



Distribución Granulométrica del Material de Lecho en Ríos con Procesamiento Digital de Imágenes

Carlos Manquillo
Ingeniero Físico
Docente Instituto

Tecnológico de Educación Superior Comfacauca
sede Santander de Quilichao
cmanquillo@unicauca.edu.co

Resumen: Se presentan apartes de un trabajo de investigación basado en el procesamiento digital de imágenes orientado a la obtención de curvas de distribución granulométrica en lecho seco de ríos de montaña. El procedimiento se centra en la localización, extracción, análisis y posterior clasificación de las partículas de arena y grava presentes en una muestra de material aluvial. Este trabajo fue realizado bajo la colaboración de la Mse Ana C. Arbelaez.

Palabras Clave: Unidades Phi, granulometría, imagen digital, procesamiento digital de imágenes, segmentación.

La determinación de las características del material en el lecho seco se efectúa típicamente, siguiendo un método de conteo manual como se muestra en la Figura 1. De esta manera se obtiene información básica sobre el tamaño y frecuencia del material aluvial, con los datos obtenidos se realizan gráficas cuyas curvas permiten hacer una estimación de la distribución granulométrica.

Dado que este método es dispendioso y consume mucho tiempo, se propone la utilización de técnicas de procesamiento digital de imágenes fotográficas, para obtener información acerca de las características físicas del material y las correspondientes curvas de distribución granulométrica.

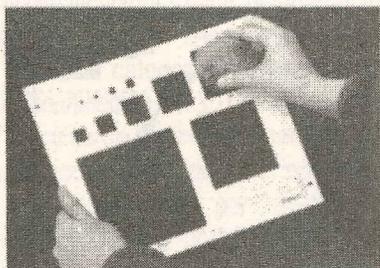


Figura 1. Método de muestreo manual (BUNTE, ABT, 2001).

Los datos obtenidos son importantes para una gran variedad de propósitos, que pueden ser agrupados en tres áreas principalmente, según lo expresa Ferguson:

- Monitoreo del lecho para detectar posibles impactos debidos a desbordamientos, analizar el hábitat y evaluar medidas de mitigación.
- Cálculo de flujos hidráulicos para evaluar tasas de transporte de material, capacidad de transporte, resistencia a la erosión, cuyo análisis puede permitir predecir el comportamiento dinámico de la corriente.
- Otros avances en el entendimiento de los procesos propios de las corrientes, tales como: clasificación de corrientes, caracterización de mantos acuíferos, evaluar la resistencia al flujo y determinar la vulnerabilidad a procesos erosivos.

En el presente trabajo se considera la comparación y validación de las curvas de distribución granulométricas obtenidas mediante el método manual frente al método propuesto.

Marco Conceptual

Procesamiento Digital de Imágenes. Según afirma Bravo, para fines prácticos el Procesamiento Digital de Imágenes, es

una disciplina que desarrolla las bases teóricas y algorítmicas mediante las cuales pueda extraerse información del mundo real, de manera automática a partir de una imagen, o de una secuencia observada como el reconocimiento de objetos genéricos, descripciones tridimensionales del mismo, posición y orientación de objetos o la medición de cualquier propiedad espacial como la distancia entre dos puntos bien definidos o la sección transversal del objeto. Pueden considerarse generalmente tres niveles de procesos:

Procesamiento de Nivel Bajo. Involucra operaciones básicas de pre- procesamiento para la reducción de ruido o aumento de contraste en la imagen. Se caracteriza porque tanto la entrada como la salida son imágenes.

Procesamiento de Nivel Medio. Involucra tareas tales como segmentación, clasificación (reconocimiento) de atributos en la imagen u objetos individuales. Se caracteriza porque sus entradas generalmente son imágenes y sus salidas son atributos extraídos de las imágenes (bordes, contornos, identificación de objetos, etc.).

Procesamiento de Nivel Alto. Hace referencia a funciones asociadas a un proceso de visión (comprender la imagen), es decir, qué se pretende obtener de la imagen información de alto nivel.

Para Efford, un computador interpreta señales de bits, bytes y números, se puede decir como primera aproximación, que para un computador una imagen es un conjunto de números ordenados en forma de matriz bidimensional: coordenada x y coordenada y. Un valor mínimo (0) representa el color negro, mientras que un valor máximo (255) representa el color blanco, como se ve en la Figura 2; con base en esto es posible deducir que en cada entrada de la matriz se almacena un byte, lo que proporciona el conocido rango de 256 valores mediante los cuales se representa una imagen de 8 bits en escala de grises.

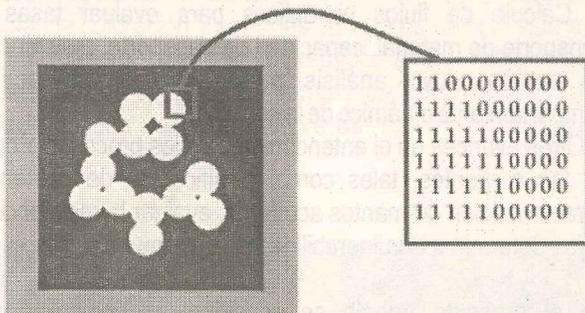


Figura 2. Representación computacional de una imagen según Palacios

Análisis de Partículas: el análisis de partículas en ríos con lechos de grava incluye tener en cuenta el tamaño, forma, densidad de partículas y densidad volumétricas. Este tipo de análisis comprende la medición y observación de los tres ejes mutuamente perpendiculares de la partícula (eje mayor (a), medio (b) y eje menor (c) que definen la forma tridimensional de

la misma tal como se ve en la Figura 3 (ilustraciones de Yuzyk 1986, Yuzyk y Winkler).

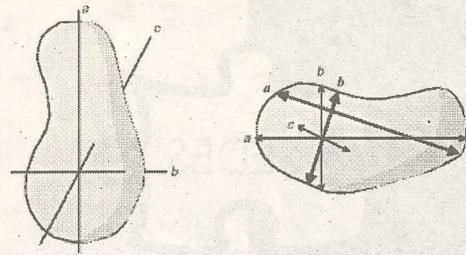


Figura 3. Ejes representativos de una partícula

Para algunas aplicaciones es mucho más conveniente considerar una sola variable, tal como la longitud del eje medio ó cuando el material es muy fino el tamaño de los orificios del tamiz o tara sobre el cual las partículas son retenidas. Los estudios relativos a la interacción mecánica de partículas, transporte y deposición, necesitan a menudo incluir la descripción y comparación de la forma de ellas. Con el fin de obtener un tipo de distribución normal y obtener en forma conveniente valores enteros después de una transformación logarítmica, sedimentólogos y geomorfólogos han expresado el tamaño de la partícula D como el logaritmo negativo en base 2 a la cual han denominado escala Phi (Φ) para lo cual se utiliza la siguiente transformación matemática:

$$\Phi = -\log_2(D_i) = -\log(D_i) / \log(2) = -\log(D_i) / 0.3010 = -3.3219 \log(D_i)$$

Donde D_i corresponde al diámetro de la partícula medida en mm. En la tabla 1, se muestra la equivalencia entre el tamaño del diámetro de la partícula medida en mm y su correspondiente valor en unidades Phi.

Tabla 1. Equivalencia entre mm y unidades Phi

Material	Tamaño mm	Marca Clase	Tamaño Phi	Material	Tamaño mm	Marca Clase	Tamaño Phi
Arenas	< 2	1	0	Cantos	64 - 128	96	-6.585
	2 - 4	3	-1.585		128 - 256	192	-7.585
	4 - 8	6	-2.585		256 - 512	384	-8.585
Gravas	8 - 16	12	-3.585	Bloques	512 - 1024	768	-9.585
	16 - 32	24	-4.585		1024 - 2048	1536	-10.585
	32 - 64	48	-5.585		2048 - 5096	3072	-11.585

La información obtenida del análisis granulométrico se presenta en forma de curvas como la de la Figura 4, para comparar suelos y visualizar más fácilmente la distribución de los tamaños de granos presentes.

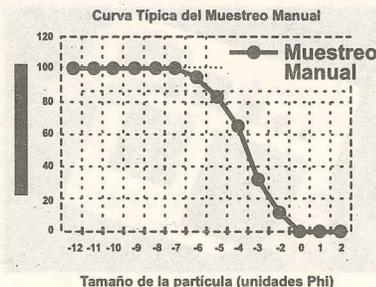


Figura 4. Representación granulométrica típica expresada en unidades Phi.

En el grafico anterior, el eje de las abscisas está en escala logarítmica y el eje de las ordenadas en escala aritmética. Los tamaños de los diámetros de los granos se reportan en valores descendentes sobre el eje de las abscisas y en las ordenadas los porcentajes acumulados, con respecto al peso total de la muestra que pasa a través de cada tamiz. Esto da lugar a una curva descendente. Para la interpretación de la curva, se pueden considerar dos aspectos principales:

La posición de la curva permite determinar las características predominantes en el material: curvas situadas a la derecha indican materiales gruesos como gravas o arenas gruesas y la pendiente que permite saber la uniformidad del material: a mayor pendiente más uniforme es la granulometría.

Hay una serie de parámetros que además de permitir comparar unas curvas con otras, permiten igualmente caracterizar la posición de la curva y el grado de homogeneidad de la granulometría. Dichos parámetros son los siguientes:

El diámetro eficaz D_{10} que es aquel para el cual el 10% del peso de la muestra tiene un diámetro inferior. El diámetro D_{60} es el diámetro para el cual el 60% del material tiene un diámetro menor.

Coefficiente de uniformidad CU definido como la relación D_{60}/D_{10} . La granulometría es tanto más homogénea cuanto menor es este coeficiente, y mientras más próximo esté a la unidad, mayor es la porosidad del material. Se dice que la granulometría es uniforme cuando $CU < 2$ y variada o heterogénea si $CU >> 2$.

Una curva de distribución granulométrica es una aproximación a la situación real, debido a la limitación física para obtener muestras estadísticamente representativas. Como no es físicamente posible determinar el tamaño real de cada partícula independiente de suelo, la práctica solamente agrupa los materiales por rango de tamaño.

Para efectos del análisis estadístico se consideran algunos parámetros como: Media de la muestra y Desviación estándar descritos por Bunte. Las unidades finales en que se presentan estos parámetros (media y desviación estándar) son representadas también en unidades Φ ().

Algunas de las clasificaciones están diseñadas específicamente para trabajar con suelos finos, suelos gruesos y otras contemplan las dos categorías, algunas son Clasificación Internacional, Clasificación M.I.T., Clasificación de Kopecky y el Conteo de Partículas de Pebble Wolman que corresponde a la metodología de conteo utilizada en el presente trabajo y está basada en una clasificación por rangos de tamaños de partículas, de acuerdo con el modelo de la Tabla 2, a partir de la cual se obtiene una curva granulométrica.

Tabla 2. Clasificación por rangos (Harrelson, 1994)

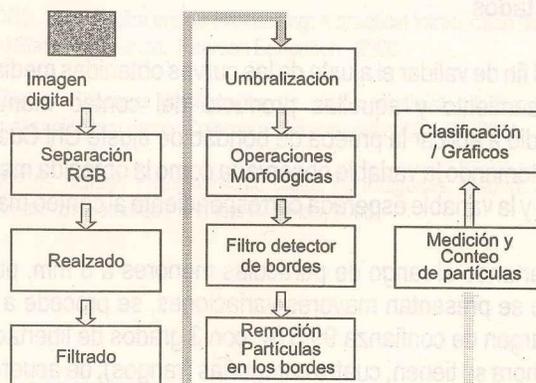
Material	mm	Frecuencia	Material	mm	Frecuencia
Arenas	<2		Cantos	64 - 128	
	2 - 4			128 - 256	
	4 - 8			256 - 512	
Gravas	8 - 16		Bloques	512 - 1024	
	16 - 32			1024 - 2048	
	32 - 64			2048 - 5096	

Desarrollo Experimental

Procedimiento: el conteo manual y recopilación de campo incluye:

- * Recopilación de Información de Campo Selección del lugar (tramo del cauce) con características representativas.
- * Establecimiento de los puntos para toma de fotografías para el registro.
- * Determinación de la información necesaria del área al que corresponde la imagen, de la que se obtendría la curva granulométrica del material del lecho; mediante conteo aleatorio de granos para ser clasificada de acuerdo con los rangos propuestos por Pebble y Wolman en 1954.
- * Posterior a esto se aplica el algoritmo propuesto a las imágenes tomadas y se analizan los resultados.

Inicialmente se realizó un proceso de calibración del algoritmo de procesamiento digital a emplear del cual se muestra un diagrama en bloques del procedimiento así como de los resultados obtenidos contrastados con un conteo manual que corresponden a la curva de color negro en la Figura 5, para definir los pasos más adecuados; se utilizó una muestra conocida de 308 partículas la cual se dispuso de manera aleatoria para obtener un conjunto de imágenes sobre las cuales se realizó el procesamiento.



CONTEO MANUAL vs CONTEO AUTOMATIZADO

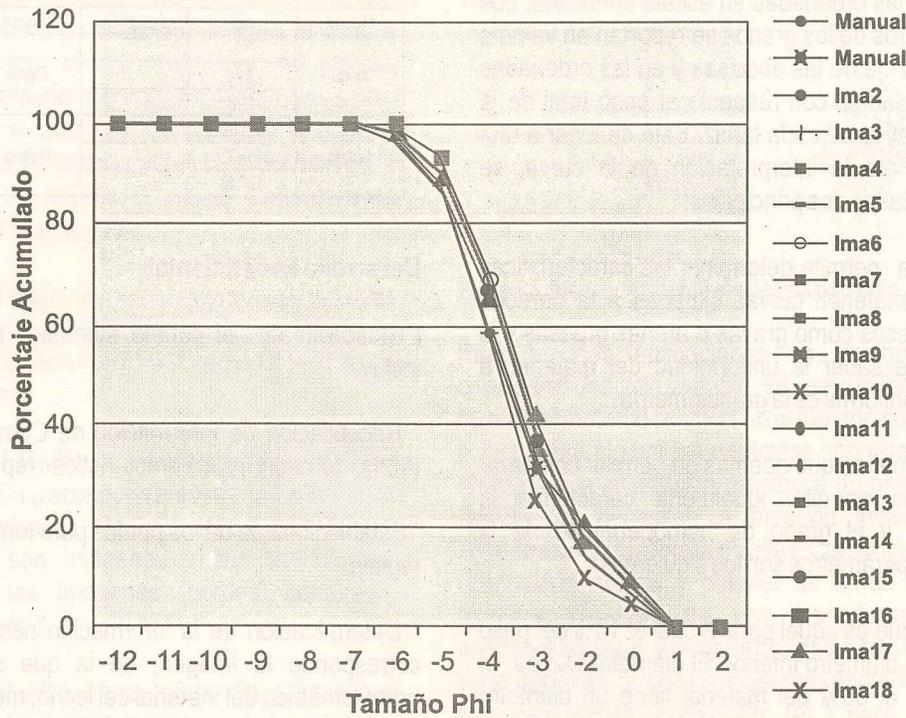


Figura 5. a) Esquema algorítmico del PDI utilizado. b) Curvas resultantes obtenidas contrastadas con el conteo manual.

Algunas de las etapas generales del procesamiento digital de la imagen incluyen Preprocesamiento, Extracción de características y Procesamiento Morfológico. El procesamiento de las imágenes está influenciado por factores indeseados como sombras, iluminación no uniforme, traslape de objetos; de igual manera, es necesario aclarar que el algoritmo considera la eliminación de objetos en los cuales sus bordes no lo permiten definir en todo su conjunto, sobre todo cuando están ubicados en los límites físicos de la imagen, con el fin de hacer un mejor conteo de las partículas presentes, pues de otra manera la partícula presente no eliminada pudiera ser considerada dentro de un rango diferente al de su verdadero diámetro correspondiente.

Resultados

Con el fin de validar el ajuste de las curvas obtenidas mediante el procesamiento y aquellas producto del conteo manual se procedió a aplicar la prueba de bondad de ajuste Chi Cuadrado (X^2), tomando la variable observada como la obtenida mediante el PDI y la variable esperada correspondiente al conteo manual.

Descartando el rango de partículas menores a 8 mm, pues es donde se presentan mayores variaciones, se procede a tomar un margen de confianza 99.5% con 3 grados de libertad dado que ahora se tienen, cuatro categorías (rangos); de acuerdo a lo cual se observó que en 12 de los casos la prueba presenta nivel de aceptabilidad menores o iguales al valor de X^2 0.995 = 12.8381, razón por la cual se acepta la hipótesis de que la prueba se ajusta bien.

De igual manera, con el fin de considerar la confiabilidad del método se propone las siguientes hipótesis:

$$H_0 \quad E_1 = O_1, E_2 = O_2, E_3 = O_3, E_4 = O_4, \dots E_k = O_k.$$

$$H_a \quad E_i \neq O_i, \text{ para algún } i.$$

Tomando $P = 12/18 = 2/3$ como la proporción muestral de veces que el sistema fue exitoso durante el experimento y confiabilidad del sistema $H_0: P = 0.9$

Luego para tomar una decisión se calcula el valor P de la prueba mediante la siguiente proposición probabilística de acuerdo con una distribución binomial, así se tiene la probabilidad condicional

$$P(P = 2/3 | P = 0.9) = P(P = 12 | P = 0.9) = \binom{18}{x} 0.9^x 0.1^{18-x}$$

$$P(x = 12 | P = 0.9) \quad P(x = 0) \quad P(x = 1) \quad \dots \quad P(x = 12)$$

$$0 \quad 0 \quad \dots \quad 0.0002 \quad 0.0012 \quad 0.064 \quad 0.078$$

Tomando $\alpha = 0.05$ es el nivel de significancia teórico, es decir la probabilidad (rechazar H_0 / H_0 cierto) de rechazar o aceptar la hipótesis H_0 como 0.078 > 0.05

Entonces como no hay suficiente información estadística para rechazar H_0 , luego el método es confiable, por lo menos en un 90%.

Posterior al proceso de calibración se aplicó el algoritmo desarrollado a imágenes correspondientes al lecho seco de 5 ríos en el departamento del Cauca; para cada río se procesaron 3 imágenes obtenidas en locaciones diferentes del río, por lo cual como se había mencionado antes, se dice que los datos obtenidos son de tipo puntual, pues la granulometría del río puede variar entre puntos. El conteo obtenido de la imagen procesada se comparó con sus respectivos conteos manuales.

A continuación en la Figura 6, se muestra un ejemplo en el cual se superpone la definición de bordes sobre la imagen inicial para uno de los ríos, lo que permite contrastar que el algoritmo realiza una buena detección de partículas.

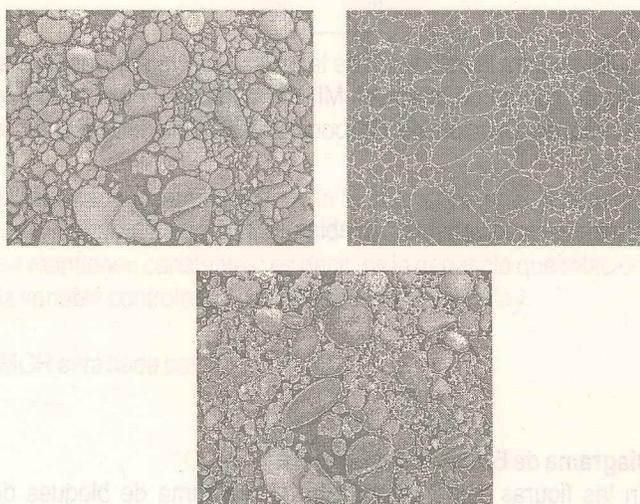


Figura 6. Imagen fuente, imagen procesada, superposición de imágenes

Conclusiones

El proyecto se orientó a la localización, extracción, análisis y posterior clasificación de las partículas de arena y grava presentes en una muestra de material aluvial en lecho seco; sin embargo, como recomendación a futuro se puede utilizar para estudiar las condiciones de material en lecho mojado, teniendo en cuenta que a lo mejor supone utilizar un instrumental diferente (ejemplo, cámara subacuática), dadas las grandes diferencias.

Las curvas de distribución granulométricas obtenidas mediante el procesamiento digital de imágenes se ajustaron adecuadamente a las resultantes mediante el proceso manual, no obstante algunas diferencias asociadas principalmente a presencia de material muy fino, limitando la aplicación a lechos constituidos principalmente por gravas. También se observa que en general el algoritmo utilizado presenta un buen desempeño respecto de la definición, detección de bordes y conteo de partículas presentes en una imagen.

El método presenta ventajas tales como la optimización en el tiempo respecto del muestreo manual que es más dispendioso y además puede ser subjetivo, por cuanto la información que se recolecte del campo puede estar sesgada por factores como el tamaño de las partículas que se miden.

En aquellas imágenes donde hay partículas muy finas de arena, el conteo se dificulta por cuanto la separación de bordes al aplicar los algoritmos de procesamiento no se efectúa de manera eficiente.

El método permite obtener unas curvas de distribución granulométrica para hacer un análisis puntual del material de lecho del río, pues la variación en el material cambia de un lugar a otro, puesto que su composición está afectada por factores hidrológicos como las épocas de lluvias alterando la configuración del lecho.

Bibliografía

BADILLO J. Eulalio y RODRÍGUEZ R. Alfonso. *Mecánica de Suelos*. México: Limusa, 2001.

BOWLES, Joseph E. *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*. México D.F. Mc Graw Hill, 1982.

BUNTE, Kristin, R. ABT Steven. *Sampling Surface and Subsurface Particle-Size Distributions in Wadable Gravel- and Cobble-Bed Streams for Analyses in Sediment Transport, Hydraulics, and Streambed Monitoring*. Department of Agriculture Forest Service Research Station General Technical Report RMRS-GTR-74. 2001.

BUTLER Justin B., LANE* Stuart N., CHANDLER Jim H.,. *Automated extraction of grain-size data from gravel surfaces using digital image processing*. In: *Journal of Hydraulic Research*. Volume 39, 2001.

C. SIME1 and R. I. FERGUSON2. *Method for getting information on grain sizes in Gravel-bed rivers by automated image analysis*. School of Environmental Sciences. University of East Anglia1. Department of Geography. University of Sheffield, 2002.

DALECKY L., Amanda. *Particle Size Distribution Analysis of a Mining-Impacted Gravel-Bed Stream in Ohio Using a Hybrid Sediment Sampling Technique*. Blacksburg. Virginia. 2001.

EFFORD, Nick. *Digital Image Processing: A practical introduction using Java*. United States of America. Pearson Education, 2000.

LOAIZA H. *Sistemas inteligentes de visión artificial, III Seminario en Automatización Industrial*. Colombia: Universidad del Cauca, 2004.

PALACIOS, Rafael. *Procesamiento digital de imágenes*. Madrid: Curso de Doctorado. Universidad Pontificia Comillas, 2003.