

Physicochemical and Mineralogical Study of Quartz Sandstones for Use as Fine Aggregates in Construction Materials, Quelluacocha Hamlet, Cajamarca – 2025

Portilla Castañeda, Miguel Ricardo¹ ; Salazar Abanto, Jhan Carlos² ; Portal Estacio, Jheferson Alexis³ 

^{1,2,3}Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. miguel.portilla@upn.edu.pe N00307447@upn.pe,
N00301828@upn.pe,

Abstract– *This study evaluates the industrial potential of quartz sandstones from Quelluacocha, Cajamarca, through physicochemical and mineralogical characterization. Sieve analysis following ASTM C136, petrographic microscopy, and calcination tests were conducted to determine granulometric, textural, and chemical properties. The results indicate a predominant sandy fraction (66.40%) with a fineness modulus of 2.39, corresponding to medium sand. Mineralogical analysis revealed a high quartz content (72–76%) with mainly sub-angular grains, while chemical tests showed an average SiO₂ content of 64.54%, exceeding minimum requirements for siliceous aggregates. Despite a fines content of 18.74%, slightly above ASTM C33 limits, the material exhibits adequate hardness, mechanical strength, and chemical stability. Therefore, these sandstones are considered suitable as fine aggregates with prior processing. Additionally, the dataset obtained may support future machine learning models to predict aggregate performance in construction materials.*

Keywords: *sandstones, fine aggregates, Quelluacocha, mineralogical characterization, SiO₂*

Estudio Fisicoquímico y Mineralógico de las Areniscas Cuarzosas para su Uso como Agregados Finos en Materiales de Construcción, Caserío de Quelluacocha, Cajamarca – 2025

Portilla Castañeda, Miguel Ricardo¹ ; Salazar Abanto, Jhan Carlos² ; Portal Estacio, Jheferson Alexis³ 
^{1,2,3}Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. miguel.portilla@upn.edu.pe N00307447@upn.pe,
N00301828@upn.pe,

Resumen– Este estudio evalúa el potencial industrial de las areniscas de cuarzo de Quelluacocha, Cajamarca, mediante su caracterización fisicoquímica y mineralógica. Se realizaron análisis granulométricos según la norma ASTM C136, microscopía petrográfica y ensayos de calcinación para determinar sus propiedades granulométricas, texturales y químicas. Los resultados indican una fracción arenosa predominante (66,40 %) con un módulo de finura de 2,39, correspondiente a arena media. El análisis mineralógico reveló un alto contenido de cuarzo (72-76 %) con granos principalmente subangulares, mientras que los ensayos químicos mostraron un contenido promedio de SiO₂ del 64,54 %, superando los requisitos mínimos para agregados silíceos. A pesar de un contenido de finos del 18,74 %, ligeramente superior a los límites de la norma ASTM C33, el material presenta dureza, resistencia mecánica y estabilidad química adecuadas. Por lo tanto, estas areniscas se consideran aptas como agregados finos con procesamiento previo. Además, el conjunto de datos obtenido puede servir de base para futuros modelos de aprendizaje automático que predigan el rendimiento de los agregados en materiales de construcción.

Palabras clave: areniscas, agregados finos, Quelluacocha, caracterización mineralógica, SiO₂

I. INTRODUCCIÓN

En el Perú, los materiales silíceos representan un recurso estratégico para la industria de la construcción, ya que las arenas y areniscas cuarzosas son empleadas como agregados en concretos, morteros y mezclas asfálticas debido a su resistencia al desgaste y estabilidad química [1,2]. El aprovechamiento de estos recursos adquiere especial relevancia ante la creciente demanda de agregados naturales y la necesidad de sustituir materiales no renovables por alternativas locales que garanticen calidad y sostenibilidad [3]. Sin embargo, en el contexto peruano, la caracterización de arenas con contenido medio de sílice (60% de SiO₂) aún es limitada, especialmente en regiones como Cajamarca, donde la disponibilidad de agregados adecuados depende del estudio de las propiedades físicas, químicas y mineralógicas locales [4]. A nivel internacional, se ha demostrado que la calidad de los agregados finos está condicionada por la pureza del cuarzo, el tamaño de grano y la presencia de minerales secundarios, factores que influyen en la reactividad álcali-sílice y en la porosidad del concreto [5-7]. Estudios recientes confirman que

el uso de areniscas cuarzosas procesadas mejora el comportamiento mecánico y la sostenibilidad de los concretos convencionales, siempre que se mantenga un control riguroso de la granulometría y el contenido de impurezas [8,9]. A pesar de este potencial, en el caserío de Quelluacocha (Cajamarca) no existen investigaciones que determinen la calidad fisicoquímica y mineralógica de sus areniscas, lo que impide comparar su comportamiento con estándares nacionales como la norma ASTM C136 e internacionales como la ASTM C33. Esta carencia de información técnica dificulta su incorporación en proyectos de infraestructura regional.

TABLA I
REQUERIMIENTOS FÍSICOS Y QUÍMICOS PARA AGREGADOS

Parámetro	Rango recomendado	Norma o fuente
SiO ₂ (%)	> 60,0	Ngugi et al. [10]
Fe ₂ O ₃ (%)	< 1,0	Rashid et al. [11]
Al ₂ O ₃ (%)	< 3,0	Kumar & Suresh [12]
Perdida por ignición	<3,0	Sharma et al. [13]

Desde una perspectiva técnica, las areniscas cuarzosas con proporciones de cuarzo superiores al 70% otorgan dureza y baja alterabilidad frente a agentes atmosféricos [14]. Investigaciones previas han resaltado que una alta pureza en cuarzo (> 85%) y bajos contenidos de óxidos de hierro (Fe₂O₃ <1%) favorecen la adherencia con la pasta de cemento y la estabilidad volumétrica del concreto [12,15]. En este sentido, la caracterización mediante microscopía óptica y análisis de Pérdida por Ignición (LOI) resultan herramientas fundamentales para garantizar la limpieza del material y detectar la presencia de arcillas o carbonatos que podrían comprometer la durabilidad de las estructuras [16,17].

TABLA II
COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE ÓXIDOS Y COMPONENTES VOLÁTILES EN ARENISCAS

Rango de temperatura (°C)	Elemento / óxido analizado	Efecto del proceso de calcinación
105 – 110	Humedad (H ₂ O)	Evaporación del agua libre presente en los poros de la arenisca.
400 – 600	Óxidos de hierro	Deshidratación de limonita y

	(Fe ₂ O ₃)	goethita hacia hematita, produciendo cambios de coloración rojiza.
573	Sílice (SiO ₂)	Inversión térmica del cuarzo α a cuarzo β , generando expansión volumétrica del mineral.
600 – 800	Óxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	Descomposición de feldespatos alterados y liberación de agua estructural.
700 – 900	Óxido de calcio (CaO)	Descarbonatación del CaCO ₃ con liberación de CO ₂ y formación de óxido de calcio.

Antecedentes en contextos similares, como los estudios de De Simone y Frattini en Italia [18] o de Gutiérrez en Piura [19], coinciden en que el control del módulo de finura y la angularidad de las partículas determinada por petrografía son factores decisivos para la trabajabilidad y resistencia del material. En Cajamarca, trabajos previos sobre las formaciones Chimú y Farrat sugieren que estas unidades poseen una composición mineralógica favorable para usos industriales [20]. No obstante, es imperativo validar si el depósito de Quelluacocha cumple con estas características. Por consiguiente, este estudio plantea como hipótesis que las areniscas de Quelluacocha poseen un elevado contenido de sílice, baja presencia de impurezas y una granulometría que se ajusta a las zonas 1 o 2 de la norma técnica peruana, lo que permitiría proyectar un aprovechamiento económico viable como fuente local de agregados finos para la región.

El objetivo de este estudio es evaluar las propiedades físicoquímicas y mineralógicas de las areniscas de cuarzo de Quelluacocha para determinar su idoneidad como agregados finos para la construcción, considerando los requisitos técnicos presentados en la Tabla I.

Se plantea la hipótesis de que estas areniscas presentan un alto contenido de sílice, bajas impurezas y una distribución granulométrica compatible con las normas de construcción, lo que las hace aptas para su uso como agregados finos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Materiales

En cuanto a las herramientas utilizadas en campo, se emplearon fichas de descripción litológica para la sistematización de datos, un escalímetro para la medición de escalas en mapas geológicos y una libreta geológica para el registro de observaciones técnicas. Como equipo geológico de campo se utilizó una brújula Brunton con una precisión aproximada de $\pm 1^\circ$ para la toma de orientaciones estructurales, una picota geológica para la extracción de muestras de roca fresca, y un GPS Garmin con precisión de hasta 3 metros para la georreferenciación exacta de siete puntos de muestreo.

Asimismo, se emplearon lupas de 10x y 20x para el análisis textural preliminar de las areniscas.

Además, se utilizaron bolsas plásticas de alta densidad para recolectar muestras representativas de aproximadamente 1 kg cada una, debidamente rotuladas con marcadores indelebiles a fin de garantizar la trazabilidad y el control de procedencia. Finalmente, se empleó una cámara fotográfica de alta resolución para el registro visual sistemático de los afloramientos, contactos litológicos y características geomorfológicas del área de estudio.

En las actividades de laboratorio se emplearon tamices normalizados ASTM E11 para la clasificación granulométrica mediante el método de tamizado seco, así como una balanza analítica de alta precisión con sensibilidad de 0.0001 g para el pesaje exacto de las fracciones obtenidas. Para la determinación de la pérdida por ignición (LOI) se utilizó una mufla de alta temperatura con capacidad de calentamiento de hasta 1200 °C, mientras que la eliminación de humedad previa a los ensayos se realizó mediante un horno de secado con control digital de temperatura. En la manipulación y preparación de las muestras pulverizadas se utilizaron bandejas metálicas, brochas de cerdas finas, espátulas de acero inoxidable y crisoles o taras de porcelana, garantizando condiciones adecuadas de limpieza y precisión durante los ensayos físicoquímicos.

Para el análisis mineralógico y textural se empleó un microscopio petrográfico de luz transmitida y polarizada, equipado con objetivos de 4x, 10x y 40x, lo que permitió la observación detallada de secciones delgadas de aproximadamente 30 micrómetros de espesor. El procesamiento de la información cartográfica y el análisis geoespacial del caserío de Quelluacocha se realizaron mediante una computadora portátil equipada con los softwares ArcGIS 10.8, Google Earth Pro y la plataforma Geocatmin, los cuales facilitaron la interpretación de las unidades litoestratigráficas, la delimitación del área de estudio y la integración de datos geológicos. Todo el proceso de campo y laboratorio se ejecutó bajo el uso obligatorio de equipos de protección personal, conforme a las normas de seguridad establecidas.

B. Métodos

Este proyecto se llevó a cabo en tres fases:

Pre-campo: En esta etapa se realizó la recopilación y análisis de información cartográfica y geológica del caserío de Quelluacocha. Se procesaron imágenes satelitales Landsat y modelos digitales de elevación (DEM) mediante el software ArcGIS 10.8, permitiendo la elaboración de mapas geológicos y unidades litológicas preliminares. Asimismo, se revisó la cartografía oficial del INGEMMET y estudios previos para contextualizar el área de estudio y definir los puntos

estratégicos de muestreo, tal como se observa en la cartografía base de la zona acorde a lo que se muestra en la figura 1 y 2.



Fig. 1. Mapa geológico de la zona de estudio en Quelluacocha



Fig. 2. Mapa Satelital de la zona de estudio en Quelluacocha con los puntos de muestreo

Campo: Durante esta etapa se verificó la información obtenida en gabinete. Se trabajó con la carta geológica nacional (Cuadrángulo de Cajamarca 15g), lo que permitió identificar afloramientos frescos de areniscas y la topografía del lugar. El tipo de muestreo elegido fue rock chip, donde se recolectaron un total de siete (7) unidades muestrales independientes de arenisca cuarzosa, cada una con un peso mínimo de 1 kg, procurando que representaran las variaciones litológicas observadas en los diferentes afloramientos del área de estudio. La toma de muestras se realizó siguiendo criterios de homogeneidad en textura, color y grado de cementación, con el fin de garantizar la representatividad del material en los análisis posteriores.

Una vez recolectadas, las muestras fueron acondicionadas, debidamente rotuladas y envasadas en bolsas plásticas resistentes, evitando la contaminación cruzada y preservando sus características originales. Posteriormente, se efectuó el traslado hacia los laboratorios especializados para la ejecución de los ensayos correspondientes. De las siete muestras recolectadas, tres (3) fueron seleccionadas para el análisis por calcinación, tres (3) se destinaron a la elaboración de secciones delgadas para su estudio mediante microscopía óptica, y una (1) muestra fue utilizada en la determinación de la granulometría.

Cada muestra fue identificada con un código único que incluía la ubicación geográfica, número de muestra y tipo de

ensayo a realizar, conforme a las normas de trazabilidad establecidas por cada laboratorio. Este procedimiento permitió asegurar la integridad de las muestras y la fiabilidad de los resultados analíticos obtenidos.

TABLA III
REGISTRO DE PUNTOS DE MUESTREO EN QUELLUACOCCHA

Muestra	Código	Norte	Este	Cota (msnm)
01	Q-01	9212450	775820	2850
02	Q-02	9212510	775900	2865
03	Q-03	9212580	775950	2890
04	Q-04	9212620	776010	2910
05	Q-05	9212680	776100	2935

Laboratorio: Los análisis se realizaron en los laboratorios de Geología de la Universidad Privada del Norte y el laboratorio Ingeoconsult & lab SRL en la ciudad de Cajamarca, enfocándose en tres caracterizaciones principales:

- A. **Estudio Petrográfico:** Se seleccionaron 3 muestras de mano con menor grado de alteración. Estas fueron cortadas y pulidas para la elaboración de secciones delgadas de 30 micras de espesor. Las láminas se analizaron con un microscopio petrográfico modelo OPTIKA B-510POL-I, permitiendo determinar la proporción modal de cuarzo y la forma de los granos.
- B. **Análisis Granulométrico:** A partir de las muestras recolectadas, se procedió a obtener una muestra representativa mediante el método de cuarteo manual. Se realizó el tamizado seco siguiendo la norma ASTM C136, utilizando una columna de tamices desde la malla #4 hasta la #200. Se registró el peso retenido para calcular la distribución porcentual, tal como se describe en las fórmulas de la Tabla 4.

TABLA IV
FÓRMULAS PARA CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA

Parámetro	Fórmula de cálculo
% Gravas	100 % - % que pasa la malla N° 4
% Finos	% que pasa la malla N° 200
% Arenas	100 % - (% Gravas + % Finos)

- C. **Análisis por Calcinación:** El presente análisis fue realizado por el laboratorio Ingeoconsult & lab SRL siguiendo la siguiente metodología. Se utilizaron porciones de 500 g de muestra previamente pulverizada, las cuales fueron sometidas a una temperatura de 1000 °C en una mufla durante un periodo de 2 horas. Este procedimiento permitió determinar la pérdida por ignición (LOI), mediante la eliminación de materia orgánica, humedad residual y compuestos volátiles, con la finalidad de estimar la pureza química y el contenido de impurezas del material analizado.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis granulométrico: El material se compone de un 66,40 % de arena, un 14,86 % de grava y un 18,74 % de finos. Esta distribución indica un predominio de fracciones arenosas, lo cual favorece la trabajabilidad y la compactación en mezclas de concreto. Sin embargo, el contenido de finos supera ligeramente los límites de la norma ASTM C33, lo que sugiere la necesidad de procesos de lavado o clasificación para optimizar el rendimiento y reducir la demanda de agua.

TABLA V
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO EN SECO

Tamiz (ASTM)	Abertura (mm)	% Pasa	Material obtenido
3"	76.20	100.00	Grava gruesa
2"	50.80	100.00	
1 ½"	38.10	100.00	
1"	25.40	100.00	
¾"	19.05	99.21	Grava fina
½"	12.70	97.36	
⅜"	9.53	95.61	
Nº 4	4.75	85.14	Arena gruesa
Nº 10	2.00	75.98	
Nº 20	0.85	61.13	Arena media
Nº 40	0.425	56.52	Arena fina
Nº 50	0.300	52.51	
Nº 100	0.150	25.15	
Nº 200	0.075	18.74	Limos
Base	0.00	0.00	

Nota: Se determinó que el material está compuesto por 66.40 % de arena, 14.86 % de grava y 18.74 % de finos. Estos resultados se resumen visualmente en la Fig. 4 que muestra la curva granulométrica obtenida mediante el análisis por tamizado.

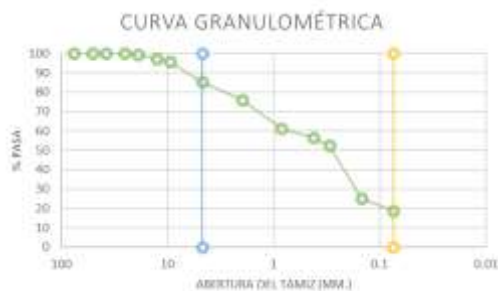


Fig. 3. Se presenta la curva granulométrica donde se evidencia una mayor concentración en la fracción de arena fina a media, comportamiento favorable para su aprovechamiento como agregado, ya que contribuye a la uniformidad en mezclas de construcción.

Microscopía Óptica (Análisis Petrográfico): El análisis petrográfico reveló un predominio de cuarzo (72-76 %) con granos subangulares, lo que mejora el entrelazamiento mecánico dentro de las matrices de cemento. La presencia de feldespatos y hematita en menor cantidad no afecta significativamente la durabilidad, pero contribuye a la estabilidad mineralógica general del material.

MUESTRA QCH-SEC-01.

COORDENADAS UTM WGS 84 NORTE 9205825, ESTE 800728

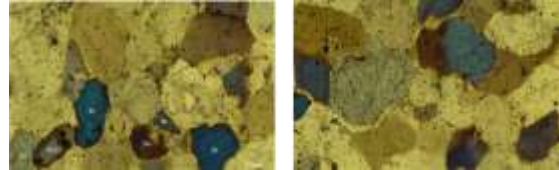


Fig. 4. Vista microscópica de las dos láminas delgadas de arenisca: La muestra principal (lado izquierdo) se contrasta con su réplica (lado derecho). Esta configuración facilita el análisis comparativo de la morfología del grano y la composición mineralógica de la roca.

En la Figura 4 se observa que la mineralogía de la muestra está constituida principalmente por cuarzo (Qz) con un 72 %, seguido de feldespatos (PGLS) en un 13 % y biotita (Bt) en un 12 %, distribuidos en los intersticios. La hematita (Hm), con una proporción cercana al 3 %, se concentra en fracturas y bordes de los granos. El cuarzo se caracteriza por presentar extinción ondulante y bordes irregulares producto de la compactación, mientras que los feldespatos exhiben maclas polisintéticas y evidencian un leve grado de alteración. En cuanto a la morfología, los granos muestran baja a media esfericidad y un pobre grado de redondez, con la presencia de algunos cristales que presentan extinción recta a ligeramente ondulante. Análisis comparativo de la morfología del grano y la composición mineralógica de la roca.

MUESTRA QCH-SEC-02.

COORDENADAS UTM WGS 84 NORTE 9205788, ESTE 800666



Fig. 5. Representación de las dos secciones delgadas examinadas al microscopio petrográfico (original a la izquierda y su duplicado a la derecha). La disposición permite la verificación visual simultánea de la proporción mineral y las características texturales angulosas del cuarzo.

En la Figura 5, el Qz-cuarzo (76%) es predominante, con biotita (~9%) intersticial y Fsp-feldespatos (~11%) con maclas bien definidas. La Hm-hematita (~4%) aparece en granos dispersos e inclusiones en feldespatos. El cuarzo tiene bordes angulosos a irregulares, con extinción en mosaico y ondulante. Los feldespatos presentan alteración incipiente con zonas

turbias. Los granos tienen baja esfericidad y redondez moderada, con algunas fracturas rellenas de hematita.

MUESTRA QCH-SEC-03.
COORDENADAS UTM WGS 84 NORTE 9205854 ESTE 800638

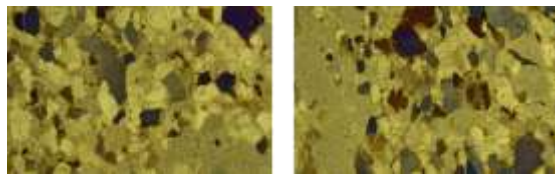


Fig. 6. Se examinaron dos secciones delgadas bajo el microscopio petrográfico, dispuestas para su comparación: la muestra original (izquierda) y su duplicado de referencia (derecha), permitiendo el contraste simultáneo de las características mineralógicas y texturales

En la Figura 6, el Qz-cuarzo (76%) es predominante, con biotita (~9%) intersticial y Fsp-feldespatos (~11%) con maclas bien definidas. La Hm-hematita (~4%) aparece en granos dispersos e inclusiones en feldespatos. El cuarzo tiene bordes angulosos a irregulares, con extinción en mosaico y ondulante. Los feldespatos presentan alteración incipiente con zonas turbias. Los granos tienen baja esfericidad y redondez moderada, con algunas fracturas rellenas de hematita.

Análisis fisicoquímico por Calcinación: El análisis químico confirma un alto contenido de sílice (62,30 - 66,20%) el cual supera el mínimo recomendado en la literatura (60%), lo que indica una buena estabilidad química y resistencia a la intemperie. La presencia de óxidos de aluminio y hierro sugiere la presencia de pequeñas cantidades de arcilla y minerales con contenido de hierro, mientras que los bajos contenidos de CaO y MgO indican una influencia limitada de carbonatos.

TABLA VI
RESULTADOS DEL ANÁLISIS FISICOQUÍMICO POR CALCINACIÓN EN
QUELLUACOCHA – QCH-CAL-01

Determinación fisicoquímica	Resultados %
Óxido de silicio (SiO ₂)	66.20
Óxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	14.30
Óxido férrico (Fe ₂ O ₃)	4.12
Óxido de calcio (CaO)	6.10
Óxido de magnesio (MgO)	0.58
Óxido de sodio (Na ₂ O)	4.12
Óxido de potasio (K ₂ O)	3.12

El análisis químico de la primera muestra evidencia un alto contenido de óxido de silicio (SiO₂ = 66.20 %), confirmando la naturaleza silíceo del material y su potencial como agregado fino resistente y duradero. La proporción de Al₂O₃ (14.30 %) y Fe₂O₃ (4.12 %) sugiere la presencia de

minerales arcillosos y óxidos de hierro, mientras que los óxidos de CaO (6.10 %) y MgO (0.58 %) reflejan carbonatos que contribuyen a la cementación natural.

Finalmente, los óxidos alcalinos (Na₂O y K₂O) indican la presencia de feldespatos, que aportan estabilidad térmica. En conjunto, la composición revela una arenisca cuarzosa con buena pureza silíceo, adecuada para su uso en concretos y morteros.

TABLA VII
RESULTADOS DEL ANÁLISIS FISICOQUÍMICO POR CALCINACIÓN EN
QUELLUACOCHA – QCH-CAL-02

Determinación fisicoquímica	Resultados %
Óxido de silicio (SiO ₂)	62.30
Óxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	13.10
Óxido férrico (Fe ₂ O ₃)	3.97
Óxido de calcio (CaO)	5.02
Óxido de magnesio (MgO)	0.54
Óxido de sodio (Na ₂ O)	3.87
Óxido de potasio (K ₂ O)	2.66

La segunda muestra presenta un predominio de SiO₂ (62.30 %), lo que ratifica la composición cuarzosa del material, aunque con un leve descenso respecto a la muestra anterior. El contenido de Al₂O₃ (13.10 %) y Fe₂O₃ (3.97 %) señala la presencia de minerales secundarios, posiblemente arcillas o feldespatos férricos. Los valores de CaO (5.02 %) y MgO (0.54 %) indican carbonatos en menor proporción, mientras que los óxidos alcalinos (Na₂O y K₂O) se mantienen dentro de rangos típicos para areniscas feldespáticas. En general, la composición es homogénea y consistente, reafirmando su idoneidad como agregado fino natural.

TABLA VIII
RESULTADOS DEL ANÁLISIS FISICOQUÍMICO POR CALCINACIÓN EN
QUELLUACOCHA – QCH-CAL-03

Determinación fisicoquímica	Resultados %
Óxido de silicio (SiO ₂)	65.12
Óxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	15.12
Óxido férrico (Fe ₂ O ₃)	4.07
Óxido de calcio (CaO)	4.96
Óxido de magnesio (MgO)	0.60
Óxido de sodio (Na ₂ O)	3.60
Óxido de potasio (K ₂ O)	2.70

La tercera muestra un contenido elevado de SiO_2 (65.12 %), confirmando la dominancia del cuarzo en la matriz rocosa. Los valores de Al_2O_3 (15.12 %) y Fe_2O_3 (4.07 %) reflejan una mayor participación de fases arcillosas y férricas, lo que sugiere una ligera variación mineralógica local. Los óxidos de CaO (4.96 %) y MgO (0.60 %) indican la persistencia de carbonatos, y los óxidos alcalinos (Na_2O y K_2O) muestran niveles estables. En conjunto, esta muestra conserva una alta pureza silíceas, manteniendo las condiciones químicas óptimas para su aplicación como agregado fino en materiales de construcción.

La caracterización integral de las areniscas de Quelluacocha evidencia que el material presenta propiedades técnicas adecuadas para su uso como agregado fino en la construcción.

La integración de análisis granulométricos, mineralógicos y químicos indica que la composición rica en cuarzo, combinada con la morfología de grano subangular, mejora el entrelazamiento mecánico dentro de las matrices de cemento. Si bien el contenido de finos es relativamente alto, un procesamiento adecuado puede optimizar la distribución del tamaño de partícula, mejorando la adherencia y la durabilidad en aplicaciones de concreto.

Además, el conjunto de datos obtenido en este estudio podría utilizarse para desarrollar modelos predictivos basados en técnicas de aprendizaje automático. Parámetros como la granulometría, la composición mineral y el contenido químico pueden servir como variables de entrada para predecir el comportamiento mecánico de los agregados, contribuyendo a la integración de la inteligencia artificial en la ingeniería de materiales de construcción.

IV. CONCLUSIONES

La caracterización fisicoquímica y mineralógica de las areniscas cuarzosas del caserío de Quelluacocha permitió confirmar que el material presenta un elevado contenido de dióxido de silicio, con valores que oscilan entre 62.30 % y 66.20 %, así como una dominancia mineralógica de cuarzo entre 72 % y 76 %. Estos resultados respaldan que las areniscas evaluadas poseen propiedades adecuadas para ser consideradas como una materia prima potencial en la industria de los agregados finos, dado que combinan estabilidad química, composición homogénea y una textura favorable para su desempeño ingenieril.

En relación con la granulometría, se determinó que las areniscas presentan un predominio claro de la fracción arena, alcanzando 66.40 %. Sin embargo, la presencia de un contenido moderado de finos equivalente al 18.74 % evidencia la necesidad de implementar un proceso de pretratamiento, como lavado y cribado, con el fin de garantizar el

cumplimiento estricto de los límites granulométricos establecidos por la normativa NTP 400.037. Este ajuste es necesario, ya que una fracción fina ligeramente elevada podría incrementar la demanda de agua en mezclas cementicias y afectar la trabajabilidad y compactación del concreto.

Respecto a la composición química, los resultados obtenidos confirman una alta pureza silíceas y una muy baja presencia de óxidos de calcio y magnesio, lo cual favorece la estabilidad del agregado y reduce los riesgos asociados a procesos de reactividad indeseable. Esta condición permite afirmar que el material presenta una baja reactividad química y una alta durabilidad potencial cuando se incorpora en concretos y morteros, cumpliendo así con los criterios de calidad exigidos por la industria de la construcción.

Finalmente, el análisis microscópico reveló una composición claramente dominada por el cuarzo, acompañada de granos con morfología angulosa. Esta característica es especialmente relevante, ya que promueve una mejor traba mecánica entre las partículas y optimiza la adherencia del agregado con la pasta de cemento, contribuyendo de manera significativa al aumento de la resistencia a la compresión del concreto. En conjunto, estos resultados consolidan la viabilidad técnica de las areniscas cuarzosas de Quelluacocha como un recurso local de alto potencial para su uso como agregado fino.

REFERENCIAS

- [1] Hebbache A, Teymen A. Influence of siliceous aggregates on the mechanical properties of high-performance concrete. *J Build Eng.* 2024;82:108-121.
- [2] Teymen A. Evaluation of quartz sandstone as a construction material: A petrophysical and mechanical approach. *Bull Eng Geol Environ.* 2023;82(4):145-156.
- [3] Malathy R, Ramachandran K. Sustainable use of local mineral resources in the construction industry. *J Clean Prod.* 2022;340:130-145.
- [4] Yauli Cuadrado R. Caracterización de agregados silíceos en la región altoandina del Perú. *Rev Investig Geol Min.* 2023;12(1):45-58.
- [5] Lukschová S, Přikryl R, Pertold Z. Alkali-silica reaction: A review of analytical methods for assessing the reactivity of quartz sandstones. *J Anal Methods Chem.* 2009;2009:1-12.
- [6] Kumar S, Suresh N. Mineralogical influence on the alkali-aggregate reaction in quartz-rich sands. *Constr Build Mater.* 2016;125:480-492.
- [7] Shalit M. Advances in petrographic analysis for construction aggregates. *Int J Rock Mech Min Sci.* 2025;158:105-118.
- [8] Chen X, Wang L, Zhang H. Mechanical behavior of concrete made with processed sandstone aggregates. *Mater Struct.* 2024;57(2):34-45.
- [9] ASTM International. ASTM C136/C136M-19: Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. West Conshohocken, PA: ASTM; 2019.
- [10] Ngugi HN, Muthengia JW, Mwit JM. Chemical characterization of siliceous sands for industrial applications. *Heliyon.* 2023;9(5):e1620.
- [11] Rashid K, Hameed R, Ahmad HA. Effect of iron oxide content in sand on the durability of cement mortars. *J Mater Civ Eng.* 2022;34(8):04022.
- [12] Kumar P, Suresh K. Influence of quartz purity on the interfacial transition zone of concrete. *Cem Concr Res.* 2021;144:106-115.
- [13] Sharma R, Khan N. Physical and chemical requirements for natural aggregates in structural concrete. *Case Stud Constr Mater.* 2020;13:e00410.

- [14]Abdullahi M, Al-Mattarneh H. Durability of concrete produced with quartz sandstone aggregates. J Eng Sci Technol. 2022;17(3):1850-1865.
- [15]Rajput A, Singh J. Petrographical and physicochemical evaluation of sandstones for civil engineering works. Geotech Geol Eng. 2020;38:5241-5255.
- [16] De Simone RM, Frattini GA. Characterization of Quartz Sand for High-Flow Concrete Fine Aggregate in Southern Italy. Constr Build Mater. 2019;210:334-345.
- [17]Gutiérrez RM, Cruz VL. Evaluación geotécnica y mineralógica de los depósitos de arena en la provincia de Talara. Bol Soc Geol Perú. 2018;113(2):89-102.
- [18]Gutierrez Chingay R. Viabilidad de Areniscas Trituradas de la Formación Chimú para Agregados Finos, Cajamarca [Tesis]. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca; 2021.
- [19]Díaz FA, Cisneros ME. Influence of Alluvial Quartz Fine Aggregate Angularity on Concrete Properties in Central Argentina. J Softw Eng Appl. 2018;11(5):215-228.
- [20]Prado Cachay JO. Estudio petromineralógico de las areniscas de la Formación Farrat en Baños del Inca y Llacanora [Tesis]. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca; 2018.