

Evaluación geotécnica de la cantera Llicllao en la construcción de una carretera en Pasco

Geotechnical evaluation of the Llicllao quarry in the construction of a highway in Pasco

RECIBIDO: 30 DE DICIEMBRE DE 2023 | REVISADO: 09 DE AGOSTO DE 2023 | ACEPTADO: 18 DE OCTUBRE DE 2023

VICTOR ANDRE ARIZA FLORES¹
DARWIN CORNELIO TOLENTINO^{2*}

ABSTRACT

The research addresses the deficit of quarry material from Cerro in the construction of the Oyón – Ambo road, Pasco region. Centered on the Llicllao quarry, its physical and mechanical properties were studied, determining its technical feasibility after the COVID-19 immobilization. The extraction and screening process, viable year-round, enhances accessibility and minimizes project delays. The quarry's assessment at various depths reveals a specific material distribution. 91.20% of the aggregates are suitable for fillings and embankments, ranging from 3" to < N° 200, ensuring their proper application in constructions. However, a notable 5% of stones larger than 6" are considered waste, reflecting an overall quarry efficiency of 89.64%.

Keywords: geotechnics, quarries, road infrastructure, highways

RESUMEN

La investigación aborda el déficit de material de cantera de cerro en la construcción de la carretera Oyón – Ambo, región Pasco. Focalizada en la cantera Llicllao, se estudiaron sus propiedades físicas y mecánicas, determinando su viabilidad técnica post-inmovilización por COVID-19. El proceso de extracción y zarandeo, factible durante todo el año, optimiza la accesibilidad y reduce demoras en proyectos. La evaluación de la cantera a diferentes profundidades revela una distribución específica de materiales. El 91.20% de los agregados es idóneo para rellenos y terraplenes, con tamaños desde 3" a < N° 200, garantizando su aplicación adecuada en obras. No obstante, se resalta un 5% de piedras mayores a 6" consideradas desecho, reflejando una eficiencia general de 89.64% en la cantera.

Palabras clave: geotecnia, canteras, infraestructura vial, carreteras

¹Filiación Institucional: Universidad Nacional Federico Villarreal, Ingeniero Civil, Maestro en Gestión de la Construcción, Doctorando en Ingeniería Civil.

ORCID ID : <https://orcid.org/0000-0002-2825-602X>

Correspondencia: 2022031851@unfv.edu.pe

²Filiación Institucional: Universidad Ricardo Palma, Ingeniero Civil con Maestría en Ingeniería Vial con mención en Carreteras, Puentes y Túneles.

ORCID ID : <https://orcid.org/0000-0002-9571-7826>

Correo: darwin_ct1@hotmail.com

DOI: <https://doi.org/10.24039/rcv20231111519>



Introducción

Perú, en las últimas décadas, ha experimentado un crecimiento macroeconómico destacado, convirtiéndose en un referente dentro de América Latina. Este auge, impulsado por políticas de desarrollo y una gestión económica estratégica, ha permitido la puesta en marcha de numerosos proyectos de inversión pública, enfocados en fortalecer la infraestructura y mejorar las conexiones territoriales del país. Sin embargo, como en toda economía emergente, el camino hacia la consolidación de estos proyectos ha enfrentado desafíos que subrayan la importancia de una asignación y gestión eficiente de los recursos públicos.

Un claro ejemplo de esta situación se refleja en el informe de la Contraloría General de la República (2022), donde se señala que diversas obras públicas se paralizaron por razones como la falta de recursos financieros en 611 obras (27.2%), incumplimientos contractuales en 314 (12.2%), eventos climáticos en 245 obras (14.9%), y discrepancias o arbitrajes en 117 (4.3%). Estos desafíos no solo aluden a la administración financiera o legal, sino que también ponen de manifiesto la relevancia de una planificación técnica y logística adecuada.

Un ejemplo concreto de estos retos técnicos es la construcción de la carretera Oyón Ambo. El expediente técnico original para esta obra identificaba a la cantera Huachus y la cantera Shingas como las principales fuentes de material, con potencias útiles estimadas de 188,391.81 m³ y 349,733.48 m³ respectivamente. Sin embargo, tras realizar evaluaciones geotécnicas detalladas en campo, se descubrió que la cantera Huachus solo ofrecía un volumen útil de 50,348 m³ y que la cantera Shingas no era viable debido a un índice de plasticidad que excedía el límite permitido del 10%, según las Especificaciones Técnicas Generales para obras de carreteras EG-2000.

Esta situación generó la urgente necesidad de buscar alternativas que permitieran asegurar el suministro de material necesario para garantizar la continuidad de la obra. Dentro de las posibles soluciones, surgió la cantera Lliclao como una opción prometedora. En consecuencia, esta investigación busca profundizar en la evaluación geotécnica de la cantera Lliclao, explorando su viabilidad y potencial para suplir las demandas de la construcción de la carretera Oyón Ambo, en especial en lo que respecta a terraplenes y rellenos estructurales.

A modo de referencia, cabe destacar la existencia del índice de competitividad regional, que es elaborado anualmente por el Instituto Peruano de Economía, el cual tiene como objetivo evaluar el progreso en el desarrollo económico y social de las diversas regiones del Perú. Para su elaboración, se toma como base los pilares al reporte de competitividad global del Foro Económico Mundial.

Tomando en cuenta lo expuesto, en el contexto peruano no se ha identificado una fuente predeterminada que cumpla con el diseño de indicadores y permita generar un perfil de las regiones a partir de los mismos, con el objetivo de comprender los avances en el desarrollo económico y social de dichas regiones.

El objetivo de esta investigación consiste en identificar los patrones de clasificación del desempeño del sector público en las regiones del Perú para el periodo 2007 – 2019 mediante la agrupación de series temporales.

Método

Área de estudio

El departamento de Pasco está ubicado en la zona centro del Perú y está conformado por tres provincias: Oxapampa, Pasco y Daniel A. Carrión, contando esta última con 43,850 habitantes los cuales representan el 17.2% de la población del departamento (INEI, 2017). La cantera Lliclao se encuentra ubicada en la jurisdicción de la comunidad de Huachus, en la provincia de Daniel A. Carrión y situada en el km 194+770, lado izquierdo de la carretera Oyón Ambo.

La base cartográfica del presente estudio está determinada por los siguientes parámetros: Sistema de referencia: World Geodesic System 1984 (WGS 84), Sistema de Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM) y zona de trabajo: 18 SUR.

Tabla 1
Ubicación geográfica de la cantera Lliclao

Cantera	Progresiva (Km)	Centroide		Altitud
		Norte	Este	
Lliclao	194+770	8°833,474.508	325,340.724	4,051

para la prevención del COVID-19, en los contratos de ejecución de obras viales y servicios de la red vial” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2020).

En base a la documentación, previamente citada, el equipo de investigación tuvo que preparar el Plan de Vigilancia, Prevención y Control de COVID-19 y registrar en el sistema SISCOVID del Minsa. Dicho plan contemplaba que, para la movilización del personal a la obra, este debía contar con pruebas moleculares con una duración no mayor a tres días antes de iniciado el viaje al lugar de trabajo. Asimismo, se contempló el periodo de aislamiento (cuarentena) de 14 días previo al inicio de trabajos de campo, ya que esto era una exigencia planteada en las normativas sanitarias a la fecha del suceso y un requisito de las autoridades locales para el ingreso de personal foráneo al distrito de Yanahuanca, provincia de Daniel A. Carrión en Pasco.

Todo trabajo de campo y gabinete consignó el uso permanente de mascarillas, lavado constante de manos, continua desinfección de equipos y herramientas, así como el constante monitoreo de la temperatura y distanciamiento social del personal a cargo de la investigación. Durante el trabajo desarrollado ninguno de los participantes mostró señales de haber contraído el COVID-19.

Aspectos normativos

Los trabajos efectuados en la presente investigación estuvieron orientados, tanto en campo, laboratorio y

gabinete, a desarrollar las actividades que permitiesen evaluar y establecer las características físico-mecánicas de los materiales aprovechables de la cantera Llicllo para su utilización en las actividades de terraplenes y rellenos estructurales. Para el desarrollo de los trabajos de evaluación geotécnica, se tomaron en cuenta los Términos de Referencia del Estudio de factibilidad y definitivo del proyecto mejoramiento de la carretera Oyón – Ambo y las recomendaciones realizadas por Provias Nacional.

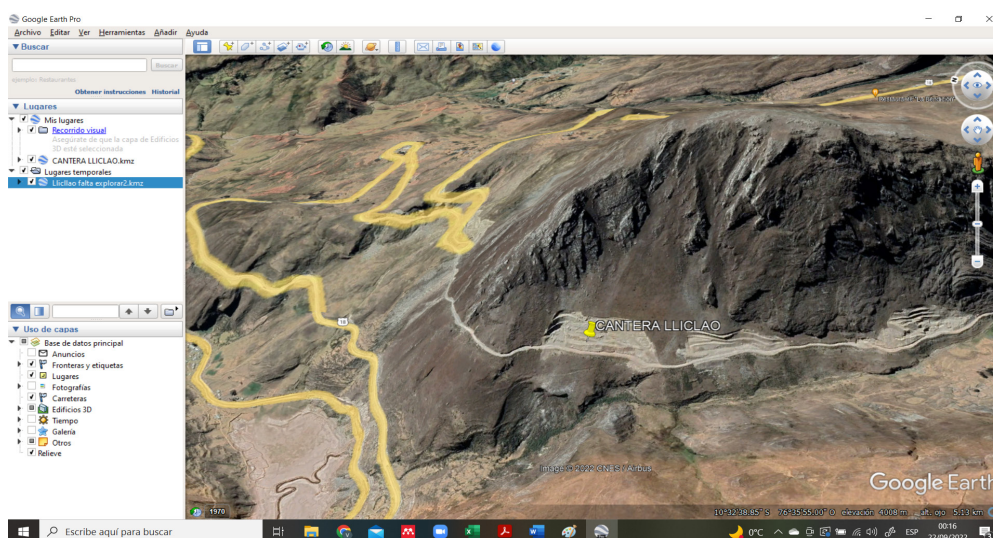
La normativa para la evaluación de los requerimientos técnica ha sido el manual de Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras – EG 2000 por ser el documento normativo a la fecha de elaboración del Expediente Técnico de la carretera Oyón Ambo.

Revisión de la información

Esta etapa consiste en la revisión de estudios geológicos, mapas geológicos, vistas satelitales y de Google Earth para realizar la visita de reconocimiento y elaborar la hipótesis del suelo o probable perfil (Villanueva, L., & Alvarado, M., 2019).

En nuestra investigación, se realizó la revisión de vistas satelitales mediante Google Earth para delimitar, preliminarmente, la posible área de intervención dado que la cantera Llicllo se encuentra delimitada por material rocoso, el cual yo no es aprovechable para los usos requeridos (terraplenes y rellenos estructurales).

Figura 2
Delimitación de la cantera Llicllo mediante Google Earth



En la visita de reconocimiento, los servicios de topografía se ejecutaron siguiendo la metodología específica adecuada para el tipo de levantamiento, obedeciendo las normas y las precisiones requeridas para este tipo de proyecto. Inicialmente, se identificaron hitos monumentados existentes, los cuales fueron colocados durante los procesos de replanteo de obra, estos hitos sirvieron para la verificación posterior del proceso de explotación de la cantera Llicllao.

Posteriormente, se verificó la georreferenciación de los hitos existente para luego proceder con el levantamiento topográfico de la zona en estudio.

Esta primera etapa concluyó con la elaboración de la hipótesis del suelo, que de acuerdo a la inspección visual de los taludes de los terrenos se plantea que la cantera presentaría material adecuado para su uso en terraplenes y rellenos estructurales, que corresponden a las partidas de obra donde se requiere el material de cantera.

Programa de investigación geotécnica

Esta etapa consiste en: i) determinar el número y ubicación de los sondeos en función del tipo de ensayos de campo y de laboratorio que son requeridos para dar cumplimiento a los requisitos para terraplenes y rellenos estructurales. En nuestra investigación, se determinó realizar cinco calicatas por hectárea, donde estas se realizaron por medio de perforaciones, sondeos, calicatas y/o trincheras; a profundidades no menores de la profundidad máxima de explotación.

Las prospecciones han sido ubicadas de tal forma que cubran toda el área de explotación recomendada. En nuestra investigación, se tomaron un total de 20 calicatas dado que se tenía un área total cuatro hectáreas y se ha planificado la ejecución de cinco calicatas por hectárea. Asimismo, los ensayos de laboratorio que determinan las características físicas – mecánicas de los materiales de cantera, se realizaron de acuerdo con el Manual de Ensayos de Materiales para Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016) y de acuerdo con el uso propuesto indicado por el expediente técnico de la carretera tal como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2
Requerimientos técnicos según la Especificación Técnica para carreteras

Ensayo	Especificación Técnica EG- 2000 (> 3000 msnm) EM -2016	Aplicación
Índice Plástico N° 40 (%)	< NP	Rellenos Estructurales Terraplenes (Base y Cuerpo) Terraplenes (Corona)
	< 11	
	< 10	
Clasificación AASHTO	A-1-a, A-1-b,	Rellenos Estructurales
	A-2-4, A-2-6 y A-3	
CBR al 100% MDS a 0.1" (%) – Agregado natural	≥ 30	Terraplenes
Abrasión	≤ 50	Rellenos estructurales
	≤ 60	Terraplenes
Humedad Natural	-	Rellenos estructurales y terraplenes

Posterior a ello, se determina: ii) los métodos de tomas de muestras y traslado de muestras hasta la ubicación del laboratorio de campo. Para esto, requerimos planificar la cantidad de personal de campo y laboratorio y trazar un cronograma de actividades y de costo. El consultor presenta: un registro de excavación para cada una de las prospecciones que realice, forma,

tamaño, humedad, color, espesor del estrato, etc., así como las correspondientes vistas fotográficas de cada calicata y de la cantera analizada (diferentes perspectivas).

Investigación de campo

Investigaciones similares (Castillo, 2023) proponen que esta actividad debe realizarse en las siguientes etapas: i) ejecutar las exploraciones y ensayos insitu, ii) elaborar el perfil estratigráfico, iii) tomar muestras representativas alteradas.

Investigación de laboratorio

Fernández (2022) coincide en que la investigación de laboratorio debe formularse en las siguientes etapas: i) desarrollar los ensayos de límites de consistencia y retracción, ii) análisis granulométricos, iii) contenido de materia orgánica, iv) contenido de humedad, v) CBR de laboratorio y/o módulo resiliente.

Procesamiento de la información final

Una vez obtenidos los datos de estación total, estos son procesados, verificados y exportados al Excel donde son ploteados en el programa de dibujo AutoCAD Civil 3D 2018 tal como se muestra en la Figura 4.

Resultados

Diagnóstico de la información topográfica

El levantamiento topográfico de la cantera en estudio fue enlazado a la poligonal principal de apoyo de la Obra: “Mejoramiento de la Carretera Oyón – Ambo, Tramo II: Dv. Cerro de Pasco (Km. 181+000) – Dv. Chacayán (Km. 230+000) cuyo proyecto en sí esta enlazado a la Red Geodésica Satelital (REGEN) y a la Red de Nivelación nacional, utilizando como base la información topográfica del proyecto vial, tal como se muestra en la Tabla 3 y Tabla 4.

Tabla 3
Características geodésicas aplicadas al proyecto

Características	Datos
Latitud	10° 39' 54.934960" S
Longitud	76° 46' 30.323540" W
Altura Elipsoidal	3,678.4715 m.
Coordenadas UTM	N 8'820,475.78663007 E 305,837.72550940
Zona UTM	18 SUR
Orden	a
Fecha	Febrero de 2010

Tabla 4
Coordenadas geográficas y coordenadas UTM para la poligonal principal de apoyo

Denominación	Coordenadas Geográficas		Coordenadas UTM			
	Latitud	Longitud	Norte	Este	Altura Elipsoidal	Elevación
GPS2	10°30'10.112	76°34'45.9167	8'838,559.	327,154.6	3,493.4365	3,465.57
	91"S	5"W	965	754		0
GPS MASTER	10°25'40.345	76°28'31.2181	8'846,903.	338,508.7	2,928.8497	2,900.35
	46"S	6"W	281	584		6

Tal como muestra la Figura 3, la construcción de la poligonal principal de apoyo para realizar el levantamiento topográfico de la cantera Lliclao fue realizado con fecha 06 de marzo del 2020, antes del

inicio de la medida de inmovilización social obligatoria decretada por el Gobierno Nacional.

Figura 3
 Construcción de la poligonal principal de apoyo



La cantera Llicllao, tal como se muestra en la Tabla 5, está ubicada en las coordenadas UTM Norte 8'833,314.668 y Este 325,392.204 a una altitud promedio de 4,051 msnm. El ingreso a la cantera se da en el Km 194+770 lado izquierdo de la carretera Oyón - Chacayán.

Cuenta con acceso a partir del empalme con la carretera Oyón Ambo en el Km 194+770 lado izquierdo, ingresando por una trocha carrozable a unos 925.02 m de longitud, estando la carretera accesible y falto de mantenimiento.

Tabla 5
 Área, perímetro y coordenadas de la cantera Llicllao

COORDENADAS - CANTERA LLICLLAO					
VERTICE	ESTE	NORTE	VÉRTICE	ESTE	NORTE
P1	325165.204	8834020.606	P24	325589.628	8832908.988
P2	325072.05	8833967.53	P25	325603.061	8832967.653
P3	325072.58	8833928.409	P26	325610.791	8833071.035
P4	325083.502	8833903.159	P27	325593.687	8833174.198
P5	325106.52	8833866.673	P28	325550.131	8833246.287
P6	325122.757	8833818.051	P29	325399.342	8833370.042
P7	325145.677	8833774.476	P30	325334.606	8833392.257
P8	325155.422	8833716.535	P31	325295.86	8833459.143
P9	325165.15	8833701.502	P32	325250.993	8833473.092
P10	325183.744	8833619.807	P33	325222.435	8833498.868
P11	325196.225	8833526.169	P34	325220.668	8833516.139
P12	325196.962	8833503.736	P35	325215.705	8833538.198
P13	325201.12	8833469.251	P36	325203.288	8833543.542
P14	325229.976	8833413.909	P37	325200.173	8833562.43
P15	325255.114	8833384.506	P38	325210.286	8833590.312
P16	325280.201	8833335.958	P39	325195.882	8833626.167

P17	325319.382	8833282.185	P40	325197.216	8833671.558
P18	325364.124	8833254.553	P41	325189.376	8833692.789
P19	325392.169	8833205.686	P42	325196.488	8833769.328
P20	325410.721	8833145.515	P43	325183.105	8833801.404
P21	325465.046	8833016.485	P44	325163.637	8833869.519
P22	325496.3	8832902.286	P45	325166.219	8833974.644
P23	325500.347	8832865.858			
Área (m2): 109,481.62 m ²					
Área (ha): 10.948 ha					
Perímetro: 2,739.44 ml					

Tal como muestra la Figura 4, el levantamiento topográfico de la cantera Llicllao fue realizado con fecha 08 de julio de 2020, una vez reiniciadas las actividades

de construcción posterior a la inmovilización social obligatoria decretada por el Gobierno Nacional.

Figura 4
Levantamiento topográfico de la cantera Llicllao



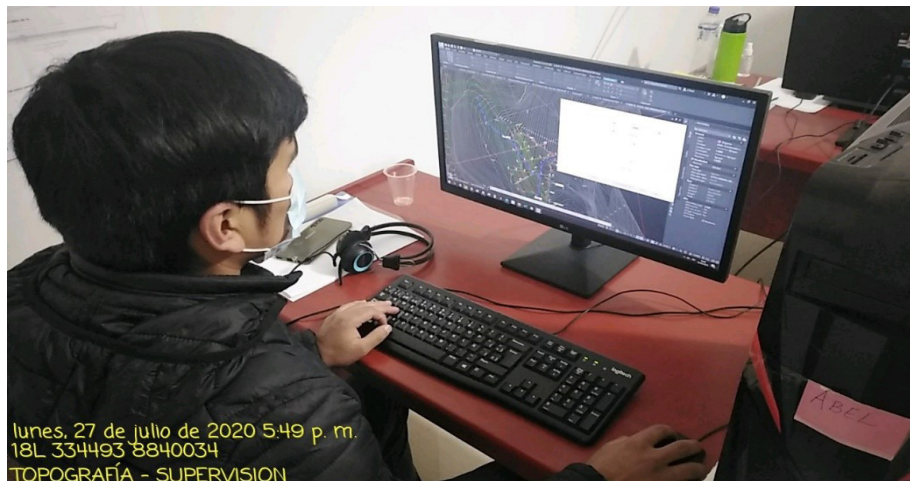
Para esta cantera se obtuvo un volumen bruto de 932,035.68 m³ de material; sin embargo, el volumen neto de material aprovechable en la cantera de cerro Llicllao es por un volumen equivalente a 150, 886. 728

m³. Finalmente, a dicho volumen, tuvo que descontarse el espesor de la capa orgánica superficial sobre la cual se obtiene un volumen útil de 143,342.39 m³, tal como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6
Potencia bruta, neta y útil estimada para la cantera Llicllao

Descripción	Volumen (m3)
Potencia bruta (m3)	932,035.68
Potencia neta (m3)	150,886.78
Potencia útil (m3)	143,342.39

Figura 5
Levantamiento topográfico de la cantera Llicllao



Resultados de la información geotécnica

La cantera Llicllao está conformada por depósitos coluviales acumulados a la altura del Km. 194+770. Esta cantera ha sido explotada anteriormente como material de afirmado y mantenimiento del actual acceso, aun así, disponiéndose a la fecha de volumen explotable.

Los resultados de laboratorio han permitido determinar que el material típico está conformado por gravas limosas – arcillosas, teniendo una plasticidad media con características de suelo arcilloso. Consecuentemente el material se clasifica de acuerdo al sistema SUCS como GM –GC, en el sistema AASHTO como A-1-a (o), A-1-b (o) y A-2-4(o).

Tabla 7
Verificación de características generales

Ensayo	Especificación Técnica EG- 2000 (> 3000 msnm)	Aplicación	Resultados	Aceptación(Sí/No)
Índice Plástico N° 40 (%)	< NP	Rellenos Estructurales T (Base y Cuerpo) T (Corona)	7.70%	Sí
	< 11			
	< 10			
Clasificación AASHTO	A-1-a, A-1-b, A-2-4,	RE	A-1-a (o), A-1-b (o) A-2-4(o).	Sí
	A-2-6 y A-3			
CBR al 100% MDS a o.1” (%) – Agregado natural	≥ 30	T	56.20%	Sí
Abrasión	≤ 50	RE	25.20%	Sí
	≤ 60	T		Sí
Humedad Natural	-	RE, T	6.30%	Baja Humedad

Identificación de los criterios

El uso propuesto es para rellenos y terraplenes. Para su uso se requiere el tratamiento de extracción directa y zarandeo. La explotación se puede realizar con cargador frontal y/o tractor en cualquier época del año y su procedimiento de explotación se puede ejecutarse utilizando zarandas estáticas para su selección.

Esta cantera fue evaluada con la excavación de 20 calicatas entre 1.50 metros – 3.50 metros de profundidad. Se realizó la evaluación por calicata considerando la muestra integral de materiales de la cantera para su empleo en obra, las mismas que fueron distribuidos en bolonería, grava y arena disponibles tal como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 8

Verificación de especificaciones técnicas para uso en partida de rellenos

Partida	Ensayo Descripción	Especificación Técnica	Resultados	Aceptación(Sí/No)
605.A Relleno para estructuras	Tamaño máximo	75 mm	75	Sí
	% que pasa la malla N° 200	< 25% en peso	17	Sí
	Límite líquido	30%	23.5	Sí

Tabla 9

Verificación de especificaciones técnicas para uso en partida de conformación de terraplenes

Partida	Ensayo Descripción	Especificación Técnica	Resultados	Aceptación(Sí/No)
210.A Conformación de terraplenes	Tamaño máximo	Base (150 mm)	75	Sí
		Cuerpo (100)	75	Sí
		Corona (75 mm)	75	Sí
	Desgaste de los ángulos	60% Max	25.2	Sí
	Tipo de material	A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-6 y A-3	A-1-a/A-1-b/A-2-4	Sí
	% máximo de piedras > 3"	Base (30%)	-	Sí
		Cuerpo (20%)	-	Sí
	Índice de plasticidad	Base (<11%)	7.7	Sí
		Cuerpo (<11%)	7.7	Sí
		Corona (<10%)	7.7	Sí

Tabla 10

Verificación de especificaciones técnicas para uso en partida de mejoramiento de subrasante

Partida	Ensayo Descripción	Especificación Técnica	Resultados	Aceptación(Sí/No)
220.B Mejoramiento de subrasante con material de cantera	Tamaño máximo	Base (150 mm)	75	Sí
		Cuerpo (100)	75	Sí
		Corona (75 mm)	75	Sí
	% máximo de piedras > 3"	Base (30%)	-	Sí
		Cuerpo (20%)	-	Sí
	Índice de plasticidad	Base (<11%)	7.7	Sí
		Cuerpo (<11%)	7.7	Sí
		Corona (<10%)	7.7	Sí
	Desgaste de los ángulos	60% Max	25.2	Sí
	Tipo de material	A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-6 y A-3	A-1-a/A-1-b/A-2-4	Sí

Tabla 11
Distribución porcentual de los agregados

Agregado	Tamaño	Distribución porcentual
Diámetro máximo 304.8 mm	12"	0.00%
Bolonería para desecho > 6"	> 6"	5.00%
Bolonería para relleno	6" - 3"	3.80%
Grava	3" - N° 4	
Arena	N°4 - N°200	91.20%
Finos	< N°200	
Total		100.00%

En la Tabla 11 se observa que se contaría con aproximadamente 5.00 % de piedras mayores a 6"; por otro lado, existe bolonería para rellenos, así como mejoramientos en zonas fangosas de 6" a 3" con un porcentaje de 3.80 %. Mientras que la diferencia del 91.20%, pueden ser utilizados como materiales de relleno

y terraplén, por cuanto el agregado está comprendido de 3" a < N° 200, el mismo que debe ser utilizado luego del trabajo de zarandero.

Tabla 12
Distribución de los materiales de la cantera con tamaños menores a 3"

Tipo de agregado	Tamaño	Distribución porcentual
Grava	3" - N° 4	57.60%
Arena	N°4 - N°200	25.40%
Finos	< N°200	17.00%
Total		100.00%

Tabla 13
Resumen de eficiencia y disponibilidad de la cantera Llicllao

Ítems	Volumen Bruto (m3)	(m3) / (%)	Consideraciones
1	Volumen bruto (m3)	932,035.68	a) Levantamiento topográfico
2	Material inadecuado (orgánico) y/o cobertura (m3)	49,914.49	b) Cálculo topográfico
3	Volumen Neto (m3)	150,886.73	c) = Cálculo topográfico
4	Volumen Over > 6" (m3)	7,544.34	d) = c) x % Over > 6"
5	Volumen Desechable (m3)	57,458.82	e) = b) + d)
6	Volumen útil	143,342.39	f) = c) - d)
7	Eficiencia de la cantera (%)	89.64	EC = 100% - %Over>6" - %Mat. Cobertura

La disponibilidad del material se calculó relacionado el volumen total neto con su respectiva eficiencia, obteniendo lo siguiente:

Tabla 14
Distribución de materiales de la cantera Llicllao

Material		(%)	Disponibilidad	
Diámetro máximo 304.8 mm	12"	0	0	m3
Bolonería para desecho > 6"	> 6"	5.00%	7,544.34	m3
Bolonería para relleno	6" - 3"	3.80%	5,733.70	m3
Grava	3" - N° 4			m3
Arena	N°4 - N°200	91.20%	137,608.70	m3
Finos	< N°200			m3
Volumen Neto			150,886.73	m3

De acuerdo a la Tabla 14, se tiene disponible un volumen útil de 143,342.39 m³ el cual proviene de la sumatoria de los volúmenes de bolonería para relleno, gravas, arenas y finos aptos para ser utilizados en las partidas de conformación de terraplenes y rellenos estructurales. Asimismo, se identifica que existe un volumen de 7,544.34 m³ de bolonería para desecho con partículas mayores a 6" que, por el tamaño del agregado, no podrían ser utilizados.

Según la evaluación comparada con las especificaciones técnicas la cantera Llicllao, tiene un rendimiento de 89.64%, según lo indicado en la Tabla 16. Esta cantera puede ser utilizada para las siguientes partidas: Partida 605. A - Relleno para estructuras,

Partida 210 A. - Conformación de terraplenes, Partida 220 B - Mejoramiento de subrasante con material de cantera. Por otro lado, durante la ejecución de obras se deberá verificar los estratos inferiores con la finalidad de evaluar la calidad del material, en cumplimiento de las especificaciones técnicas para los usos determinados tal como se hizo en las Tablas 7 al 10 del presente artículo.

Tabla 16
Usos y rendimientos de la cantera

Utilización	Procesamiento	Rendimiento
Rellenos y terraplenes	Extracción directa y zarandeo	89.64%

Discusión

El análisis del volumen disponible en la cantera Llicllao revela varias características significativas en cuanto a la explotación y aprovechamiento de los recursos. De un volumen bruto inicial de 932,035.68 m³, solo se consideró un volumen neto de 150,886.728 m³ como material aprovechable. Esta cifra se redujo posteriormente a 143,342.39 m³ al descontar el volumen correspondiente al espesor de la capa orgánica superficial.

La naturaleza geotécnica del material encontrado en la cantera, específicamente, los depósitos coluviales en el Km. 194+770, nos indica que el material típico está conformado por gravas limosas – arcillosas con una plasticidad media y características de suelo arcilloso. Estas propiedades, junto con las clasificaciones según los sistemas SUCS y AASHTO, destacan su aptitud para su uso en rellenos y terraplenes. Este potencial de uso queda aún más evidente al considerar los resultados de las pruebas de laboratorio y la verificación de las especificaciones técnicas.

El proceso de extracción y zarandeo propuesto para la explotación del material es directo y puede realizarse en cualquier época del año, lo cual favorece su accesibilidad y disminuye posibles demoras en proyectos que requieran su uso. A esto se suma el hecho de que, de los resultados de la excavación de calicatas, se sabe que la cantera fue evaluada a diferentes profundidades, arrojando distribuciones específicas de los materiales que componen la cantera.

La distribución porcentual de los agregados revela que una parte sustancial, el 91.20%, es aprovechable como material de relleno y terraplén, puesto que está comprendida en tamaños de 3" a < N° 200. Esta categorización es esencial para garantizar la correcta aplicación de los materiales en las obras civiles. Sin embargo, se debe prestar atención al 5% del material, que consiste en piedras mayores a 6", ya que se considera desecho. Este volumen inutilizable se refleja en la eficiencia general de la cantera, que es del 89.64%.

En cuanto a la aplicación práctica de los materiales, las tablas comparativas de especificaciones técnicas con

los resultados revelan que la cantera Llicllao es adecuada para diversas partidas como relleno para estructuras, conformación de terraplenes y mejoramiento de subrasante con material de cantera. A pesar de su alta eficiencia y rendimiento, es crucial que durante la ejecución de las obras se realice una revisión constante de los estratos inferiores para garantizar que el material cumpla con las especificaciones técnicas requeridas.

En efecto, la cantera Llicllao presenta un gran potencial para ser utilizada en diversas aplicaciones de construcción, aunque es imprescindible la constante supervisión y control de calidad para garantizar la óptima utilización de sus recursos.

Conclusiones

El estudio detallado de la cantera Llicllao ha demostrado la significativa potencialidad que tiene esta fuente de material para proyectos constructivos, evidenciando sus características geotécnicas favorables y su adaptabilidad a distintas aplicaciones. A pesar de que se cuenta con un volumen bruto significativo, es esencial reconocer que solo una fracción de este es técnicamente aprovechable para obras civiles. La composición del material, que en su mayoría es idóneo para relleno y terraplenes, y su clasificación conforme a estándares reconocidos, subraya la pertinencia de su uso en distintos proyectos.

Adicionalmente, el proceso de extracción propuesto para la Cantera Llicllao resalta por su eficiencia y adaptabilidad a distintas estaciones del año, optimizando así el suministro constante de material y evitando demoras en proyectos. Sin embargo, es igualmente importante destacar la necesidad de un riguroso control y supervisión durante la explotación y aplicación de estos materiales. La existencia de un porcentaje de material que se clasifica como desecho advierte sobre la relevancia de este seguimiento para maximizar la eficiencia de uso del recurso.

Finalmente, la cantera Llicllao no solo representa una fuente crucial de materiales para la industria de la construcción, sino también un ejemplo de cómo un análisis exhaustivo puede conducir a la optimización de recursos naturales. Para garantizar que su potencial sea plenamente realizado, es imperativo mantener una vigilancia constante en su explotación y aplicación, asegurando de esta manera que se cumplan los estándares de calidad y se satisfagan las demandas técnicas de las obras.

Fuente de financiamiento: Autofinanciado

Conflicto de interés: Los autores del artículo declaran que no existe ningún potencial conflicto de interés relacionado con el mismo.

Agradecimientos: A la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. A Provias Nacional del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. A la empresa SERCONSULT S.A, por permitir la realización de la investigación y su posterior publicación.

Referencias

- Castillo, F. (2023). Evaluación geotécnica para el mejoramiento de la sub base en la carretera Macusani – Abra Susuya Región Puno [Tesis para optar el Título de Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/19474>
- Contraloría General de la República (2022, 22 de agosto). Contraloría: Existen 2346 obras públicas paralizadas por más de S/ 29 mil millones [Comunicado de prensa]. <https://www.gob.pe/institucion/contraloria/noticias/643238-contraloria-existen-2346-obras-publicas-paralizadas-por-mas-de-s-29-mil-millones>
- Fernández, A. (2022). Evaluación geotécnica de las canteras Chuaña y Vidalani como material de sub base en la carretera Santa Rosa de Huallata distrito de Ilave - Puno [Tesis para optar el Título de Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/19333>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017). Perfil Sociodemográfico de la región Pasco. <https://bit.ly/3c6FUTp>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020). Protocolos Sanitario Sectorial del Sector Transportes. <https://bit.ly/3RBoBqV>
- Ministerio de Salud (2020). Lineamientos para a vigilancia de la salud de los trabajadores con riesgo de exposición a COVID-19. <https://bit.ly/3K4aDxy>

Resolución 1146 de 2000 [Ministerio de Transportes y Comunicaciones]. Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras. 27 de diciembre de 2000. <https://bit.ly/3bZpqNk>

Resolución 018 de 2016 [Ministerio de Transportes y Comunicaciones]. Aprueban actualización del Manual de Ensayo de Materiales. <https://bit.ly/3eM4kD2>

Villanueva, L., & Alvarado, M. (2019). Evaluación geomecánica y geotécnica para el diseño de estabilidad de taludes de la cantera Agocucho, Cajamarca 2018 [Tesis para optar el Título de Ingeniero de Minas, Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/14988>