



XVIII Congreso Peruano de Geología

COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y GEOTÉCNICAS DE DEPÓSITOS MORRÉNICOS DEL PERÚ, PARA EXPLORACIÓN DE MATERIAL DE BAJA PERMEABILIDAD

Ciro Antonio Arévalo Ortíz¹, Juan Carlos Vásquez Peña²

¹ Golder Associates Perú S.A, Av. La Paz 1049 Piso 7 Miraflores, Lima, Perú (carevalo@golder.com.pe)

² Golder Associates Perú S.A, Av. La Paz 1049 Piso 7 Miraflores, Lima, Perú (jvasquez@golder.com.pe)

1. Introducción

Este documento hace una evaluación de depósitos morrénicos ubicados en diferentes lugares de la cadena occidental de los Andes del Perú, con la finalidad de identificar material morrénico de baja permeabilidad para su uso como cantera. La evaluación, realizada en base a investigaciones geotécnicas in situ y resultados de ensayos de laboratorio, es comparada con las características litológicas y genéticas de los depósitos, con la finalidad de establecer patrones geotécnicos para los depósitos de un determinado origen litológico, así como para explicar diferencias existentes entre los materiales morrénicos evaluados.

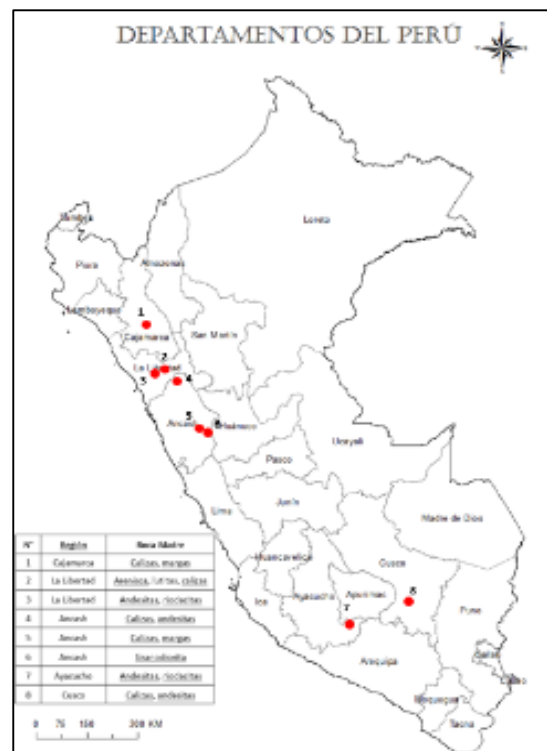
Los depósitos morrénicos son una mezcla de materiales de granulometría variada, formados por la acción erosiva y depositadora de los glaciares, que en su descenso desde las cumbres de los Andes, van arrancando, transportando y depositando el material rocoso grueso y fino hasta el límite de expansión del glaciar (zona donde la fusión del hielo supera a la acumulación). Se encuentran ampliamente distribuidos por encima de los 3500msnm, principalmente en la Cadena Occidental de los Andes, y en menor medida en la Cadena Oriental.

En base a investigaciones geotécnicas realizadas en depósitos morrénicos de distintas regiones, este trabajo relaciona las características geotécnicas de los depósitos (granulometría, límites de consistencia, permeabilidad, etc), con su origen litológico y se tratará de establecer patrones para futuras exploraciones de material de cantera de baja permeabilidad. El gráfico 01 muestra la ubicación de los depósitos evaluados.

2. Características de los Depósitos Morrénicos Investigados

Se seleccionaron depósitos morrénicos ubicados en 5 regiones, con altitudes entre 3750 a 4 650 msnm, en ambas márgenes de la cadena occidental de la Cordillera de los Andes (Ver Referencias). El gráfico 01 muestra la ubicación de los depósitos evaluados en distintas regiones del Norte y Sur del Perú.

Gráfico 1: Ubicación espacial de las morrenas investigadas



La roca madre de los depósitos morrénicos investigados son: areniscas cuarzosas, lutitas, pizarras, calizas, margas, intrusivos de tipo granodiorítico a diorítico, lavas andesíticas, subvolcánicos y tobas de tipo andesítico a dacítico y riolítico.

La Tabla 1 muestra la ubicación y las características genéticas de los depósitos investigados

Tabla 1: Características litológicas y genéticas de las morrenas evaluadas

N°	Región	Roca madre	Formación	Características
1	Cajamarca	Caliza, marga	Gpo. Pulluicana	Morrena lateral entre los 3750-3850msnm, material predominante arena arcillosa con grava, pocos bloques
2	La Libertad 1	Pizarra, lutita, arenisca cuarzoza, lava andesítica	Fms. Chicama, Chimú, Santa, Gpo. Calipuy	Morrena lateral y de fondo, entre los 3950-4050msnm, material predominante arena arcillosa con grava, pocos bloques
3	La Libertad 2	Lavas andesíticas, tobas dacíticas a riódacíticas	Gpo. Calipuy	Morrena terminal y de fondo, entre los 4000-4200msnm, material predominante grava arcillosa, poca arena
4	Ancash 1	Arenisca cuarzoza, caliza, andesita	Fms. Farrat, Jumasha. Intrusivos neógenos	Morrena lateral, entre los 4100-4200msnm, material predominante arena limosa con grava, pocos finos
5	Ancash 2	Caliza, marga	Fms. Jumasha, Celendín	Morrena lateral, entre los 4250-4450msnm, material predominante grava arcillosa con arena
6	Ancash 3	Granodiorita	Batolito de la Cordillera Blanca	Morrena lateral, altura 4200-4450msnm, predomina arena limosa con grava, bloques abundantes
7	Ayacucho	Domos riódacíticos, tobas andesíticas	Fm. Sencca, Gpo. Barroso	Morrena lateral y de fondo, altura 4550-4650msnm, material predominante grava arcillosa con arena
8	Cusco	Caliza, stock andesítico	Fm. Arcunquina, Batolito Andahuaylas - Yauri	Morrena central y de fondo, entre 4130-4280msnm, predomina material de grava arcillosa con arena

En las morrenas seleccionadas se realizaron investigaciones geotécnicas con calicatas y perforaciones diamantinas con recuperación de testigos para ensayos de laboratorio. En las investigaciones se realizaron ensayos de permeabilidad y extracción de muestras para ensayos de laboratorio. La Tabla 2 muestra un resumen de las investigaciones realizadas en cada morrena.

Tabla 2: Investigaciones geotécnicas realizadas en las morrenas seleccionadas

N°	Región	Calicatas	Perforaciones Diamantinas
1	Cajamarca	30	7
2	La Libertad 1	18	0
3	La Libertad 2	32	0
4	Ancash 1	25	1
5	Ancash 2	16	0
6	Ancash 3	11	0
7	Ayacucho	12	1
8	Cusco	48	6

En las muestras extraídas de cada depósito morrénico se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio:

- Clasificación granulométrica por tamizado (ASTM D422)
- Límites de consistencia (ASTM D4318)
- Contenido de humedad (ASTM D2216)
- Ensayos de permeabilidad con permeámetro de pared flexible (ASTM D5084)

- Gravedad específica de sólidos (ASTM D854)

3. Resultados de investigaciones en laboratorio

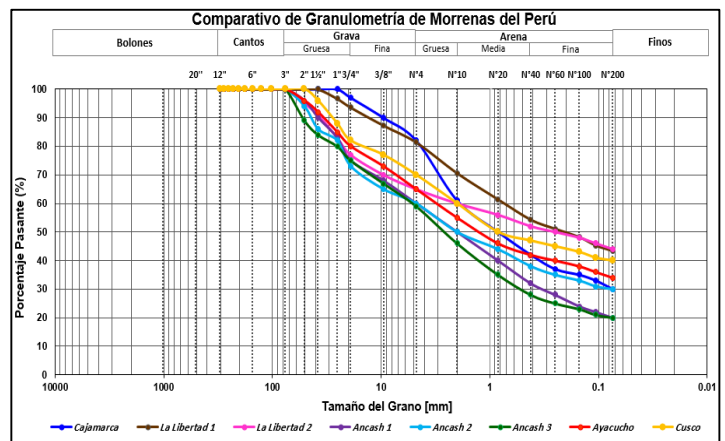
3.1. Comparativo de Huso Granulométrico y Límites de Plasticidad

3.1.1. Huso Granulométrico

El promedio de la distribución granulométrica para los depósitos estudiados presenta curvas con una variabilidad moderada. El contenido de finos para la

mayoría de los depósitos está entre 30 - 45%. Las muestras provenientes del grupo Pulluicana y la mezcla Chicama - Chimú - Santa - Calipuy presentan menor contenido de gravas pero contenidos similares de finos con respecto a los otros depósitos. Las muestras de la mezcla de Farrat - Jumasha - Andesitas, así como la muestra del batolito de la Cordillera Blanca presentan bajo contenido de finos (20%) y gran contenido de arena y grava. Las muestras del Grupo Calipuy, el batolito Andahuaylas - Yauri, la mezcla de Jumasha - Celendín y la mezcla Sencca - Barroso muestran una distribución uniforme de la granulometría. El gráfico 02 muestra el promedio de granulometrías de los depósitos evaluados

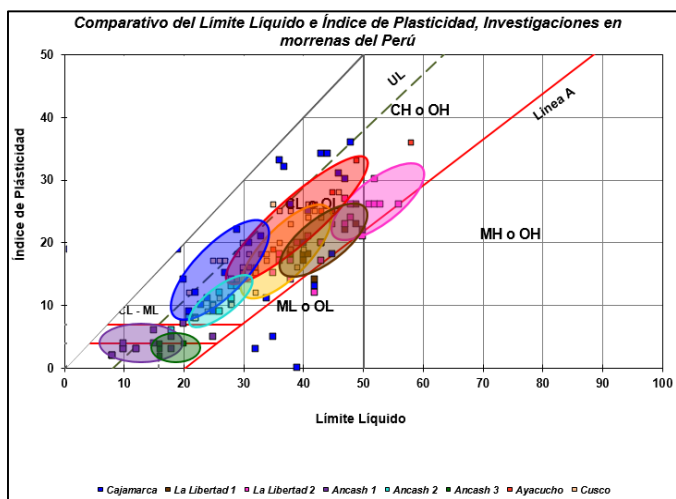
Gráfico 2: Comparativo de granulometría de las morrenas investigadas



3.1.2. Límites de Plasticidad

La comparación entre el Límite Líquido (LL) y el Índice de Plasticidad (IP) presenta la formación de cuatro bloques bien definidos: La mezcla Farrat – Jumasha – Andesita y la morrena del batolito de la Cordillera Blanca presenta plasticidad baja a nula. Las morrenas del Pulluicana y Jumasha – Celendín presentan plasticidad baja a media y relacionada a arcillas, aunque los resultados del Pulluicana son dispersos. Las mezclas Chicama – Chimú – Santa – Calipuy y Arcunquina – Batolito Andahuaylas Yauri presentan plasticidad media a alta con porcentajes casi similares de limo y arcilla. Finalmente, las morrenas del grupo Calipuy y la mezcla Sencca – Barroso presentan plasticidad media a alta, con predominio de arcillas en la mezcla Sencca – Barroso y de limos en el Calipuy. El gráfico 03 muestra los valores obtenidos en los depósitos evaluados.

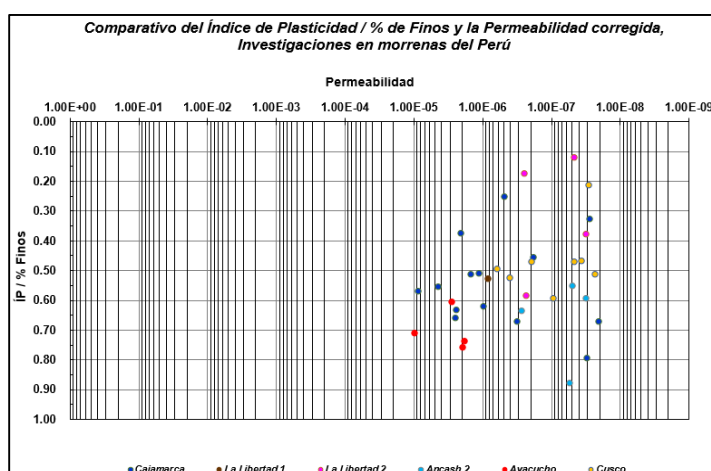
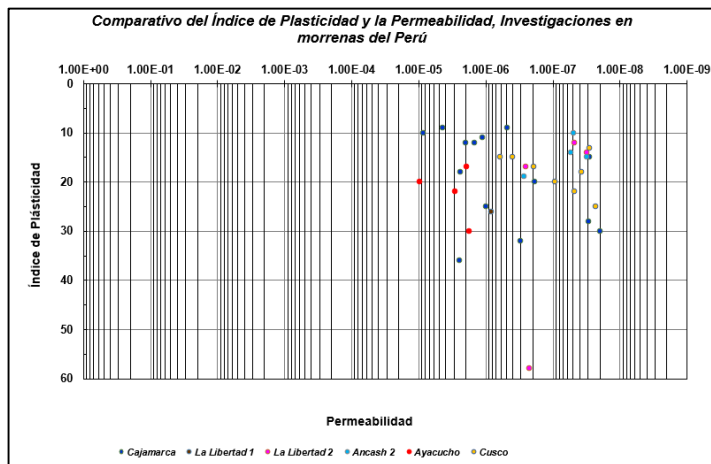
Gráfico 3: Comparativo de relación entre Límite Líquido e Índice de Plasticidad en las morrenas investigadas



3.2. Comparativo de Límites de Plasticidad y Permeabilidad

En base a la información de datos de permeabilidad obtenidos en los depósitos morrénicos estudiados, se realizó una comparación de resultados de ensayos de permeabilidad con respecto al IP y al cociente IP/% de finos. Esto se realizó en muestras individuales y mezclas de los depósitos estudiados. Los resultados indican que se observan algunas tendencias locales entre las muestras de una misma zona, pero no se observa una tendencia general entre la permeabilidad y el IP entre los diferentes depósitos analizados, por lo que no se puede tener un resultado concluyente. Todas las muestras fueron normalizadas para un ensayo de permeabilidad a una Presión Efectiva (PE) de 195 KPa. Los gráficos 4 y 5 muestran la comparación de resultados de ensayos de permeabilidad con respecto al IP y al cociente IP/% de finos

Gráficos 4 y 5: Comparativo de resultados de IP – Permeabilidad e IP/% finos – Permeabilidad



En base a la información de laboratorio obtenida, la tabla 3 muestra los valores promedio de las investigaciones de laboratorio realizadas para cada depósito morrénico seleccionado

Tabla 3: Valores promedio de la caracterización de parámetros físicos realizado en las morrenas seleccionadas

Nº	Región	Humedad Natural (ω %)	Granulometría (%)			IP	SUCS	Gravedad Específica (g/cm ³)
			Grava	Arena	Finos			
1	Cajamarca	20	20	50	30	20	SC	2.59
2	La Libertad 1	32	20	40	40	20	SC	2.65
3	La Libertad 2	25	35	20	45	20	GC	2.67
4	Ancash 1	10	40	40	20	NP	SM	2.57
5	Ancash 2	10	40	30	30	10	GC	2.70
6	Ancash 3	5	40	40	20	NP	SM	2.64
7	Ayacucho	15	35	30	35	20	GC	2.62
8	Cusco	20	30	30	40	15	GC	2.75

4. Conclusiones

- Los resultados demuestran que existe una relación entre la litología “madre” de la morrena y sus características geotécnicas, lo que puede ser aprovechado en la exploración de material de suelo de baja permeabilidad.

- Los mejores resultados para canteras de suelo de baja permeabilidad se dan en morrenas de origen volcánico, de tobas y lavas de composición intermedia (andesíticas a dacíticas), como se observa en los depósitos del grupo Calipuy y la mezcla Sencca – Barroso. Estas morrenas presentan una buena distribución granulométrica, IP moderado a alto y valores de permeabilidad bajos.
 - Las morrenas con importante contenido de cuarzo en la roca “madre” (intrusivos ricos en cuarzo, areniscas cuarzosas, etc), como en la mezcla Farrat – Jumasha – Andesita y la morrena del batolito de la Cordillera Blanca (granodiorita), presentan valores muy bajos o nulos de IP, poco porcentaje de finos y mala distribución granulométrica, por lo que no son buena alternativa para cantera de suelo de baja permeabilidad.
 - Las morrenas de origen calcáreo como las provenientes del grupo Pulluicana y la mezcla Jumasha – Celendín, presentan granulometrías con buena distribución de clastos y valores promedio de IP bajos a moderados. Estas características las hacen una buena alternativa para cantera de material de baja permeabilidad.
 - Las morrenas de origen litológico mixto, como las mezclas Chicama – Chimú – Santa – Calipuy y Arcunquina – Batolito Andahuaylas Yauri , presentan una buena distribución granulométrica y valores de IP moderados a altos, que las convierte en buena alternativa de cantera de material de baja permeabilidad. Cabe resaltar que estos casos sólo son favorables en presencia de litologías formadoras de arcilla (pizarra, volcánicos)
 - Este estudio no considera otros factores que pueden influir en la formación de material de baja permeabilidad como la edad relativa del depósito, la altura y ubicación del depósito, etc. Estas pueden ser líneas de investigación futuras para el estudio de los depósitos morrénicos.
- (GOLDER) Golder Associates Perú S.A. 2011. Factual Report Borrow Areas, Conga Cajamarca – Cajamarca. 596 Pág
- (GOLDER) Golder Associates Perú S.A. 2014. Exploración de Material de Baja Permeabilidad, Antamina, Huari - Ancash. 570 Pág.
- (GOLDER) Golder Associates Perú S.A. 2015. Investigación Geotécnica en Constancia, Chumbivilcas – Cusco. 1106 Pág
- (VECTOR) Vector Perú S.A. 2007. Final Feasibility Study, Mine Facilities Geotechnical Study, Magistral Project, Pallasca – Ancash – Perú. 974 Pág

Agradecimientos

Un agradecimiento especial a Golder Associates Perú S.A. por facilitarnos la publicación de la información referida a los depósitos morrénicos investigados en distintas partes del Perú.

Referencias

- (GOLDER) Golder Associates Perú S.A. 2007. Caracterización de Arcillas con Fines de Cierre de Mina, Lagunas Norte, Otuzco – La Libertad. 656 Pág.
- (GOLDER) Golder Associates Perú S.A. 2009. Investigaciones Geotécnicas. Estudio de Factibilidad del Nuevo Depósito de Relaves de Selene – Pallancata, Parinacochas – Ayacucho. 254 Pág.