

ARTÍCULOS

La Importancia de la Explotación de Agregados No Metálicos mediante Clasificación Granulométrica

The Importance of Exploiting Non-Metallic Aggregates through Granulometric Classification



Yene Yujra-Maquera¹, Christ Jesús Barriga-Paria², Frank Lincoolt Herrera-Choque³, Rony Raúl Dávila-Tacar⁴, Jenry Yonatan Mamani-Juli⁵, Fredy Llacsá-Sanga⁶, Lucía Masiel Nina-Mamani⁷, Alexander Jeferson Vilca-Apaza⁸, José Eduardo Tubillas-Cornejo⁹



2016103080@unam.edu.pe.

¹ Universidad Nacional de Moquegua.
Escuela Profesional de Ingeniería de Minas.
Moquegua, Perú.



cbarrigap@unam.edu.pe.

² Universidad Nacional Jorge Basadre
Grohmann. Facultad de Ingeniería. Tacna,
Perú.



2018103087@unam.edu.pe.

³ Universidad Nacional de Moquegua.
Escuela Profesional de Ingeniería de Minas.
Moquegua, Perú.



2020103058@unam.edu.pe.

⁴ Universidad Nacional de Moquegua.
Escuela Profesional de Ingeniería de Minas.
Moquegua, Perú.



2018303011@unam.edu.pe.

⁵ Universidad Nacional de Moquegua.
Escuela Profesional de Ingeniería de Minas.
Moquegua, Perú.



2019103117@unam.edu.pe.

⁶ Universidad Nacional de Moquegua.
Escuela Profesional de Ingeniería de Minas.
Moquegua, Perú.



2020103001@unam.edu.pe.

⁷ Universidad Nacional de Moquegua.
Escuela Profesional de Ingeniería de Minas.
Moquegua, Perú.



2019103048@unam.edu.pe.

⁸ Universidad Nacional de Moquegua.
Escuela Profesional de Ingeniería de Minas.
Moquegua, Perú.



2020103073@unam.edu.pe.

⁹ Universidad Nacional de Moquegua.
Escuela Profesional de Ingeniería de Minas.
Moquegua, Perú.

RESUMEN

El estudio de la clasificación granulométrica en la producción de agregados no metálicos es vital para la industria de la construcción debido a la necesidad de productos de alta calidad y propiedades específicas para diversas aplicaciones. Este artículo permite optimizar la explotación y procesamiento de materiales, asegurando una gestión eficiente de los recursos minerales, uno de los principales objetivos es identificar y analizar las relaciones entre la distribución de tamaños de partículas, las propiedades geotécnicas, buscando contribuir al desarrollo y optimización de la explotación mediante un análisis detallado de la clasificación granulométrica, maximizando la eficiencia y sostenibilidad de la producción de agregados, la investigación se realizó en la Unidad Minera Superficial No Metálica Solange AR ubicada al sur del Perú en el distrito de Samegua, analizando materiales como arena gruesa, piedra para cimentación y piedra chancada. Los datos geotécnicos se obtuvieron de calicatas y se procesaron mediante software especializado. Se realizaron ensayos de laboratorio con instrumentos calibrados para determinar características geotécnicas siguiendo normas ASTM y AASHTO, los ensayos granulométricos revelaron variabilidad significativa en la distribución de tamaños de partículas entre las calicatas. Por ejemplo, la CA-1 mostró un alto contenido de gravas (53,71%), mientras que la CA-4 presentó un 67,67% de finos y arenas combinados. El análisis de consistencia indicó que la mayoría de los suelos tenían plasticidad baja a media, siendo la CA-3 la más plástica con un índice de plasticidad (IP) de 8,50%, la clasificación granulométrica es crucial para garantizar la calidad y eficiencia en la explotación de agregados no metálicos, además la variabilidad en la distribución granulométrica debe considerarse en los planes de explotación para optimizar el uso de los recursos y cumplir con especificaciones internacionales.

Palabras claves: agregados; granulométrica; geotécnicas; explotación; partículas.

FIGEMPA: Investigación y Desarrollo

Universidad Central del Ecuador, Ecuador

ISSN-e: 2602-8484

Periodicidad: Semestral

vol. 18, núm. 2, 2024

revista.figempa@uce.edu.ec

Recepción: 26 junio 2024

Aprobación: 24 octubre 2024

DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v18i2.6811>

Autor de correspondencia:

cbarrigap@unam.edu.pe



Esta obra está bajo una Licencia
Creative Commons Atribución
4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Cómo citar: Yujra-Maquera, Y., Barriga-Paría, J. C., Herrera-Choque, F. L., Dávila-Tacar, R. R., Mamani-Juli, J. Y., Llacsasanga, F., ... Tubillas-Cornejo, J. E. (2024). La Importancia de la Explotación de Agregados No Metálicos mediante Clasificación Granulométrica. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 18(2), 126-136.

<https://doi.org/10.29166/revfig.v18i2.6811>

ABSTRACT

The study of granulometric classification in the production of non-metallic aggregates is vital for the construction industry due to the need for high-quality products with specific properties for various applications. This paper allows for the optimization of material exploitation y processing, ensuring efficient management of mineral resources. One of the main objectives is to identify y analyze the relationships between particle size distribution, geotechnical properties, aiming to contribute to the development y optimization of exploitation through a detailed analysis of granulometric classification, maximizing the efficiency y sustainability of aggregate production. The research was carried out in the Solange AR Non-Metallic Surface Mining Unit located in southern Peru in the district of Samegua, analyzing materials such as coarse sand, foundation stone, y crushed stone. Geotechnical data were obtained from test pits y processed using specialized software. Laboratory tests were performed with calibrated instruments to determine geotechnical characteristics following ASTM y AASHTO standards. Granulometric tests revealed significant variability in particle size distribution among the test pits. For example, CA-1 showed a high gravel content (53,71%), while CA-4 presented 67,67% combined fines y sands. The consistency analysis indicated that most soils had low to medium plasticity, with CA-3 being the most plastic with a plasticity index (PI) of 8,50%. Granulometric classification is crucial to ensure the quality y efficiency of non-metallic aggregate exploitation. Additionally, variability in granulometric distribution should be considered in exploitation plans to optimize resource use y meet international specifications.

Keywords: aggregates; granulometric; geotechnical; exploitation; particles.

INTRODUCCIÓN

El estudio de la clasificación granulométrica en la producción de agregados no metálicos es de suma importancia debido a su relevancia en diversas áreas de la ingeniería y la construcción (Rojas-Villacís y Zúñiga-Arrobo, 2022). Estos materiales son esenciales para la industria de la construcción (Yagual Velástegui et al., 2018), que demanda productos de alta calidad y propiedades específicas para diversas aplicaciones (Arteaga Flórez y Mayag Chud, 2022), además que permite optimizar su explotación y procesamiento (Valencia González et al., 2018).

El estado del arte en este campo ha evolucionado considerablemente, diversos estudios han abordado la importancia de la clasificación granulométrica en la evaluación y selección de materiales para diferentes aplicaciones ingenieriles (Ordóñez-Ruiz et al., 2015), a nivel internacional, se han desarrollado diversas metodologías y normativas para la evaluación de materiales no metálicos, destacando los estándares ASTM y AASHTO, que proporcionan directrices para la clasificación y análisis de suelos y materiales de construcción (Rondón Quintana et al., 2016), estos estándares son utilizados ampliamente para caracterizar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos (Calderón-Medina et al., 2018).

El problema que motiva esta investigación radica en la necesidad de optimizar la explotación de los recursos minerales, la falta de un análisis detallado de la clasificación granulométrica podría resultar en una gestión ineficiente de los recursos y en la selección incorrecta de materiales (Niño-Barbosa et al., 2023), en este contexto, surge la pregunta fundamental que guía este estudio del cómo afecta la clasificación granulométrica de los materiales en la Unidad Minera No Metálica a su explotación y procesamiento, el objetivo principal del artículo, que busca identificar y analizar las relaciones entre la distribución de tamaños de partículas, las propiedades geotécnicas y las aplicaciones industriales de los materiales presentes en la Unidad Minera No Metálica.

El propósito de este estudio es, por lo tanto, contribuir al desarrollo y la optimización de la explotación de la Unidad Minera Superficial No Metálica, mediante un análisis de la clasificación granulométrica de los materiales presentes en el sitio. A través de la aplicación de métodos y técnicas, se busca proporcionar una visión integral que permita maximizar la eficiencia y sostenibilidad de la producción de agregados para su comercialización en la industria de la construcción.

MATERIALES Y MÉTODOS

La Unidad Minera Superficial No Metálica se encuentra en el distrito Samegua, provincia Mariscal Nieto, departamento Moquegua, Perú, con una altitud media de 1800 msnm en la Quebrada Cementerio. Los materiales en la unidad Minera incluyen arena gruesa (50%), piedra para cimentación (10%), piedra chancada (20%).

Geología del Yacimiento

La geología regional abarca la Formación Sotillo, Compuesta por areniscas, limolitas rojas y arcosas de color gris-rojizo, esta formación descansa sobre rocas volcánicas jurásicas y cretácicas. Presenta estratificación paralela y subhorizontal, con depósitos lacustres en niveles superiores y una transición marcada por un banco de yeso con la Formación Moquegua (Alvan et al., 2020).

La Formación Moquegua superior caracterizada por una litología conglomerádica que sobreyace con débil discordancia a la Formación Moquegua inferior. La transición se identifica claramente por diferencias en color y topografía. La parte superior de esta formación está parcialmente cubierta por un banco de tufo blanco del Volcánico Huaylillas (Pino et al., 2017).

La Formación Huaylillas consiste en tobas-lapilli riolíticas a dacíticas de colores gris, blanco a rosado. Van desde tobas friables hasta niveles altamente soldadas (Pino et al., 2019). Los depósitos aluviales incluyen gravas, arenas y limos, con tres tipos identificados en la zona de estudio. El yacimiento de la Unidad Minera Superficial No Metálica consiste en depósitos no consolidados de arena y grava, adecuados para la industria de la construcción.

Trabajo de Campo

Para realizar la recolección de datos del trabajo en campo, se utilizó; GPS, estación total, excavadora, entre otros; para la preparación e identificación de las muestras. Se recibieron muestras de 5 calicatas diferentes con ayuda de maquinaria pesada y mano de obra, las muestras se codificaron numerándolas desde el CA-1 al CA-5 para poder identificarlas.

Los datos de entrada del Análisis Exploratorio de Datos como es el de las características geotecnias según ensayos realizados en calicatas (Figura 1), fueron obtenidas de los inputs del proceso de Operaciones de Área de Producción Mina, todos los datos fueron entregados por las áreas involucradas en la operación, información obtenida de cuatro meses atrás y tres meses después de la evaluación realizada.

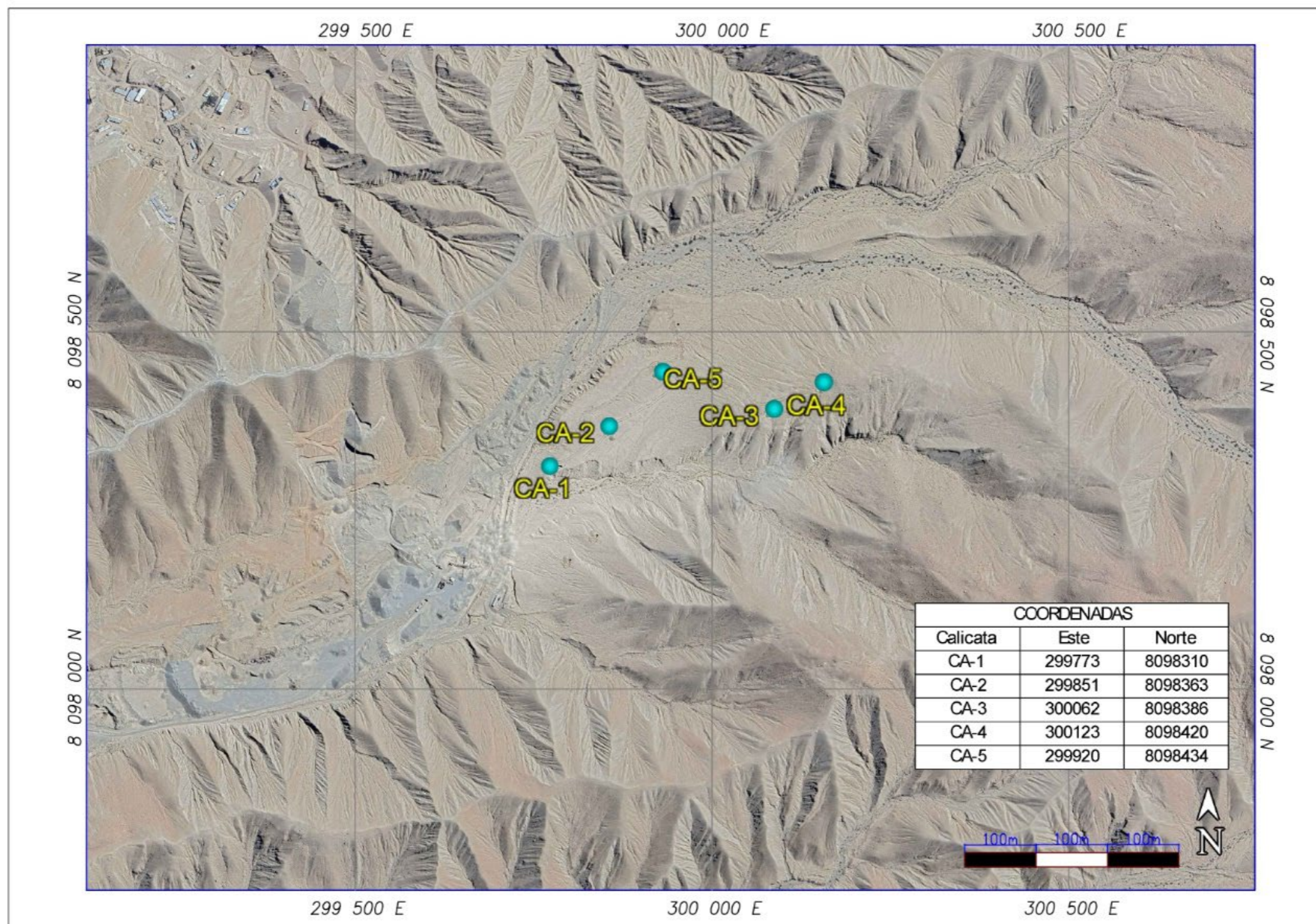


FIGURA 1
Ubicación de calicatas - coordenadas UTM WGS 84, zona 19K

Trabajo de laboratorio

Para la confiabilidad de los ensayos realizados se tuvo en cuenta que estos fueran con instrumentos que cuenten con certificado de calibración y operatividad, y se realizaron ensayos para determinar las características geotécnicas del material como el Corte Directo ASTM D-3080, Contenido de Humedad ASTM D-2016, Clasificación SUCS ASTM D-2487, Clasificación AASHTO M-145, Peso específico de los sólidos ASTM D – 854, Densidad in situ ASTM D1556, Límite Plástico ASTM D – 4318 y Límite líquido ASTM D-4318.

Ábaco de Casagrande

El ábaco de Casagrande se utiliza para clasificar suelos en función de su límite líquido (LL) y el índice plástico (IP). herramienta gráfica permite visualizar la relación entre LL e IP para determinar la plasticidad del suelo.

Límites de Consistencia

Límite Líquido (LL): Es el contenido de humedad a partir del cual el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido.

Límite Plástico (LP): Es el contenido de humedad a partir del cual el suelo pasa de un estado semisólido a un estado plástico.

Índice Plástico (IP): Es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, este índice mide la amplitud de contenido de humedad en la que el suelo se comporta plásticamente. $IP = LL - LP$

Trabajo de gabinete

Los datos recogidos en las zonas de extracción y distribución han sido procesados mediante el uso de diversas herramientas informáticas especializadas. Estas herramientas incluyen programas como Civil 3D, MinePlan y Google Earth Pro, que se utilizan para análisis geoespacial, modelado 3D. Además del software Microsoft Excel para el análisis de grandes cantidades de datos obtenidas de las muestras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los ensayos realizados dieron los resultados que se muestran en la Tabla 1, encontrando los resultados de la Clasificación SUCS ARTM D-2487 con divisiones principales para las CA-1, CA-2, CA-3, CA-4 y CA-5 como gravas y arenas (Guillén Guillén et al., 2021), mientras que la clasificación AASHTO M-145 engloba como clasificación general en materiales granulares, de las cuales sus constituyentes principales son fragmentos de roca, grava y arena arcillosa, tales son excelentes como subgrado (Alarcón et al., 2020).

TABLA 1
Características geotécnicas de calicatas

DESCRIPCIÓN	UND	CA-1	CA-2	CA-3	CA-4	CA-5
Masa específica	g/cm ³	2,49	2,51	2,49	2,47	2,51
Contenido de humedad	%	2,92	4,12	7,10	5,91	4,02
Ángulo de Rozamiento Interno	°	31,30	31,23	15,00	16,43	31,53
Cohesión efectiva	kg/cm ²	0,07	0,07	0,50	0,48	0,06
Densidad S	g/cm ³	1,96	1,91	1,61	1,65	1,97
Humedad	%	2,90	4,10	7,10	5,90	4,00
Densidad de Campo	g/cm ³	1,96	1,91	1,61	1,65	1,97
Valor Soporte C.B.R.	%	44,70	33,50	17,90	15,70	40,30
Clasificación	SUCS	GW-GM	GM	SP-SC	SM	GW-GM
Clasificación	AASHTO	A-1.a (0)	A-2-4(0)	A-2-4(0)	A-2-4(0)	A-2-4(0)
Coefficiente de Uniformidad		81,82	209,34	38,81	58,44	108,63
Coefficiente de curvatura		1,46	0,12	0,82	0,21	2,07
Arena	%	46,29	55,25	64,81	67,67	50,33
Piedra	%	53,71	44,75	35,19	32,33	49,67

Granulometría

Los ensayos granulométricos de las calicatas de Unidad Minera Superficial No Metálica, donde los valores de acuerdo con la medida de la zaranda fueron separados entre pasantes y retenidos, en la Tabla 2 se observa el % que pasa en cada calicata considerando la malla utilizada y la abertura en milímetros, la CA-1 contiene el máximo valor de gravas con un valor de 53,71%, la CA-4 tiene un 67,67% entre finos y arenas en conjunto, los finos vienen a ser el % pasante de la malla N°200 encontrando un valor máximo en la CA-2 y valor mínimo de 7,85% en la CA-3, el análisis realizado es esencial para las decisiones estratégicas y operativas de la mina, permitiendo una explotación más eficiente y sostenible del recurso (Bustamante Salazar et al., 2022).

TABLA 2
Distribución granulométrica de las calicatas en la unidad minera superficial no metálica

Malla	Abertura (mm)	CA-1 %Pasante	CA-2 %Pasante	CA-3 %Pasante	CA-4 %Pasante	CA-5 %Pasante
4"	101,60	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2,5"	63,50	86,22	100,00	100,00	100,00	100,00
2"	50,80	86,22	100,00	92,57	100,00	100,00
1,5"	38,10	86,22	100,00	92,57	93,34	91,46
1"	25,40	78,16	88,99	90,88	91,51	84,30
3/4"	19,05	74,47	86,18	90,10	87,19	77,98
3/8"	9,53	60,86	72,75	83,51	80,65	65,82
N° 4	4,76	46,29	55,25	64,81	67,67	50,33
N° 10	2,00	35,42	49,43	47,39	60,93	37,75
N° 20	0,84	27,18	44,17	35,16	56,75	28,10
N° 30	0,59	23,74	41,39	30,25	55,16	24,21
N° 40	0,43	20,50	38,71	25,73	53,14	21,01
N° 100	0,15	11,99	30,26	13,35	37,31	13,65
N° 200	0,074	7,85	25,59	7,89	24,83	10,39

En la Figura 2, se observa las curvas granulométricas de los ensayos que se obtuvieron de la CA-1, CA-2, CA-3, CA-4 y CA-5 para determinar la distribución de tamaños de partículas en la Unidad Minera Superficial No Metálica, la mayor cantidad de material retenido en la CA-1 se encontró en la malla N°4 (4,76 mm) con un 14,56% del peso total retenido, seguida de la malla de 3/8" (9,525 mm) con un 13,61%. El porcentaje de finos, definido como el material que pasa la malla N°200 (0,074 mm), es del 7,85%, indicando una cantidad moderada de material fino (Rodas y Rousé, 2010).

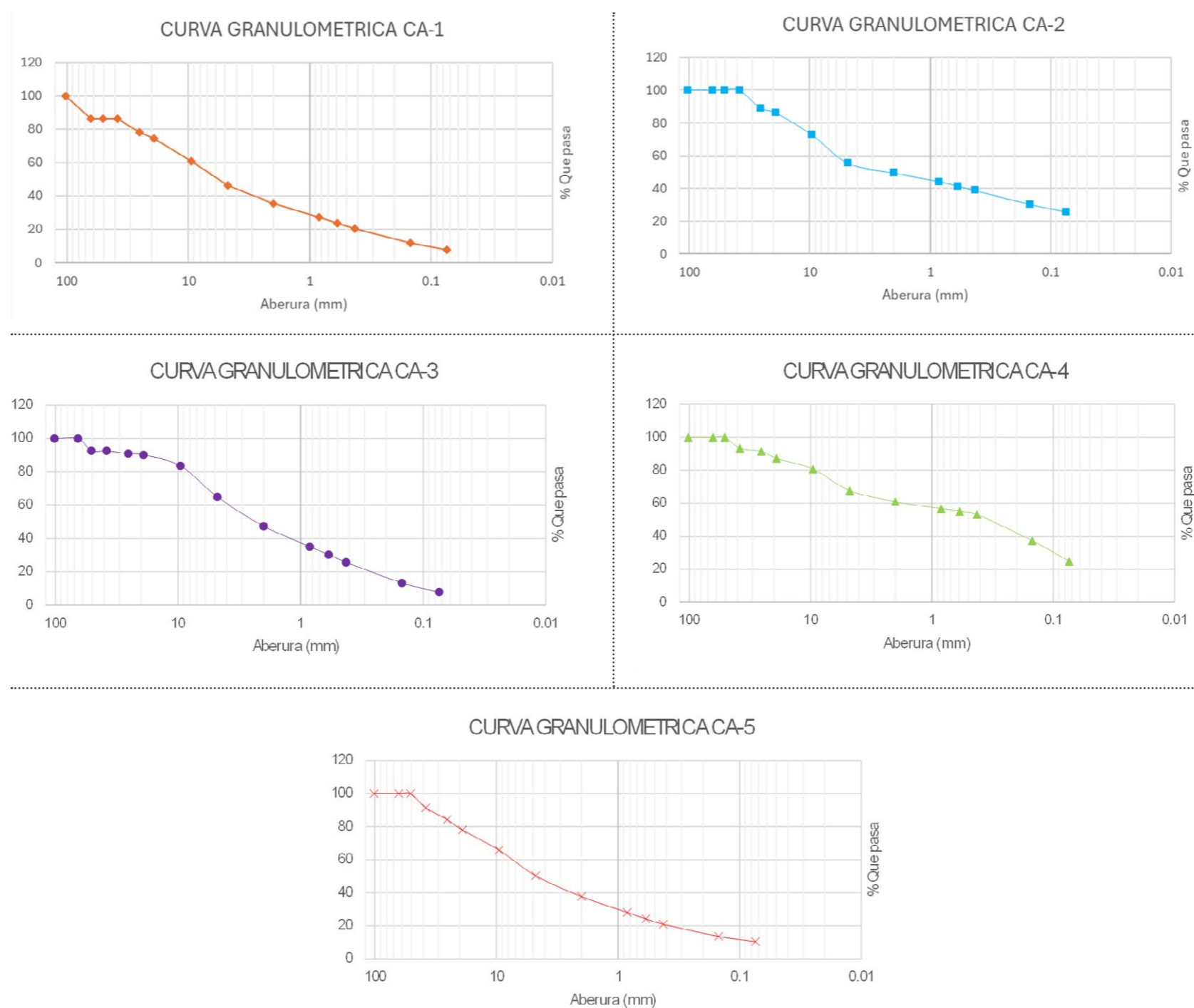


FIGURA 2
Curva granulométrica de las calicatas de estudio

Los resultados de los ensayos granulométricos revelan varias características importantes del material presente en las calicatas como la distribución de tamaños de partícula (López Lambraño *et al.*, 2018), en la CA-1 presenta la mayor cantidad de gravas, con un 53,71% de material que pasa por la malla de 4,76 mm, lo que indica una composición predominantemente gruesa, las CA-2 y CA-4 tienen porcentajes altos de finos y arenas combinados, 55,25% y 67,67% respectivamente, lo que sugiere una mayor proporción de material más fino.

El contenido de finos de la CA-2 tiene un 25,59%, lo que puede impactar en el manejo del material y su procesamiento (Bustamante Rúa *et al.*, 2016), la CA-3 por otro lado, presenta el menor contenido de finos con un 7,89%, lo cual podría ser favorable para ciertas aplicaciones industriales donde se prefieren materiales más gruesos (Zambrano Navarrete *et al.*, 2022), existe una considerable variabilidad en la distribución granulométrica entre las diferentes calicatas, esta variabilidad debe ser considerada en los planes de explotación y procesamiento, ya que afecta las características del material extraído, la CA-4 muestra una distribución granulométrica equilibrada con una cantidad significativa de materiales finos y gruesos, lo que podría ofrecer una mayor versatilidad en su uso (Salas *et al.*, 2019).

La granulometría del suelo es crucial para la comercialización del material y el beneficio económico por varias razones tal como la calidad y adecuación del material (Rosado Chávez *et al.*, 2023), los diferentes proyectos de construcción tienen requisitos específicos para los agregados en términos de tamaño y distribución de partículas, por tal la granulometría adecuada asegura que el material cumpla con estas especificaciones, al conocer la granulometría del material permite optimizar los procesos de trituración y clasificación, reduciendo costos operativos y mejorando la eficiencia del procesamiento (Rojas-Villacís y Zúñiga-Arrobo, 2022). Esto se traduce en una producción más económica y rentable.

Abaco Casagrande

La clasificación granulométrica de los suelos es un aspecto fundamental en la ingeniería geotécnica, ya que determina las propiedades mecánicas y de comportamiento de los suelos bajo diversas condiciones de carga y humedad (Sanabria y Jaime, 2022). El ábaco de Casagrande se utiliza para clasificar suelos en función de su límite líquido (LL) y el índice plástico (IP). La mayoría de las calicatas presentan valores de LL y LP que indican suelos con plasticidad baja a media (Hernández-Sánchez *et al.*, 2019). Los valores de IP varían desde 4,00% en CA-2 hasta 8,50% en CA-3, en la Tabla 3 se observan las diferencias en la plasticidad del suelo.

TABLA 3
Resultados de los ensayos de límites de consistencia, humedad natural y densidad seca de las calicatas de estudio

DESCRIPCIÓN	UND	C-01	C-02	C-03	C-04	C-05
LL	(%)	29,80	30,20	31,30	30,20	30,40
LP	(%)	23,80	26,20	22,80	22,90	24,10
IP	(%)	6,00	4,00	8,50	7,30	6,30
Humedad natural (%)	(%)	2,90	4,10	7,10	5,90	4,00
Densidad seca	(gr/cm ³)	1,96	1,91	1,61	1,65	1,97
H/LL		0,10	0,14	0,23	0,20	0,13
H/LP		0,12	0,16	0,31	0,26	0,17
Colapsabilidad		No colapsable	No colapsable	No colapsable	No colapsable	No colapsable
		1,46	1,46	1,43	1,46	1,45

La clasificación granulométrica y el análisis de la plasticidad de los suelos son componentes críticos en la ingeniería geotécnica, ya que determinan las propiedades mecánicas y de comportamiento del suelo bajo diversas condiciones de carga y ambientales (Guerrero y Cruz Velasco, 2018). Dentro de este contexto, el Ábaco de Casagrande es una herramienta fundamental para clasificar suelos según su consistencia y plasticidad (Gutiérrez Rodríguez, 2023).

Los límites de consistencia (LL, LP e IP) y la humedad natural son esenciales para entender el comportamiento del suelo bajo diferentes condiciones de humedad, las calicatas presentan valores similares de LL, que varían entre 29,80% y 31,30%. Estos valores indican la capacidad del suelo para mantener su consistencia cuando está saturado. Los valores

de LP varían más significativamente, con CA-3 presentando el valor más bajo (22,80%) y CA-2 el más alto (26,20%), esto refleja diferencias en la plasticidad del suelo entre las calicatas, para la CA-3 muestra el IP más alto (8,50%), lo que sugiere una mayor plasticidad comparada con las otras calicatas y CA-2 tiene el IP más bajo (4,00%).

El ábaco de Casagrande es una herramienta utilizada para clasificar suelos basándose en el límite líquido y el índice de plasticidad, la CA-3 con un LL de 31,30% y un IP de 8,50%, podría clasificarse como un suelo de alta plasticidad, en contraste la CA-2, con un LL de 30,20% y un IP de 4,00%, se clasificaría como un suelo de baja plasticidad, los datos presentados destacan la importancia de realizar un análisis detallado de las propiedades granulométricas y de consistencia de los suelos para entender su comportamiento y optimizar su manejo en aplicaciones industriales (Figura 3).

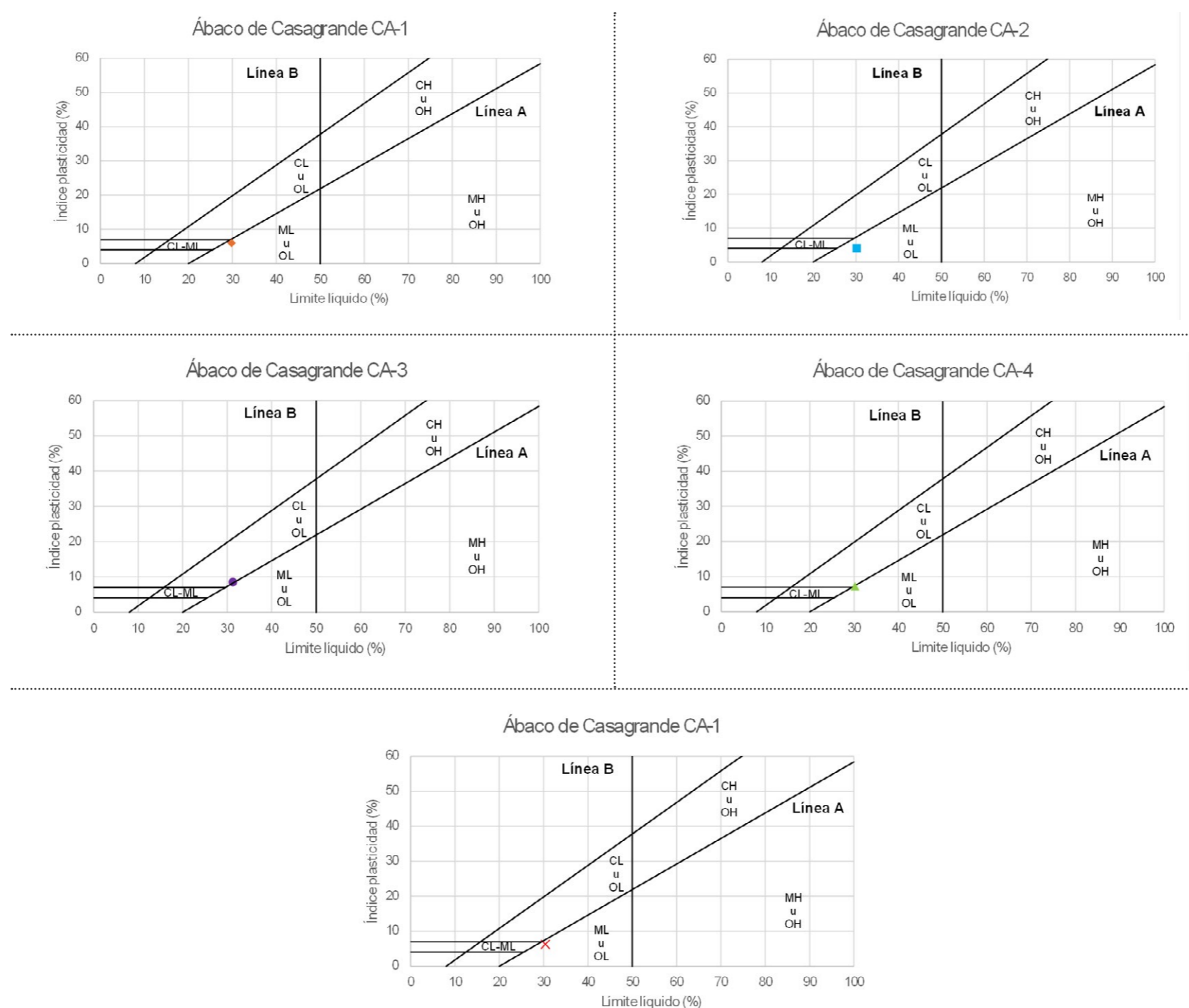


FIGURA 3
Abaco Casagrande de las calicatas de estudio

Las relaciones H/LL y H/LP proporcionan información adicional sobre la plasticidad y la condición del suelo, la CA-3 tiene las relaciones más altas (0,23 y 0,31 respectivamente), lo que sugiere que este suelo es más plástico y tiene mayor contenido de humedad en relación a sus límites de consistencia. CA-1 tiene las relaciones más bajas (0,10 y 0,12), indicando menor plasticidad y contenido de humedad relativo.

CONCLUSIONES

Los valores del Índice de Plasticidad (IP) varían desde 4% en CA-2 hasta 8,50% en CA-3, indicando una considerable variabilidad en la plasticidad de los suelos, la variabilidad en la plasticidad del suelo es crucial para determinar su adecuación para diferentes aplicaciones de construcción. Suelos con mayor IP (como CA-3) pueden ser más adecuados para proyectos que requieren materiales con alta plasticidad, como ciertos tipos de cimentaciones o revestimientos, mientras que suelos con menor IP (como CA-2) son más adecuados para aplicaciones donde se requiere baja plasticidad, optimizando así el uso y la comercialización de los diferentes tipos de suelo según las necesidades específicas de los proyectos de construcción.

La CA-1 presenta el mayor porcentaje de gravas con un 53,71%, mientras que la CA-4 contiene el 67,67% de finos y arenas combinados. La variabilidad en la distribución granulométrica entre las calicatas es significativa, la información granulométrica es esencial para el diseño y selección de materiales en proyectos de construcción. Agregados con

un alto contenido de grava (como en CA-1) son ideales para la fabricación de concreto y otras aplicaciones que requieren materiales más gruesos. Por otro lado, materiales con mayor contenido de finos y arenas (como en CA-4) pueden ser mejor utilizados en acabados, rellenos o en la producción de morteros. Conocer esta distribución permite a las empresas mineras segmentar mejor sus productos y atender de manera más efectiva las demandas del mercado.

La clasificación granulométrica de los agregados no metálicos es fundamental para garantizar la calidad y eficiencia en la explotación y procesamiento de estos materiales, esenciales para la industria de la construcción, la optimización de la explotación y procesamiento en la clasificación granulométrica permite una mejor planificación y manejo de los recursos minerales. Conocer la distribución de tamaños de partículas ayuda a identificar los materiales adecuados para diferentes aplicaciones, lo que maximiza la eficiencia de la explotación y procesamiento.

La variabilidad en la distribución granulométrica observada entre las diferentes calicatas debe ser considerada en los planes de explotación. La variabilidad afecta las características del material extraído, lo que influye en su procesamiento y uso final, los materiales de construcción deben cumplir con especificaciones estrictas en términos de tamaño y distribución de partículas. La clasificación granulométrica asegura que los agregados cumplen con estándares como ASTM y AASHTO, que son cruciales para garantizar la calidad y seguridad en proyectos de construcción.

RECOMENDACIONES

Utilizar la información granulométrica para seleccionar y ajustar los equipos de trituración y clasificación, asegurando que los agregados producidos cumplan con las especificaciones requeridas, optimizando el rendimiento de los equipos, reduciendo costos operativos, implementar sistemas de monitoreo y control en tiempo real que utilicen datos granulométricos para ajustar los procesos de trituración y tamizado. Esto permitirá una producción más eficiente y una menor generación de residuos.

Asegurarse de que los productos finales cumplan con las normativas internacionales (ASTM y AASHTO) y obtener las certificaciones necesarias para su comercialización. Esto incrementará la confianza de los clientes y abrirá mercados adicionales, y utilizar la variabilidad de la distribución granulométrica entre diferentes calicatas para planificar la secuencia de explotación de los depósitos. Esto permitirá un uso más eficiente de los recursos, minimizando la heterogeneidad del material extraído.

La explotación y procesamiento eficiente basados en una clasificación granulométrica detallada puede reducir el impacto ambiental, minimizando la generación de polvo y residuos, y optimizando el uso de energía, finalmente utilizar la información granulométrica para segmentar los productos en diferentes categorías, permitiendo una mejor alineación con las necesidades específicas de diversos proyectos de construcción. Esto puede aumentar la competitividad en el mercado, además de fomentar la investigación y desarrollo en nuevas técnicas de procesamiento y clasificación granulométrica que puedan mejorar aún más la eficiencia y calidad de la producción de agregados.

REFERENCIAS

- Alarcón, J., Jiménez, M. y Benítez, R. (2020) "Estabilización de suelos mediante el uso de lodos aceitoso", *Revista ingeniería de construcción*, 35 (1), pp. 5–20. Disponible en: <https://doi.org/10.4067/S0718-50732020000100005>
- Alván, A.A., et al. (2020) "Arquitectura estratigráfica, paleogeografía y proveniencia sedimentaria de las rocas cenozoicas del sur de Perú (Tacna, 18° S)", *Andean Geology*, 47 (2), pp. 351-383. Disponible en: <https://doi.org/10.5027/andgeoV47n2-3168>
- Arteaga Flórez, A.L. y Mayag Chud, I.L. (2022) *La industria de la construcción de vivienda: características administrativas, inancieras y tributarias*. Vera Hernández, L. E. (Ed). Editorial UNIMAR. Disponible en: <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.161>
- Bustamante Rúa, M.O., Rojas Reyes, N.R. y Quitian Chila, G.R. (2016) "Fine material effect on kaolin suspensions rheology", *DYNA*, 83 (195), pp. 105–111. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/dyna.v83n195.48855>
- Bustamante Salazar, F.L., Benites Chero, J.C. y Marín Bardales, N.H. (2022) "Uso de Vinaza de Saccharum Officinarum para Estabilización de Suelos Cohesivos", *Infraestructura Vial*, 24(43), pp. 1–9. Disponible en: <https://doi.org/10.15517/iv.v24i43.47995>

- Calderón-Medina, C.L., Bautista-Mantilla, G.P. y Rojas-González, S. (2018) "Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta", *Orinoquia*, 22(2), pp. 141–157. Disponible en: <https://doi.org/10.22579/20112629.524>
- Guerrero, C.C. y Cruz Velasco, L.G. (2018) "Experimental study of Colombian volcanic ash soil classification in the Colombian southwest with SUCS, AASHTO method y a new classification method", *Ingeniería y Desarrollo*, 36(2), pp. 378–397. Disponible en: <https://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/download/11132/214421442584>
- Guillén Guillén, C.A., et al. (2021) "Optimización del proceso de elaboración de Bloques de Tierra Comprimida (BTC) mediante el control granulométrico de las partículas del Suelo", *Nova Scientia*, 13(27), 00003. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052021000200103
- Gutiérrez Rodríguez, W.Á. (2023) "Análisis comparativo de las técnicas de laboratorio para determinar los límites de Atterberg en suelos de la ciudad de Oruro – Bolivia", *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), pp. 7289–7312. Disponible en: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7475
- Hernández-Sánchez, J.M. de los D., Figueroa-Sandoval, B. y Martínez Menes, M.R. (2019) "Propiedades físicas del suelo y su relación con la plasticidad en un sistema bajo labranza tradicional y no labranza", *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (22), pp. 53–61. Disponible en: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i22.1858>
- López Lambraño, A.A., Fuentes, C. y López Ramos, A. (2018) "Sobre la relación entre las distribuciones de los tamaños de poros y partículas del suelo", *Revista Mexicana de Física*, 64(2), pp. 197–205. Disponible en: <https://doi.org/10.31349/RevMexFis.64.197>
- Nieto-Barbosa, V., et al. (2023) "Statistical analysis of climate measurements for resilient design in social housing", *Revista Ingeniería de Construcción*, 38(1), pp. 1-10. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.7764/ric.00047.21>
- Ordóñez-Ruiz, J., Auvinet-Guichard, G., y Juárez-Camarena, M. (2015) "Caracterización del subsuelo y análisis de riesgos geotécnicos asociados a las arcillas expansivas", *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 03 (16), pp. 453-470. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.riit.2015.05.010>
- Pino, E., et al. (2017) "Efecto de las características ambientales y geológicas sobre la calidad del agua en la cuenca del río Caplina, Tacna, Perú", *Tecnología y ciencias del agua*, 08(6), pp. 77–99. Disponible en: <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-06-06>
- Pino, E., et al. (2019) "Factores que inciden en el agotamiento y la contaminación por intrusión marina en el acuífero costero de La Yarada, Tacna, Perú", *Tecnología y ciencias del agua*, 10(5), pp. 177–213. Disponible en: <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-05-07>
- Rodas, R. y Rousé, P. (2010) "Análisis Comparativo de Métodos para la Medición del Ángulo de Reposo de Suelos Granulares", *Revista de la Construcción*, 9(1), pp. 98-106. Disponible en: <https://doi.org/10.4067/S0718-915X2010000100011>
- Rojas-Villacís, C.A. y Zúñiga-Arrobo, C.A. (2022) "Análisis de la actividad de carguío y transporte en minería artesanal en "El Guayabo", Ecuador", *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 14(2), pp. 1–12. Disponible en: <https://doi.org/10.29166/revfig.v14i2.3854>
- Rondón Quintana, H.A., Ruge Cárdenas, J.C. y Moreno Anselmi, L.Á. (2016) "Efecto del agua sobre el asfalto y su posible influencia en el daño por humedad en una mezcla asfáltica porosa", *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 24 (4), pp. 558–569. Disponible en: <https://doi.org/10.4067/S0718-33052016000400003>
- Rosado Chávez, C.A., et al. (2023) "Relación de la producción minera con la actividad agrícola y pecuaria en la región Puno, Perú", *Revista Alfa*, 7 (19), pp. 193–208. Disponible en: <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i19.209>
- Salas, F., et al. (2019) "Análisis dinámico de una excavación profunda contenida mediante pilotes anclados en la grava de Santiago", *Obras y proyectos*, (25), pp. 76–82. Disponible en: <https://doi.org/10.4067/S0718-28132019000100076>

- Sanabria, J. y Jaime, A. (2022) "Escalamiento geométrico de la curva granulométrica de materiales granulares provenientes de actividades mineras", *Obras y proyectos*, (31), pp. 95–103. Disponible en: <https://doi.org/10.4067/S0718-28132022000100095>
- Valencia González, Y., et al. (2018) "Cambio en las propiedades geotécnicas de un suelo sometido a ignición en laboratorio", *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 17 (32), pp. 85–107. Disponible en: <https://doi.org/10.22395/rium.v17n32a5>
- Yagual Velástegui, A.M., et al. (2018) "La contribución del sector de la construcción sobre el producto interno bruto PIB en Ecuador", *Revista Lasallista de Investigación*, 15 (2), pp. 286–299. Disponible en: <https://doi.org/10.22507/rli.v15n2a22>
- Zambrano Navarrete, L.D., et al. (2022) "Aplicación de métodos de curado y su influencia en la resistencia a la compresión del hormigón", *Gaceta Técnica*, 23 (1), pp. 35–47. Disponible en: <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica231.4>