

Artículo de Investigación/Research Article

Análisis de Sedimentos Utilizando un Enfoque de la Programación Estructurada

Sediment Analysis Using a Structured Programming Approach

Daniela Arias-Madrid¹
Oscar A. López-Paz²
Jovani A. Jiménez-Builes³

Fecha de recepción: 29 de junio de 2012
Fecha de aceptación: 24 de octubre de 2012

-
- 1 Inteligencia Artificial en Educación, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín-Colombia, daariasma@unal.edu.co
 - 2 Inteligencia Artificial en Educación, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín-Colombia, oalopezp@unal.edu.co
 - 3 Inteligencia Artificial en Educación, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín-Colombia, jajimen1@unal.edu.co

Resumen

Este artículo presenta un algoritmo diseñado para el análisis de una muestra sedimentaria de material no consolidado, pretende establecer en muy poco tiempo las principales características que se presentan en el sedimento, de esta manera clasificarlas rápida y eficazmente. Para lo anterior se requiere ingresar el peso de cada tamaño de partículas en el programa, y utilizando el método de los Momentos, que se basa en cuatro ecuaciones que representan el promedio, la desviación estándar, el Skewness y la Kurtosis, se hallan las particularidades de la muestra en muy pocos segundos. Con el programa, estos cálculos se realizan de una manera efectiva y mucho más precisa, obteniendo además las explicaciones de los resultados de las características como el tamaño del grano, la selección, la simetría y la procedencia, lo cual ayuda a la perfección del estudio de los sedimentos y en general de las rocas sedimentarias.

Palabras clave

Tamaño de grano, siliciclástico, programación estructurada, método de los Momentos, geología.

Abstract

This paper presents an algorithm designed for the analysis of a sedimentary sample of unconsolidated material and seeks to identify very quickly the main features that occur in a sediment and thus classify them fast and efficiently. For this purpose, it requires that the weight of each particle size to be entered in the program and using the method of Moments, which is based on four equations representing the mean, standard deviation, skewness and kurtosis, is found the attributes of the sample in few seconds. With the program these calculations are performed in an effective and more accurately way, obtaining also the explanations of the results of the features such as grain size, sorting, symmetry and origin, which helps to improve the study of sediments and in general the study of sedimentary rocks.

Keywords

Grain size, siliciclastic, structured programming, method of Moments, geology.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el uso y conocimiento de los aplicativos informáticos han tomado importancia para agilizar y mejorar cálculos repetitivos y extensos que hacen parte de las actividades propias de la ingeniería, y en general de todos los campos de la ciencia.

En la historia geológica, el análisis de los sedimentos ha sido un fuerte fundamento para la comprensión de los sucesos que han alterado el planeta, como por ejemplo la temperatura y el cambio en procesos volcánicos y sísmicos; pero también han aportado al descubrimiento de sustancias económicamente valiosas y que han revolucionado el mundo actual, como lo son el gas, petróleo, piedra caliza, material para construcción y extracción de minerales (Tarbuck & Lutgens, 2005).

Así que partiendo de la base y de la caracterización de los sedimentos con el apoyo de tratados de sedimentología e investigaciones como (Flemming, 2007) o (Poizot, Méar, & Biscara, 2008), se puede concluir resultados en unión de herramientas informáticas que permiten disminuir tiempo. Es allí donde el algoritmo toma importancia, dado que permite ayudar a la geología y a la petrología sedimentaria en el componente de análisis de sedimentos. Para lo anterior se utiliza el mecanismo llamado el método de los Momentos, el cual permite caracterizar un sedimento y hallar conclusiones, como la determinación de su origen y qué tan bien o mal seleccionada se encuentra la muestra.

Además de aportar para la determinación de su origen, es decir, si los sedimentos provienen del río o de la playa, permite identificar características que aportan cualidades que tiene la roca formada a partir de esta muestra, como el tamaño, la forma de sus granos, la energía que poseía, el medio de transporte que la removió, y el exceso o la escasez de partículas que la conforman.

2. MARCO TEÓRICO DE REFERENCIA

Las rocas sedimentarias son uno de los tres tipos de rocas que existen en el planeta. Están conformadas por la consolidación de

sedimentos en la cual su principal característica es la diversa composición, estructura y textura que posee, de acuerdo a su ambiente de formación y a los cambios que pudo padecer con el tiempo, especialmente las rocas siliciclásticas, que al contrario de las carbonatadas que generalmente se forman "in situ", estas se generan por procesos de erosión, transporte y deposición (Tarbuck & Lutgens, 2005). Un sedimento es un material sólido, transportado por factores como el viento, el agua o el hielo, que se deposita en capas de forma no consolidada (Boggs, 2009).

La caracterización adecuada de las rocas siliciclásticas con el método de los Momentos puede generar alguna dificultad para representar gráficamente y realizar cálculos estadísticos con valores en milímetros (tamaños muy pequeños), por lo tanto se ha utilizado el factor Phi (Φ) que se considera como el $-\log_2 d$ (donde d = tamaño de la partícula en milímetros) y que corresponde a un valor consecuente con cada malla obtenida en el tamizaje para la separación de partículas. Esta representación permite separar valores de forma continua en forma de números enteros con las partículas mayores positivas y las menores negativas. Esto, para determinar la cantidad de partículas de un tamaño específico del sedimento y poder establecer las características propias de un trabajo de campo, precisando las particularidades del sedimento y concluir variables como la selección y el tamaño promedio de los clastos.

Se han realizado varias investigaciones alrededor de la clasificación de los sedimentos de una manera rápida y efectiva utilizando las diversas ventajas que ofrece la programación (Poppe, Eliason, & Hastings, 2004). El algoritmo descrito en el presente artículo permite clasificar la muestra según el tamaño de grano, y analizar diversos parámetros estadísticos mediante el método de los Momentos, de una manera mucho más práctica, utilizando un algoritmo más sencillo y fácil de usar, además indica una interpretación verbal del resultado, y facilita gráficas útiles para el análisis de sedimentos, características que sirven como complemento a la hora de realizar análisis más completos, como el transporte de los sedimentos (Pandarinath & Narayana, 1993) o el análisis imágenes digitales de sedimentos (Buscombe, 2008), además provee un punto de comparación contra otros métodos de análisis

estadístico de los mismos (Bartholdy, Christiansen, & Pedersen, 2007).

3. MATERIALES Y METODOLOGÍA

Para el funcionamiento del programa, lo primero que se debe hacer es ingresar el peso de las partículas según su medida. Para esto, el sedimento se somete a un método de separación que divide las partículas por tamaños y es llamado tamizaje, y en cada malla quedan fracciones del sedimento que luego son llevados a una balanza para calcular sus pesos.

Al digitar en el programa el resultado del peso de las partículas que contiene cada malla, inmediatamente después de su accionamiento, rápidamente realiza unos cálculos basados en el método de los Momentos (Folk, 1974), que proporciona información acerca de la muestra que permiten estudiar con mayor facilidad la procedencia y los factores que pudieron haber alterado de alguna manera el sedimento, como lo son el transporte, la erosión y la meteorización.

Esta herramienta estadística posee cuatro fórmulas, cada una corresponde a un momento. Al realizar la operación se obtienen una serie de números que son analizados en unas tablas, y de acuerdo a esto se pueden deducir varias características. El programa además de proporcionar los valores numéricos, suministra el análisis mencionado, así, el primer momento permite clasificar la muestra de acuerdo al tamaño que más predomina; el segundo momento examina que tan homogéneas y parecidas son las partículas que conforman el sedimento; el tercer momento mide la tendencia de las partículas hacia un tamaño determinado, es decir, la simetría respecto a un valor medio evaluando la predisposición hacia un tamaño grueso o fino; el cuarto momento estudia la buena o mala distribución de la muestra respecto al valor central.

Además, el programa basándose en los resultados del segundo y tercer momento, permite restringir la muestra a ambientes de transición que son el de playa o el de río, proporcionando una mayor claridad sobre las características de la muestra.

3.1 Método de los Momentos

Es una herramienta utilizada en la sedimentología basada en formulas estadísticas que proporciona información acerca de los sedimentos para determinar a partir de sus resultados, las características del mismo, y concluir su importancia en cada proceso geológico (Folk, 1974).

3.1.1 Promedio

Corresponde al primer momento (1), de acuerdo con Boggs (2009), la fórmula matemática que los calcula se expresa en:

$$\sum_{i=1}^N \frac{(\text{Porcentaje de peso}) * (\text{Phi medio})}{100} \quad (1)$$

El primer momento (1) determina el tamaño promedio de la muestra y agrega la característica de este proceso al estudio del sedimento, la cual se indica en tamaños como limo, arena fina, arena media, guijarro, entre otros, los cuales serán evaluados según la tabla para tamaño de sedimentos Udden-Wentworth (Tabla 1).

3.1.2 Desviación estándar

Es el resultado del segundo momento (2) y de acuerdo con Boggs (2009) la fórmula matemática que lo calcula se expresa en:

$$\sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(\text{Porcentaje de peso}) * (\text{Phi medio} - \text{Promedio})^2}{100}} \quad (2)$$

Dicho resultado representa el grado de selección de la muestra (Fig. 1), un dato importante a la hora de definir la procedencia del sedimento. Esta cualidad nos indica qué tan similares son los tamaños de todas las partículas que componen la muestra, dando paso a la deducción del transporte y la roca fuente del ejemplar analizado (Folk, 1974).

Tabla 1. Escala Udden–Wentworth para tamaño de granos en sedimentos.
Fuente: Boggs, 2009

	Modelo americano de tamiz de malla	Milímetros	Unidades Phi (Φ)	Clase de tamaño según Wentworth		
Grava		4096	-12			
		1024	-10	Peñasco		
		256	256	-8		
		64	64	-6	Matatένα	
		1				
		16		-4		
	5	4	4	-2	Guijarro	
	6	3,36		-1,75		
	7	2,83		-1,5		
	8	2,38		-1,25	Gránulo	
	10	2,00	2	-1		
Lodo		270	0,053	4,25		
		325	0,044	4,5	Limo grueso	
			0,037	4,75		
			0,031	1/32	5	
			0,0156	1/64	6	Limo medio
			0,0078	1/128	7	Limo fino
			0,0039	1/256	8	Limo muy fino
			0,0020		9	
			0,00098		10	
	Arcilla		0,00049		11	
		0,00024		12	Arcilla	
		0,00012		13		
		0,00006		14		

Tabla 1. Continuación

	Modelo americano de tamiz de malla	Milímetros	Unidades Phi (Φ)	Clase de tamaño según Wentworth	
Arena	12	1,68	-0,75	Arena muy gruesa	
	14	1,41	-0,5		
	16	1,19	-0,25		
	18	1,00	1		0
	20	0,84			0,25
	25	0,71		0,5	Arena gruesa
	30	0,59		0,75	
	35	0,50	1/2	1	
	40	0,42		1,25	Arena media
	45	0,35		1,5	
	50	0,30		1,75	
	60	0,25	1/4	2	
	70	0,210		2,25	Arena fina
	80	0,177		2,5	
	100	0,149		2,75	
	120	0,125	1/8	3	
	140	0,105		3,25	
	170	0,088		3,5	Arena muy fina
	200	0,074		3,75	
	230	0,0625	1/16	4	

La Fig. 1 representa la homogeneidad de las partículas que conforman un sedimento, es decir: si las partículas son de dimensiones muy parecidas, se dice que la muestra se encuentra muy bien seleccionada (primer recuadro), y así a medida que los tamaños van variando, se va perdiendo la afinidad en la muestra y se clasificará como moderadamente seleccionada, o como pobremente seleccionada cuando los tamaños ya muestran grandes diferencias.

La interpretación verbal de la desviación se realiza mediante una clasificación de los resultados numéricos (Tabla 2).

Tabla 2. Indicadores de la selección a partir del resultado del segundo momento (2).
Fuente: Folk, 1974

Desviación Estándar	Selección
< 0,35	Muy bien seleccionada
0,35 a 0,50	Bien seleccionada
0,50 a 0,70	Moderadamente bien seleccionada
0,70 a 1,00	Moderadamente seleccionada
1,00 a 2,00	Pobrementemente seleccionada
2,00 a 4,00	Muy pobrementemente seleccionada
> 4,00	Extremadamente mal seleccionada

3.1.3 Skewness (asimetría)

Es el tercer momento (3), el cual se calcula con la siguiente fórmula (Boggs, 2009):

$$\sum_{i=1}^N \frac{(\text{Porcentaje de peso}) * (\text{Phi medio} - \text{Promedio})^3}{100 * (\text{Desviación estándar}^3)} \tag{3}$$

Este procedimiento indica el exceso, carencia, o buena distribución de partículas, de un determinado tamaño en el sedimento; por ejemplo, una asimetría negativa (Fig. 2) significa un exceso de partículas tamaño grueso en la muestra, así como una asimetría positiva (Fig. 2) indica el exceso de partículas de grano fino en la misma. Esta ecuación depende de la desviación estándar (2), así cuando el segundo momento es cero no podrá ser calculado. De aquí se parte al uso de un método diferente para analizar este dato, y es cuando se utiliza el método gráfico. Por esta razón el algoritmo incorpora un par de gráficas las cuales hacen posible y facilitan dicho análisis. La interpretación verbal del resultado obtenido se hace mediante una clasificación (Tabla 3.) propuesta por (Folk, 1974).

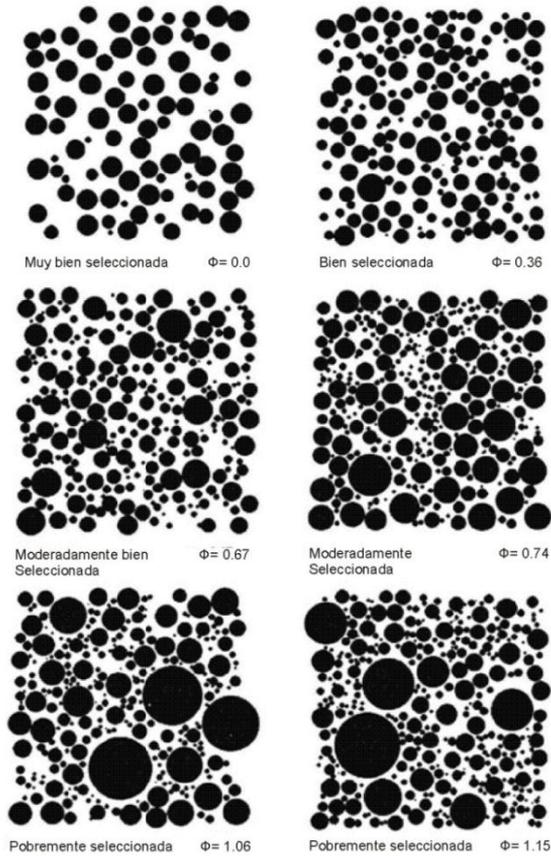


Fig. 1. Comparación textural del decrecimiento de la selección en una muestra de sedimento. Fuente: Boggs, 2009

Tabla 3. Indicadores de asimetría según el resultado del tercer momento. Fuente: Boggs, 2009

Skewness (Asimetría)	Descripción Verbal
> +0,30	Asimetría fuertemente fina
+ 0,30 a +0,10	Asimetría fina
+0,10 a -0,10	Cercana a la simetría
-0,10 a -0,30	Asimetría gruesa
< -0,30	Asimetría fuertemente gruesa

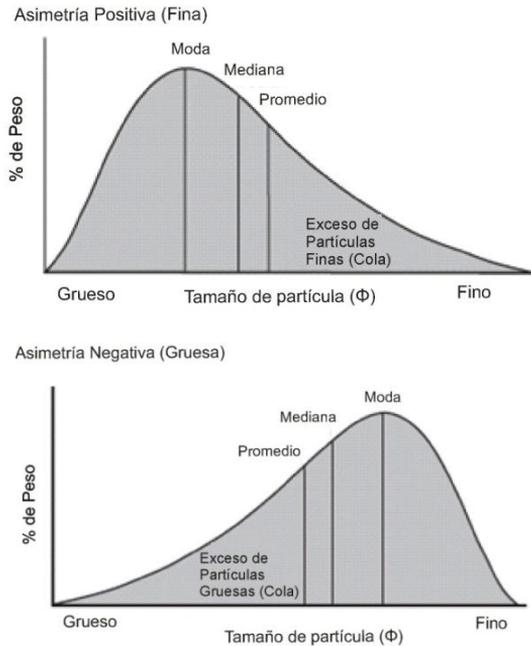


Fig. 2. Curvas de frecuencia de tamaño de grano sesgadas, mostrando la diferencia entre una asimetría con tendencia a tamaños gruesos y otra con tendencia a tamaños finos. Fuente: Boggs, 2009

3.1.4 Kurtosis

Corresponde al resultado de la medición del cuarto momento (4), y se calcula de la siguiente manera (Boggs, 2009):

$$\sum_{i=1}^N \frac{(\text{Porcentaje de peso}) * (\text{Phi medio} - \text{Promedio})^4}{100 * (\text{Desviación estandar}^4)} \quad (4)$$

Es una característica la cual proporciona información acerca de la concentración y distribución de los pesos alrededor de los valores centrales (Fig. 3), es decir, acerca de las mallas correspondientes a tamaños medios de las partículas. Esta más que una

calidad geológica es una comprobación de la estadística que ayuda a corroborar la asimetría y selección de la muestra (Tabla 4).

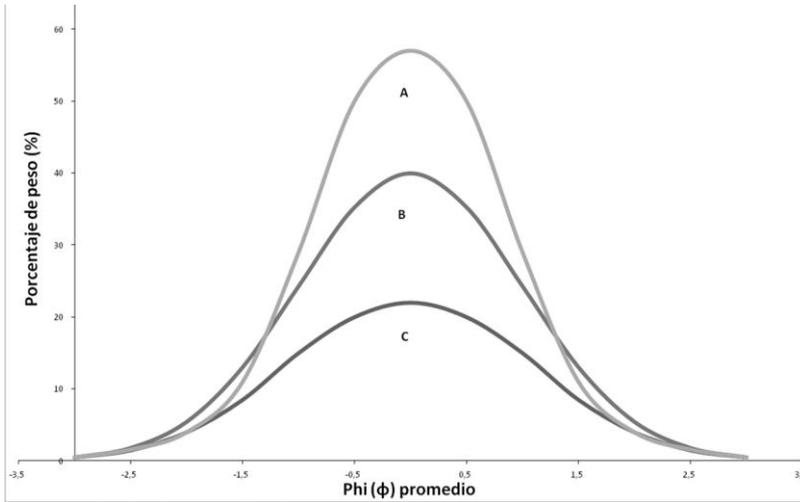


Fig. 3. Descripciones generales de la interpretación de Kurtosis a partir de las gráficas de porcentaje de peso vs. phi. Donde A muestra una curva Leptocúrtica, B una distribución normal o mesocúrtica y C una distribución Platicúrtica. Fuente: Autores

Tabla 4. Indicadores de concentración alrededor de los valores centrales a partir del resultado del cuarto momento (4). Fuente: Folk, 1974

Kurtosis	Descripción
< 2,44	Curva platicúrtica
= 2,44	Curva mesocúrtica
> 2,44	Curva leptocúrtica

3.2 Procedencia de una Muestra de Sedimentos

Determinar la zona de origen donde proviene el sedimento es una de las cualidades que los geólogos en campo siempre esperan hallar, debido a que es un factor importante para la búsqueda de rocas sedimentarias de valor comercial, ya que a partir de esta información, y del lugar donde se encuentra el sedimento, se puede

hacer una mejor aproximación de factores como el transporte, la meteorización y erosión de la muestra, al igual que las características que puede tener una roca litificada a partir de ella (Nichols, 2009). Este análisis relaciona el segundo (2) y el tercer momento (3) para brindar información sobre la procedencia (Fig. 4):

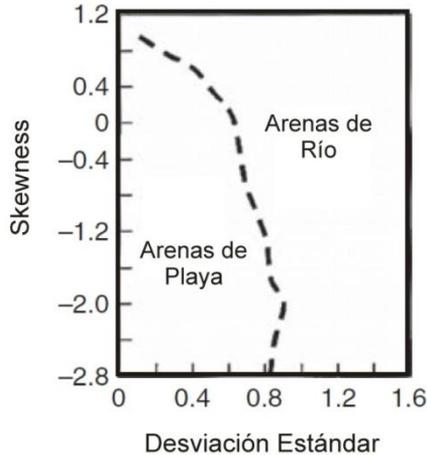


Fig. 4. Gráfica del tamaño de grano en dos variables, momento de asimetría (Skewness) frente al momento de desviación estándar. Fuente: Boggs, 2009

3.3 Algoritmo Diseñado

Se presenta a continuación un resumen del algoritmo utilizado y generalizado:

Algoritmo 1: Análisis estadístico del sedimento

INICIO

```

For i=1 to Numero_de_mallas_ingresadas
  Leer peso de cada malla
  Porcentaje (i)=Peso_Leido / Peso_Total
  Acumulado (i)= Acumulado(i-1) + Porcentaje(i)
  If Porcentaje(i) > Moda then
    Moda=Porcentaje(i)
  
```

```

                                End if
                    Next i
Aplicar Momentos'
    Promedio= Funcion_Momento_1 (Porcentaje)
    Desviacion_Estandar= Funcion_Momento_2 (Porcentaje,
Promedio)
    Asimetria= Funcion_Momento_2 (Porcentaje, Promedio,
Desviacion_Estandar)
    Kurtosis= Funcion_Momento_3 (Porcentaje, Promedio,
Desviacion_Estandar)
    Procedencia= Funcion_Procedencia (Asimetria, Desvia-
cion_Estandar)

    Mostrar_Interpretacion= Interpretar (Moda, Promedio,
Desviacion_Estandar, Asimetría, Kurtosis, Procedencia)

Generar Graficas'
    Grafica_1= Graficar (Porcentaje, Phi_max)
    Grafica_2= Graficar (Acumulado, Phi_max)
FIN

```

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El algoritmo ofrece soluciones rápidas frente a problemas comunes en la geología sobre el nombramiento y clasificación de los sedimentos, ya que al fundamentarse en una ciencia exacta como la estadística, sus resultados proporcionan seguridad y certeza sobre lo dicho al analizar los pesos de las mallas de la muestra sedimentaria y obteniendo las interpretaciones de los cálculos. Las Fig. 5 a 8 muestran el aplicativo donde se implementó el algoritmo diseñado.

Tamaño de malla	Peso de Muestra	
Mayor tamaño Retenido	Medido en gramos	
32 mm	0	Nota: Los pesos (masa de la muestra) deben escribirse con comas para indicar decimales.
16 mm	0	
8 mm	0	Si no hay peso en dicha malla escribir 0.
4 mm	0	
2 mm	3.85	
1 mm	5.77	
500 micras	9.39	
250 micras	11.77	
125 micras	14.44	
625 micras	18.09	
31.25 micras	15.46	
15.625 micras	9.64	
7.8125 micras	5.43	
3.90625 micras	2.49	
1.955323 micras	2.94	
0.97656 micras	0.5	
Fondo (< 0.98 micras)	0.22	

Fig. 5. Interfaz del programa. Fuente: Autores

Para el funcionamiento del aplicativo se ingresan los datos que corresponden al peso de cada malla para realizar todos los cálculos estadísticos (Fig. 5). Estos pesos se obtienen a partir del tamizaje de la muestra y el pesaje de cada residuo en las mallas.

Análisis de sedimentos		
Cálculos Gráficas		
Recuerde escribir los valores de peso en la hoja de Excel		
Porcentajes De Peso	Phi Max.	Porcentajes De Peso Acumulado
1,389661	-5	1,389661
1,889939	-4	3,2796
1,278488	-3	4,558088
25,95887	-2	30,51695
3,11284	-1	33,6298
1,889939	0	35,51973
13,00723	1	48,52696
1,889939	2	50,4169

Fig. 6. Interfaz de ordenamiento de datos. Fuente: Autores

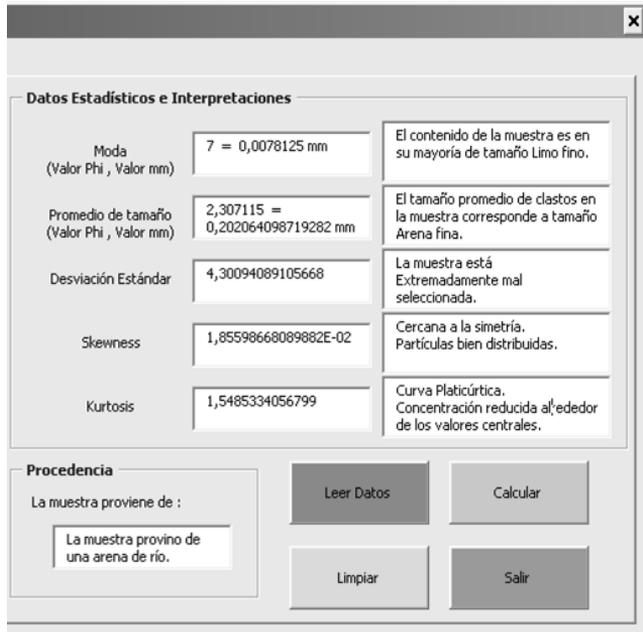


Fig. 7. Interfaz de interpretación y ejecución. Fuente: Autores

Los datos ingresados, son leídos e introducidos al programa donde se muestran convertidos a porcentaje de peso y porcentaje de peso acumulado de forma ordenada (Fig. 6), se calculan las cualidades estadísticas y se muestra su interpretación (Fig. 7).

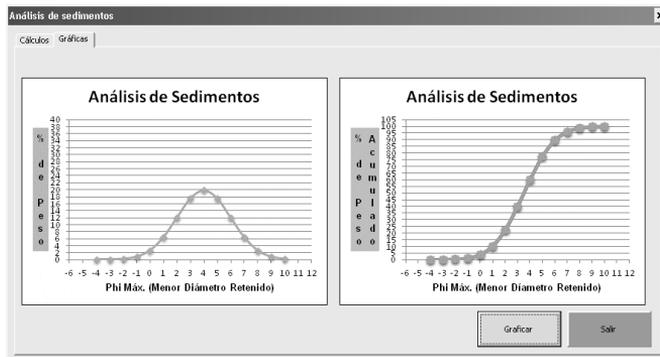


Fig. 8. Interfaz de las graficas. Fuente: Autores

El algoritmo muestra dos graficas según los datos calculados por el programa, obtenidos explícitamente a partir del porcentaje de peso y porcentaje de peso acumulado que se grafican versus el valor Phi de cada malla (Fig. 8).

El programa permite obtener en segundos características como: el tamaño de grano predominante, selección, simetría y origen de la muestra. Adicional ayuda para identificar en un día de trabajo más de las muestras que normalmente se identifica, ya que manualmente los resultados y análisis del método de los Momentos tarda entre dos y cuatro horas, y más aún a aquellas que están en formación. De esta forma se colabora con el arduo trabajo de campo en la identificación del sedimento y el tiempo que emplean los profesionales, y es allí donde su importancia radica ya que permite identificar los resultados e interpretaciones en muy poco tiempo con certeza y eficacia.

5. CONCLUSIONES

El algoritmo diseñado confirmar la aplicabilidad que la programación estructurada otorga a las diferentes ramas del conocimiento acompañado de procesos cognitivos: lógica, memoria y abstracción. De esta manera se resuelven dificultades que se pueden presentar, en este caso, con la clasificación de un sedimento, específicamente lo que conforma las rocas siliciclásticas, y el lugar de su procedencia donde el programa nos muestra los resultados estadísticos y el análisis de ellos en unos segundos.

Los cálculos manualmente, con sus gráficas, conllevan un tiempo alrededor de 2~3 horas, tiempo establecido en experiencias vividas, mientras que con el programa todas las características y las graficas tardan alrededor de 4 segundos, siendo estas más exactas.

De igual manera, no solo el estudio y análisis de componentes siliciclásticos, sino también la importancia y eficacia que puede tener en las investigaciones de los demás tipos de rocas que existen, y en general en la geología, podemos implementar el algoritmo y así determinar características propias del tipo de roca, y con el apoyo de otras áreas como la paleontología, determinar en qué

época de la historia de la tierra se originaron con solo el conocimiento de la programación y la complementación interdisciplinar que se genera.

6. AGRADECIMIENTOS

El trabajo que se describe en este documento forma parte del proyecto de investigación: "Plan de Acción para el fortalecimiento de los grupos de Investigación Inteligencia Artificial en Educación y Diseño Mecánico Computacional", patrocinado por la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia (código Hermes: 14198).

7. REFERENCIAS

- Bartholdy, J., Christiansen, C., & Pedersen, J. B. (2007). Comparing spatial grain-size trends inferred from textural parameters using percentile statistical parameters and those based on the log-hyperbolic method. *Sedimentary Geology*, 202, 436-452.
- Boggs, S. J. (2009). *Petrology of sedimentary rocks*. New York, United States: Cambridge University Press.
- Buscombe, D. (2008). Estimation of grain-size distributions and associated parameters from digital images of sediments. *Sedimentary Geology*, 201(1-2), 1-10.
- Flemming, B. W. (2007). The influence of grain-size analysis methods and sediment mixing on curve shapes and textural parameters: Implications for sediment trend analysis. *Sedimentary Geology*, 202(3), 425 - 435.
- Folk, R. L. (1974). *Petrology of sedimentary rocks*. Austin, United States: Hemphill Publishing Co.
- Nichols, G. (2009). *Sedimentology and Stratigraphy*. Chichester, United Kingdom: Wiley-Blackwell.
- Pandarathna, K., & Narayana, A. C. (1993). Computer program for the determination of grain-size statistics and sediment transport direction. *Computers & Geosciences*, 19, 735-743.

- Poizot, E., Méar, Y., & Biscara, L. (2008). Sediment Trend Analysis through the variation of granulometric parameters: A review of theories and applications. *Earth-Science Reviews*, 86(1-4), 15-41.
- Poppe, L. J., Eliason, A. H., & Hastings, M. E. (2004). A Visual Basic Program to Generate Sediment Grain-Size Statistics and to Extrapolate Particle Distributions. *Computers & Geosciences*, 30, 791-795.
- Tarbuck, E. J., & Lutgens, F. K. (2005). Ciencias de la tierra: *Una introducción a la geología física* (8ª Edición ed.). Madrid: Prentice Hall.