

Evaluación de la proporción de materiales granulares de las canteras Rejopampa Alto para mantenimiento vial en Chota

Assessment of the proportion of granular materials from the Rejopampa Alto quarries for road maintenance in Chota

Felix Mar Mejía Regalado , Lito Ronal Mejia Herrera* , Miguel Ángel Silva Tarrillo 

Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH), Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Ciudad Universitaria Colpamatara, 06120, Chota, Cajamarca, Perú.

*Autor de correspondencia: l.ronalmejiah71@gmail.com

Recibido: 09/04/2026 Aceptado: 09/09/2026 Publicado: 13/10/2026

DOI: <https://doi.org/10.37518/2663-6360x2026v9n1p9>

RESUMEN: En Chota, el mantenimiento de vías no pavimentadas suele ejecutarse con materiales de cantera próximos a la obra; sin una verificación conjunta de gradación, limpieza y resistencia, esa práctica puede trasladar deficiencias a la capa granular. El objetivo fue determinar la combinación técnicamente más favorable de tres fuentes de Rejopampa Alto y contrastarla con los criterios del manual de carreteras de Especificaciones Generales de la Construcción (EG-2013). Se recolectaron 150 kg por cantera y se realizaron ensayos de humedad, granulometría, límites de Atterberg, Proctor modificado, CBR, equivalente de arena y abrasión de Los Ángeles. También se formularon tres mezclas binarias mediante una combinación analítica orientada al huso B. Ninguna fuente resultó apta por sí sola. La mezcla C1 (85 % Rejopampa Alto 1 + 15 % Rejopampa Alto 3) mostró el balance más favorable: redujo los finos, alcanzó un CBR de 80,85 % y presentó un desgaste de 28,40 %. Sin embargo, su pasante en el tamiz N.º 40, el índice de plasticidad y el equivalente de arena no cumplieron íntegramente los requisitos de la base granular. Se concluyó que C1 constituye una preselección útil para optimizar recursos locales, no una fórmula lista para la obra. Su empleo requiere el zarandeo o el lavado de la fracción fina y una nueva verificación técnico-normativa.

Palabras clave: abrasión, California Bearing Ratio, equivalente de arena, índice de plasticidad, subbase.

ABSTRACT: In Chota, maintenance of unpaved roads is often carried out using quarry materials located near the project site; without a combined verification of gradation, cleanliness, and strength, this practice may transfer deficiencies to the granular layer. The objective was to determine the most technically favorable blend from three Rejopampa Alto sources and compare it with the criteria of the General Construction Specifications Road Manual (EG-2013). A total of 150 kg was collected from each quarry, and moisture content, particle-size distribution, Atterberg limits, modified Proctor, CBR, sand equivalent, and Los Angeles abrasion tests were performed. Three binary blends were also formulated through an analytical combination aimed at gradation envelope B. None of the individual sources was suitable on its own. Blend C1 (85 % Rejopampa Alto 1 + 15 % Rejopampa Alto 3) showed the most favorable balance: it reduced fines, reached a CBR of 80.85 %, and recorded an abrasion loss of 28.40 %. However, its percentage passing the No. 40 sieve, plasticity index, and sand equivalent did not fully meet the requirements for granular base. It was concluded that C1 represents a useful preliminary selection for optimizing local resources, not a job-ready mix design. Its use requires screening or washing of the fine fraction and a new technical-normative verification.

Keywords: abrasion, California Bearing Ratio, plasticity index, sand equivalent, subbase.

1. INTRODUCCIÓN

Las carreteras que emplean, en sus capas estructurales, materiales granulares con propiedades mecánicas bajas presentan deterioro y requieren intervenciones periódicas de reposición del afirmado (Arrieta et al., 2024; Jimoh & Olawuwo, 2024). Las capas granulares no ligadas cumplen una tarea discreta pero decisiva: distribuyen esfuerzos, facilitan el drenaje y limitan las deformaciones acumuladas cuando la compactación es adecuada.

El desempeño de las capas granulares no depende de una sola propiedad. La humedad, el tránsito y la distribución de tamaños alteran la respuesta mecánica del material; por eso, aceptar una cantera solo por su proximidad a la obra puede trasladar el problema al pavimento (Rondón-Quintana et al., 2025). Ullah et al.

(2022) comprobaron que la gradación y el contenido de humedad modifican la respuesta resiliente de las capas no ligadas. Kodikara et al. (2024) propusieron integrar ensayos, diseño, construcción y evaluación a lo largo del ciclo de vida del pavimento.

La variabilidad suele aparecer incluso entre fuentes cercanas. Cambios modestos en la gradación y en la energía de compactación modifican el CBR (Alzara et al., 2024). Los finos merecen atención especial: en proporciones intermedias pueden mejorar el empaquetamiento, aunque su incremento o plasticidad termina penalizando el soporte y el drenaje (Morales & Zuniga, 2023; Farooq et al., 2022). Bilodeau et al. (2024) identificaron el contenido de finos y la proporción de partículas trituradas como indicadores directos de la sensibilidad mecánica ante variaciones de la humedad. Polo-Mendoza et al. (2024) relacionaron la distribu-

ción granulométrica con el CBR y con los parámetros del Proctor modificado. Kafle et al. (2024) documentaron diferencias apreciables entre materiales granulares recolectados en una misma zona vial.

En ambientes tropicales y andinos, la lectura aislada de un ensayo resulta insuficiente. La meteorización, la litología, la altitud y la pendiente generan depósitos con comportamientos contrastantes (Foko Tamba et al., 2024; Nait-Rabah et al., 2023). La mezcla de materiales complementarios puede ser útil en ese escenario, pero no admite recetas automáticas. Doukani et al. (2024) corrigieron una gradación deficiente mediante la incorporación dosificada de una fracción complementaria y observaron mejoras en el soporte y la permeabilidad. Amlashi et al. (2024) mostraron, con otra familia de mezclas, que un reemplazo parcial puede alterar simultáneamente la compactación, la abrasión y el CBR. La adición controlada de roca triturada a los materiales lateríticos también mejoró su aptitud vial (Ndzié Mvindi et al., 2024). El punto técnico es simple: reducir una limitación sin introducir otra.

En Chota, el deterioro observado en la carretera Chota-Negropampa y en vías próximas ha puesto en discusión la calidad de los materiales empleados en conservación vial (Fernández-Irigoín & Ticlla-Ríos, 2020). Las fuentes Rejopampa Alto 1 y 2 se usan por su cercanía a la PE-3N, pero antecedentes locales identificaron restricciones asociadas a la plasticidad y a la fracción fina (Ticlla-Ríos, 2021). Rejopampa Alto 3 aporta grava triturada con un tamaño menor de 1/2 pulgada. El vacío técnico no radica en localizar canteras: consiste en determinar si alguna combinación supera, de forma verificable, las deficiencias individuales.

El estudio tuvo como objetivo determinar la combinación técnicamente más favorable de los materiales granulares procedentes de Rejopampa Alto 1, 2 y 3 para mantenimiento vial en Chota, mediante contraste con la EG-2013 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2013). Se planteó que una dosificación binaria permitiría aproximar la gradación y el comportamiento mecánico a los requerimientos normativos, sin asumir la conformidad antes de revisar cada indicador.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Lugar de estudio

El trabajo se desarrolló en las canteras Rejopampa Alto 1, 2 y 3, situadas en el centro poblado Rejopampa Alto, distrito y provincia de Chota, Cajamarca, próximas a la carretera PE-3N, tramo Chota-Bambamarca. La Tabla 1 presenta las coordenadas UTM y las altitudes aproximadas de los puntos de muestreo; su distribución espacial se observa en la Figura 1. Las fuentes 1 y 2 correspondieron a materiales usados localmente como afirmado. La tercera aportó grava triturada de menor tamaño que 1/2 pulgada. La zona presenta un clima semifrío y lluvioso; los registros consultados mostraron temperaturas medias mensuales entre 12,72

y 21,08 °C, con mayor precipitación entre noviembre y abril (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI], 2023). Debido a que los puntos de muestreo se ubicaron a ambos lados del umbral de 3000 m s.n.m., el contraste normativo reportó ambos rangos altitudinales previstos por la EG-2013.

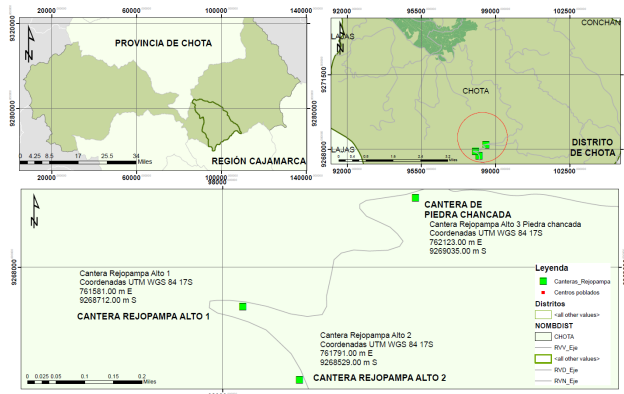


Figura 1. Localización de las canteras Rejopampa Alto 1, 2 y 3 en el distrito de Chota.

2.2. Diseño estadístico

La investigación fue cuantitativa, aplicada y descriptiva, con un diseño no experimental de corte transversal. La población estuvo compuesta por los materiales granulares disponibles en las canteras seleccionadas. El muestreo fue intencional por conveniencia técnica: se eligieron fuentes de uso real, accesibles y vinculadas al mantenimiento local. De cada cantera se recolectaron 150 kg. La unidad de análisis fue el material extraído de fuentes delimitadas.

Se caracterizaron tres fuentes naturales de material granular y, a partir de ellas, se formularon tres combinaciones binarias mediante un método analítico de dosificación granulométrica. No se aplicó el análisis de varianza ya que el estudio no se estructuró como un experimento con tratamientos independientes y repetidos, sino como una evaluación técnico-normativa de materiales para uso vial. En este tipo de análisis, cada fuente y cada mezcla fueron verificadas mediante ensayos normalizados de mecánica de suelos, y la decisión de aptitud no dependió de la comparación estadística de medias, sino del cumplimiento conjunto de los parámetros exigidos por la EG-2013 y las Normas Técnicas Peruanas aplicables.

2.3. Colecta de datos

Primero se realizaron el reconocimiento y el levantamiento topográfico de las canteras con una estación total Leica FlexLine TS07, trípode, prisma reflector, jalones, cinta métrica y un GPS Garmin eTrex. Los puntos de control fueron georreferenciados y posteriormente procesados en AutoCAD Civil 3D para obtener planos, perfiles y delimitaciones.

Cuadro 1. Ubicación de las canteras y altitud aproximada de los puntos de muestreo en Rejopampa Alto, Chota

Cantera Rejopampa Alto	Denominación	Este (m E)	Norte (m S)	Altitud aprox. (m s.n.m.)
1	Ramires Cubas	761759,00	9268701,00	3005,1
2	Ramires Cubas	761791,00	9268529,00	2931,4
3	Curva Grande	762123,00	9269035,00	2841,1

Nota. Coordenadas UTM registradas durante el trabajo de campo.

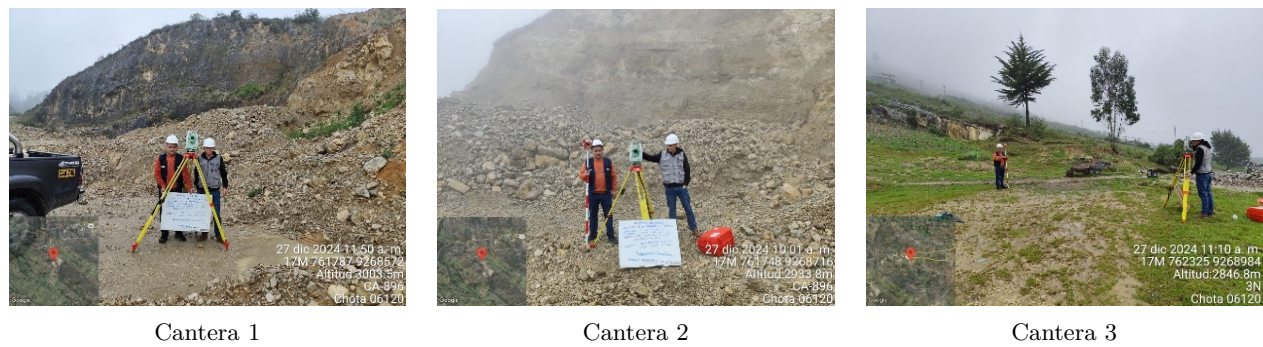


Figura 2. Reconocimiento y levantamiento topográfico de las canteras evaluadas.

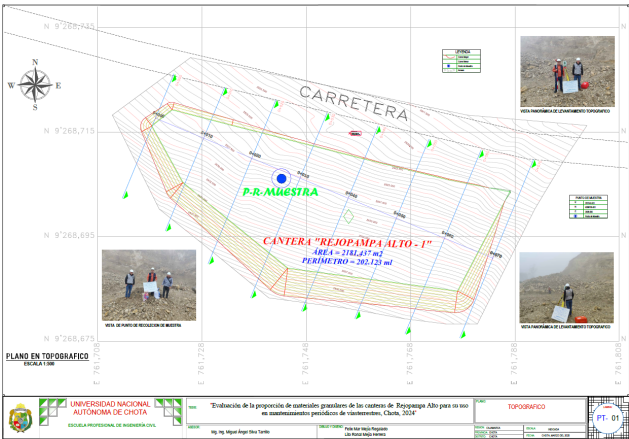


Figura 3. Representación en planta de la cantera Rejopampa Alto 1, con delimitación perimétrica, configuración topográfica y puntos de control registrados en campo

La extracción de muestras se realizó con palas, picos, sacos de polietileno y una balanza portátil (Figura 6). En Rejopampa Alto 1 y 2 se obtuvieron porciones a distintas alturas del talud para evitar una muestra sesgada por segregación superficial; en Rejopampa Alto 3 se adquirió grava triturada menor de 1/2” directamente del acopio de la cantera. Cada saco fue rotulado con cantera, fecha y punto de procedencia, y se mantuvo en condición seca hasta su traslado al laboratorio CIEXLIAN de Chota.

Se determinaron el contenido de humedad (NTP 339.127), la granulometría por tamizado (NTP 339.128), los límites líquido y plástico (NTP 339.129), la compactación Proctor modificada (NTP 339.141), el CBR de laboratorio (NTP 339.145), el equivalente de arena (NTP 339.146) y el desgaste por abrasión de Los Ángeles (NTP 400.019). En Rejopampa Alto 3 no

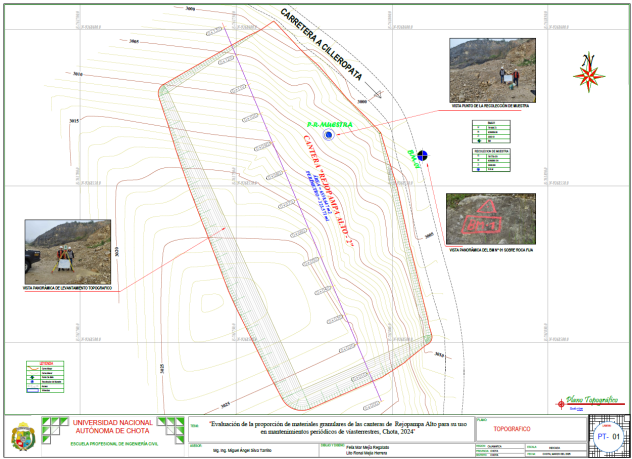


Figura 4. Representación en planta de la cantera Rejopampa Alto 2, con delimitación perimétrica, configuración topográfica y puntos de control registrados en campo

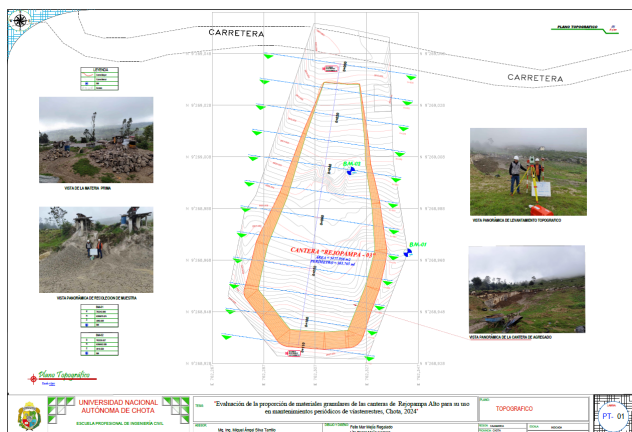


Figura 5. Representación en planta de la cantera Rejopampa Alto 3, con delimitación perimétrica, configuración topográfica y puntos de control registrados en campo

se ejecutaron Proctor ni CBR, porque la fracción fina disponible no permitió conformar una probeta representativa.

Las proporciones se estimaron mediante el método analítico de combinación. En la ecuación 1, el pasante calculado para cada tamiz se obtuvo mediante ponderación de los materiales participantes:

$$P_i = aA_i + bB_i; a + b = 1 \quad (1)$$

Donde P_i representó el porcentaje pasante de la mezcla en el tamiz i ; A_i y B_i fueron los pasantes de cada fuente; a y b correspondieron a las fracciones de participación. Las combinaciones evaluadas se detallan en la Tabla 2.

2.4. Análisis de datos

Los datos se organizaron en Microsoft Excel. Se calcularon porcentajes de material pasante, indicadores físico-mecánicos y curvas granulométricas. El contraste se realizó con las secciones 402 y 403 de la EG-2013 (MTC, 2013), diferenciando entre la subbase y la base granular. Para la base se consideró el huso B, un CBR mínimo de 80 % cuando el tránsito es menor de 10^6 ejes equivalentes, un desgaste Los Ángeles máximo de 40 %, un IP máximo de 4 % por debajo de 3000 m s.n.m. y de 2 % desde 3000 m s.n.m., así como un equivalente de arena mínimo de 35 % y 45 %, respectivamente. No se aplicó inferencia estadística: la decisión se sustentó en el cumplimiento conjunto de los indicadores para fuentes y mezclas específicas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Propiedades del material granular de las tres canteras

Ninguna cantera satisfizo por sí sola el conjunto de requisitos aplicables. Rejopampa Alto 1 mostró CBR de 77,79 %, desgaste de 26,60 % e IP de 7,46 %; además, el pasante por el tamiz N.º 200 fue de 19,90 %.

Rejopampa Alto 2 presentó CBR de 73,88 % e IP de 6,81 %. Rejopampa Alto 3 no fue plástica, aunque su desgaste alcanzó el 69,00 %. La Tabla 3 presenta los resultados y la Figura 7 permite revisar los tamices de control del huso B.

El contraste expuso restricciones diferentes. En R1 predominó el exceso de finos; en R2 apareció un déficit en tamices intermedios; R3 aportó una fracción más abierta, pero con pérdida elevada por abrasión. Esa heterogeneidad es consistente con Kaffle et al. (2024), quienes registraron respuestas distintas entre materiales recolectados dentro de una misma zona. Foko Tamba et al. (2024) llegaron a una lectura compatible al vincular la variabilidad de gravas lateríticas con su contexto geotécnico. El resultado también guarda relación con Alzara et al. (2024) y Polo-Mendoza et al. (2024): el CBR no es independiente de la gradación ni de la compactación. La baja limpieza observada en las tres fuentes resultó relevante. Farooq et al. (2022) demostraron que el incremento de finos puede reducir el soporte y la permeabilidad de materiales empleados en capas viales. Bilodeau et al. (2024) añadieron otro matiz: la fracción fina interviene en la sensibilidad mecánica ante cambios de humedad.

La lectura conserva una implicancia local. Tiella-Ríos (2021) ya había documentado restricciones en fuentes de Chota, mientras Fernández-Irigoín y Tiella-Ríos (2020) registraron problemas de transitabilidad en carreteras del distrito. En ciclos de servicio, la selección no debería cerrarse con un único ensayo. Ullah et al. (2022) observaron variaciones en la respuesta resiliente asociadas con la humedad, la gradación y el nivel de esfuerzos. El resultado respalda la recomendación de integrar la caracterización, el diseño y la verificación a lo largo del ciclo de vida del pavimento (Kodikara et al., 2024; Rondón-Quintana et al., 2025).

3.2. Propiedades físicas y mecánicas de las combinaciones

Las mezclas modificaron el comportamiento de las fuentes, pero ninguna alcanzó la conformidad integral con la base granular. C1 registró el balance más favorable: 8,70 % de finos, CBR de 80,85 % y abrasión de 28,40 %. Aun así, presentó 13,10 % en el tamiz N.º 40, IP de 5,98 % y equivalente de arena de 16,54 %. C2 se aproximó al CBR de base, con 79,76 %, aunque mantuvo restricciones en la gradación, la plasticidad y la limpieza. C3 conservó exceso de finos. La Tabla 4 y la Figura 8 muestran la evaluación conjunta.

La adición moderada de grava triturada explicó la ventaja relativa de C1. Su incorporación redujo los finos de R1 y elevó el CBR, sin trasladar el alto desgaste de R3 con la misma magnitud. Ndzíé Mvindi et al. (2024) observaron un mecanismo comparable al añadir agregado de roca triturada a materiales lateríticos: la mejora se observó cuando la dosificación se mantuvo controlada. Doukani et al. (2024) también corrigieron una gradación deficitaria mediante una fracción com-

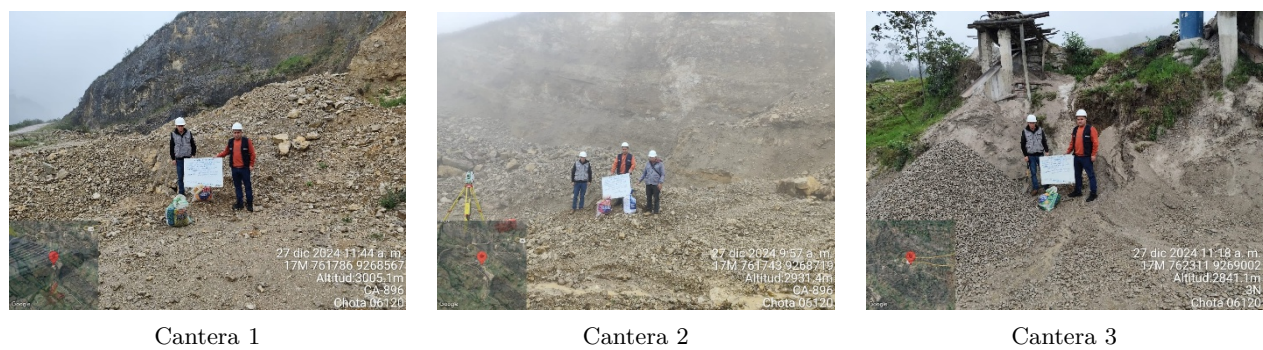


Figura 6. Extracción de muestras de las canteras Rejopampa Alto

Cuadro 2. Proporciones binarias formuladas para la evaluación técnico-normativa

Combinación	Cantera A	Cantera B	Proporción A (%)	Proporción B (%)
C1	Rejopampa Alto 1	Rejopampa Alto 3	85	15
C2	Rejopampa Alto 2	Rejopampa Alto 3	70	30
C3	Rejopampa Alto 1	Rejopampa Alto 2	70	30

Nota. C1 = combinación 1; C2 = combinación 2; C3 = combinación 3.

Cuadro 3. Propiedades físicas y mecánicas de las canteras

Propiedad	Subbase EG-2013	Base EG-2013	R1	R2	R3
Material	—	—	Afirmado	Afirmado	Grava triturada
Humedad natural (%)	—	—	15,25	15,35	15,35
Grava (%)	—	—	64,2	72,7	8,2
Arena (%)	—	—	15,9	15,3	76,8
Finos (%)	—	—	19,9	12,0	14,9
Pasa N.º 4 (%)	—	30-60 (B)	35,8	27,3	91,8
Pasa N.º 10 (%)	—	20-45 (B)	27,4	20,4	62,4
Pasa N.º 40 (%)	—	15-30 (B)	25,5	14,8	23,7
Pasa N.º 200 (%)	—	5-15 (B)	19,9	12,0	14,9
Límite líquido (%)	≤ 25	—	24,23	25,15	0,00
Índice de plasticidad (%)	≤ 6 / ≤ 4	≤ 4 / ≤ 2	7,46	6,81	NP
Equivalente de arena (%)	≥ 25 / ≥ 35	≥ 35 / ≥ 45	14,62	14,09	22,12
MDS (g/cm³)	—	—	2,25	2,21	—
OCH (%)	—	—	4,50	5,30	—
CBR al 100 % MDS (%)	—	≥ 80	77,79	73,88	—
CBR al 95 % MDS (%)	≥ 40	—	54,34	42,45	—
Abrasión Los Ángeles (%)	≤ 50	≤ 40	26,60	26,40	69,00

Nota. R1 = Rejopampa Alto 1; R2 = Rejopampa Alto 2; R3 = Rejopampa Alto 3; NP = no plástico; MDS = máxima densidad seca; OCH = óptimo contenido de humedad. En IP y en equivalente de arena se reportan, en ese orden, los límites aplicables a cotas <3000 y ≥ 3000 m s.n.m. El CBR de base corresponde a un tránsito <10⁶ ejes equivalentes. B = huso granulométrico B.

Cuadro 4. Propiedades de las combinaciones binarias frente a los valores de referencia de la EG-2013

Propiedad	Subbase EG-2013	Base EG-2013	C1	C2	C3
Rejopampa Alto 1 (%)	—	—	85	—	70
Rejopampa Alto 2 (%)	—	—	—	70	30
Rejopampa Alto 3 (%)	—	—	15	30	—
Humedad natural (%)	—	—	15,35	15,25	15,35
Grava (%)	—	—	62,4	48,8	59,3
Arena (%)	—	—	28,9	42,2	20,4
Finos (%)	—	—	8,7	9,0	20,3
Pasa N.º 4 (%)	—	30-60 (B)	37,6	51,2	40,7
Pasa N.º 10 (%)	—	20-45 (B)	24,4	31,9	31,2
Pasa N.º 40 (%)	—	15-30 (B)	13,1	14,1	23,3
Pasa N.º 200 (%)	—	5-15 (B)	8,7	9,0	20,3
Límite líquido (%)	≤ 25	—	24,08	23,93	24,32
Índice de plasticidad (%)	≤ 6 / ≤ 4	≤ 4 / ≤ 2	5,98	6,40	6,51
Equivalente de arena (%)	≥ 25 / ≥ 35	≥ 35 / ≥ 45	16,54	17,23	14,30
MDS (g/cm ³)	—	—	2,26	2,24	2,23
OCH (%)	—	—	4,80	5,10	5,10
CBR al 100 % MDS (%)	—	≥ 80	80,85	79,76	76,79
CBR al 95 % MDS (%)	≥ 40	—	49,70	52,98	50,57
Abrasión Los Ángeles (%)	≤ 50	≤ 40	28,40	30,60	26,80

Nota. C1 = 85 % R1 + 15 % R3; C2 = 70 % R2 + 30 % R3; C3 = 70 % R1 + 30 % R2. En IP y equivalente de arena se consignan los límites para cotas <3000 y ≥ 3000 m s.n.m. Ninguna combinación obtuvo conformidad integral; la clasificación definitiva exige revisar el tramo de aplicación y repetir los ensayos después del acondicionamiento.

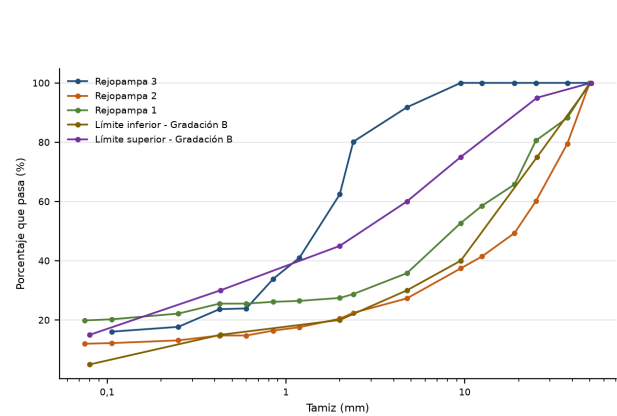


Figura 7. Pasantes de los materiales individuales en los tamices de control del huso B de la EG-2013.

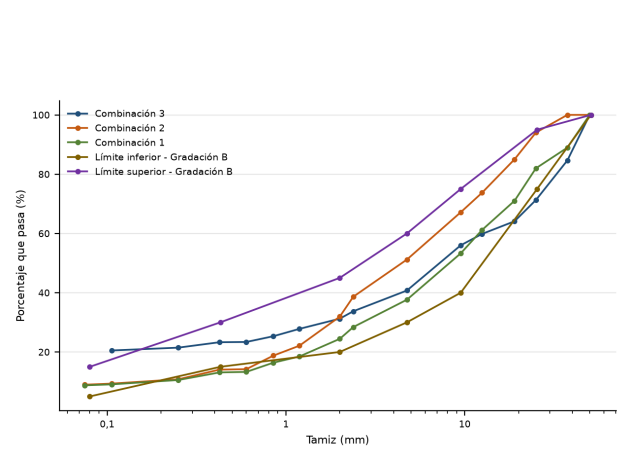


Figura 8. Pasantes de las combinaciones binarias en los tamices de control del huso B de la EG-2013.

plementaria y verificaron cambios favorables en la capacidad de soporte y la permeabilidad. La evidencia no sugiere que ningún reemplazo produzca el mismo efecto. Salcedo Fontalvo et al. (2023) y Amlashi et al. (2024) mostraron que la respuesta final depende tanto de la proporción como de la calidad del agregado incorporado. El resultado, sin embargo, no autoriza a clasificar C1 como base lista para su colocación. La fracción que pasó el tamiz N.º 40 quedó por debajo del huso B; el IP superó el máximo de base y el equivalente de arena permaneció lejos del mínimo. La decisión técnica prudente es acondicionar y volver a ensayar.

El comportamiento de C2 y C3 refuerza esa lectura. C2 presentó una densidad seca elevada y un CBR cercano al umbral de base, pero su limpieza fue insuficiente. C3 unió dos materiales con fracción fina problemática y no corrigió la limitación principal. Morales y Zuniga (2023) señalaron que una fracción fina intermedia puede favorecer el empaquetamiento; cuando aumenta o presenta plasticidad, el beneficio se pierde. En materiales tropicales, Nait-Rabah et al. (2023) recomendaron interpretar conjuntamente la gradación, la plasticidad y la mineralogía. La experiencia de Albuquerque Filho et al. (2024) en una vía no pavimentada mostró que la estabilización granulométrica debe valorarse junto con la respuesta mecánica y las condiciones de aplicación. La mezcla más prometedora no fue la que maximizó un indicador aislado, sino la que dejó menos restricciones por resolver.

3.3. Comparación del material granular natural y las combinaciones

De la Figura 9 a la Figura 13 se sintetizan los parámetros que definieron la selección técnica. El CBR de la combinación 1 superó el mínimo de base; el IP quedó dentro del límite; y el desgaste por abrasión fue

ampliamente inferior al máximo permitido. Su punto débil fue el equivalente de arena, porque no alcanzó el mínimo normativo de limpieza. Esta condición no invalida el aporte de la mezcla, pero impide presentarla como material completamente conforme sin una etapa complementaria de control o de lavado de finos

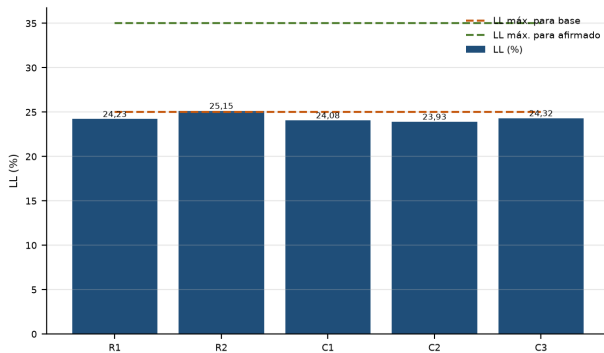


Figura 9. Comparación del límite líquido de los materiales granulares extraídos de las canteras Rejopampa Alto y de las combinaciones evaluadas con el valor máximo permitido.

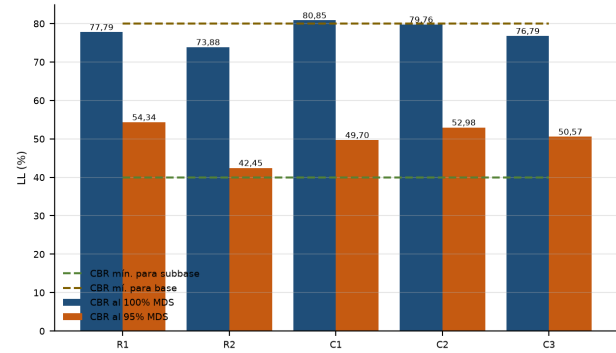


Figura 12. Comparación de la capacidad de soporte CBR de los materiales granulares de Rejopampa Alto y de las combinaciones obtenidas en el laboratorio.

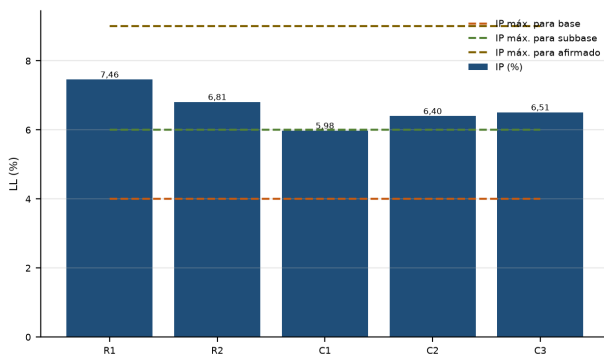


Figura 10. Variación del índice de plasticidad en los materiales granulares de Rejopampa Alto y en las mezclas formuladas para su posible uso vial.

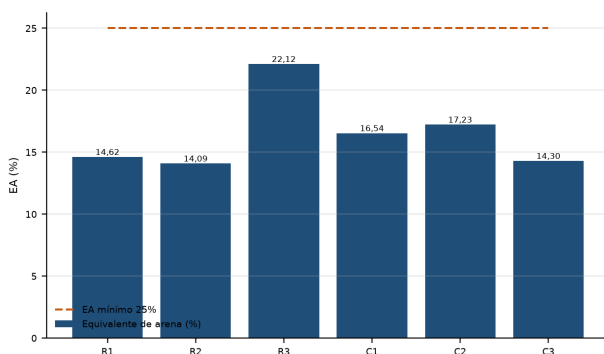


Figura 11. Evaluación del equivalente de arena de los materiales granulares procedentes de las canteras Rejopampa Alto y de las proporciones analizadas.

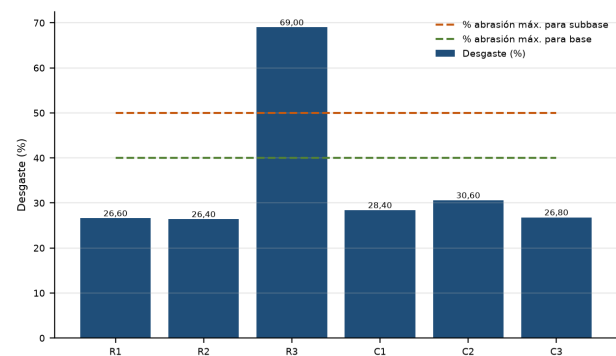


Figura 13. Porcentaje de desgaste por abrasión en Los Ángeles de los materiales granulares provenientes de las canteras Rejopampa Alto y de las mezclas estudiadas.

La comparación de resultados demuestra que, aunque las canteras de Rejopampa Alto, de forma individual, no cumplen con la EG-2013, sus combinaciones en proporciones específicas logran mejorar significativamente las propiedades físico-mecánicas. La combinación 1 fue la más eficiente, cumpliendo con la granulometría, el índice de plasticidad (5,98 %), el CBR (80,85 %) y la abrasión (28,4 %), lo que confirma lo señalado por Kaffle et al. (2024) sobre la superioridad estructural de las mezclas frente a los materiales individuales. En las propiedades físicas, se redujo el exceso de finos y se mejoró la gradación, en concordancia con Yao et al. (2024); sin embargo, el equivalente de arena (14,09 %–22,12 %) permaneció por debajo del umbral. Respecto a las propiedades mecánicas, las combinaciones 2 (79,76 %) y 3 (76,79 %) resultaron aptas para sub-base, con un desgaste inferior al 50 % y un MDS entre 2,23 y 2,26 g/cm³, lo cual concuerda con Gautam & Karki (2023).

4. CONCLUSIONES

La evaluación técnico-normativa indica que las canteras de Rejopampa Alto son complementarias, pero ninguna es apta por sí sola como base granular. La mezcla C1 es la opción más viable para el mantenimiento vial en Chota, aunque requiere acondicionamiento y verificación previa. Este resultado orienta el uso eficiente de los recursos locales.

Agradecimientos

Se agradece a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Autónoma de Chota.

Financiamiento

Los autores no recibieron financiamiento o patrocinio para ejecutar el trabajo de investigación.

Conflicto de intereses

No existe ningún tipo de interés con los contenidos del artículo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque Filho, L. H., Casagrande, M. D. T., Almeida, M. S. S., Costa, W. G. S., & Santana, P. R. L. (2024). Mechanical performance and life cycle assessment of soil stabilization solutions for unpaved roads from Northeast Brazil. *Sustainability*, 16(22), 9850. <https://doi.org/10.3390/su16229850>
- Alzara, M., Onyelowe, K. C., Ebid, A. M., Hanandeh, S., Yosri, A. M., & Alshammari, T. O. (2024). Modeling of the effect of gradation and compaction characteristics on the California bearing ratio of granular materials for subbase and landfill liner construction. *Scientific Reports*, 14. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-74106-z>
- Amlashi, S. M. H., Vaillancourt, M., Carter, A., Bilodeau, J.-P., Najafi, E. K., & Rahbar-Rastegar, R. (2024). Mechanical properties of unbound limestone aggregates replaced by recycled glass aggregate for pavement in Canada/Quebec. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 51(5), 519-528. <https://doi.org/10.1139/cjce-2023-0158>
- Arrieta, J. D., Nuñez de la Rosa, Y. E., & Massao Futai, M. (2024). Geomechanical Characterization of a Brazilian Experimental Site: Testing, Interpretation, and Material Properties. *Applied Sciences*, 14(13), 1-22. <https://doi.org/10.3390/app14135656>
- Bilodeau, J.-P., Pérez-González, E. L., & Saeidi, A. (2024). Modelling of the variation of granular base materials resilient modulus with material characteristics and humidity conditions. *Journal of Road Engineering*, 4(1), 27-35. <https://doi.org/10.1016/j.jreng.2024.01.001>
- Doukani, A., Bekki, H., & Hariche, L. (2024). Grain size correction of pavement unbound granular material using recycled glass aggregate. *KSCCE Journal of Civil Engineering*, 28, 609-616. <https://doi.org/10.1007/s12205-023-2255-6>
- Farooq, K., Mujtaba, H., Munir, S., Ashiq, S. Z., Kazmi, S. M. S., & Munir, M. J. (2022). Evaluation of the impact of fines on the performance of sub-base materials. *Applied Sciences*, 12(9), 4513. <https://doi.org/10.3390/app12094513>
- Fernández-Irigoín, R., & Ticlla-Ríos, T. N. del R. (2020). Análisis de la condición de transitabilidad y nivel de intervención de las carreteras del distrito de Chota: Analysis of the passability condition and level of intervention of the roads of the Chota district. *Revista Ciencia Nor@ndina*, 3(1), 24-29. <https://doi.org/10.37518/2663-6360X2020v3n1p24>
- Foko Tamba, C., Kengni, L., Tematio, P., Wolf, I. D., & Tontsa, L. (2024). Geotechnical mapping of lateritic gravels for efficient road construction in Cameroon's intertropical zone. *Discover Civil Engineering*, 1, 146. <https://doi.org/10.1007/s44290-024-00140-5>
- Gautam, G., & Karki, R. (2023). Strength evaluation in sub-base material due to variation of fine particles in soil. *Journal of Innovations in Engineering Education*, 6(1), 105-109. <https://doi.org/10.3126/jiee.v6i1.47803>
- Jimoh, J. B., & Olawuwo, A. A. (2024). The impact of the road transportation on the socio-economic development in Oyo Town. *Journal of Biodiversity and Environmental Research*, 4(4), 1-10. <https://ssaapublications.com/sjber/article/view/241>
- Kafle, B., Baghbani, A., Pempeit, R., & Shrestha, K. (2024). Investigating the mechanical behaviour of unbound granular material (UGM) for road pavement construction applications: A Western Victoria case study. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 10, 29. <https://doi.org/10.1007/s40891-024-00543-5>
- Kodikara, J., Sountharajah, A., & Chen, L. (2024). Reimagining unbound road pavement technology: Integrating testing, design, construction and

- performance in the post-digital era. *Transportation Geotechnics*, 47, 101274.
<https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2024.101274>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para construcción (EG-2013)*.
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-13%20Especificaciones%20Técnicas%20Generales%20para%20Construcci%C3%B3n%20-%20EG-2013%20-%2028Versi%C3%B3n%20Revisada%20-%20JULIO%202013%29.pdf
- Morales, S., & Zuniga, I. E. (2023). Impact of fines on various base material properties. *Transportation Research Record*, 2677(11), 367-374.
<https://doi.org/10.1177/03611981231166389>
- Nait-Rabah, O., Germain, F., Estevez, Y., Guiraud, J., Medjigbodo, G., Dias, D., & Maalouf, C. (2023). Characterisation of geotechnical properties of residual tropical soils used for road infrastructure: French Guiana experience. *Applied Sciences*, 13(13), 7943.
<https://doi.org/10.3390/app13137943>
- Ndzié Mvindi, A. T., Lobe Bille, J. F., Ngo'o Ze, A., Embom, C. E., Tsoyi À Koung, E., Ngono Mbenti Emvana, M. S., & Onana, V. L. (2024). Assessment of crushed rock aggregates addition to granular lateritic materials in sub-Saharan extensive urbanization context (Yaoundé, Cameroon) for road construction purposes. *Discover Civil Engineering*, 1, 3.
<https://doi.org/10.1007/s44290-024-00004-y>
- Polo-Mendoza, R., Duque, J., & Mašín, D. (2024). Prediction of California bearing ratio and modified proctor parameters using deep neural networks and multiple linear regression: A case study of granular soils. *Case Studies in Construction Materials*, 20, e02800.
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02800>
- Rondón-Quintana, H. A., Reyes-Lizcano, F. A., & Bastidas-Martínez, J. G. (2025). Resilient behavior of unbound granular material: A review. *Journal of Road Engineering*, 5(3), 394-413.
<https://doi.org/10.1016/j.jreng.2025.01.004>
- Salcedo Fontalvo, J. E., Vega Araujo, D. L., Ariza Polo, L., Padilla Quiroz, J., & Castro Cabeza, A. (2023). Influence of recycled concrete aggregates on the California Bearing Ratio (CBR) of granular sub-bases. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 48, 14095-14104.
<https://doi.org/10.1007/s13369-023-07955-x>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2023). *Datos hidrometeorológicos a nivel nacional*.
<https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>
- Ticlla-Ríos, T. N. del R. (2021). *Evaluación de las características geotécnicas del suelo de las principales canteras para afirmado de carreteras del distrito de Chota* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional Autónoma de Chota. <http://repositorio.unach.edu.pe/handle/UNACH/162>
- Ullah, S., Jamal, A., Almoshaogeh, M., Alharbi, F., & Hussain, J. (2022). Investigation of resilience characteristics of unbound granular materials for sustainable pavements. *Sustainability*, 14(11), 6874.
<https://doi.org/10.3390/su14116874>
- Yao, L., Leng, Z., Ni, F., Lu, G., & Jiang, J. (2024). Adaptive maintenance strategies to mitigate climate change impacts on asphalt pavements. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 126, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.104026>