía electrónica de barrido. Tesis, Universidad Industrial de Santander 2012 Pág. 45.

GONZÁLEZ, Javier, Práctica de Microscopía electrónica de barrio (SEM), Libro Universidad Carlos III de Madrid 2008, pág.29

HINESTROSA, Moisés, aplicación de geometría de fractales a la descripción de microestructuras metálicas. 1996, pág.10

HALL, Cecil E, microscopia de electrónica. Libro, Urmo, 1970, pág. 80

JUAN, Oros, navegar en internet: diseño de páginas web interactivas con java script y css. Libro, alfa omega, 2004, pág.26

KENNETH, Falconer, fractal geometry: mathematical foundations and applications. Libro, Chichester 2006., pág.38

LÓPEZ, Cristian, FLÓREZ, José, optimización del modelo de flujo de fluidos en el medio poroso aplicado a un campo petrolero colombiano. Tesis, Universidad Industrial de Santander 2015, pág.47

MEJIA, Enrique., síntesis y caracterización de grafeno químicamente reducido empleando técnicas de espectroscopia y microscopia electrónica de barrido. Tesis, Universidad Industrial de Santander, 2012, pág.16

MELONI, Julie, html5, css3 y JavaScript. Libro, Anaya, Multimedia, 2012 pág.28

NIETO LOPEZ, María, fundamentos en la preparación de muestras para microscopía electrónica de barrido Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido, Tapachula, Chiapas, México.2010 pág. 50

PINILLA, Johana, estudio de factibilidad sobre la aplicación de la geometría fractal en la caracterización de la porosidad de las rocas sedimentarias. Tesis, Universidad Industrial de Santander. 2004., pág.45.

RODRÍGUEZ, Giovanni, elaboración de una cartilla sobre geometría fractal en secundaria. Tesis, Universidad Industrial de Santander. 2006, pág.31

RODRIGUEZ, Jose, ingeniería básica de yacimientos. Libro, Universidad del Oriente 2007, pág.19

SANTOS, Nicolás, PEREZ, Julio, guía de prácticas del laboratorio de rocas y fluidos. Libro, Universidad Industrial de Santander. 1998.

SABOGAL, Sonia, ARENAS, Gilberto, una introducción a la geometría fractal. Libro, Universidad Industrial de Santander. 2011, pág. 58

SAWYER, David, CSS. THE MISSING MANUAL. Libro, Anaya multimedia 2010

YANEZ, María, MORALES Alfonsina, SORRIVAS, Viviana, principios y práctica de la microscopia electrónica. Tesis, conicet 2014 pág. 57

ANEXOS

Anexo A : MANUAL DE USO Y FUNCIONAMIENTO DEL SOFTWARE

Debido a la vital importancia de conocer el funcionamiento y el proceso que se debe llevar a cabo para obtener respuesta del software. Se hace necesario conocer los siguientes pasos.

Es importante aclarar que el software se encuentra en una versión Beta, lo que implica que los procesos no son amigables tanto con el usuario y además se necesitan realizar cambios por parte del programador a cargo.

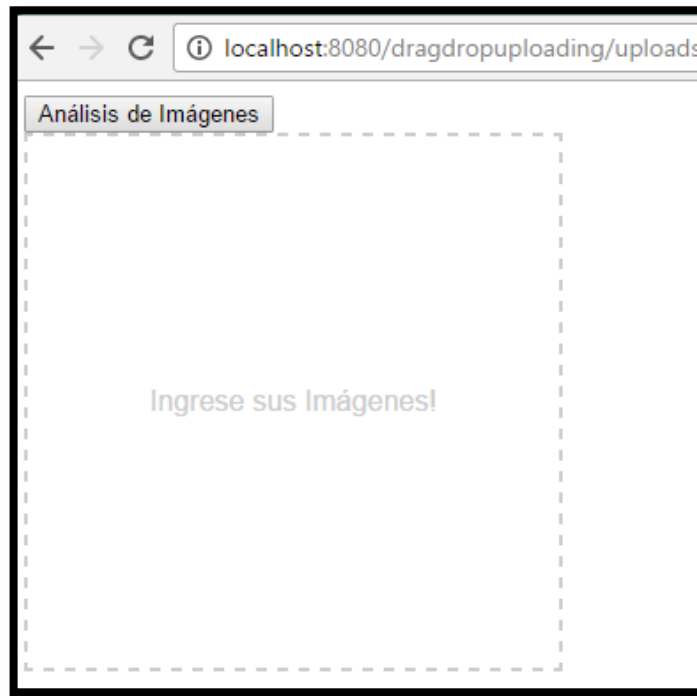
1. **CONFIGURAR SERVIDOR LOCAL:** Este breve paso consiste en configurar tanto el usuario como la contraseña de la base de datos de su servidor local. Esto se realiza dependiendo del servidor local descargado ya sea XAMPP, MAMP PRO, LAMP, etc., siguiendo las instrucciones para tal proceso.
2. **CREACION DE BASE DE DATOS:** Luego de configurar su Login, es necesario crear una base de datos, siguiendo de igual manera las instrucciones del servidor elegido.
3. **AJUSTE DE LOGIN Y BASE DE DATOS EN EL SOFTWARE:** Se ingresa al software y en las pestañas upload.php, resultados.php y geo_fractal.php se configuran los datos de login y el nombre de la base de datos que se asignó, como se observa en la siguiente imagen:

Figura A1:

```
13     public function Recorriendo($name_image,$bandera_recibida){  
14         $this->conexion=mysqli_connect('localhost','root','chigui','geofractal2')
```

4. **INGRESO DE IMÁGENES:** A continuación se abre el navegador de preferencia, y se ingresa en la url el siguiente enlace: <http://localhost:8080/dragdropuploading/uploads/> , el valor número 8080 dependen del puerto predeterminado que posee el servidor o al que el programador halla configurado el usuario, inmediatamente se observa un recuadro punteado con un texto que dice “Ingrese sus imágenes”, tal como lo muestra la anexo A1 , en donde su función es arrastrar las imágenes en formato jpeg de microscopía electrónica desde la carpeta local a la carpeta del servidor:

Figura A2: Análisis de imágenes



EL botón Análisis de imágenes no puede ser pulsado si las imágenes no han sido transferidas al servidor, debido a que el software retornaría un error.

5. **ANÁLISIS DE IMÁGENES:** Luego de que la transferencia es completada, el servidor envía como respuesta el mosaico de las imágenes que se ingresaron, luego de haber realizado el debido proceso que se muestra en el figura A2 se pulsa el botón análisis de imágenes y luego de que se ejecute dicha acción el software arroja como respuesta “Etapa de análisis y refinación de datos finalizada” y se muestra el botón Resultados, tal como se muestra en el diagrama de flujo siguiente:

FIGURA A3: Diagrama de flujo general

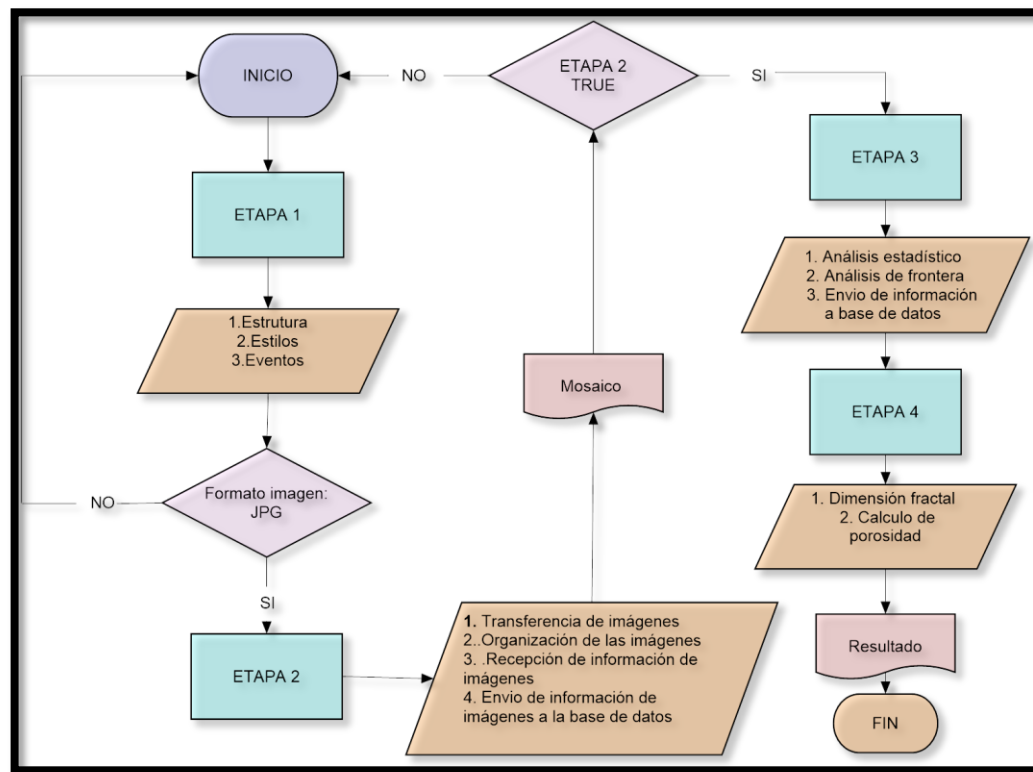
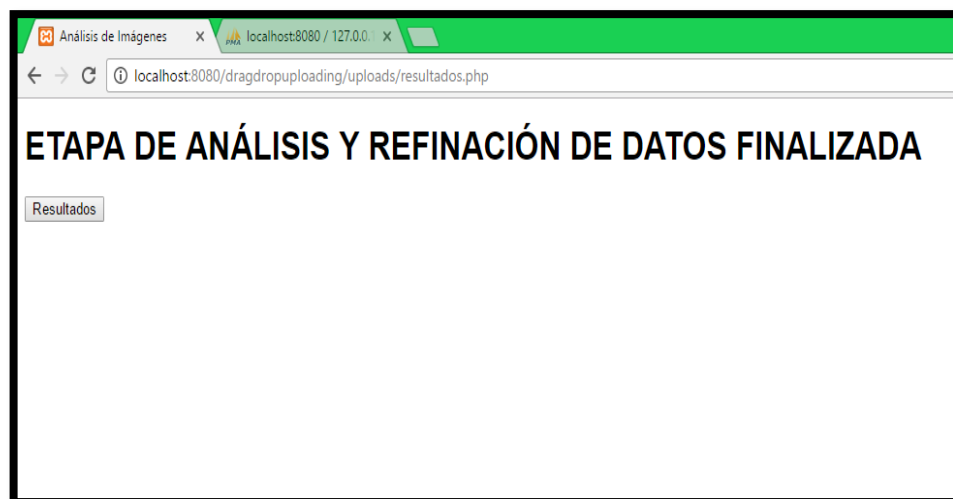
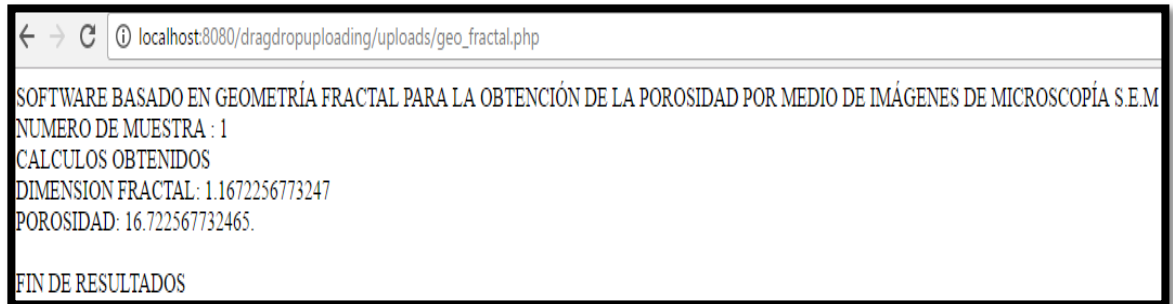


Figura A4: Etapa de análisis y refinación



6. **RESULTADOS:** Luego de que el análisis y la refinación de datos sea exitosa, se procede a pulsar el botón resultados en donde el software realiza un método iterativo con el fin de calcular la dimensión fractal y a su vez determinar la porosidad:

Figura A5:



Por último, si el usuario desea realizar el cálculo de porosidad de otras imágenes, es necesario partir desde el punto 3 “Ajuste de login y base de datos en el software”.