

Cessy Huerta

DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE SUELOS GRANULARES MEDIANTE EL ANÁLISIS DE IMÁGE...

 My Files My Files Universidad Peruana Union

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::29566:382355274

Fecha de entrega

17 sep 2024, 12:06 a.m. GMT-4

Fecha de descarga

28 abr 2025, 9:19 p.m. GMT-4

Nombre de archivo

DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE SUELOS GRANULARES MEDIANTE E....pdf

Tamaño de archivo

526.5 KB

13 Páginas

5711 Palabras

29.571 Caracteres

4% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text
- Cited Text
- Small Matches (less than 15 words)
- Submitted works

Top Sources

- 4%  Internet sources
- 0%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

- 4%  Internet sources
- 0%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Internet	hdl.handle.net	1%
2	Internet	repositorio.uncp.edu.pe	<1%
3	Internet	vsip.info	<1%
4	Internet	cybertesis.unmsm.edu.pe	<1%
5	Internet	www.coursehero.com	<1%

DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE SUELOS GRANULARES MEDIANTE EL ANÁLISIS DE IMÁGENES APLICANDO EL SOFTWARE IMAGEJ

Cessy Huerta-Rosales ¹,

Resumen

Este estudio plantea analizar la aplicabilidad del análisis de imágenes para determinar la distribución granulométrica de suelos granulares. El análisis de imágenes es ampliamente utilizado, por su gran capacidad para el estudio de partículas y su gran beneficio en la reducción de costos y tiempo en los procesamiento tradicionales. Existen diferentes herramientas para el análisis de imágenes de partículas, el software ImageJ una de las más utilizadas por su versatilidad. En la granulometría, este software permite identificar las partículas y analizar sus dimensiones. Este estudio se realizó identificando 3 canteras, de las cuales se trabajó con partículas gruesas de $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$, posteriormente se extraen las muestras fotográficas de las muestras por diferentes métodos, y finalmente analizar las partículas en laboratorio y contrastar los resultados obtenidos por el método tradicional y el método propuesto con el análisis de imágenes. El análisis de los resultados mediante el método de Bland Altman, concluye que los datos pueden ser intercambiables, comprobando la capacidad del análisis de imágenes para la determinación de la granulometría. Esto genera que se reduzcan el tiempo, el costo, el trabajo laborioso de laboratorio, además se incrementa la utilización de la tecnología en la ingeniería civil.

Palabras claves: Análisis de imágenes, software ImageJ, Bland Altman, granulometría, suelos granulares.

Abstract

This study aims to analyze the applicability of image analysis for determining the particle size distribution of granular soils. Image analysis is widely used due to its effectiveness in studying particles and its significant benefits in reducing costs and time compared to traditional methods. Various tools are available for particle image analysis, with ImageJ software being one of the most commonly used due to its versatility. In granulometry, this software allows for the identification of particles and the analysis of their dimensions. The study involved identifying three quarries, working with coarse particles of $\frac{1}{2}$ and $\frac{3}{4}$ inches. Subsequently, photographic samples of the particles were extracted using different methods, and the particles were analyzed in the laboratory to compare results obtained from the traditional method with those from the proposed image analysis method. The analysis of results using the Bland-Altman method concludes that the data can be interchangeable, demonstrating the capability of image analysis for determining granulometry. This reduces time, cost, and laborious laboratory work, while increasing the use of technology in civil engineering.

Keywords: Image analysis, ImageJ software, Bland-Altman, granulometry, granular soils.

¹ Facultad de ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Perú. Autor para correspondencia : cessyhuerta@upeu.edu.pe.
<https://orcid.org/0000-0003-1412-4859>

1. Introducción

El concreto es el material más utilizado para la construcción [1], para ello es necesaria la evaluación de sus propiedades y comportamiento en el concreto [2]. El ensayo de la granulometría es el más utilizado [3]-[4]. Sin embargo, este método tiene limitaciones, por no considerar la forma de la partícula. Además, no existe otro método normalizado más práctico que permite optimizar el proceso y los resultados [5].

La técnica tradicional, para determinar la granulometría, exige de un trabajo extenuante, exhaustivo, genera polvo y ruido, toma bastante tiempo, genera fragmentación de partículas, es limitado y costoso, por la frecuencia con la que se requieren. Por ello, se requieren de la investigación de métodos que faciliten la medición de los granos. Una técnica que permita reducir los arduos, laboriosos y costosos métodos, y que, a la vez, ofrezcan datos confiables [5-6-7-8].

La no optimización de las técnicas tradicionales, es una problemática presentada analizada [9], donde mencionan la poca investigación de nuevas tecnologías, así como lo tienen otras áreas de estudio, por ejemplo, en la medicina que requiere hace uso de la medición de los parámetros de las células, y por ello requieren el desarrollo de métodos modernos automatizados [10].

Se identifica la necesidad de la descripción de una metodología automatizada que brinde resultados comparables con el método tradicional para la determinación de la granulometría.

La ingeniería civil, desarrollando conocimientos del comportamiento y las propiedades de los materiales, ha contribuido la solución de problemáticas, mediante el

suministro de agua potable, sistemas de transporte, puentes, construcciones públicas y privadas [11]. Por ello, se requieren el continuo desarrollo de la investigación y aplicación de nuevas tecnologías a los métodos tradicionales [9].

En los proyectos desarrollados por la ingeniería civil, el uso del concreto es el más utilizado en todo el mundo [1]. Dentro de los elementos del concreto, el estudio del agregado es muy importante porque, tiene influencia en la durabilidad y resistencia del concreto [12]-[13]. La granulometría es un ensayo primordial para el uso del concreto, porque impacta en su resistencia y consumo. Por ello, una optimización en el proceso de la granulometría, influye reduce los costos de la producción del concreto [4].

Para evitar los trabajos laboriosos y costosos de la granulometría, [8]-[14]-[15]-[16], presentan como alternativa el análisis digital de la fotografía para la medición de partículas.

Según [5]-[6]-[17]-[18]-[19]-[20], una opción para la medición manual de superficies es ImageJ, un software libre que permite realizar el análisis de las superficies capturadas en imágenes, en menos tiempo y con buena efectividad. Sin embargo, [21], menciona que son necesarios más estudios para evaluar la aplicabilidad de la metodología con imágenes, y realizar un análisis comparativo con este software.

En el estudio “Comparación de tres métodos de medición del tamaño de grano aplicados a depósitos de grava de grano grueso” realizado por [6], se evalúa la efectividad de las imágenes digitales para determinar la granulometría. Mediante la medición con tres métodos, el análisis de imágenes, análisis en tamiz y medición manual, los resultados se muestran en la Figura 1.

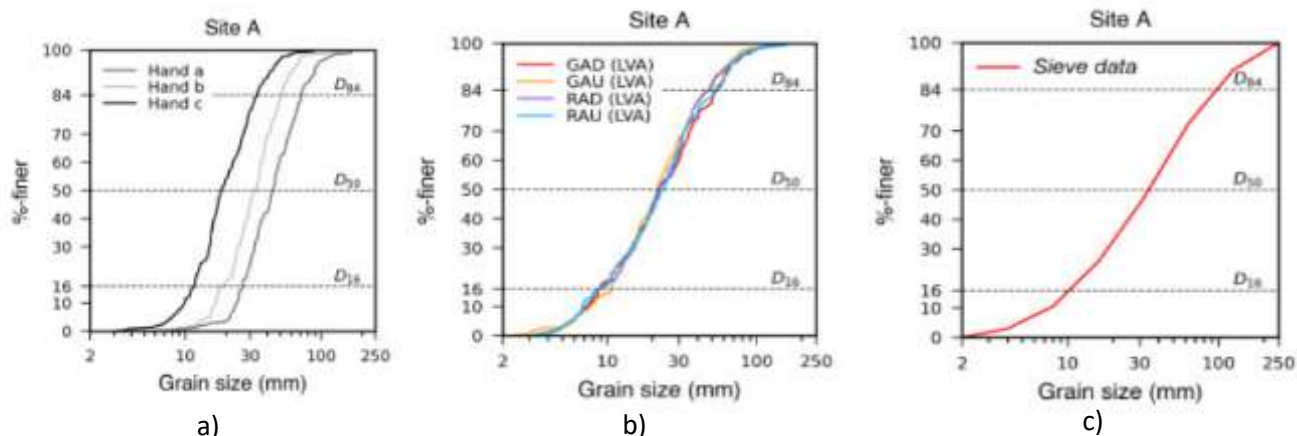


Figura 1. a) Datos medidos a mano, b) Datos medidos con fotografías, c) Datos medidos con el tamiz [6].

El procedimiento para la toma de fotografías se realizó con un procedimiento recomendado por [22]-[23], el de garantizar la verticalidad de la cámara y capturar un área delimitada por un marco. El proceso de análisis se realizó con software ImageJ, se realizó una previa corrección de la distorsión a las imágenes tomadas en campo, con el software libre OpenCV.

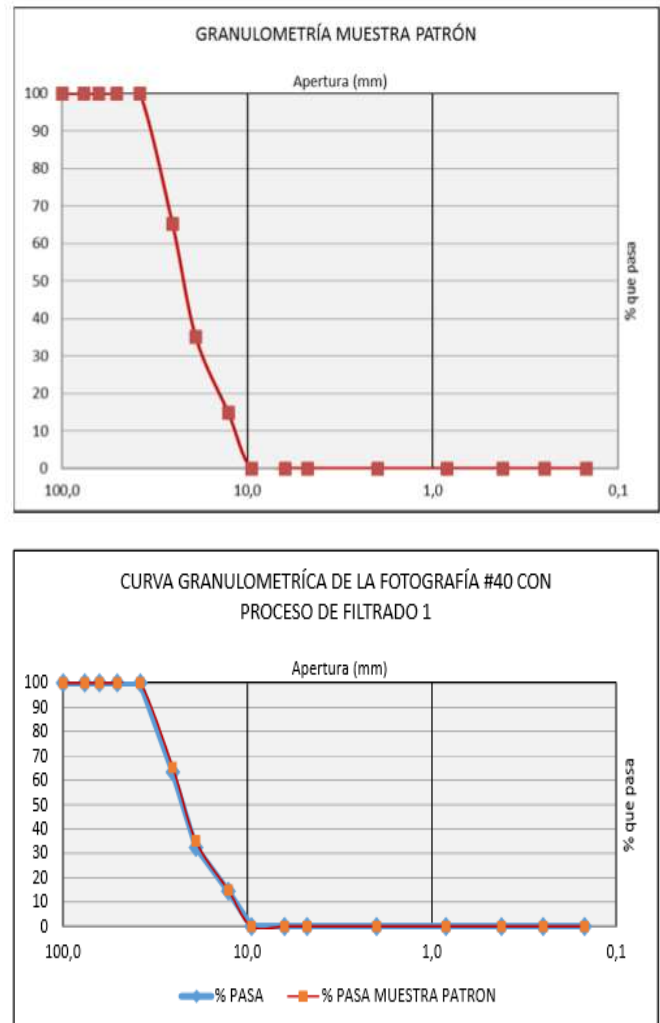
El estudio dio como resultado distribuciones de tamaño de grano individuales comparables entre sí, existe más similitud en la comparación con las fotos y los datos recopilados del tamiz. Con respecto a los datos de la medición manual, es insuficiente para la medición, en comparación con el tamiz y las fotografías. Las mediciones del tamaño de grano en fotografías producen datos más precisos, consistentes e imparciales.

Un método de análisis automatizado de la granulometría propuesto por [24], se enfocó en facilitar medición de la granulometría a través de imágenes digitales. El estudio realizado en el río Lanyang de Taiwan, configuró las imágenes a escalas grises que faciliten el reconocimiento de los objetos, trabajaron también la segmentación de imágenes, haciendo el uso de redes neuronales. Realizaron el análisis granulométrico con el software Matlab y la implementación de 4 métodos combinados, que ayudan a ajustar las características de la imagen para procesar y extraer la información e las imágenes. El estudio comprueba la aplicabilidad de utilizar un método de análisis digital de imágenes para determinar la granulometría.

El análisis granulométrico en muestras granulares mediante fotografías digitales, realizado por [25], encontraron un margen de error bajo en entre los resultados realizados en laboratorio y los procesados en ImageJ, los resultados se presentan en la Figura 2.

Para el análisis de las muestras digitales, llevaron la muestra a laboratorio y tomaron las fotografías, luego de realizar el análisis granulométrico de la muestra. En la toma de la fotografía de la muestra, las distancias para la muestra fueron de 0.3m, 0.5m, 0.8m, 1.0m y los ángulos de 45° y 90°. Analizaron diversas variaciones para evaluar el mejor criterio en la resolución de la cámara, la distancia de la cámara, el ángulo y el filtro.

El análisis de la granulometría a diferentes condiciones dio como resultado, es recomendable utilizar una resolución mayor a 10MP, una altura de 1m, realizar una separación manual de las partículas, con la iluminación natural y un filtro binario. Estos criterios dieron como resultado un valor 95% de confianza.



Para cumplir con el objetivo propuesto se plantea la siguiente metodología esquematizada en el diagrama de la Figura 3.

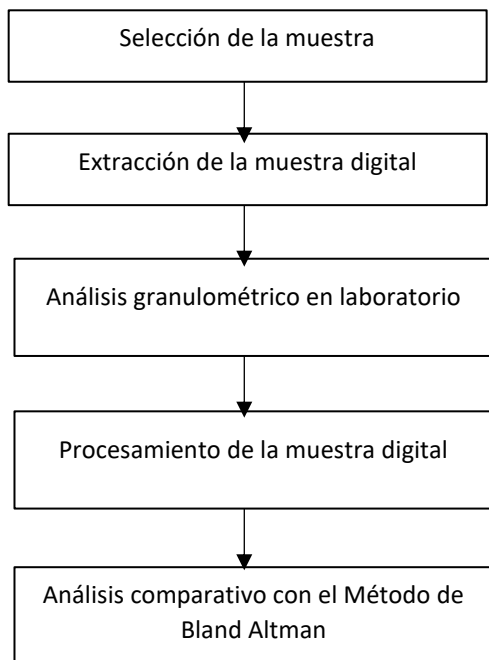


Figura 3. Diagrama de flujo de la metodología aplicada en el estudio.

2.1. Selección de la muestra

La muestra representativa son los suelos granulares. La evaluación se realizó en 3 canteras de agregados de diferentes lugares y se evaluaron 2 tamaños de agregados, de $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{4}$ ", en cada cantera. En total se obtuvieron 6 muestras para analizar con el proceso digital de fotografías y posteriormente se realiza el análisis granulométrico en laboratorio. La extracción para el análisis en laboratorio se hará conforme a la norma de la ASTM C-136.

Con el agregado ya seleccionado, se realizará la extracción de la muestra digital. A continuación, en la Tabla 1. se presenta la ubicación de las canteras y en la Figura 4.

Tabla 1. Ubicación de las canteras.

	ESTE	NORTE	RIO
CANTERA N°1	540898	8757337	SATIPO
CANTERA N°2	555821	8738524	SONOMORO
CANTERA N°3	519408	8788588	PERENE



Figura 4. Ubicación de las canteras en estudio.

2.2. Extracción de la muestra digital

Para la extracción de la muestra se tomaron algunas consideraciones previas, por ejemplo, se debe evitar las sombras en la muestra y la iluminación debe ser muy buena [27], La distancia de la cámara y la muestra será de 1.00 m.

El equipo con el que se realizó la toma cumplió con los requisitos de la Tabla 2. El equipo para la toma fotográfica, solo requiere que sea mayor a 10 megapíxeles, no requiere que sea de muy alta definición.

Tabla 2. Requisitos para la toma fotográfica.

Descripción	Información
Resolución del equipo	Mayor a 10 megapíxeles
Iluminación	Buena
Orientación	Vertical

La extracción de la muestra digital mediante las fotografías se realiza antes del análisis en laboratorio. Se realizó la extracción de la muestra digital con cuatro métodos diferentes para evaluar la variabilidad y su incidencia en los resultados de la comparación del resultado digital con el resultado de laboratorio.

En la Tabla 3 se detallan las diferencias entre los 4 métodos de la extracción de la muestra digital, planteados para este estudio:

Tabla 3. Métodos de extracción de muestras digitales.

Método	Colocación	Momento	Descripción
1	Separadas	Antes de laboratorio	Foto con partículas separadas en un marco de 1x1m, los 30 kg, en 15 fotos, con un fondo color beige.
2	Juntas	Antes de laboratorio	Foto con partículas juntas en un marco de 1x1m, los 30 kg, en 3 fotos, con un fondo color beige.
3	Separadas	Después del cuarteo	Foto con partículas separadas luego del cuarteo (7kg aprox), con color de fondo azul.
4	Separadas	Después del tamizado	Foto con partículas separadas luego del tamizado (7kg aprox), con color de fondo blanco.

A continuación, en la Figura 5, se presenta un ejemplo de la forma de extracción de la muestra digital de los métodos.

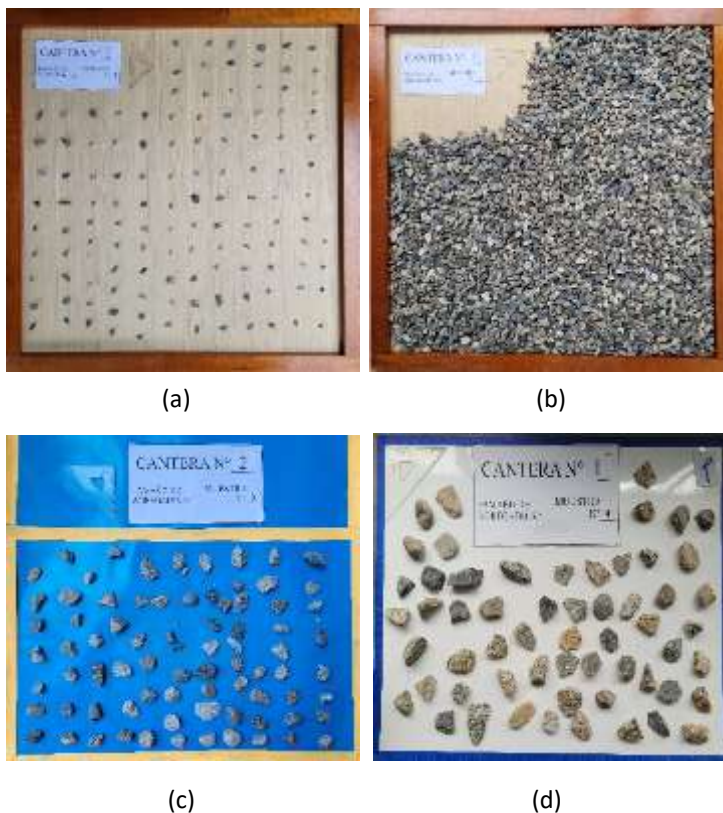


Figura 5. Métodos de extracción de la muestra digital: a) Método 1 con las partículas separadas, b) Método 2 con partículas juntas, c) Método 3 después del cuarteo y d) Método 4 después del tamizado.

En la Figura 5, se muestra un ejemplo de las muestras digitales extraídas, una por cada método. En los dos primeros métodos a) y b), se realizaron en campo luego de la extracción de la muestra en un marco de 1x1m. En el método 3 y 4, representados por en Figura 5 c) y b), se realizaron en el laboratorio antes del tamizado, por ello el marco es diferente para facilitar su transportabilidad. Además, son de diferente color para evaluar la variabilidad y la influencia del color en el análisis de imágenes.

2.3. Análisis granulométrico en laboratorio

Para el análisis en laboratorio, las muestras se etiquetan previamente según la cantera y el tamaño de agregado. Es importante también mencionar que la muestra seleccionada debe estar libre de impurezas o material orgánico. Luego se realizó el ensayo de granulometría en base a los procedimientos establecidos por la norma ASTM C-136.

2.4. Procesamiento de la muestra digital

El procesamiento de las imágenes se realizó con el software ImageJ, este programa puede ser procesado por un equipo compatible con Java. El software ImageJ es un software de uso libre, muy utilizado para diversas investigaciones en la medición digital, según [5]-[6]-[17]-[18]-[19]-[20]-[28]-[29].

2.4.1. Calibración de ImageJ

Para la medición de imágenes, es necesario ajustar los pixeles de la imagen a una medida conocida, para una medición real calibrada. Para la calibración de ImageJ, la toma de la fotografía se debe realizar colocando un objeto cuya medida sea conocida, esto servirá para la calibración en el software y definir la escala de la fotografía. La calibración se realizará convirtiendo los pixeles a medidas en el sistema métrico. Sobre el error número que pueda presentarse, según [30], este valor es menor al 5%.

2.4.2. Procesamiento de imágenes en ImageJ

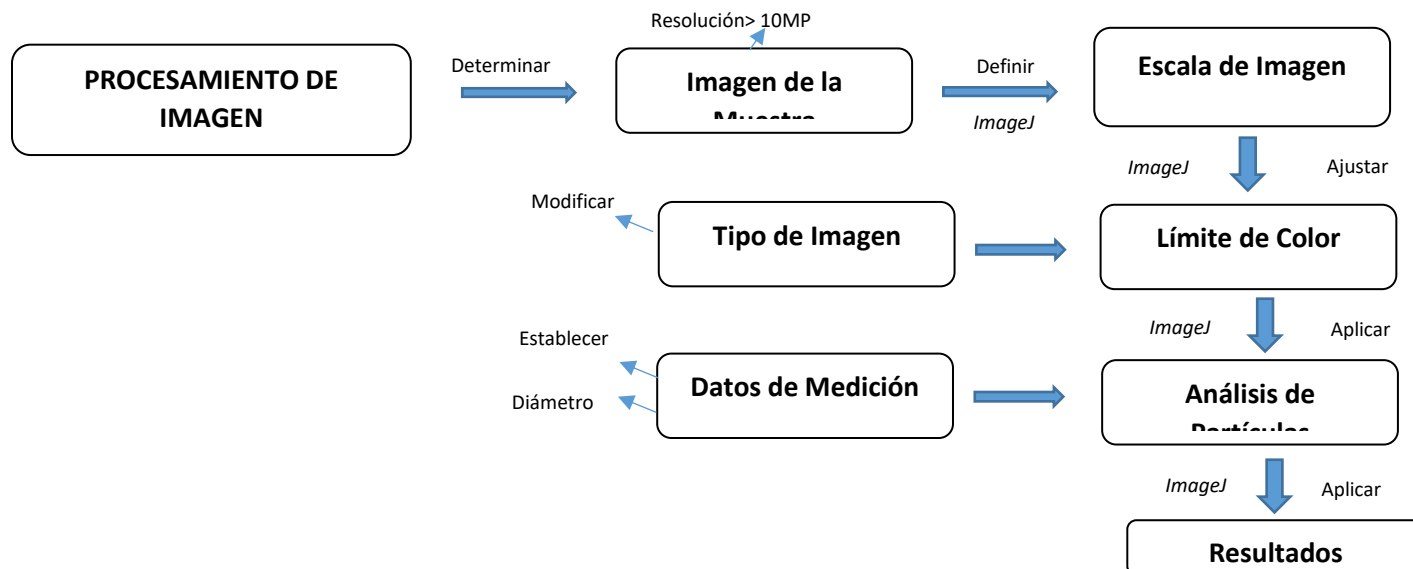


Figura 6. Diagrama de flujo de Procesamiento de Imagen.

El equipo que se utilizó para el análisis tiene las siguientes características: un procesador Intel® Corel™ i7-7500 CPU @ 2.70ghZ 2.90 GHz, memoria (RAM) 12.0GB y un sistema operativo de 64 bits, procesador x64.

El procedimiento para el procesamiento de las partículas se encuentra esquematizada en la Figura 6, y se describe a continuación:

1. Extraemos la muestra digital y definimos las áreas que analizaremos.
2. Luego, abrimos la muestra digital en el software ImageJ. Ahí podemos recortar y separar las áreas determinadas.
3. Después cambiamos el tipo de imagen a RGB Stack y escala de grises. Luego, ajustamos las áreas que identificará [6]-[10]-[31].
4. Luego en ImageJ, configuramos las opciones para que el programa identifique automáticamente las medidas que necesitamos de las partículas, que es el diámetro mayor.
5. Realizamos el análisis de partículas y guardamos los resultados para la elaboración de la curva granulométrica.

El procedimiento digital de imágenes realizado en este estudio se encuentra en representado en la Figura 7.



Figura 7. Procesamiento digital de las imágenes.

2.4.3. Elaboración de la curva granulométrica

La elaboración de la curva granulométrica se realizó a partir de los datos obtenidos del programa ImageJ. Esta información es procesada, en base a la ASTM C-136.

El análisis de los datos se realizó en Microsoft Excel, organizando los porcentajes para obtener la distribución

granulométrica, y como resultado la curva granulométrica.

Se presenta la Tabla 4 con datos numéricos relacionados a la cantidad de fotografías procesadas, estos datos permiten cuantificar la distribución de las imágenes con respecto a cada tipo de método de extracción de la muestra digital planteado para este estudio.

Tabla 4. Cantidad de fotografías procesadas.

Descripción	Cantidad (und)
Canteras	3
Métodos de extracción digital	4
Fotos antes seleccionar	1556
Fotos seleccionadas	226
Fotos válidas - Método N°1	90
Fotos válidas - Método N°2	18
Fotos válidas - Método N°3	19
Fotos válidas - Método N°4	36
Fotos procesadas	163
Curvas comparativas	24

2.5. Análisis comparativo con el método de Bland-Altman.

Para probar si dos métodos de medición de ingeniería ofrecen resultados similares, se utiliza el método Bland Altman. El método compara la concordancia de resultados, enfocándose en las diferencias obtenidas de los métodos de medición utilizados. Posteriormente, de estas diferencias se calcula la media y la desviación estándar. Mediante el factor y gráfico de la diferencia y la media se evalúan las diferencias que existen ambas técnicas [32].

3. Resultados y discusión

Luego de la extracción de muestra se realizó la extracción de la muestra digital para el análisis de fotografías, luego se analizaron en laboratorio. Los

resultados de la granulometría realizada en laboratorio se presentan a continuación.

Tabla 5. Resultado de laboratorio.

Cantera N°1 - 1/2"		
N° Tamiz	Peso Retenido (g)	Porcentaje que Pasa (%)
1 in		100.0
3/4 in	177.30	97.2
1/2 in	4564.90	24.2
3/8 in	1270.30	3.9
No. 4	239.20	0.0
No. 8	0.60	0.0
No. 16	0.30	0.0
No.30	0.20	0.0
No. 50	0.20	0.0
No. 100	0.20	0.0
No. 200	0.20	0.0
BC	0.20	0.0
Total	6253.60	
Módulo	7.0	

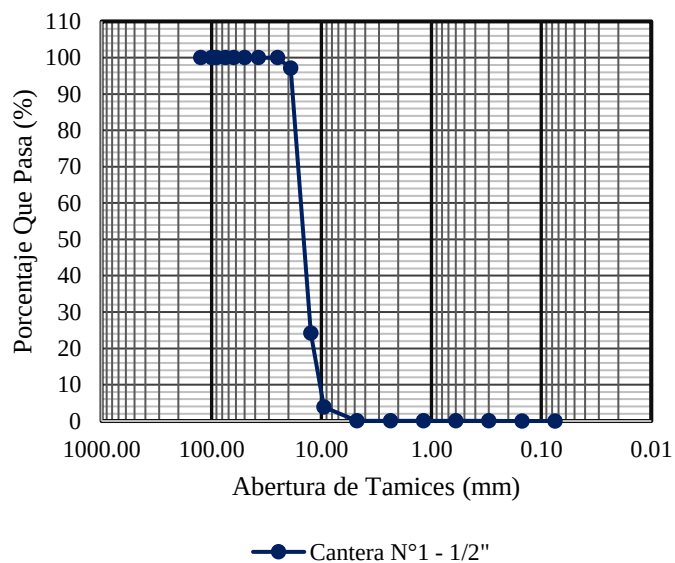


Figura 8. Curva Granulométrica – C1 – 1/2", analizado en laboratorio.

Estos fueron los resultados obtenidos por en laboratorio, se obtuvieron 6 curvas granulométricas, etiquetadas de la siguiente manera: C1-1/2, C1-3/4, C2-1/2, C2-3/4, C3-1/2, C3-3/4.

3.1. Resultados y comparación de curvas granulométricas.

Una vez obtenido los resultados de laboratorio y la base de datos con los resultados obtenidos del software ImageJ, se procesaron los datos para obtener las curvas granulométricas del análisis digital y se comparan los resultados. A continuación, se presentan la comparación de las curvas granulométricas (Figura 9, 10, 11, 12), un ejemplo por cada método.

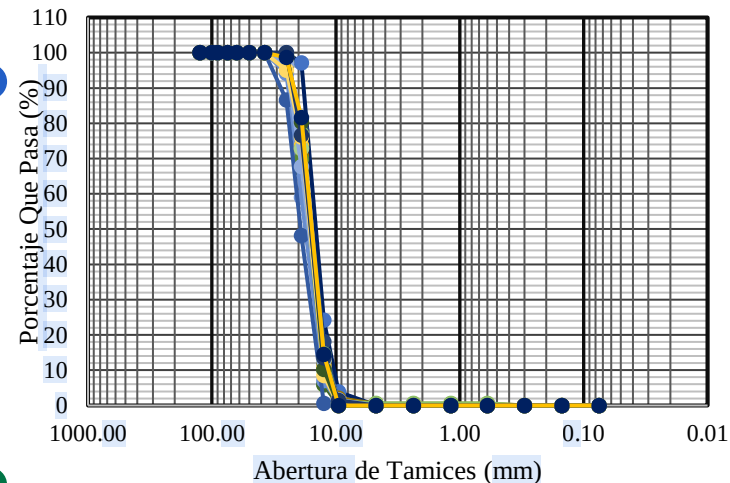


Figura 9. Curva Granulométrica – Método 1 –Cantera 1 – 1/2".

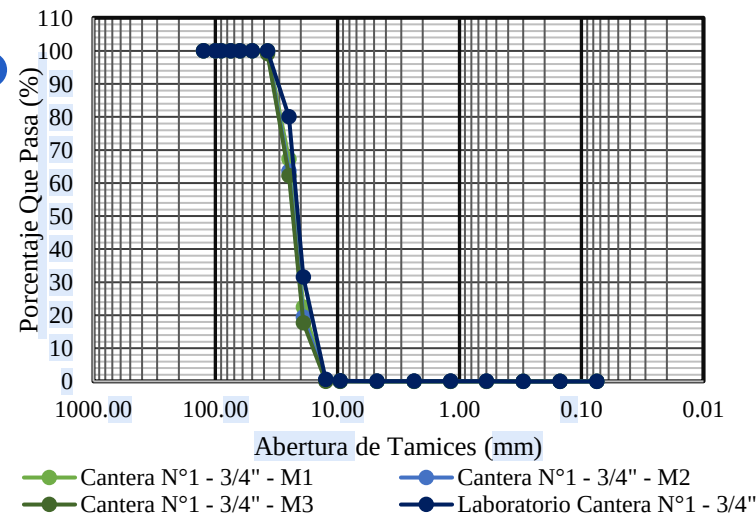


Figura 10. Curva Granulométrica – Método 2 –Cantera 2 – 3/4".

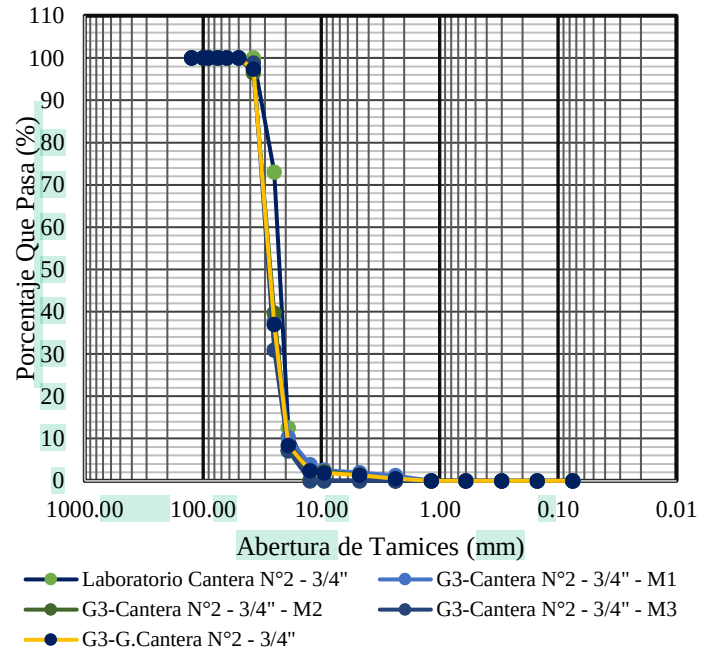


Figura 11. Curva Granulométrica – Método 3 –Cantera 2 – 3/4".

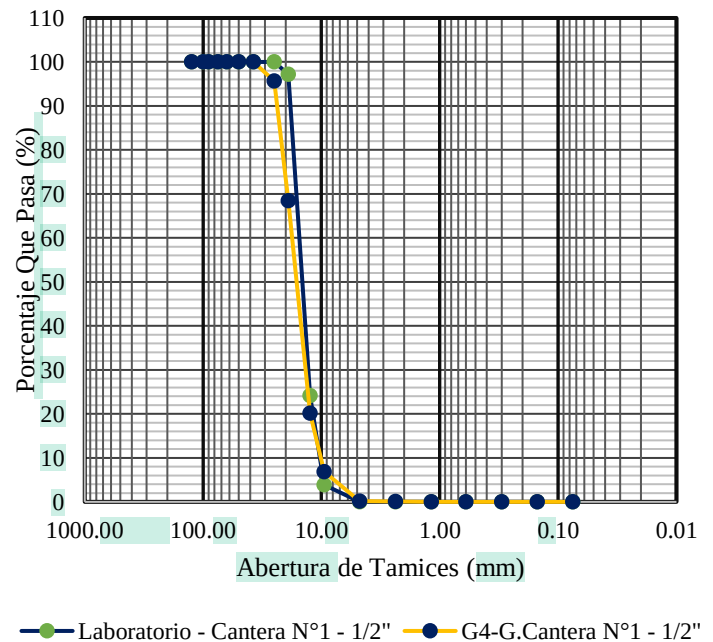


Figura 12. Curva Granulométrica – Método 4 –Cantera 1 – 1/2".

3.2. Análisis Estadístico.

Luego de la obtención de las curvas granulométricas con el proceso digital. Los resultados se comparan con las curvas obtenidas del proceso de tamizado en laboratorio.

Posteriormente se realizan los cálculos para el análisis estadístico de los resultados, entre estos se realizó el análisis descriptivo y el análisis con el método Bland Altman con el software estadístico Jamovi.

Se identifica las mejores combinaciones que obtengan un resultado positivo en el análisis estadístico, y se realiza análisis completo de los resultados (ver Tabla 6). A continuación, en la Tabla 7, se presenta el resultado estadístico de una muestra digital con diagnóstico positivo:

Tabla 6. Datos de la muestra ejemplo.

Cantera de extracción	Tamaño de agregado	Método de procesamiento
Nº1	1/2	1

Tabla 7. Estadística descriptiva de la muestra ejemplo.

Estadística Descriptiva	
N	15
Media	13.6
Error est. media	0.662
IC 95% de la media límite inferior	12.2
IC 95% de la media límite superior	15.0
Mediana	13.3
Moda	9.12 ^a
Desviación estándar	2.57
Asimetría	-0.179
Error est. asimetría	0.580
Curtosis	-1.08
Error est. curtosis	1.12
W de Shapiro-Wilk	0.939
Valor p de Shapiro-Wilk	0.36482
Nota. El CI de la media supone que las medias muestrales siguen una distribución t con N - 1 grados de libertad	
^a Existe más de una moda, solo se reporta la primera	

En la Tabla 8 y la Figura 13, se presentan los resultados de la muestra descrita en la Tabla 6, cuyo factor de $p=0.5$, indica que los datos son intercambiables, es decir, los resultados obtenidos por el análisis de imágenes pueden ser utilizados a cambio de los resultados de obtenidos por laboratorio.

Tabla 8. Resultados del Método Bland Altman.

	Estimate	95% Confidence Interval	
		Lower	Upper
Bias (n = 15)	0.453	-0.968	1.87
Lower limit of agreement	-4.575	-7.059	-2.09
Upper limit of agreement	5.481	2.997	7.97

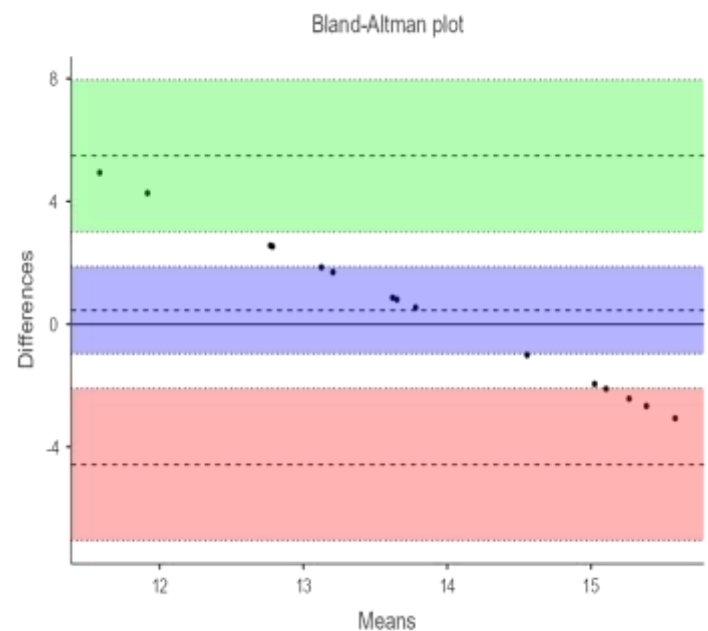


Figura 13. Gráfico del Método Bland Altman.

Bland-Altman Statistics:

$t = 0.68$, $df = 14$, $p\text{-value} = 0.5$ alternative hypothesis: true bias is not equal to 0
95 percent confidence Interval

En la Tabla 9, se presenta los resultados agrupados del factor del método de Bland Altman, los resultados corresponden al análisis realizado a cada muestra separado por las diferentes formas realizadas para la extracción de la muestra digital de los agregados.

Se presentan los resultados con un intervalo de confianza óptimo que evidencia que es posible utilizar el procesamiento digital de imágenes para determinar la granulometría en agregados grueso, utilizando el software ImageJ.

Tabla 9. Resultados del Factor del Método Bland Altman.

N°	MÉTODOS	CANTERA	ϕ	Factor del Método de Bland Altman				
				-1/2-	-3/4-	D10	D30	D60
1	1	1	1/2					
2	1	1	3/4					
3	1	2	1/2			0.5		
4	1	2	3/4					
5	1	3	1/2				0.4	
6	1	3	3/4	0.3				
7	2	1	1/2					
8	2	1	3/4	0.2		0.9		
9	2	2	1/2					0.05
10	2	2	3/4	0.1	0.2	0.2	0.9	0.08
11	2	3	1/2					0.06
12	2	3	3/4	0.2	1	0.09	0.9	0.3
13	3	1	1/2	0.4				
14	3	1	3/4	0.05	0.6	0.2	0.2	0.4
15	3	2	1/2	0.9	0.07	0.1	0.5	0.3
16	3	2	3/4	0.3	0.05	0.6	0.1	
17	3	3	1/2			0.2		
18	3	3	3/4	0.08	0.07		0.06	0.3
19	4	1	1/2	0.08	0.07	0.9	0.08	0.1
20	4	1	3/4	0.08	0.07			
21	4	2	1/2	0.08	0.07	0.2	0.3	0.4
22	4	2	3/4	0.08	0.07	0.5		
23	4	3	1/2	0.08	0.07	0.1	0.3	0.6
24	4	3	3/4	0.08	0.07			

3.3. Discusión.

3.3.1. Métodos de extracción de muestra digital

Los métodos planteados para la extracción de la muestra digital, muestran que han sido más efectivos con los métodos 2, 3 y 4. Esto debido a que, a una mejor agrupación más homogénea de los tamaños, lo que no sucedía en el método 1 que su distribución no era representativa cuando se tomaban partículas separadas sin un cuarteo y mezcla previa.

3.3.2. Curvas granulométricas comparativas

Las curvas granulométricas comparativas ayudan a poder comparar visualmente y clasificar la muestra. Mediante el análisis digital, se analizaron 24

curvas granulométricas generales y se analizaron 133 curvas granulométricas individuales en los 4 métodos. Con el procesamiento digital, haciendo uso del software ImageJ, es posible realizar la construcción de una curva granulométrica muy similar a la que se consigue por el método de granulometría de laboratorio.

3.3.3. Factor del Método de Bland Altman

El factor de Bland Altman indica cual intercambiabiles pueden ser los datos analizados, es decir si un método puede reemplazar al otro. La intercambiabilidad es posible cuando el factor de Bland Altman es mayor a 0.05. Los resultados indican que, si pueden ser intercambiabiles, considerando el método adecuado para la extracción de la muestra digital. En la tabla resumen de los factores del método Bland Altman, se evidencia que más del 50% de los datos tienen un factor positivo que indica un intervalo de confianza óptimo para los datos obtenidos por el procesamiento digital de imágenes con el software ImageJ.

4. Conclusiones

El software ImageJ, tiene la capacidad de procesar fotografías para obtener información numérica como el diámetro de las partículas de agregado grueso de $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{4}$ " para obtener una curva granulométrica.

El procesamiento digital es útil para determinar la granulometría del agregado grueso, según Bland Altman, con el método adecuado para la extracción de la muestra digital, el procesamiento digital permite obtener resultados que sean intercambiabiles con los resultados obtenidos en laboratorio.

Referencias

- [1] Kanagaraj, B., Lubloy, E., Anand, N., Hlavicka, V., & Kiran, T. (2023). "Investigation of physical, chemical, mechanical, and microstructural properties of cement-less concrete – state-of-the-art review". *Construction and Building Materials*, 365, 130020. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.130020>

- [2] López, C., Andrés, V., Arroba, V., & Paulina, L. (2019). "Materiales Cementantes Compuestos (CCM): Estado del Arte, Situación Actual y Aplicaciones en la Ingeniería Civil". *INGENIO*, 2(2), 5–16. <https://doi.org/10.29166/INGENIO.V2I2.1640>
- [3] Han, J., Wang, K., Wang, X., & Monteiro, P. J. M. (2016). "2D image analysis method for evaluating coarse aggregate characteristic and distribution in concrete. *Construction and Building Materials*", 127, 30–42. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2016.09.120>
- [4] Toirac Corral, J. (2012). "Caracterización granulométrica de las plantas productoras de arena en la República Dominicana, su impacto en la calidad y costo del hormigón. *Ciencia y Sociedad*", 37(3), 293–334. <https://doi.org/10.22206/CYS.2012.V37I3.PP293-334>
- [5] Dipova N. (2017). "Determining the grain size distribution of granular soils using image analysis. *Acta Geotechnica Slovenica*", 14(1), 29–37. <https://www.mendeley.com/catalogue/144d7ad9-9275-3fb9-a66e-f51328c6ecb0/>
- [6] Garefalakis, P., do Prado, A. H., Mair, D., Douillet, G. A., Nyffenegger, F., & Schlunegger, F. (2023). "Comparison of three grain size measuring methods applied to coarse-grained gravel deposits. *Sedimentary Geology*", 446, 106340. <https://doi.org/10.1016/J.SEDGEO.2023.106340>
- [7] Li, L., & Iskander, M. (2020). "Evaluation of Dynamic Image Analysis for Characterizing Granular Soils". *Geotechnical Testing Journal*, 43(5), 1149–1173. <https://doi.org/10.1520/GTJ20190137>
- [8] Vázquez Tarrío, D., Borgniet, L., Liébault, F., & Recking, A. (2018). "Caracterización de la granulometría de superficie de ríos de lecho grueso mediante la utilización de imágenes tomadas con dron".
- [9] Engineers, A. S. o. C. (2013). "Visión de la ingeniería civil al 2025". *SAPIENTIS*, 1(2), 14–18. <http://repositorio.upecen.edu.pe/handle/UPECEN/31>
- [10] Ahmed, I., Balestrieri, E., Tudosa, I., & Lamonaca, F. (2022). "Segmentation techniques for morphometric measurements of blood cells: Overview and research challenges". *Measurement: Sensors*, 24, 100430. <https://doi.org/10.1016/J.MEASEN.2022.100430>
- [11] Zaniwski, J. P., & Mamlouk, M. S. (2009). *Materiales para ingeniería civil (2a. ed.)* (2nd ed.). Pearson Educacion. <http://elibro.puce.elogim.com/es/lc/puce/titulos/107817>
- [12] León Consuegra, L., & Rodríguez García, C. (2022). "Factores que influyen en la resistencia a la compresión del hormigón. Estado del arte. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*", 16(3). <https://www.redalyc.org/journal/1939/193972950003/193972950003.pdf>
- [13] Pertiwi, D., Maria, T., Agusdini, C., Komara, I., & Wahyu, A. (2023). "Desempeño de las propiedades del hormigón de alta resistencia para dos agregados disponibles localmente: graduación parcial" *Enfoques. Tendencias En Las Ciencias*, 20(3), 6370. <https://doi.org/10.48048/tis.2023.6370>
- [14] Baptista, P., Cunha, T. R., Gama, C., & Bernardes, C. (2012). "A new and practical method to obtain grain size measurements in sandy shores based on digital image acquisition and processing. *Sedimentary Geology*", 282, 294–306. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2012.10.005>
- [15] Chang, F. J., & Chung, C. H. (2012). "Estimation of riverbed grain-size distribution using image-processing techniques". *Journal of Hydrology*, 440–441, 102–112. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.03.032>
- [16] Li, X., Cui, L., Li, J., Chen, Y., Han, W., Shonkwiler, S., & McMains, S. (2022). "Automation of intercept method for grain size measurement: A topological skeleton approach". *Materials & Design*, 224, 111358. <https://doi.org/10.1016/J.MATDES.2022.111358>
- [17] Delacroix, T., Lomello, F., Schuster, F., Maskrot, H., Jacquier, V., Lapouge, P., Coste, F., & Garandet, J.-P. (2023). "Measurement of powder bed oxygen content by image analysis in laser powder bed fusion". *Materials & Design*, 226, 111667. <https://doi.org/10.1016/J.MATDES.2023.111667>
- [18] Nwaeju, C. C., Edoziuno, F. O., Adediran, A. A., Tuaweri, T. J., & Saravana Kumar, M. (2021). "Grain characteristics and mechanical properties of

- as-cast Cu-10%Al alloy: Effects of alloying additions. Results in Engineering”, 12, 100295. <https://doi.org/10.1016/J.RINENG.2021.100295>
- [19] Venter, C., & Niesler, C. (2019). “Rapid quantification of cellular proliferation and migration using ImageJ”. BioTechniques, 66(2), 99–102. <https://doi.org/10.2144/btn-2018-0132>
- [20] Wang, F. (2017). “SIOX plugin in ImageJ: area measurement made easy”. UV4Plants Bulletin, 2016(2), 37–44. <https://doi.org/10.19232/UV4PB.2016.2.11>
- [21] De La Fuente, G. A., & Vera, S. D. (2015). “Aplicación de software de análisis de imágenes (SAI) en la caracterización tecnológica de cerámicas arqueológicas: Alcances, limitaciones y perspectivas. Chungará (Arica)”, 47(ahead), 0–0. <https://doi.org/10.4067/S0717-73562015005000022>.
- [22] Graham, D. J., Rice, S. P., & Reid, I. (2005). “A transferable method for the automated grain sizing of river gravels”. Water Resources Research, 41(7). <https://doi.org/10.1029/2004WR003868>
- [23] Storz-Peretz, Y., & Laronne, J. B. (2013). “Automatic Grain Sizing of vertical exposures of gravelly deposits. Sedimentary Geology”, 294, 13–26. <https://doi.org/10.1016/J.SEDGEO.2013.05.004>.
- [24] Chung, C.-H., & Chang, F.-J. (2013). “A refined automated grain sizing method for estimating river-bed grain size distribution of digital images”. Journal of Hydrology, 486, 224–233. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.01.026>.
- [25] López Elejalde, J. I., & Zuluaga Vanegas, S. A. (2014). “Análisis granulométrico por medio de fotografía digital en suelos granulares”. Universidad EIA.
- [26] Javernick, L., Brasington, J., & Caruso, B. (2014). “Modeling the topography of shallow braided rivers using Structure-from-Motion photogrammetry”. Geomorphology, 213, 166–182. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.01.006>.
- [27] Bontognali, T. R. R., Meister, Y., Kuhn, B., Josset, J. L., Hofmann, B. A., & Kuhn, N. (2021). “Identifying optimal working conditions for close-up imaging during the ExoMars rover mission”. Planetary and Space Science, 208, 105355. <https://doi.org/10.1016/J.PSS.2021.105355>.
- [28] Almada, B. S., da Silva Silveira Melo, H., Duarte, M. S., Aguilar, M. T. P., Garcia, D. C. S., Silva, G. J. B., & dos Santos, W. J. (2022). “Study of mechanical, durability and microstructural properties of cementitious composite with addition of different iron ore tailings from Brazil”. Journal of Materials Research and Technology, 18, 1947–1962. <https://doi.org/10.1016/J.JMRT.2022.03.070>.
- [29] Hussain, M., Levacher, D., Leblanc, N., Zmamou, H., Djeran-Maigre, I., Razakamanantsoa, A., & Saouti, L. (2022). “Reuse of harbour and river dredged sediments in adobe bricks”. Cleaner Materials, 3, 100046. <https://doi.org/10.1016/J.CLEMA.2022.100046>.
- [30] Huerfano Correa, M. (2017). “Validación del programa imagej para cuantificación de imágenes en dosimetría interna para pacientes de terapia con 131I.” <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/61994>.
- [31] Hlobil, M., Kumpová, I., & Hlobilová, A. (2022). “Surface area and size distribution of cement particles in hydrating paste as indicators for the conceptualization of a cement paste representative volume element. Cement and Concrete Composites”, 134, 104798. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2022.104798>.
- [32] Glantz, S. A., Slinker, B. K., & Neillands, T. B. (2016). “Primer of applied regression & analysis of variance”. McGraw-Hill, 3, 11

