

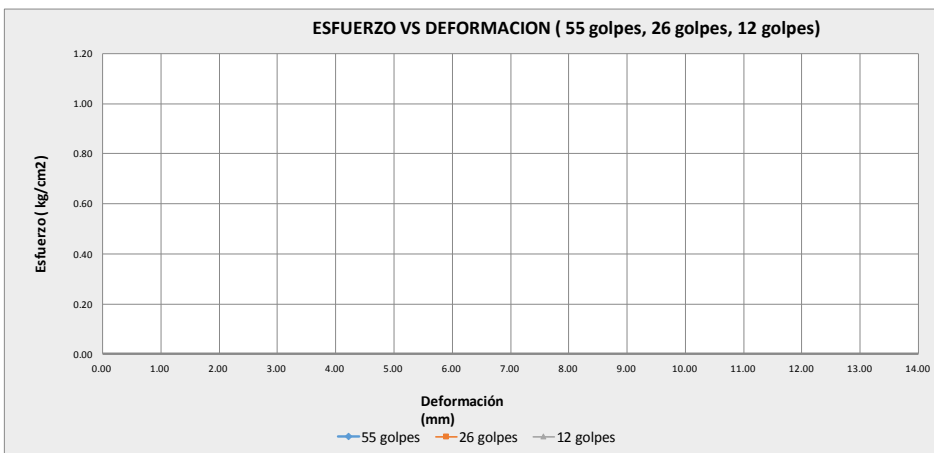


h) Ensayo de Relación Soporte California (CBR)

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
<p>TESIS:</p>	<p>ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS EN EL APV. PICOL ORCOMPUGIO MEDIANTE LA ADICIÓN DE CAL AL 10% Y PUZOLANA VOLCANICA DE LA CANTERA DE RAQCHI AL 15, 25 Y 30% PARA SUB BASE DE VÍAS PAVIMENTADAS SEGÚN EL MANUAL DE CARRETERAS SUELOS, GEOLOGÍA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS.</p>

ENSAYO RELACION DE SOPORTE CALIFORNIA (CBR)

DATOS ENSAYO DE PENETRACION		MUESTRA 3				
PENETRACION		Carga Unitaria Patron (kg/cm2)	Carga (KN)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm3)	CBR (%)
(mm)	(pulg)					
0.00	0.000					
0.64	0.025					
1.27	0.050					
1.91	0.075					
2.54	0.100	70.31				
3.18	0.125					
3.81	0.150					
5.08	0.200	105.46				
7.62	0.300					
10.16	0.400					
12.70	0.500					



CARGA UNITARIA PATRON (kg/cm2)	MUESTRA 1				MUESTRA 2				MUESTRA 3			
	Penetracion mm	Esfuerzo kg/cm2	CBR %	densidad seca gr/cm3	Penetracion mm	Esfuerzo kg/cm2	CBR %	densidad seca gr/cm3	Penetracion mm	Esfuerzo kg/cm2	CBR %	densidad seca gr/cm3
70.31	2.54	0.00	0.00%	0.00	2.54	0.00	0.00%	0.00	2.54	0.00	0.00%	0.00
105.46	5.08	0.00	0.00%	0.00	5.08	0.00	0.00%	0.00	5.08	0.00	0.00%	0.00

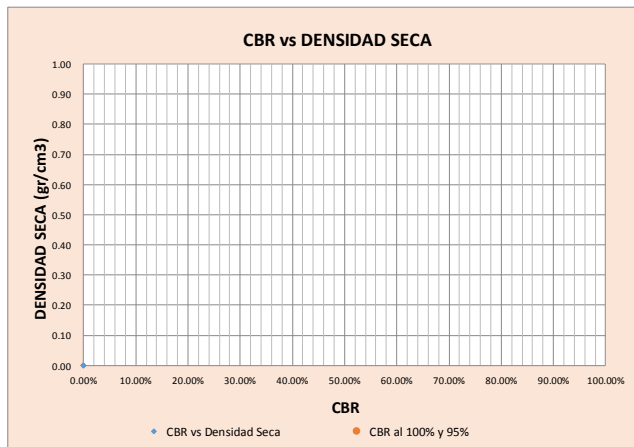
RESULTADOS

NUMERO DE GOLPES	CBR	DENSIDAD SECA
	%	gr/cm3
55	0.00%	0.00
26	0.00%	0.00
12	0.00%	0.00

NUMERO DE GOLPES	EXPANSIÓN	ABSORCION
	%	%
55	0.00%	0.00%
26	0.00%	0.00%
12	0.00%	0.00%

densidad seca maxima (gr/cm3)	
95% de la DSM (gr/cm3)	

CBR al 100% de la DSM	
CBR al 95% de la DSM	



3.4.1.1. Guías documentarias

Poder llevar a cabo una investigación consistente, se consideró las siguientes guías, manuales y normas, en los cuales nos apoyamos para la investigación.

Normas:

- Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes o por sus siglas en inglés AASHTO
- Norma ASTM SUCS Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

Manuales:

- Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos MTC 2013.
- Manual de Ensayo de Materiales – MTC 2016
- Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil – Joseph E. Bowles

3.4.2. Instrumentos de ingeniería

En el desarrollo de la investigación se usaron los siguientes instrumentos de ingeniería:

3.4.2.1. Instrumentos de campo

- Cámara fotográfica
- Equipos de protección personal: Casco, chaleco, lentes de seguridad, zapatos con punta de acero y guantes.
- Cintas de prevención.



Figura Nro. 14: Equipos de protección personal para realizar los trabajos en campo

3.4.2.2. Instrumentos de gabinete

a) Normas y documentos

- ✓ Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos MTC 2013
- ✓ Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil Joseph E. Bowles.
- ✓ Libro de Mecánica de Suelos – Lambe y Whitman
- ✓ Manual de Ensayo de Materiales – MTC 2016

b) Para procesamiento de datos.

Para la determinación de los resultados de cada ensayo realizado son.

- Hojas de cálculos para el procesamiento del porcentaje de humedad, límites de Atterberg, densidad máxima y resistencia del suelo.

Los instrumentos de ingeniería a utilizar en los ensayos del laboratorio

- Los instrumentos son los utilizados para realizar los ensayos de granulometría, límites de Atterberg (Límite líquido y límite plástico), Proctor y CBR

Tabla 20 Softwares computacionales utilizados en la investigación

Softwares utilizados en la Investigación	
	
Microsoft Excel	Microsoft Word
	
Autodesk Civil 3D	

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Procedimiento de recolección de datos

3.5.1. Exploración y toma de muestra.

Para poder llevar a cabo el trabajo de investigación se realizó la solicitud necesaria a la Municipalidad Distrital de San Jerónimo del Cusco, para poder hacer las calicatas necesarias.

a) Instrumentos utilizados

- Equipos de excavación (Pico, pala, barreta)
- Equipos de medición (Wincha, nivel de campo)
- Equipos de protección (Casco, zapatos punta de acero, guantes)

b) Procedimiento

Como procedimiento con el reconocimiento de las calles de la APV. Pícol Orcompugio, así de esta forma realizando la exploración visual de dicha APV., para así ubicar de manera tentativa el punto de exploración.



Figura Nro. 15 Reconocimiento de la zona de estudio.

Después de haber realizado la inspección visual del terreno se procedió con la medición de 07 calles.

Al realizar la medición se determinó una longitud de 2.5km de las diferentes calles de la APV. se procedió con la selección de puntos de exploración, según lo realizado en el ítem 3.3. Población y muestra. Para después empezar con la excavación de las calicatas y la toma de muestra.

c) Toma de datos

- Se realizó 6 calicatas, profundidad de 1.60 m (coordenadas UTM DATUM WGS 84)
 - Calicata N°01: Norte 8500312.513 m Este 186314.613 m Altura 3234.59 m
 - Calicata N°02: Norte 8500297.359 m Este 186183.145 m Altura 3241.29 m
 - Calicata N°03: Norte 8500360.106 m Este 186108.147 m Altura 3252.29 m
 - Calicata N°04: Norte 8500207.460 m Este 186100.263 m Altura 3253 m
 - Calicata N°05: Norte 8500403.131 m Este 186248.224 m Altura 3236.82m
 - Calicata N°06: Norte 8500508.224 m Este 186163.125 m Altura 3241.65 m
- Se extrajo de cada calicata 60 kilos de muestra en sacos.
- Se extrajo de cada calicata 1 kilo de muestra en bolsas herméticas.



Figura Nro. 16 Extracción de muestras de las calicatas

3.5.2. Ensayo de contenido de humedad

a) Equipo

- Taras
- Balanza digital con precisión de 0.01gr
- Horno de secado

b) Procedimiento

Primero se pesó cada muestra inalterada que se extrajo de las calicatas 1, 2, 3, 4, 5 y 6 las cuales se colocaron en pequeñas taras. El primer peso que se obtuvo fue el de la tara, luego el peso de la tara más el suelo húmedo y después de 24 horas en el horno un peso de tara más suelo seco.

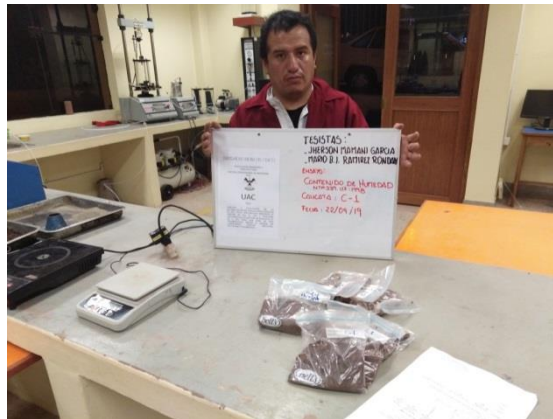


Figura Nro. 17 Muestras para determinar el contenido de humedad



Figura Nro. 18 Muestras y equipos que se utilizó para determinar el contenido de humedad

c) Datos obtenidos

Tabla 21: Contenidos de humedad de las calicatas

CALICATA	MUESTRA	Peso de recipiente (gr)	Peso de la muestra húmeda + recipiente (gr)	Peso de suelo seco + recipiente (gr)	HUMEDAD %	HUMEDAD NATURAL PROMEDIO %
C-01	TARA 1	16.00	34.10	31.90	13.84%	14.16%
	TARA 2	15.80	31.60	29.60	14.49%	
C-02	TARA 3	16.00	34.80	31.80	18.99%	20.38%
	TARA 4	15.90	31.00	28.30	21.77%	
C-03	TARA 5	16.10	32.80	30.90	12.84%	13.56%
	TARA 6	16.00	32.80	30.70	14.29%	
C-04	TARA 7	15.70	36.70	34.10	14.13%	14.97%
	TARA 8	15.80	36.30	33.50	15.82%	
C-05	TARA 9	49.20	82.80	81.10	5.33%	5.55%
	TARA 10	16.00	41.70	40.30	5.76%	
C-06	TARA 11	15.70	36.80	35.90	4.46%	5.22%
	TARA 12	15.90	33.60	32.60	5.99%	

Fuente: Elaboración propia.

3.5.3. Ensayo de análisis granulométrico

a) Equipo

- Tamiz N°200 de lavado.
- Baldes
- Serie de tamices: 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°5, N°100, N°200, tapa y fondo.
- Balanza digital de precisión 0.01 gr.
- Tamizadora mecánica.
- Martillo de goma, bandejas, bol, cucharón, brocha y escobilla.

b) Procedimiento

Para realizar el tamizado del suelo, primero se obtuvo una muestra representativa del material extraído que fue de 2000gr, el cual tuvo que ser reducido a partículas más finas con el uso de un martillo de goma, luego se pasó al lavado a través de la malla N°200 de lavado. Para este procedimiento se depositó todo el material en un balde el cual contenía la mitad aproximadamente de agua, luego se pasa a disolver y remover el material hasta que este se disperse de manera uniforme en toda el agua.



Figura Nro. 19 Pesado y triturado del suelo arcilloso

Luego se pasa a verter el material al tamiz de lavado eliminado el resto de material que pase esta malla, este procedimiento se realizó las veces necesarias hasta que el agua que está mezclado con el material quede lo más limpio posible.



Figura Nro. 20 Lavado del suelo arcilloso y secado en horno por 24 horas para el análisis granulométrico.

Terminado el procedimiento anterior se pasó a colocar las muestras lavadas en una bandeja para que sea colocada en el horno por 24 horas.

Luego de extraer el material del horno, recién se pasó a colocar el material a la tamizadora mecánica con la serie de tamices 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°5, N°100, N°200, pero antes obteniendo el peso del material seco, luego se sometió a un tamizado de 10 minutos y se obtuvieron los pesos retenidos en cada uno de los tamices, y poder realizar la gráfica de la curva granulométrica.



Figura Nro. 21 Ensayo de análisis granulométrico de las calicatas C-01 y C-02



Figura Nro. 22 Ensayo de análisis granulométrico de las calicatas C-05 y C-06

c) Datos obtenidos

Tabla 22: Resumen de los datos obtenido de la granulometría de las 6 calicatas

PESO INICIAL		2000gr	2000gr	2000gr	2000gr	2000gr	2000gr
MUESTRA		C-01	C-02	C-03	C-04	C-05	C-06
TAMICES	DIAMETROS (mm)	PESO RETENIDO O (gr)	PESO RETENIDO O (gr)	PESO RETENIDO O (gr)	PESO RETENIDO O (gr)	PESO RETENIDO O (gr)	PESO RETENIDO O (gr)
3/8"	9.500	2.51	2.34	5.00	4.10	0.10	0.52
N° 4	4.750	6.11	6.24	5.90	5.60	9.30	9.53
N° 8	2.360	5.81	5.54	8.60	8.10	3.80	4.43
N° 16	1.180	7.81	7.54	10.80	11.40	2.30	2.83
N° 30	0.600	10.81	10.34	12.30	12.00	2.70	2.93
N° 50	0.300	33.01	31.74	37.90	40.40	8.10	8.83
N° 100	0.150	289.81	294.64	234.70	241.40	42.20	44.13
N° 200	0.075	450.91	457.84	509.10	511.40	91.20	94.83
CAZUELA		32.00	40.30	28.40	25.60	8.00	10.60
SUB TOTAL		838.80	856.50	852.70	860.00	167.70	178.60
LAVADO		1161.20	1143.50	1147.30	1140.00	1832.30	1821.40
TOTAL		2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00

Fuente: Elaboración propia.

3.5.4. Ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos

Este ensayo busca determinar en el caso del límite líquido busca determinar el contenido de humedad inferior por el cual el suelo se comportaría como un suelo plástico y el límite plástico es el contenido de humedad por debajo del cual se podría considerar un suelo como no plástico.



También se determinará la variación de estos factores al añadirse al suelo cal al 10% y puzolana volcánica 15%, 25% y 30%.

a) Equipos

- Tamiz N°40 tapa y fondo
- Cuchara de Casagrande
- Ranurador, mortero, pisón y pizeta
- Vidrio esmerilado
- Varilla de calibración
- Taras
- Balanza de precisión
- Cucharon, bandejas, bol, espátula, brocha, martillo de goma.

b) Procedimiento

Para este ensayo primero se tamizó el suelo seco a través del tamiz N°40 en un peso aproximado de 250gr, esto se hizo para tanto para el ensayo del límite líquido y límite plástico.

Para realizar el ensayo de límite líquido se colocó 20gr de la muestra en el mortero y luego se empezó a saturarlo con agua batiéndolo en el mortero con el pisón hasta obtener una distribución uniforme del suelo, luego se colocó una porción del suelo con el uso de la espátula a la Cuchara de Casagrande, haciéndose un corte con el ranurador. Después se prosiguió a contar los golpes a la cual la ranura se juntará en la cuchara de Casagrande, los intervalos a los que se hizo fueron a los 30 a 40, 25 s 30, 20 a 25 y entre 15 y 20.

Luego se sacó una porción del suelo de la cuchara de Casagrande se colocó en el horno por 24 horas para determinar el contenido de humedad. El mismo proceso se realizó con las mezclas de cal 10% y 15, 25 y 30% de puzolana volcánica para cada caso.



Figura Nro. 23 Determinación del límite líquido de las muestras de la C-03 y C-04



Figura Nro. 24 Ensayo de límite líquido del suelo con combinaciones de cal 10 % y puzolana 15, 25 y 30%.

Para el ensayo del límite plástico se mezcló el suelo ya tamizado por la malla N°40 en el mortero al que se le añadió agua en pequeñas proporciones hasta que el suelo tenía una humedad uniforme. Luego se retira un poco del material mezclado, con lo cual se hizo pequeños cilindros de 3mm de diámetro en el vidrio esmerilado, estos cilindros formarán hasta que presenten fracturas o grietas, después las muestras se retiran y colocan en taras para ponerlas en el horno por 24 horas y determinar el contenido de humedad.

El mismo procedimiento se realizó para las mezclas del suelo arcillosos con cal 10% y 15, 25 y 30% de puzolana volcánica.

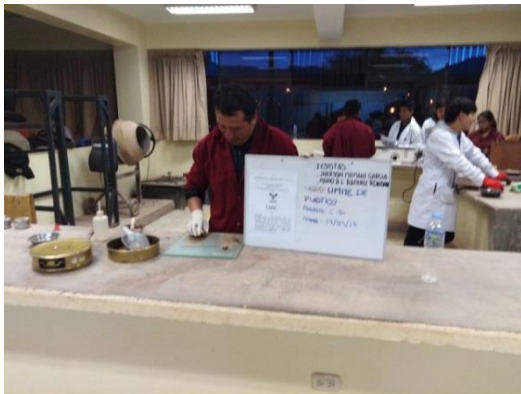


Figura Nro. 25 Ensayo de límite plástico de la calicata C-5 y C-6 y mezclas.

c) Datos obtenidos

Tabla 23: Datos de la muestra de la calicata C-01 y C-02 para determinar límite líquido.

TARA	1	2	3	4
PESO HUMEDO DE SUELO MAS TARA (gr)				
PESO SUELO SECO MAS TARA (gr)	NO PRESENTA			
PESO TARA (gr)				
NUMERO DE GOLPES				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24: Datos de la muestra de la calicata C-01 y C-02 para determinar límite plástico.

TARA	5	6	7	8
PESO HUMEDO DE SUELO MAS TARA (gr)				
PESO SUELO SECO MAS TARA (gr)	NO PRESENTA			
PESO TARA (gr)				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25: Datos de la muestra de la calicata C-03 para determinar límite líquido.

TARA	1	2	3	4
PESO HUMEDO DE SUELO MAS TARA (gr)	42.40	40.80	34.60	38.50
PESO SUELO SECO MAS TARA (gr)	38.30	37.30	32.10	35.50
PESO TARA (gr)	21.70	22.00	21.90	21.90
NUMERO DE GOLPES	15.00	29.00	21.00	32.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26: Datos de la muestra de la calicata C-03 para determinar límite plástico.

TARA	5	6	7	8
PESO HUMEDO DE SUELO MAS TARA (gr)	24.80	25.50	24.60	25.40
PESO SUELO SECO MAS TARA (gr)	24.20	24.70	24.10	24.80
PESO TARA (gr)	20.90	21.20	21.30	21.50

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27: Datos de la muestra de la calicata C-04 para determinar límite líquido.

TARA	1	2	3	4
PESO HUMEDO DE SUELO MAS TARA (gr)	41.30	39.00	33.50	36.40
PESO SUELO SECO MAS TARA (gr)	37.40	36.20	31.20	34.30
PESO TARA (gr)	21.60	22.10	22.00	21.90
NUMERO DE GOLPES	16.00	28.00	22.00	33.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28: Datos de la muestra de la calicata C-04 para determinar límite plástico.

TARA	5	6	7	8
PESO HUMEDO DE SUELO MAS TARA (gr)	25.00	25.70	24.90	25.80
PESO SUELO SECO MAS TARA (gr)	24.20	24.90	24.30	25.10
PESO TARA (gr)	20.90	21.20	21.30	21.50

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29: Datos de la muestra de la calicata C-05 para determinar límite líquido.

TARA	1	2	3	4
PESO HUMEDO DE SUELO MAS TARA (gr)	23.20	24.90	24.20	25.00
PESO SUELO SECO MAS TARA (gr)	20.90	21.80	21.10	21.90
PESO TARA (gr)	15.90	16.00	16.10	16.00
NUMERO DE GOLPES	40.00	20.00	15.00	21.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30: Datos de la muestra de la calicata C-05 para determinar límite plástico.

TARA	5	6	7	8
PESO HUMEDO DE SUELO MAS TARA (gr)	17.20	17.30	17.10	17.50
PESO SUELO SECO MAS TARA (gr)	16.90	17.10	16.70	17.10
PESO TARA (gr)	16.00	16.10	15.90	16.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31: Datos de la muestra de la calicata C-06 para determinar límite líquido.

TARA	1	2	3	4
PESO HUMEDO DE SUELO MAS TARA (gr)	23.10	24.70	24.30	25.20
PESO SUELO SECO MAS TARA (gr)	20.70	21.50	21.10	21.70
PESO TARA (gr)	16.00	15.90	16.10	16.10
NUMERO DE GOLPES	40.00	20.00	15.00	21.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32: Datos de la muestra de la calicata C-06 para determinar límite plástico.

TARA	5	6	7	8
PESO HUMEDO DE SUELO MAS TARA (gr)	17.10	17.50	18.60	21.30
PESO SUELO SECO MAS TARA (gr)	16.80	17.10	17.80	19.80
PESO TARA (gr)	15.90	16.00	16.00	15.90

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33: Datos de la muestra de la calicata C-05, C-06 más cal al 10% y 15% de puzolana volcánica para determinar límite líquido.

TARA	1	2	3
PESO HUMEDO DE SUELO MAS TARA (gr)	27.90	33.20	32.10
PESO SUELO SECO MAS TARA (gr)	26.10	30.10	29.10
PESO TARA (gr)	21.60	21.90	20.90
NUMERO DE GOLPES	17.00	23.00	37.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34: Datos de la muestra de la calicata C-05, C-06 más cal al 10% y 15% de puzolana volcánica para determinar límite plástico.

TARA	5	6
PESO HUMEDO DE SUELO MAS TARA (gr)	24.30	25.00
PESO SUELO SECO MAS TARA (gr)	24.10	23.90
PESO TARA (gr)	20.80	20.30

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35: Datos de la muestra de la calicata C-05, C-06 más cal al 10% y 25% de puzolana volcánica para determinar límite líquido.

TARA	1	2	3	4
PESO HUMEDO DE SUELO MAS TARA (gr)	48.70	49.80	46.30	46.30
PESO SUELO SECO MAS TARA (gr)	45.10	46.30	43.80	43.90
PESO TARA (gr)	36.90	37.10	36.80	37.00
NUMERO DE GOLPES	13.00	24.00	27.00	37.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36: Datos de la muestra de la calicata C-05, C-06 más cal al 10% y 25% de puzolana volcánica para determinar límite plástico.

TARA	5	6
PESO HUMEDO DE SUELO MAS TARA (gr)	40.20	42.00
PESO SUELO SECO MAS TARA (gr)	39.50	41.00
PESO TARA (gr)	36.40	36.50

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37: Datos de la muestra de la calicata C-05, C-06 más cal al 10% y 30% de puzolana volcánica para determinar límite líquido.

TARA	1	2	3	4
PESO HUMEDO DE SUELO MAS TARA (gr)	26.40	53.20	52.50	27.70
PESO SUELO SECO MAS TARA (gr)	23.30	48.50	48.40	24.70
PESO TARA (gr)	16.10	37.00	37.40	15.90
NUMERO DE GOLPES	14.00	26.00	29.00	38.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38: Datos de la muestra de la calicata C-05, C-06 más cal al 10% y 30% de puzolana volcánica para determinar límite plástico.

TARA	5	6
PESO HUMEDO DE SUELO MAS TARA (gr)	44.10	43.20
PESO SUELO SECO MAS TARA (gr)	42.80	42.10
PESO TARA (gr)	36.30	37.30

Fuente: Elaboración propia.

3.5.5. Clasificación de suelos

Los sistemas de clasificación que se utilizó son el sistema de clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) y el AASTHO (Asociación Americana de Agencias Oficiales de Carreteras y Transportes). Ambos sistemas de clasificación utilizan los datos obtenidos del ensayo de análisis granulométrico y limite líquido, plástico e índice de plasticidad en el caso de suelos finos y plásticos.

a) Equipos

Los equipos requeridos son los utilizados para determinar el análisis granulométrico y los utilizados en el ensayo de limite líquido, plástico y índice de plasticidad.

**c) Procedimiento**

El procedimiento utilizado para la obtención de datos para la clasificación de suelos son los que se hizo en el análisis granulométrico y determinación de límite líquido, límite plástico.

d) Datos

Los datos que se utilizarán para determinar la clasificación de suelos son los mismos que se obtuvieron en los ensayos de análisis granulométrico y en el ensayo de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.

3.5.6. Ensayo de compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada (Proctor Modificado)

El ensayo de Proctor Modificado se realizó para determinar la relación entre la humedad del suelo y el peso unitario seco del suelo. A partir de este se ensayó se obtuvo la densidad máxima seca y el contenido óptimo de humedad los cuales serán datos utilizados en el ensayo de CBR.

a) Equipos

- Molde de 4" y collar de extensión para utilizar el método A
- Pisón de 4.54kg
- Tamiz N°4, tapa y fondo
- Probeta de plástico de 1lt
- Balanza de precisión
- Regla metálica, espátula, alicate, bandeja, bol, taras, brocha, pizeta y cucharon
- Horno de secado

b) Procedimiento

Para la realización del ensayo se necesitó 2300gr de material que fue tamizado a través de la malla N°4, una vez que se tuvo el material pesado se pasó a saturar de agua con el uso de la probeta, adicionando agua en un rango de 2% de agua para el suelo arcilloso sin estabilizar, en cambio para el suelo estabilizado con cal 10% y 15, 25 y 30% de puzolana volcánica se adiciono agua en rangos de 4% por la absorción alta de la cal.



Figura Nro. 26 Ensayo de Proctor Modificado, materiales y preparado del suelo para el compactado en los moldes de 4".

Se procedió a combinar las muestras de suelo arcilloso sin estabilizar y estabilizado con cal, puzolana volcánica y agua en sus distintos porcentajes de manera uniforme, después se procedió a fraccionar las muestras en cinco partes en las bandejas para colocarlas en cinco capas a los moldes de 4", el cual antes se pesó sin considerar el collar de extensión, compactando cada capa con 25 golpes con el pisón.



Figura Nro. 27 Combinación del suelo y saturado con agua, mezclas de suelo más cal 10% y arcilla 15, 25 y 30%

Luego del compactado, se extrajo con cuidado el collar de extensión para enrasar los moldes con la regla metálica. Y se obtuvo los pesos del molde más el suelo saturado, extrayendo muestras de la parte superior, intermedia y la base del molde los cuales se colocaron en el horno para determinar el contenido de humedad.



Figura Nro. 28 Compactado y pesado de los moldes de 4''

c) Datos obtenidos

Tabla 39: Pesos de moldes más suelo de las calicatas C-01 y C-02.

Método de ensayo		Método A			
Ensayo N° + adición de agua		1 + 2%	2 + 4%	3 + 6%	4 + 8%
Numero de capas		5	5	5	5
Golpes de pisón por capa		25	25	25	25
N° de molde		1	2	1	2
Peso de suelo húmedo + molde	gr	5865.00	5955.00	5335.00	6115.00
Peso molde + base	gr	4170.00	4165.00	4170.00	4165.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40: Pesos de las taras más suelo húmedo y suelo seco de las C-01 y C-02.

Ensayo N° + adición de agua		Muestra 1 + 2%		
Pesos de taras	gr	16.10	16.10	15.90
Peso de suelo húmedo + tara	gr	22.60	26.30	27.70
Peso de suelo seco + tara	gr	22.35	25.90	27.20
Ensayo N° + adición de agua		Muestra 2 + 4%		
Pesos de taras	gr	15.80	15.90	16.20
Peso de suelo húmedo + tara	gr	28.00	29.20	49.00
Peso de suelo seco + tara	gr	27.30	28.50	47.00
Ensayo N° + adición de agua		Muestra 3 + 6%		
Pesos de taras	gr	16.20	15.80	15.70
Peso de suelo húmedo + tara	gr	22.90	29.20	33.60
Peso de suelo seco + tara	gr	22.40	28.20	32.30
Ensayo N° + adición de agua		Muestra 4 + 8%		
Pesos de taras	gr	37.50	37.10	37.50
Peso de suelo húmedo + tara	gr	60.50	65.00	90.20
Peso de suelo seco + tara	gr	58.40	62.50	85.30

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41: Pesos de moldes más suelo de las calicatas C-03 y C-04

Método de ensayo		Método A			
Ensayo N° + adición de agua		1 + 2%	2 + 4%	3 + 6%	4 + 8%
Numero de capas		5	5	5	5
Golpes de pisón por capa		25	25	25	25
N° de molde		1	2	1	2
Peso de suelo húmedo + molde	gr	5820.00	5950.00	6085.00	6220.00
Peso molde + base	gr	4185.00	4190.00	4185.00	4190.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42: Pesos de las taras más suelo húmedo y suelo seco de las C-03 y C-04.

Ensayo N° + adición de agua		Muestra 1 + 2%		
Pesos de taras	gr	37.30	36.80	36.70
Peso de suelo húmedo + tara	gr	60.40	60.40	72.40
Peso de suelo seco + tara	gr	59.70	59.70	71.20
Ensayo N° + adición de agua		Muestra 2 + 4%		
Pesos de taras	gr	36.70	37.00	36.50
Peso de suelo húmedo + tara	gr	56.50	60.10	67.50
Peso de suelo seco + tara	gr	55.50	58.80	65.70
Ensayo N° + adición de agua		Muestra 3 + 6%		
Pesos de taras	gr	37.20	16.00	15.90
Peso de suelo húmedo + tara	gr	49.10	37.10	26.40
Peso de suelo seco + tara	gr	48.40	35.50	25.60
Ensayo N° + adición de agua		Muestra 4 + 8%		
Pesos de taras	gr	37.10	36.70	37.20
Peso de suelo húmedo + tara	gr	56.70	66.80	74.80
Peso de suelo seco + tara	gr	55.10	63.90	71.40

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43: Pesos de moldes más suelo de las calicatas C-05 y C-06.

Método de ensayo		Método A				
Ensayo N° + adición de agua		1 + 2%	2 + 4%	3 + 6%	4 + 8%	5 + 12%
Numero de capas		5	5	5	5	5
Golpes por capa		25	25	25	25	25
N° de molde		1	2	1	2	2
Peso de suelo húmedo + molde	gr	5910.00	6020.00	6110.00	6190.00	6095.00
Peso molde + base	gr	4165.00	4155.00	4165.00	4155.00	4160.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44: Pesos de las taras más suelo húmedo y suelo seco de las calicatas C-05 y C-06.

Ensayo N° + adición de agua		Muestra 1 + 2%		
Pesos de taras	gr	15.90	16.00	16.00
Peso de suelo húmedo + tara	gr	32.80	32.70	28.00
Peso de suelo seco + tara	gr	31.90	31.70	27.30
Ensayo N° + adición de agua		Muestra 2 + 4%		
Pesos de taras	gr	15.90	16.10	15.90
Peso de suelo húmedo + tara	gr	27.10	28.20	28.50
Peso de suelo seco + tara	gr	26.30	27.30	27.40
Ensayo N° + adición de agua		Muestra 3 + 6%		
Pesos de taras	gr	15.90	16.10	15.90
Peso de suelo húmedo + tara	gr	29.40	35.60	31.50
Peso de suelo seco + tara	gr	28.10	33.80	30.20
Ensayo N° + adición de agua		Muestra 4 + 8%		
Pesos de taras	gr	16.00	15.70	16.00
Peso de suelo húmedo + tara	gr	29.90	29.50	29.40
Peso de suelo seco + tara	gr	28.40	28.10	28.10
Ensayo N° + adición de agua		Muestra 5 + 12%		
Pesos de taras	gr	16.00	15.70	16.00
Peso de suelo húmedo + tara	gr	29.90	29.50	29.40
Peso de suelo seco + tara	gr	28.40	28.10	28.10

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 45: Mezclas de suelo de las calicatas C-05, C-06 y cal 10% más 15%, 25% y 30% de puzolana volcánica.

Estabilizaciones	Dosificación		
Suelo arcilloso de las C-05 y C-06	2300gr	0gr	0gr
Suelo arcilloso de las C-05 y C-06 estabilizado con cal 10% y puzolana volcánica 15%	1725gr	230gr	345gr
Suelo arcilloso de las C-05 y C-06 estabilizado con cal 10% y puzolana volcánica 25%	1495gr	230gr	575gr
Suelo arcilloso de las C-05 y C-06 estabilizado con cal 10% y puzolana volcánica 30%	1380gr	230gr	690gr

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46: Pesos de moldes más suelo de las calicatas C-05, C-06 y cal 10% más 15% de puzolana volcánica.

Método de ensayo		Método A				
Ensayo N° + agua		1 + 2%	2 + 4%	3 + 6%	4 + 8%	5 + 12%
Numero de capas		5	5	5	5	5
Golpes por capa		25	25	25	25	25
N° de molde		1	2	1	2	2
Suelo húmedo + molde	gr	5815.00	5905.00	6015.00	6175.00	6125.20
Peso molde + base	gr	4190.00	4190.00	4190.00	4190.00	4172.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47: Pesos de las taras más suelo húmedo y suelo seco de las calicatas C-05 y C-06 combinadas con cal al 10% y 15% de puzolana volcánica.

Ensayo N° + adición de agua		Muestra 1 + 0%		
Pesos de taras	gr	15.90	15.80	15.90
Peso de suelo húmedo + tara	gr	32.90	41.60	32.20
Peso de suelo seco + tara	gr	32.30	40.60	31.70
Ensayo N° + adición de agua		Muestra 2 + 4%		
Pesos de taras	gr	16.20	16.00	16.20
Peso de suelo húmedo + tara	gr	38.40	44.90	35.90
Peso de suelo seco + tara	gr	36.80	42.90	34.50
Ensayo N° + adición de agua		Muestra 3 + 8%		
Pesos de taras	gr	15.70	16.00	15.90
Peso de suelo húmedo + tara	gr	40.70	42.50	45.30
Peso de suelo seco + tara	gr	38.10	39.60	42.00
Ensayo N° + adición de agua		Muestra 4 + 12%		
Pesos de taras	gr	16.10	36.90	37.30
Peso de suelo húmedo + tara	gr	35.80	77.70	61.80
Peso de suelo seco + tara	gr	33.10	72.10	58.40
Ensayo N° + adición de agua		Muestra 5 + 16%		
Pesos de taras	gr	15.60	15.90	36.30
Peso de suelo húmedo + tara	gr	39.00	36.10	87.70
Peso de suelo seco + tara	gr	35.40	32.70	79.40

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 48: Pesos de moldes más suelo de las calicatas C-05 y C-06 más cal al 10% y puzolana volcánica al 25%.

Método de ensayo		Método A			
Ensayo N° + adición de agua		1 + 2%	2 + 4%	3 + 6%	4 + 8%
Numero de capas		5	5	5	5
Golpes de pisón por capa		25	25	25	25
N° de molde		1	2	1	2
Peso de suelo húmedo + molde	gr	5785.00	5960.00	6160.00	6125.00
Peso molde + base	gr	4185.00	4160.00	4185.00	4160.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 49: Pesos de taras más suelo húmedo y suelo seco de las calicatas C-05 y C-06 más cal al 10% y puzolana volcánica 25%.

Ensayo N° + adición de agua		Muestra 1 + 0%		
Pesos de taras	gr	49.60	49.00	
Peso de suelo húmedo + tara	gr	73.80	74.20	
Peso de suelo seco + tara	gr	72.80	73.10	
Ensayo N° + adición de agua		Muestra 2 + 4%		
Pesos de taras	gr	48.60	37.40	
Peso de suelo húmedo + tara	gr	72.60	61.40	
Peso de suelo seco + tara	gr	70.80	59.80	
Ensayo N° + adición de agua		Muestra 3 + 12%		
Pesos de taras	gr	49.30	48.80	
Peso de suelo húmedo + tara	gr	84.30	75.70	
Peso de suelo seco + tara	gr	79.60	71.90	
Ensayo N° + adición de agua		Muestra 4 + 16%		
Pesos de taras	gr	37.30	36.40	
Peso de suelo húmedo + tara	gr	74.80	87.10	
Peso de suelo seco + tara	gr	68.70	79.10	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 50: Pesos de moldes más suelo de las calicatas C-05 y C-06 más cal al 10% y 15% de puzolana volcánica.

Método de ensayo		Método A				
Ensayo N° + adición de agua		1 + 2%	2 + 4%	3 + 6%	4 + 8%	5 + 12%
Numero de capas		5	5	5	5	5
Golpes de pisón por capa		25	25	25	25	25
N° de molde		1	2	1	2	2
Suelo húmedo + molde	gr	5845.00	5915.00	6115.00	6210.00	6110.00
Peso molde + base	gr	4180.00	4180.00	4180.00	4180.00	4185.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 51: Pesos de taras más suelo húmedo y suelo seco de las calicatas C-05 y C-06 más cal 10% y 15% de puzolana volcánica.

Ensayo N° + adición de agua		Muestra 1 + 0%		
Pesos de taras	gr	36.90	37.30	36.90
Peso de suelo húmedo + tara	gr	67.10	92.00	68.80
Peso de suelo seco + tara	gr	66.30	90.40	68.00
Ensayo N° + adición de agua		Muestra 2 + 4%		
Pesos de taras	gr	36.30	37.20	21.40
Peso de suelo húmedo + tara	gr	76.00	80.10	58.90
Peso de suelo seco + tara	gr	73.50	77.30	56.60
Ensayo N° + adición de agua		Muestra 3 + 8%		
Pesos de taras	gr	21.90	21.40	20.80
Peso de suelo húmedo + tara	gr	40.90	43.00	40.20
Peso de suelo seco + tara	gr	39.00	40.90	38.30
Ensayo N° + adición de agua		Muestra 4 + 12%		
Pesos de taras	gr	21.90	21.70	
Peso de suelo húmedo + tara	gr	49.60	53.80	
Peso de suelo seco + tara	gr	46.10	49.90	
Ensayo N° + adición de agua		Muestra 5 + 16%		
Pesos de taras	gr	36.80	50.10	
Peso de suelo húmedo + tara	gr	101.30	98.50	
Peso de suelo seco + tara	gr	91.10	90.70	

Fuente: Elaboración propia.

3.5.7. Triturado y molienda de la puzolana volcánica

La extracción de la puzolana de la cantera de Raqchi, se hizo seleccionando partículas superiores a los 10cm los cuales tuvieron que ser sometidas a un proceso de triturado y molienda, para que estas logren pasar la malla N°50 y se consiga una buena interacción de las partículas finas de la arcilla y la cal.

a) Equipos

- Martillo y comba
- Máquina de los Ángeles

- Mortero artesanal
- Tamiz N°50
- Bandejas, bol

b) Procedimiento

En la cantera de Raqchi, se observó que solo se podía extraer partículas grandes superior a los 10cm, porque las partículas más finas se encontraban contaminadas con el suelo y materia orgánica de la zona.



Figura Nro. 29 Extracción de puzolana volcánica de la cantera de Raqchi.

Se empezó con el triturado de la puzolana utilizando martillos y combas, con el fin de reducirlas a partículas más pequeñas y sean adecuadas para su molienda y facilitar el tamizado por la malla N°50.



Figura Nro. 30 Molienda de la puzolana volcánica por medios manuales y uso de la máquina de los Ángeles.

A un inicio del proceso de triturado, se realizó la molienda de la puzolana en partículas aún más finas. Para este proceso se utilizó en un inicio la máquina de los Ángeles en el que se trituró la puzolana durante 30 minutos en dos etapas de 15 minutos cada una con el uso de 12 billas. Al no obtener resultados rápidos en el triturado de la puzolana, se optó por utilizar un mortero artesanal que es utilizado por los pobladores de la comunidad de Raqchi para la molienda de la puzolana y la fabricación de artesanías. Este consistía en una piedra de gran tamaño que poseía una forma ovoide el cual se balanceaba sobre una piedra, consiguiendo una molienda más rápida y fácil.



Figura Nro. 31 Molienda y tamizado de la puzolana volcánica.

Al obtenerse la puzolana molida se tamizó por la malla N°50 y se utilizó en la combinación con la cal y lograr la estabilización del suelo arcilloso.

c) Datos obtenidos

Tabla 52 Cantidades de puzolana volcánica utilizada en los ensayos.

Ensayos	Cantidades aproximadas de puzolana volcánica pasante el tamiz N°50
Limite líquido, limite plástico y índice de plasticidad	500gr
Proctor Modificado	10kg
CBR	20kg

Fuente: Elaboración propia.



3.5.8. Ensayo capacidad de soporte del suelo CBR

En este ensayo se determinó el índice de resistencia de los suelos denominado valor de la Relación Soporte (CBR) del suelo natural, suelos natural más cal al 10% más puzolana al 15%, suelos natural más cal al 10% más puzolana al 25% y suelos natural más cal al 10% más puzolana al 30%, esto para determinar si se incrementó la resistencia del suelo con sus diferentes adiciones.

a) Instrumentos utilizados

- Probeta de 6" con disco espaciador de 151 mm. de diámetros, de 61 mm.
- Pistón usado en Proctor Modificado
- Aparato medidor de expansión (deformímetro) con una precisión de 0.025mm
- Juego de pesas de 4.54kg. y 2.27kg.
- Poza de curado y Horno
- Tamices N°04, 3/4", 2" y Balanza de presión de 0.1gr y 0.01gr
- Máquina de CBR
- Misceláneos (espátula, regla, cucharón alicate martillo, probeta de plástico, taras)

b) Procedimiento

El ensayo empezó con el tamizado de las muestras de suelo arcilloso y se separó en porcentajes de distintas cantidades de suelo y mezclas con cal y puzolana en distintas bolsas.

Una vez conseguida la cantidad de 5 kilos de material tamizado, se procedió a realizar la mezcla con los contenidos óptimo de agua que se obtuvieron en el ensayo de Proctor Modificado.

Luego se pasó a mezclar el agua, medida por una probeta, con el suelo arcilloso sin estabilizar y estabilizado con las mezclas de cal y puzolana volcánica en sus distintos porcentajes hasta lograr una mezcla uniforme entre el suelo y el agua. Luego se preparó las probetas de 6" introduciendo en el fondo el disco espaciador seguido del papel filtro. Después se vertió las muestras humedecidas a las probetas y se compactaron en 5 capas a 12, 26 y 55 golpes para cada una de las muestras.

Se procede a girar los moldes compactados y retirar el disco espaciador para colocar el juego de pesas con sus vástagos en cada uno de las probetas.



Figura Nro. 32 Combinación del suelo arcilloso adicionado con estabilizantes.

Al finalizar este procedimiento se procede a sumergir todos las probetas en la poza de agua, se empieza a realiza la medición de la hinchazón de las muestras en los siguientes intervalos de tiempo 0, 1, 2, 4, 8, 12, 24, 36, 48, 72, 96 horas respectivamente.



Figura Nro. 33 Compactado en los moldes.

Una vez terminado el tiempo de inmersión de las muestras se procede con retirar las muestras de la poza y someterlas a compresión en la máquina de CBR para lo cual se retiró el papel filtro y los vástagos. Luego se centró el dial de la máquina y se procedió con la obtención de los datos de esfuerzo y hasta una penetración de 12.70mm.



Figura Nro. 34 Medición de la deformación del suelo durante el sumergido por 96 horas.



Figura Nro. 35 Utilización de la máquina de CBR.

c) Toma de Datos

Para el ensayo de CBR se obtuvieron los siguientes datos durante la realización del ensayo de laboratorio:

Tabla 53: Determinación de los pesos para cada combinación.

Dosificación (kg)	Suelo arcilloso (kg)	Cal (kg)	Puzolana (kg)
Tipo de muestra			
Suelo arcilloso	5.00	0.00	0.00
Suelo arcilloso + cal al 10 %+ puzolana al 15%	3.75	0.50	0.75
Suelo arcilloso + cal al 10 %+ puzolana al 25%	3.25	0.5	1.25
Suelo arcilloso + cal al 10 %+ puzolana al 15%	3	0.5	1.5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 54: Detalle de moldes para suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06.

Muestra N°	1	2	3
Altura del molde	12.48 cm.	12.51 cm.	12.50 cm.
Diámetro del molde	15.3 cm.	15.4 cm.	15.4 cm.
Volumen de molde	2294.50 cm ³	2330.18 cm ³	2328.31 cm ³
Numero de golpes	55	26	12
Peso de molde	8125.00 gr	8535.00 gr	6976.40 gr
Peso de molde + suelo	12460.00 gr	12685.00 gr	10790.00 gr
Peso de molde + suelo saturado	12755.00 gr	13050.00 gr	11275.00 gr

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 55: Detalle de moldes para suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 15%.

Muestra N°	1	2	3
Altura del molde	12.48 cm.	12.51 cm.	12.49 cm.
Diámetro del molde	15.2 cm.	15.4 cm.	15.5 cm.
Volumen de molde	2264.60 cm ³	2330.18 cm ³	2356.76 cm ³
Numero de golpes	55	26	12
Peso de molde	6985.00 gr	8015.00 gr	6975.00 gr
Peso de molde + suelo	11135.00 gr	12020.00 gr	10710.00 gr
Peso de molde + suelo saturado	11440.00 gr	12400.00 gr	11180.00 gr

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56: Detalle de moldes para suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana al 25%.

Muestra N°	1	2	3
Altura del molde	12.49 cm.	12.50 cm.	12.48 cm.
Diámetro del molde	15.3 cm.	15.4 cm.	15.4 cm.
Volumen de molde	2296.33 cm ³	2328.31 cm ³	2883.88 cm ³
Numero de golpes	55	26	12
Peso de molde	7775.00 gr	7055.00 gr	6270.00 gr
Peso de molde + suelo	12335.00 gr	11220.00 gr	10090.00 gr
Peso de molde + suelo saturado	12670.00 gr	11645.00 gr	10640.00 gr

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 57: Detalle de moldes para suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana al 30%.

Muestra N°	1	2	3
Altura del molde	12.50 cm.	12.48 cm.	12.48 cm.
Diámetro del molde	15.3 cm.	15.4 cm.	15.4 cm.
Volumen de molde	2298.17 cm ³	2324.59 cm ³	2328.31 cm ³
Numero de golpes	55	26	12
Peso de molde	6610.00 gr	6480.00 gr	6475.00 gr
Peso de molde + suelo	11020.00 gr	10655.00 gr	10345.00 gr
Peso de molde + suelo saturado	11410.00 gr	11115.00 gr	10895.00 gr

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 58: Contenido de humedad suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 antes de inmersión en poza de curado.

Muestra N°	1		2		3	
Numero de golpes	55		26		12	
Lata de humedad N°	1	2	3	4	5	6
Suelo húmedo + lata	49.8 gr	41.2 gr	44.6 gr	53 gr	71.3 gr	38.7 gr
Peso de suelo seco + lata	46.2 gr	38.7 gr	41.5 gr	48.8 gr	64.9 gr	36.5 gr
Peso de lata	22 gr	21.8 gr	21 gr	21.2 gr	21.9 gr	21.6 gr

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 59: Contenido de humedad suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 15% antes de inmersión en poza de curado.

Muestra N°	1		2		3	
Numero de golpes	55		26		12	
Lata de humedad N°	1	2	3	4	5	6
Peso de suelo húmedo + lata	78.2 gr	50.1 gr	40.0 gr	55.1 gr	81.4 gr	60.8 gr
Peso de suelo seco + lata	70.8 gr	46.4 gr	37.8 gr	50.9 gr	75.6 gr	57.7 gr
Peso de lata	20.8 gr	21.5 gr	21.3 gr	21.8 gr	36.9 gr	36.5 gr

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 60: Contenido de humedad suelo arcilloso C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 25% antes de inmersión en poza de curado.

Muestra N°	1		2		3	
Numero de golpes	55		26		12	
Lata de humedad N°	1	2	3	4	5	6
Peso de suelo húmedo + lata	62.6 gr	53.0 gr	77.1 gr	77.5 gr	77.1 gr	63.0 gr
Peso de suelo seco + lata	59.5 gr	51.1 gr	72.3 gr	72.7 gr	72.3 gr	60.0 gr
Peso de lata	36.4 gr	36.5 gr	36.7 gr	36.7 gr	37.3 gr	36.7 gr

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 61: Contenido de humedad suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado cal al 10% y puzolana volcánica al 30% antes de inmersión en poza de curado.

Muestra N°	1		2		3	
Numero de golpes	55		26		12	
Lata de humedad N°	1	2	3	4	5	6
Peso de suelo húmedo + lata	59.5 gr	54.4 gr	57.9 gr	61.2 gr	58.9 gr	69.1 gr
Peso de suelo seco + lata	57.0 gr	52.7 gr	55.2 gr	57.9 gr	56.2 gr	65.0 gr
Peso de lata	36.7 gr	37.0 gr	30.7 gr	31.0 gr	31.6 gr	31.6 gr

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 62: Contenido de humedad Suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 después de inmersión en poza de curado.

Muestra N°	1		2		3	
Numero de golpes	55		26		12	
Lata de humedad N°	1	2	3	4	5	6
Peso de suelo húmedo + lata	55.1 gr	70.3 gr	74.6 gr	69.6 gr	72.3 gr	71.5 gr
Peso de suelo seco + lata	49.2 gr	63.6 gr	66.1 gr	60.5 gr	61.5 gr	59.0 gr
Peso de lata	31.0 gr	31.5 gr	32.5 gr	33.5 gr	32.1 gr	31.8 gr

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 63: Contenido de humedad suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 15% después de inmersión en poza de curado.

Muestra N°	1		2		3	
Numero de golpes	55		26		12	
Lata de humedad N°	1	2	3	4	5	6
Peso de suelo húmedo + lata	69.8 gr	71.5 gr	61.5 gr	69.7 gr	58.8 gr	35.5 gr
Peso de suelo seco + lata	62.7 gr	63.2 gr	54.6 gr	61.3 gr	53.2 gr	31.5 gr
Peso de lata	29.4 gr	31.7 gr	31.6 gr	31.7 gr	31.1 gr	11.4 gr

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 64: Contenido de humedad suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 25% después de inmersión en poza de curado

Muestra N°	1		2		3	
Numero de golpes	55		26		12	
Lata de humedad N°	1	2	3	4	5	6
Peso de suelo húmedo + lata	48.0 gr	29.1 gr	39.0 gr	33.6 gr	33.4 gr	35.2 gr
Peso de suelo seco + lata	41.4 gr	26.7 gr	33.5 gr	29.6 gr	30.2 gr	32.3 gr
Peso de lata	16.0 gr	15.7 gr	16.0 gr	15.7 gr	15.7 gr	15.9 gr

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 65: Contenido de humedad suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana al 30% después de inmersión en poza de curado.

Muestra N°	1		2		3	
Numero de golpes	55		26		12	
Lata de humedad N°	1	2	3	4	5	6
Peso de suelo húmedo + lata	35.3 gr	33.8 gr	34.6 gr	32.9 gr	31.3 gr	30.2 gr
Peso de suelo seco + lata	31.5 gr	30.7 gr	30.8 gr	29.5 gr	28.1 gr	27.7 gr
Peso de lata	15.9 gr	15.8 gr	15.9 gr	15.8 gr	15.8 gr	15.9 gr

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 66: Datos de hinchamiento de la muestra de suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 con dial de 0.001”.

Numero de golpes		55	26	12
Hora	Hora de inicio	Molde		
		1	2	3
0	9:00 a. m.	182	421	87.8
1	10:00 a. m.	187.3	451	126
2	11:00 a. m.	197	457.5	143
4	1:00 p. m.	213	468	163
8	5:00 p. m.	235	493	207
12	9:00 p. m.	264.9	509.2	254
24	9:00 a. m.	308	554	345
36	9:00 p. m.	358	612	419
48	9:00 a. m.	395	660	476
72	9:00 a. m.	437	697	510
96	9:00 a. m.	471	727	547

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 67: Datos de hinchamiento del suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 15% con dial de 0.001”.

Numero de golpes		55	26	12
Hora	Hora de inicio	Molde		
		1	2	3
0	9:00 a. m.	485.00	142.00	194.00
1	10:00 a. m.	538.50	183.00	216.00
2	11:00 a. m.	551.00	200.00	253.80
4	1:00 p. m.	565.00	218.00	288.70
8	5:00 p. m.	594.00	259.00	328.00
12	9:00 p. m.	611.00	286.00	329.00
24	9:00 a. m.	634.00	309.00	330.00
36	9:00 p. m.	650.00	318.00	330.00
48	9:00 a. m.	658.00	326.50	331.00
72	9:00 a. m.	663.20	334.00	332.00
96	9:00 a. m.	666.00	340.00	334.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 68: Datos de hinchamiento del suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 25% con dial de 0.001”.

Numero de golpes		55	26	12
Hora	Hora de inicio	Molde		
		1	2	3
0	9:00 a. m.	320.00	584.00	410.00
1	10:00 a. m.	379.00	688.00	438.00
2	11:00 a. m.	393.00	705.00	471.40
4	1:00 p. m.	407.00	759.00	481.20
8	5:00 p. m.	440.80	766.00	485.00
12	9:00 p. m.	458.00	775.00	486.00
24	9:00 a. m.	474.00	778.00	488.00
36	9:00 p. m.	485.00	780.00	488.00
48	9:00 a. m.	493.00	781.00	490.00
72	9:00 a. m.	499.50	782.00	490.00
96	9:00 a. m.	503.00	782.00	491.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 69: Datos de hinchamiento del suelo arcilloso C-05 y C-06 estabilizado cal al 10% y puzolana volcánica al 30% con dial de 0.001”.

Numero de golpes		55	26	12
Hora	Hora de inicio	Molde		
		1	2	3
0	9:00 a. m.	102.00	234.50	389.50
1	10:00 a. m.	184.00	314.50	484.00
2	11:00 a. m.	205.00	333.00	518.00
4	1:00 p. m.	222.00	351.40	531.00
8	5:00 p. m.	255.50	390.00	540.00
12	9:00 p. m.	282.00	397.00	541.00
24	9:00 a. m.	305.00	399.00	541.00
36	9:00 p. m.	305.00	399.00	541.00
48	9:00 a. m.	305.00	399.50	542.00
72	9:00 a. m.	305.00	400.00	542.00
96	9:00 a. m.	305.20	400.00	542.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 70: Datos obtenidos de la máquina de CBR del suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06.

Numero de golpes	55	26	12
Penetración (mm)	KN	KN	KN
0.000	0.0000	0.0000	0.0000
0.635	0.199	0.1000	0.0537
1.270	0.2767	0.1200	0.0613
1.905	0.39	0.1860	0.0700
2.540	0.506	0.2230	0.0815
3.175	0.587	0.2562	0.0922
3.810	0.655	0.2900	0.0990
5.080	0.776	0.3600	0.1140
7.620	0.966	0.4780	0.1420
10.167	1.198	0.5918	0.1710
12.704	1.533	0.7020	0.2432

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 71: Dato obtenido de la máquina de CBR del suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 15%.

Numero de golpes	55	26	12
Penetración (mm)	KN	KN	KN
0.000	0.0000	0.0000	0.0000
0.635	0.1600	0.1270	0.0950
1.270	0.2640	0.2130	0.1250
1.905	0.3510	0.3120	0.1590
2.540	0.4250	0.3700	0.1830
3.175	0.4752	0.4140	0.2023
3.810	0.5220	0.4660	0.2200
5.080	0.6250	0.7171	0.2635
7.620	0.7800	0.8630	0.3320
10.167	0.9146	1.0000	0.3500
12.704	1.0333	1.1270	0.3700

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 72: Dato obtenido de la máquina de CBR del suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana al 25%.

Numero de golpes	55	26	12
Penetración (mm)	KN	KN	KN
0.000	0.0000	0.0000	0.0000
0.635	0.3276	0.3132	0.1512
1.270	0.4992	0.4800	0.2172
1.905	0.6708	0.6378	0.2616
2.540	0.8052	0.7636	0.3005
3.175	0.9204	0.8802	0.3397
3.810	1.0428	0.9852	0.3720
5.080	1.2216	1.1683	0.4254
7.620	1.4246	1.3602	0.5256
10.167	1.6794	1.5312	0.6060
12.704	1.9356	1.6920	0.6828

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 73: Dato obtenido de la máquina de CBR del suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 25%.

Numero de golpes	55	26	12
Penetración (mm)	KN	KN	KN
0.000	0.0000	0.0000	0.0000
0.635	0.2976	0.3024	0.1296
1.270	0.5280	0.4596	0.2136
1.905	0.7368	0.6000	0.2796
2.540	0.9576	0.7464	0.3288
3.175	1.1820	0.8616	0.3660
3.810	1.3980	0.9492	0.4188
5.080	1.6812	1.1088	0.5196
7.620	2.0652	1.5012	0.6924
10.167	2.3652	1.7340	0.8628
12.704	2.6388	1.9752	1.0092

Fuente: Elaboración propia.

3.5.9. Ensayo para la determinación del Potencial de Hidrogeno (PH)

Este ensayo ayudar a determinar qué tan buena fue la reacción química que se tuvo al realizar las mezclas del suelo arcilloso con la cal y la puzolana volcánica.

a) Equipos

- Ph-metro
- Matraz
- Embudo de vidrio
- Vaso precipitado
- Pizeta, papel filtro
- Balanza de precisión 0.001gr

b) Procedimiento

Para determinar el PH del suelo, se preparó 20gr de suelo tanto natural como la combinación de cal 10% y puzolana volcánica con 15, 25 y 30%. Luego se colocaron en vasos precipitados el suelo arcilloso y estabilizado a los que se añadió 40ml de agua destilada y se removió durante 1 minuto hasta que se logró una mezcla uniforme, luego se dejó reposar por 5 minutos, este procedimiento se repitió por cinco veces para cada una de las mezclas.

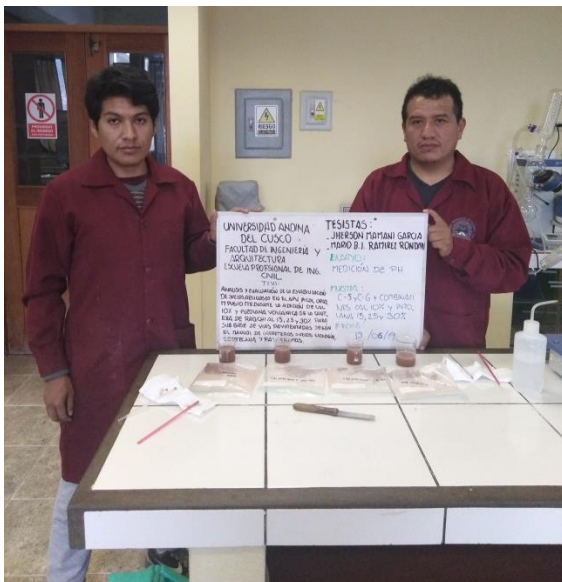


Figura Nro. 36 Materiales necesarios para el ensayo de PH.

Luego de realizar este procedimiento se colocó papeles filtros en los embudos de vidrio para destilar las combinaciones de los matraces y filtrar el agua, después de esto se utilizó el PH-metro el cual antes se calibró utilizando una solución neutra, luego se introdujo a los vasos precipitados para obtener las lecturas del PH de cada muestra.



Figura Nro. 37 Lecturas del Ph-metro.

c) Datos obtenidos

Tabla 74: Resultados del ensayo de Ph.

		Lecturas de Ph-metro
Tipos de estabilización	Suelo arcilloso natural	7.3
	Suelo arcilloso más cal 10% y puzolana volcánica 15%	7.5
	Suelo arcilloso más cal 10% y puzolana volcánica 25%	8.5
	Suelo arcilloso más cal 10% y puzolana volcánica 30%	9.5

Fuente: Elaboración propia.

3.6. Procedimiento de análisis de datos

3.6.1. Análisis de datos obtenidos en el ensayo de contenido de humedad

a) Procesamiento

Para determinar los contenidos de humedad se utilizó la siguiente formula:

$$w = \frac{W_w}{W_s} 100 \text{ por ciento}$$

- Donde W_w está dado por el peso del agua y W_s es el peso del suelo seco y w el contenido de humedad en porcentajes.
- Primero determinamos el peso del agua por cada calicata y tara que se puso al horno la cual fue dada en gramos.

Tabla 75: Determinación del peso del agua por tara para cada calicata.

CALICATA	MUESTRA	Peso de recipiente (gr)	Peso de la muestra húmeda + recipiente (gr)	Peso de suelo seco + recipiente (gr)	Peso del agua (gr)
C-01	TARA 1	16.00	34.10	31.90	2.20
	TARA 2	15.80	31.60	29.60	2.00
C-02	TARA 3	16.00	34.80	31.80	3.00
	TARA 4	15.90	31.00	28.30	2.70
C-03	TARA 5	16.10	32.80	30.90	1.90
	TARA 6	16.00	32.80	30.70	2.10
C-04	TARA 7	15.70	36.70	34.10	2.60
	TARA 8	15.80	36.30	33.50	2.80
C-05	TARA 9	49.20	82.80	81.10	1.70
	TARA 10	16.00	41.70	40.30	1.40
C-06	TARA 11	15.70	36.80	35.90	0.90
	TARA 12	15.90	33.60	32.60	1.00

Fuente: Elaboración propia.

Luego se determinó el peso del suelo seco, también para cada calicata y tara las cuales eran 12 también dadas en gramos.

Tabla 76: Determinación del peso del suelo seco de cada tara para cada calicata.

CALICATA	MUESTRA	Peso de recipiente (gr)	Peso de la muestra húmeda + recipiente (gr)	Peso de suelo seco + recipiente (gr)	Peso del agua (gr)	Peso de suelo seco (gr)
C-01	TARA 1	16.00	34.10	31.90	2.20	15.90
	TARA 2	15.80	31.60	29.60	2.00	13.80
C-02	TARA 3	16.00	34.80	31.80	3.00	15.80
	TARA 4	15.90	31.00	28.30	2.70	12.40
C-03	TARA 5	16.10	32.80	30.90	1.90	14.80
	TARA 6	16.00	32.80	30.70	2.10	14.70
C-04	TARA 7	15.70	36.70	34.10	2.60	18.40
	TARA 8	15.80	36.30	33.50	2.80	17.70
C-05	TARA 9	49.20	82.80	81.10	1.70	31.90
	TARA 10	16.00	41.70	40.30	1.40	24.30
C-06	TARA 11	15.70	36.80	35.90	0.90	20.20
	TARA 12	15.90	33.60	32.60	1.00	16.70

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se determinó los contenidos de humedad para cada tara y obteniéndose un promedio para cada calicata.

Tabla 77: Determinación de los contenidos de humedad por calicata.

CALICATA	MUESTRA	Peso del agua (gr)	Peso de suelo seco (gr)	HUMEDAD %	HUMEDAD NATURAL PROMEDIO %
C-01	TARA 1	2.20	15.90	13.84%	14.16%
	TARA 2	2.00	13.80	14.49%	
C-02	TARA 3	3.00	15.80	18.99%	20.38%
	TARA 4	2.70	12.40	21.77%	
C-03	TARA 5	1.90	14.80	12.84%	13.56%
	TARA 6	2.10	14.70	14.29%	
C-04	TARA 7	2.60	18.40	14.13%	14.97%
	TARA 8	2.80	17.70	15.82%	
C-05	TARA 9	1.70	31.90	5.33%	5.55%
	TARA 10	1.40	24.30	5.76%	
C-06	TARA 11	0.90	20.20	4.46%	5.22%
	TARA 12	1.00	16.70	5.99%	

Fuente: Elaboración propia.

b) Diagramas y tablas

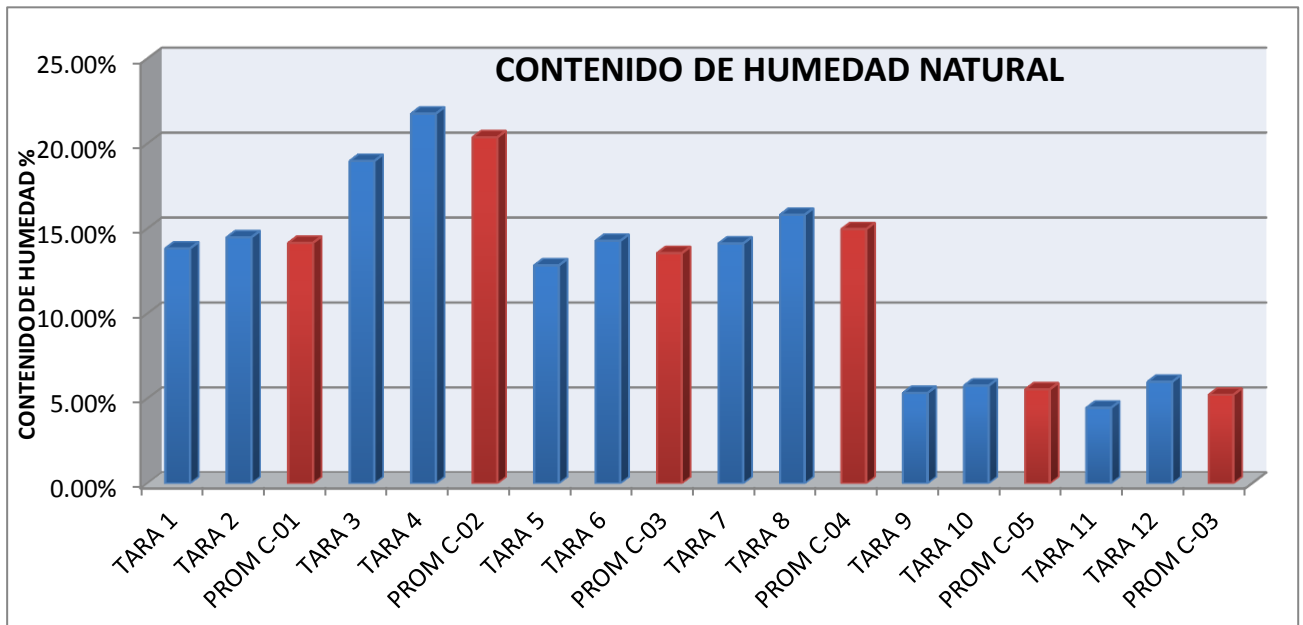


Figura Nro. 38 Contenidos de humedad por cada tara y calicata.

Comentario: se muestra los porcentajes de humedad del suelo natural para cada calicata y su promedio, de acuerdo a los datos obtenidos en la tabla 75.



c) Análisis de la prueba

Se observa en el gráfico y resultados de los cálculos que se hicieron en las tablas que la calicata C-02 posee el contenido de humedad más alto, seguidas por la calicata C-04, C-03 y C-01 que poseen una humedad parecida y las calicatas C-05 y C-06 poseían una humedad baja.

3.6.2. Análisis de datos obtenidos en el ensayo de análisis granulométrico

a) Procesamiento

Se determinó los porcentajes totales que pasan por todas las mallas de la serie de tamices utilizada para la granulometría del suelo en estudio, el cual se determinó restando en un inicio el porcentaje retenido parcial menos el total y luego restándose consecutivamente con la malla siguiente hasta la N°200.

$$\text{Retenido parcial} = \frac{\text{Peso retenido parcial}}{\text{Peso total}} 100 \text{ por ciento}$$

Se determinó el porcentaje de gruesos el cual fue la suma de los porcentajes retenidos en el tamiz N°4 y pasa el tamiz N°4 y se retiene en el tamiz N°200.

Se determinó el porcentaje de finos dado por todo el porcentaje que pasa el tamiz N°200.

Se determinó el porcentaje de Gravas sumando los porcentajes retenidos en los tamices 3/8" más los retenidos en el tamiz N°4.

Se determinó el porcentaje de arena dado por lo pasante el tamiz N°4 y retenido en el tamiz N°200.

Para determinar los porcentajes que pasan las mallas N°10 y N°40 porque no se tenían en la serie de tamices utilizados, que se utilizaran en la clasificación de suelos se tuvo que interpolar estos tamices.

En todos los casos de la granulometría no se presentará el coeficiente de uniformidad C_u y coeficiente de curvatura C_c , porque más del 12% pasa el tamiz N°200.

b) Diagramas y tablas

Tabla 78: Análisis granulométrico de la calicata C-01.

TAMICES	DIAMETROS (mm)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
3/8"	9.500	0.13%	0.13%	99.87%	PESO DE LA MUESTRA	
N° 4	4.750	0.31%	0.43%	99.57%	PESO TOTAL SECO (gr)	2000.00
N° 8	2.360	0.29%	0.72%	99.28%	PESO DESPUES DE LAVAR (gr)	838.80
N° 16	1.180	0.39%	1.11%	98.89%	PERDIDA POR LAVADO (gr)	1161.20
N° 30	0.600	0.54%	1.65%	98.35%	DATOS GENERALES	
N° 50	0.300	1.65%	3.30%	96.70%	% de Gruesos	40.34%
N° 100	0.150	14.49%	17.79%	82.21%	% de Finos	59.66%
N° 200	0.075	22.55%	40.34%	59.66%	Total	100.00%
CAZUELA		1.60%			Fraciones de Grava, Arena, Finos	
SUB TOTAL					% de Grava (Ret. Tamiz N° 4)	0.43%
LAVADO		58.06%			% de Arena (Pasa N° 4 y Ret. N° 200)	39.91%
TOTAL		100.00%			% de Finos (Pasa Tamiz N° 200)	59.66%
					% que pasa el tamiz N° 10	99.04%
					% que pasa el tamiz N° 40	97.38%
					% que pasa el tamiz N° 200	59.66%

Fuente: Elaboración propia.

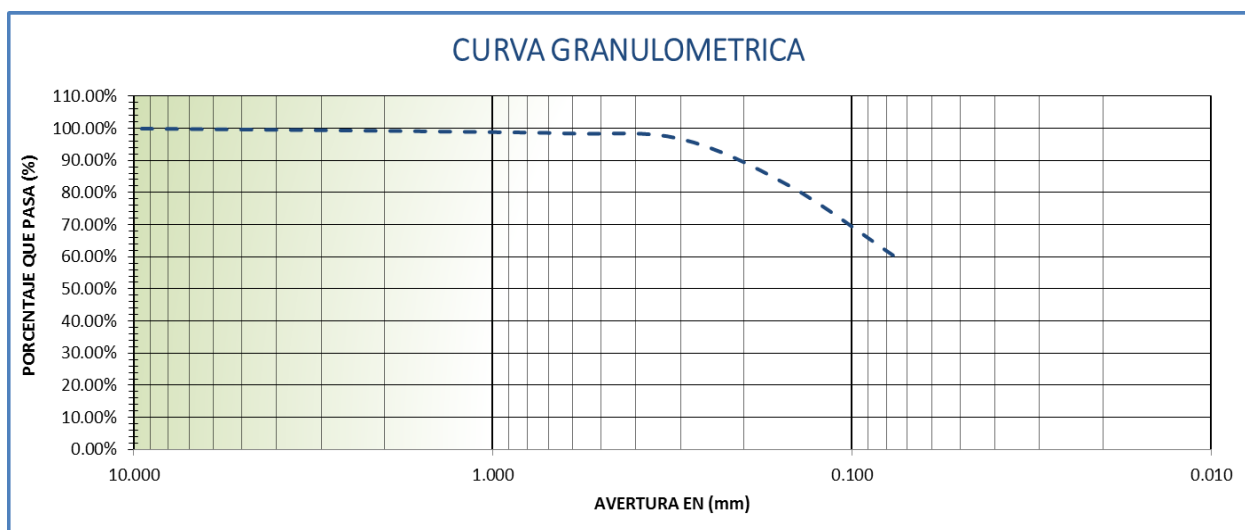


Figura Nro. 39 Curva granulométrica de la calicata C-01.

Tabla 79: Análisis granulométrico C-02.

TAMICES	DIAMETROS (mm)	% RETENIDO O PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
3/8"	9.500	0.12%	0.12%	99.88%	PESO DE LA MUESTRA	
N° 4	4.750	0.31%	0.43%	99.57%	PESO TOTAL SECO (gr)	2000.00
N° 8	2.360	0.28%	0.71%	99.29%	PESO DESPUES DE LAVAR (gr)	856.50
N° 16	1.180	0.38%	1.08%	98.92%	PERDIDA POR LAVADO (gr)	1143.50
N° 30	0.600	0.52%	1.60%	98.40%	DATOS GENERALES	
N° 50	0.300	1.59%	3.19%	96.81%	% de Gruesos	40.81%
N° 100	0.150	14.73%	17.92%	82.08%	% de Finos	59.19%
N° 200	0.075	22.89%	40.81%	59.19%	Total	100.00%
CAZUELA		2.02%			Fracciones de Grava, Arena, Finos	
SUB TOTAL					% de Grava (Ret. Tamiz N° 4)	0.43%
LAVADO		57.18%			% de Arena (Pasa N° 4 y Ret. N° 200)	40.38%
TOTAL		100.00%			% de Finos (Pasa Tamiz N° 200)	59.19%
					% que pasa el tamiz N° 10	99.07%
					% que pasa el tamiz N° 40	97.47%
					% que pasa el tamiz N° 200	59.19%

Fuente: Elaboración propia.

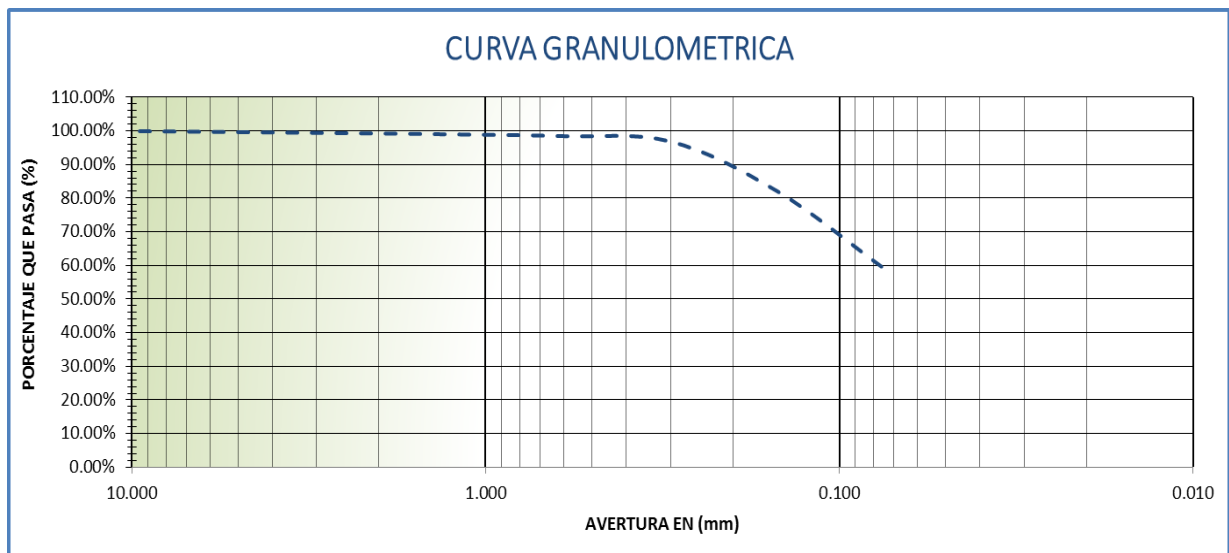


Figura Nro. 40 Curva granulométrica de la calicata C-02.

Tabla 80: Análisis granulométrico C-03.

TAMICES	DIAMETROS (mm)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
3/8"	9.500	0.25%	0.25%	99.75%	PESO DE LA MUESTRA	
N° 4	4.750	0.30%	0.55%	99.46%	PESO TOTAL SECO (gr)	2000.00
N° 8	2.360	0.43%	0.97%	99.03%	PESO DESPUES DE LAVAR (gr)	852.70
N° 16	1.180	0.54%	1.52%	98.49%	PERDIDA POR LAVADO (gr)	1147.30
N° 30	0.600	0.62%	2.13%	97.87%	DATOS GENERALES	
N° 50	0.300	1.90%	4.03%	95.98%	% de Gruesos	41.22%
N° 100	0.150	11.74%	15.76%	84.24%	% de Finos	58.79%
N° 200	0.075	25.46%	41.22%	58.79%	Total	100.00%
CAZUELA		1.42%			Fracciones de Grava, Arena, Finos	
SUB TOTAL					% de Grava (Ret. Tamiz N° 4)	0.55%
LAVADO		57.37%			% de Arena (Pasa N° 4 y Ret. N° 200)	40.67%
TOTAL		100.00%			% de Finos (Pasa Tamiz N° 200)	58.79%
					% que pasa el tamiz N° 10	98.71%
					% que pasa el tamiz N° 40	96.76%
					% que pasa el tamiz N° 200	58.79%

Fuente: Elaboración propia.

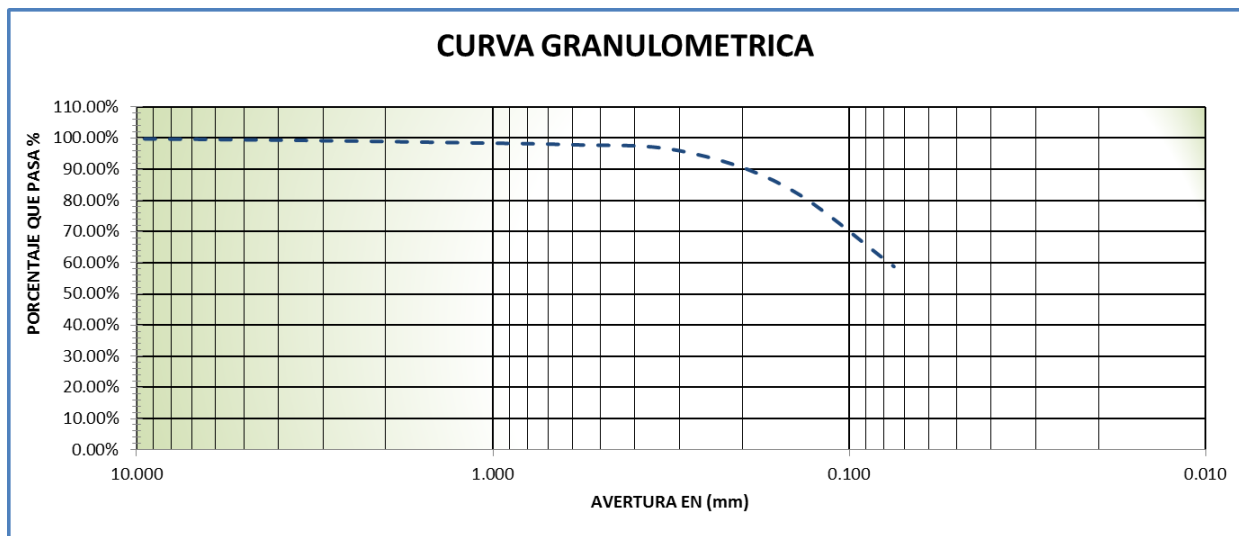


Figura Nro. 41 Curva granulométrica de la calicata C-03.

Tabla 81: Análisis granulométrico C-04.

TAMICES	DIAMETROS (mm)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
3/8"	9.500	0.21%	0.21%	99.80%	PESO DE LA MUESTRA	
N° 4	4.750	0.28%	0.49%	99.52%	PESO TOTAL SECO (gr)	2000.00
N° 8	2.360	0.41%	0.89%	99.11%	PESO DESPUES DE LAVAR (gr)	860.00
N° 16	1.180	0.57%	1.46%	98.54%	PERDIDA POR LAVADO (gr)	1140.00
N° 30	0.600	0.60%	2.06%	97.94%	DATOS GENERALES	
N° 50	0.300	2.02%	4.08%	95.92%	% de Guesos	41.72%
N° 100	0.150	12.07%	16.15%	83.85%	% de Finos	58.28%
N° 200	0.075	25.57%	41.72%	58.28%	Total	100.00%
CAZUELA		1.28%			Fraciones de Grava, Arena, Finos	
SUB TOTAL					% de Grava (Ret. Tamiz N° 4)	0.49%
LAVADO		57.00%			% de Arena (Pasa N° 4 y Ret. N° 200)	41.24%
TOTAL		100.00%			% de Finos (Pasa Tamiz N° 200)	58.28%
					% que pasa el tamiz N° 10	98.76%
					% que pasa el tamiz N° 40	96.76%
					% que pasa el tamiz N° 200	58.28%

Fuente: Elaboración propia.

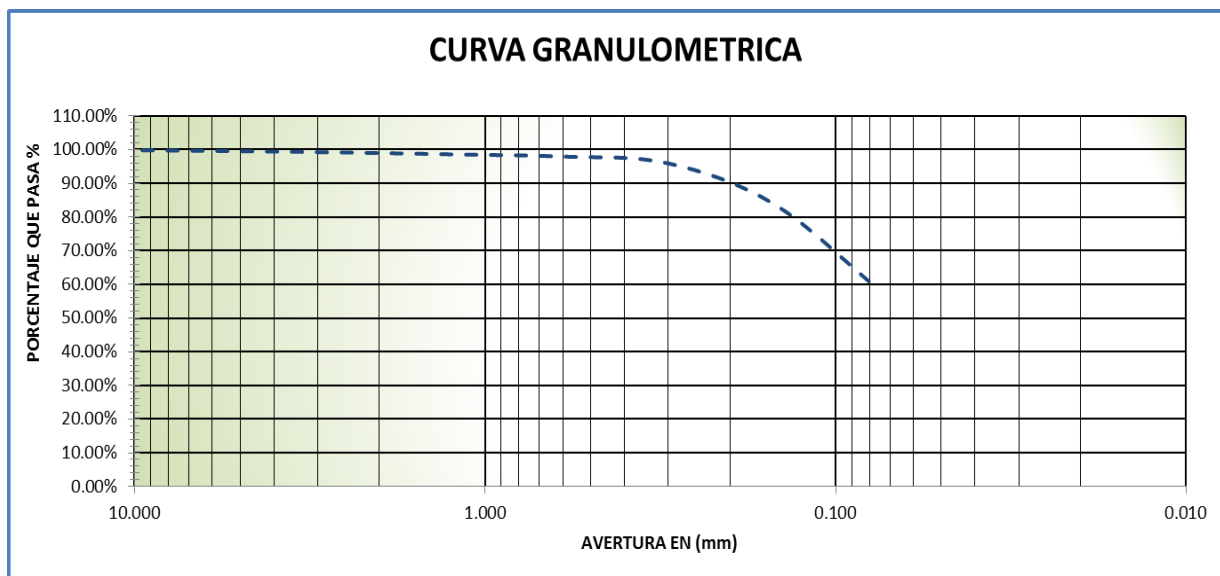


Figura Nro. 42 Curva granulométrica de la calicata C-04.

Tabla 82: Análisis granulométrico C-05.

TAMICES	DIAMETROS (mm)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
3/8"	9.500	0.01%	0.01%	100.00%	PESO DE LA MUESTRA	
N° 4	4.750	0.47%	0.47%	99.53%	PESO TOTAL SECO (gr)	2000.00
N° 8	2.360	0.19%	0.66%	99.34%	PESO DESPUES DE LAVAR (gr)	167.70
N° 16	1.180	0.12%	0.78%	99.23%	PERDIDA POR LAVADO (gr)	1832.30
N° 30	0.600	0.14%	0.91%	99.09%	DATOS GENERALES	
N° 50	0.300	0.41%	1.32%	98.69%	% de Gruesos	7.99%
N° 100	0.150	2.11%	3.43%	96.58%	% de Finos	92.02%
N° 200	0.075	4.56%	7.99%	92.02%	Total	100.00%
CAZUELA		0.40%			Fracciones de Grava, Arena, Finos	
SUB TOTAL					% de Grava (Ret. Tamiz N° 4)	0.47%
LAVADO		91.62%			% de Arena (Pasa N° 4 y Ret. N° 200)	7.52%
TOTAL		100.00%			% de Finos (Pasa Tamiz N° 200)	92.02%
					% que pasa el tamiz N° 10	99.30%
					% que pasa el tamiz N° 40	98.85%
					% que pasa el tamiz N° 200	92.02%

Fuente: Elaboración propia.

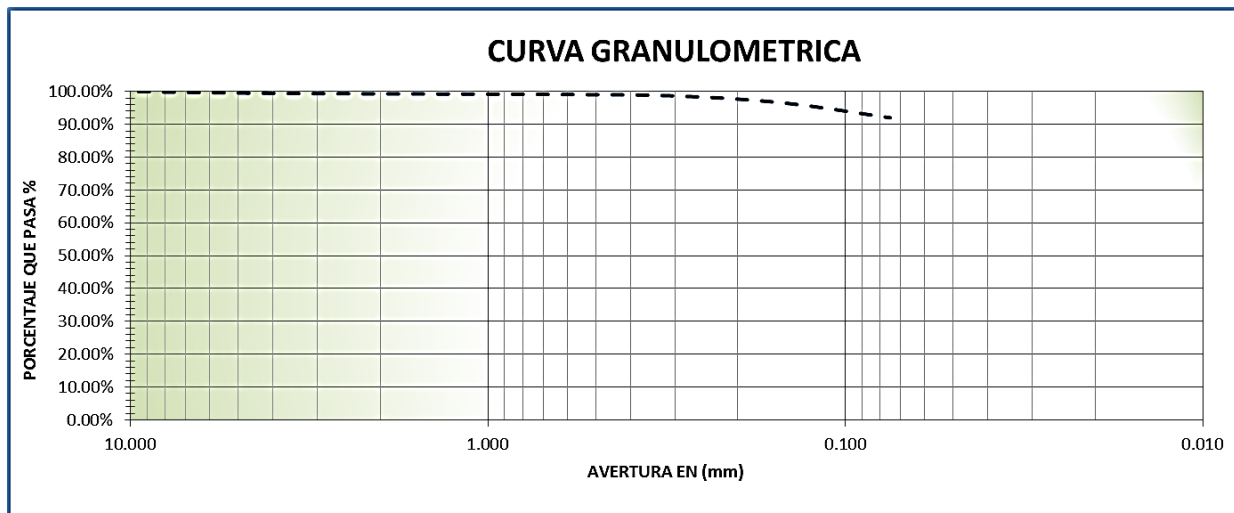


Figura Nro. 43 Curva granulométrica de la calicata C-05.

Tabla 83: Análisis granulométrico C-06.

TAMICES	DIAMETROS (mm)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
3/8"	9.500	0.03%	0.03%	99.97%	PESO DE LA MUESTRA	
N° 4	4.750	0.48%	0.50%	99.50%	PESO TOTAL SECO (gr)	2000.00
N° 8	2.360	0.22%	0.72%	99.28%	PESO DESPUES DE LAVAR (gr)	178.60
N° 16	1.180	0.14%	0.87%	99.14%	PERDIDA POR LAVADO (gr)	1821.40
N° 30	0.600	0.15%	1.01%	98.99%	DATOS GENERALES	
N° 50	0.300	0.44%	1.45%	98.55%	% de Gruesos	8.40%
N° 100	0.150	2.21%	3.66%	96.34%	% de Finos	91.60%
N° 200	0.075	4.74%	8.40%	91.60%	Total	100.00%
CAZUELA		0.53%			Fracciones de Grava, Arena, Finos	
SUB TOTAL					% de Grava (Ret. Tamiz N° 4)	0.50%
LAVADO		91.07%			% de Arena (Pasa N° 4 y Ret. N° 200)	7.90%
TOTAL		100.00%			% de Finos (Pasa Tamiz N° 200)	91.60%
					% que pasa el tamiz N° 10	99.22%
					% que pasa el tamiz N° 40	98.73%
					% que pasa el tamiz N° 200	91.60%

Fuente: Elaboración propia.

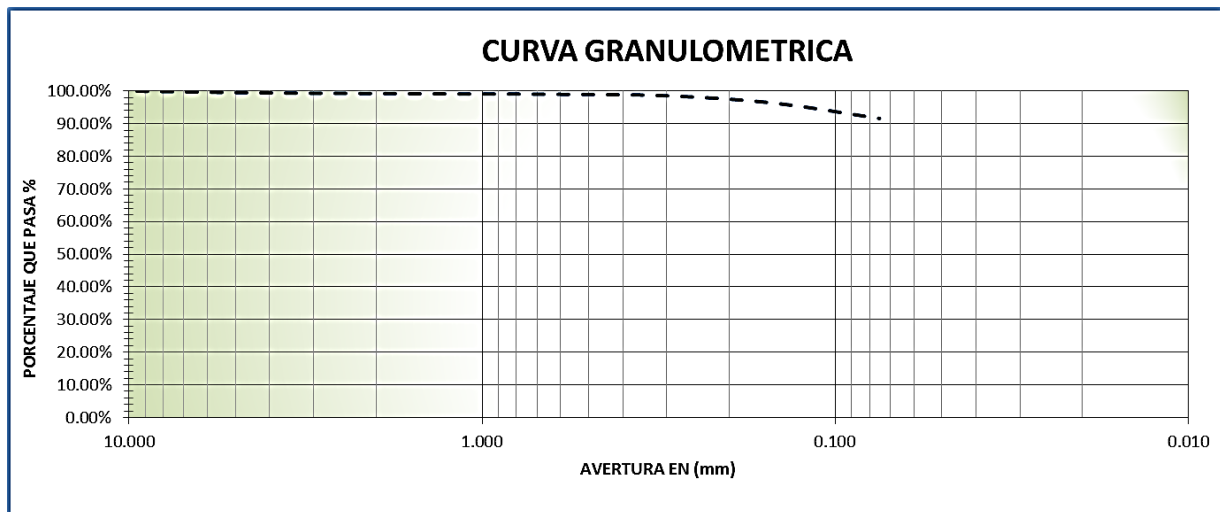


Figura Nro. 44 Curva granulométrica de la calicata C-06.

c) Análisis de la prueba

Se observa que al procesar los datos las C-01, C-02, C-03 y C-04 poseen similar granulometría a diferencia de la C-05 y C-06 las cuales poseen diferente granulometría, pero todos los suelos analizados son muy finos porque en todos los casos más del 50% del suelo pasa el tamiz N°200 y en las calicatas C-05 y C-06 pasa más del 90% del material el tamiz N°200.



En todas las calicatas la mayor parte del material se perdió en el proceso de lavado por el tamiz N°200 de lavado, quedando menos del 50% del peso inicial.

3.6.3. Análisis de datos del ensayo límite líquido

a) Procesamiento

Se obtuvieron los contenidos de humedad a partir de los pesos de las taras más suelo seco y húmedo.

Luego se realizó una gráfica en función de los contenidos de humedad y los números de golpes, para determinar la humedad a los 25 golpes vimos conveniente utilizar la fórmula de la recta y tabular el valor de humedad para los 25 golpes, el resultado de esto sería el límite líquido de todas las calicatas y del suelo estabilizado con cal y puzolana volcánica.

b) Diagrama y tablas

Para las calicatas C-01 y C-02 se determinó que estas no poseían límite líquido, porque a pesar de que más del 50% del suelo pasa el tamiz N°200, no se consiguió realizar el ensayo con la cuchara de Casagrande y determinar el límite líquido concluyendo que este suelo no era plástico ya que poseía bastante arena.

Tabla 84: Análisis de los datos del límite líquido C-03.

TARA	1	2	3	4
PESO HUMEDO DE SUELO MAS TARA (gr)	42.40	40.80	34.60	38.50
PESO SUELO SECO MAS TARA (gr)	38.30	37.30	32.10	35.50
PESO TARA (gr)	21.70	22.00	21.90	21.90
PESO SUELO SECO (gr)	16.60	15.30	10.20	13.60
PESO AGUA (gr)	4.10	3.50	2.50	3.00
CONTENIDO DE HUMEDAD %	24.70%	22.88%	24.51%	22.06%
NUMERO DE GOLPES	15.00	29.00	21.00	32.00

Fuente: Elaboración propia.

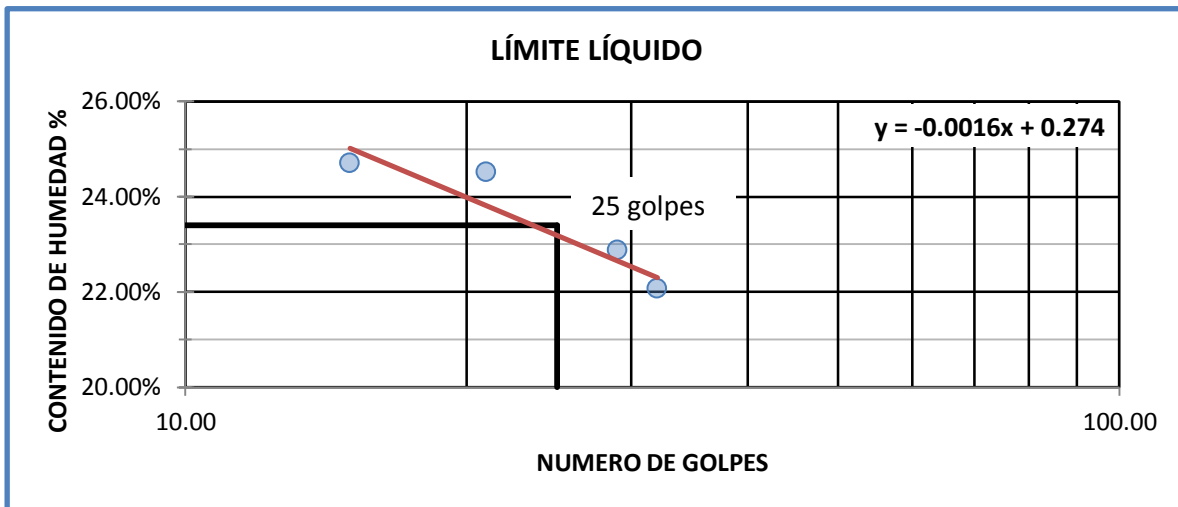


Figura Nro. 45 Grafico límite líquido C-03.

Ecuación: $y = -0.0016x + 0.274$

Límite líquido (humedad a los 25 golpes) = 23.4%

Tabla 85: Análisis de los datos del límite líquido C-04.

TARA	1	2	3	4
PESO HUMEDO DE SUELO MAS TARA (gr)	41.30	39.00	33.50	36.40
PESO SUELO SECO MAS TARA (gr)	37.40	36.20	31.20	34.30
PESO TARA (gr)	21.60	22.10	22.00	21.90
PESO SUELO SECO (gr)	15.80	14.10	9.20	12.40
PESO AGUA (gr)	3.90	2.80	2.30	2.10
CONTENIDO DE HUMEDAD %	24.68%	19.86%	25.00%	16.94%
NUMERO DE GOLPES	16.00	28.00	22.00	33.00

Fuente: Elaboración propia.

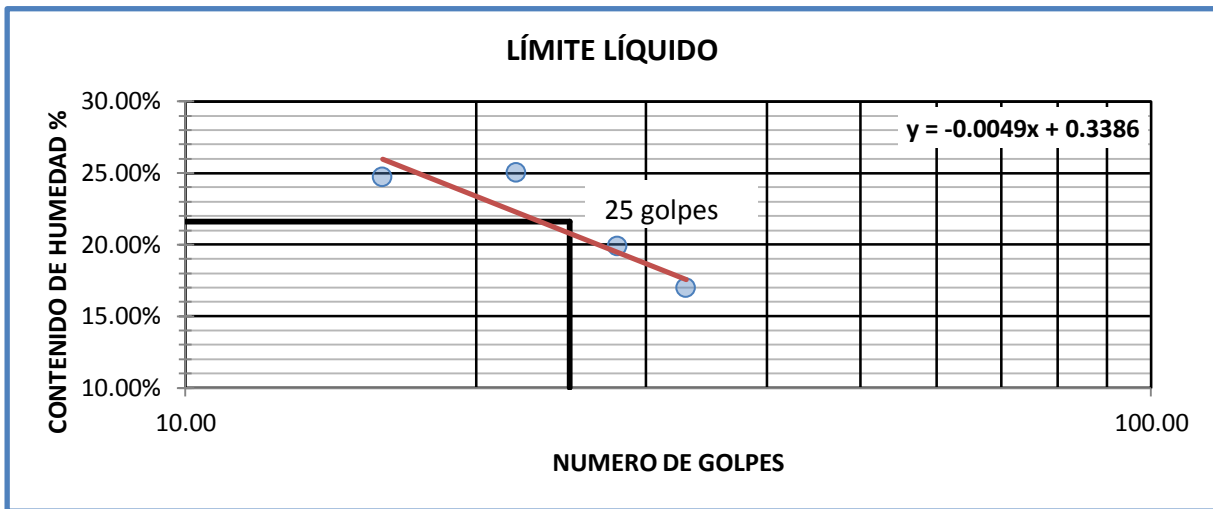


Figura Nro. 46 Grafico límite líquido C-04.

Ecuación: $y = -0.0049x + 0.3386$

Límite líquido (humedad a los 25 golpes) = 23.4%

Tabla 86: Análisis de los datos del límite líquido C-05.

TARA	1	2	3	4
PESO HUMEDO DE SUELO MAS TARA (gr)	23.20	24.90	24.20	25.00
PESO SUELO SECO MAS TARA (gr)	20.90	21.80	21.10	21.90
PESO TARA (gr)	15.90	16.00	16.10	16.00
PESO SUELO SECO (gr)	5.00	5.80	5.00	5.90
PESO AGUA (gr)	2.30	3.10	3.10	3.10
CONTENIDO DE HUMEDAD %	46.00%	53.45%	62.00%	52.54%
NUMERO DE GOLPES	40.00	20.00	15.00	21.00

Fuente: Elaboración propia.

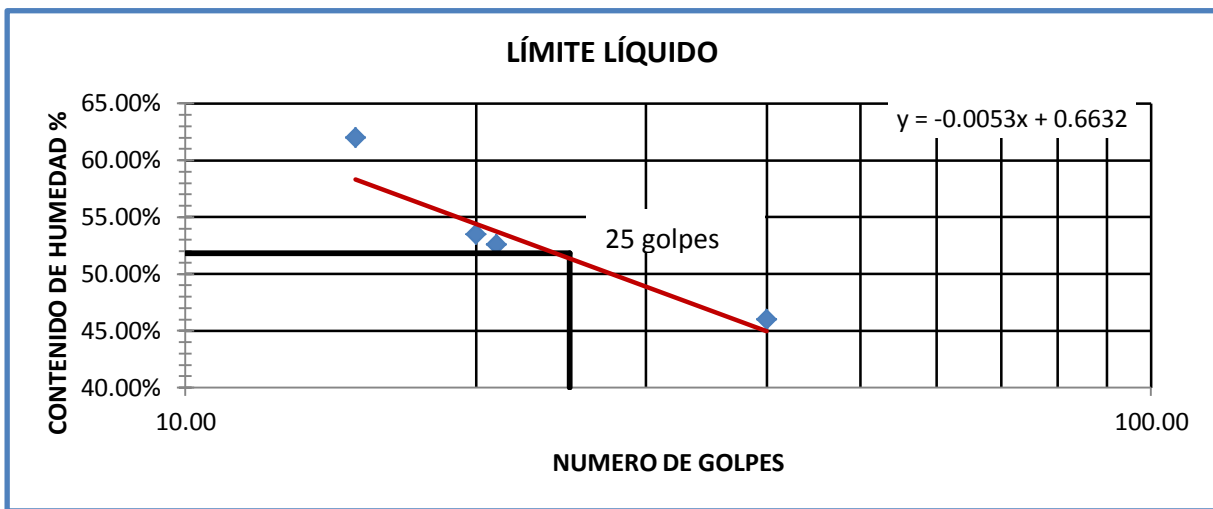


Figura Nro. 47 Grafico límite líquido C-05.

Ecuación: $y = -0.0053x + 0.6632$

Límite líquido (humedad a los 25 golpes)=51.82%

Tabla 87: Análisis de los datos del límite líquido C-06.

TARA	1	2	3	4
PESO HUMEDO DE SUELO MAS TARA (gr)	23.10	24.70	24.30	25.20
PESO SUELO SECO MAS TARA (gr)	20.70	21.50	21.10	21.70
PESO TARA (gr)	16.00	15.90	16.10	16.10
PESO SUELO SECO (gr)	4.70	5.60	5.00	5.60
PESO AGUA (gr)	2.40	3.20	3.20	3.50
CONTENIDO DE HUMEDAD %	51.06%	57.14%	64.00%	62.50%
NUMERO DE GOLPES	40.00	20.00	15.00	21.00

Fuente: Elaboración propia.

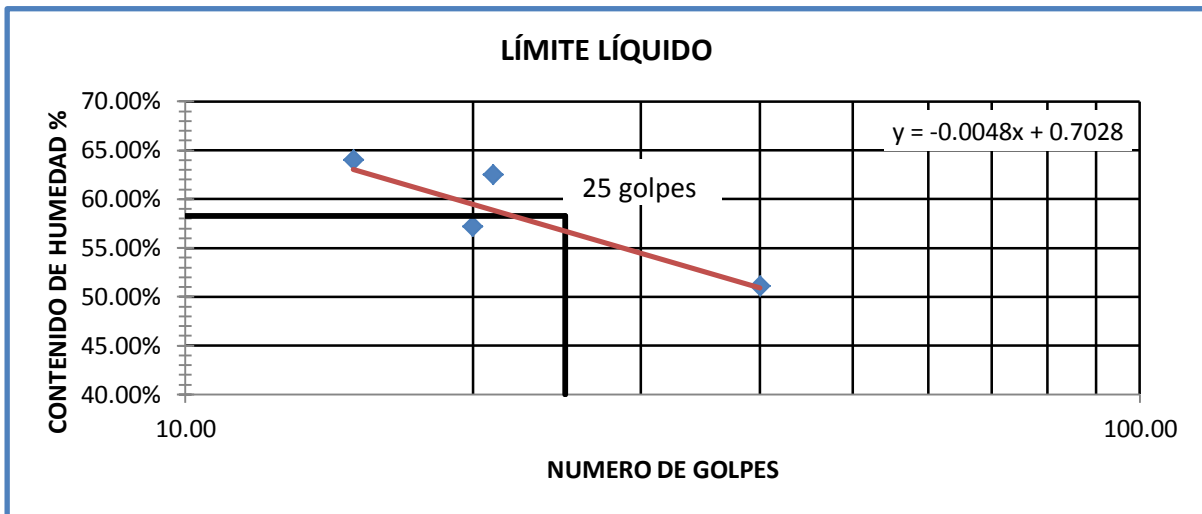


Figura Nro. 48 Grafico límite líquido C-06.

Ecuación: $y = -0.0048x + 0.7028$

Límite líquido (humedad a los 25 golpes) = 58.28%

Tabla 88: Análisis de los datos del límite líquido C-05 y C-06 adicionado con cal 10% y puzolana volcánica 15%.

TARA	1	2	3
PESO HUMEDO DE SUELO MAS TARA (gr)	27.90	33.20	32.10
PESO SUELO SECO MAS TARA (gr)	26.10	30.10	29.10
PESO TARA (gr)	21.60	21.90	20.90
PESO SUELO SECO (gr)	4.50	8.20	8.20
PESO AGUA (gr)	1.80	3.10	3.00
CONTENIDO DE HUMEDAD %	40.00%	37.80%	36.59%
NUMERO DE GOLPES	17.00	23.00	37.00

Fuente: Elaboración propia.

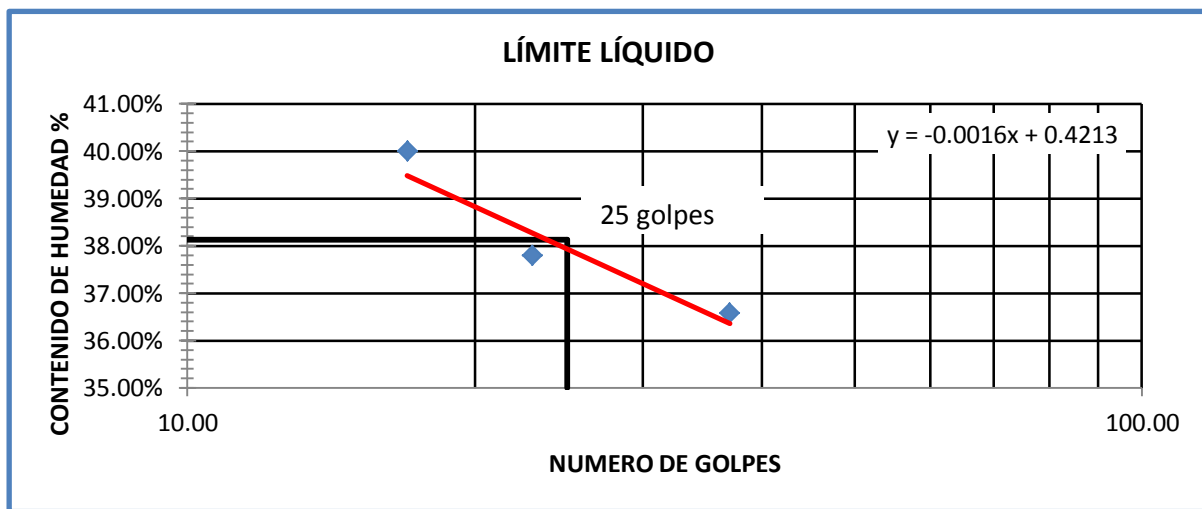


Figura Nro. 49 Grafico límite líquido C-05 y C-06 adicionado con cal 10% y puzolana volcánica 15%.

Ecuación: $y = -0.0016x + 0.4213$

Límite líquido (humedad a los 25 golpes) = 38.13%

Tabla 89: Análisis de los datos del límite líquido C-05 y C-06 adicionado con cal 10% y puzolana volcánica 25%.

TARA	1	2	3	4
PESO HUMEDO DE SUELO MAS TARA (gr)	48.70	49.80	46.30	46.30
PESO SUELO SECO MAS TARA (gr)	45.10	46.30	43.80	43.90
PESO TARA (gr)	36.90	37.10	36.80	37.00
PESO SUELO SECO (gr)	8.20	9.20	7.00	6.90
PESO AGUA (gr)	3.60	3.50	2.50	2.40
CONTENIDO DE HUMEDAD %	43.90%	38.04%	35.71%	34.78%
NUMERO DE GOLPES	13.00	24.00	27.00	37.00

Fuente: Elaboración propia.

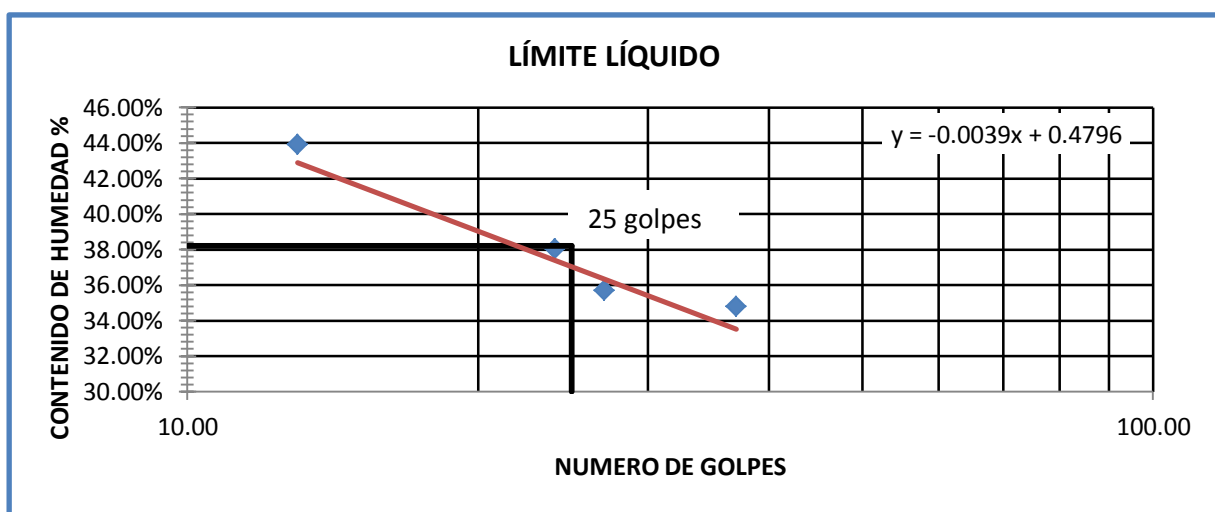


Figura Nro. 50 Grafico límite líquido C-05 y C-06 adicionado con cal 10% y puzolana volcánica 25%.

Ecuación: $y = -0.0039x + 0.4796$

Límite líquido (humedad a los 25 golpes) = 38.21%

Tabla 90: Análisis de los datos del límite líquido C-05 y C-06 adicionado con cal 10% y puzolana volcánica 30%.

TARA	1	2	3	4
PESO HUMEDO DE SUELO MAS TARA (gr)	26.40	53.20	52.50	27.70
PESO SUELO SECO MAS TARA (gr)	23.30	48.50	48.40	24.70
PESO TARA (gr)	16.10	37.00	37.40	15.90
PESO SUELO SECO (gr)	7.20	11.50	11.00	8.80
PESO AGUA (gr)	3.10	4.70	4.10	3.00
CONTENIDO DE HUMEDAD %	43.06%	40.87%	37.27%	34.09%
NUMERO DE GOLPES	14.00	26.00	29.00	38.00

Fuente: Elaboración propia.

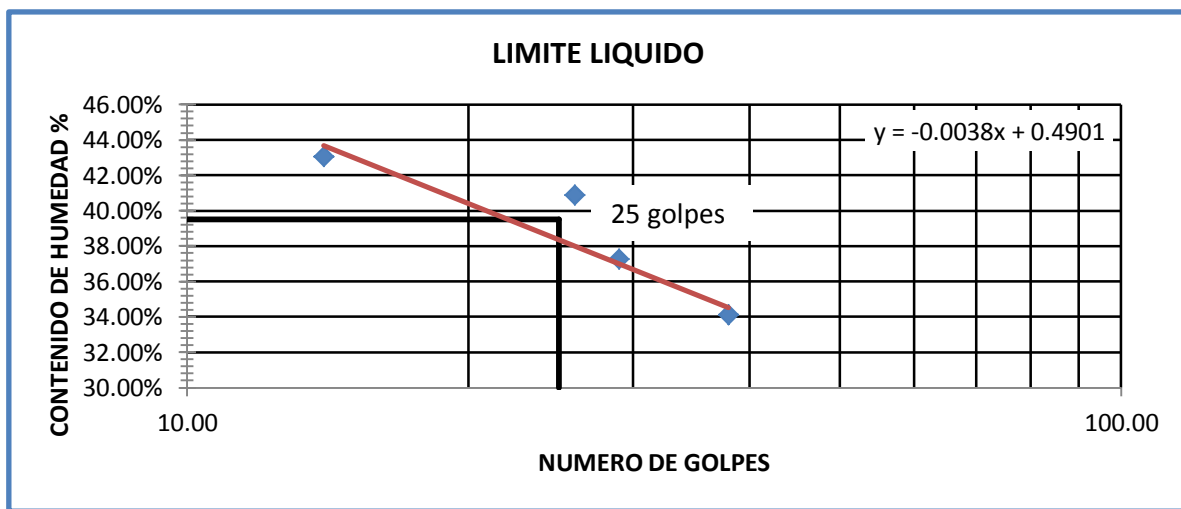


Figura Nro. 51 Grafico límite líquido C-05 y C-06 adicionado con cal 10% y puzolana volcánica 30%.

Ecuación: $y = -0.0038x + 0.4901$

Límite líquido (humedad a los 25 golpes) = 39.51%

c) Análisis de la prueba

Se obtuvo que las calicatas C-03 y C-04 poseen un límite líquido bajo, en cambio en las calicatas C-05 y C-06 se obtuvieron límites líquidos altos por lo que se decidió estabilizar el suelo más crítico en este caso la de la calicata C-05 y C-06 porque poseen límites líquidos similares, luego se obtuvo que el límite líquido bajo en un 20% a diferencia del suelo arcilloso y este porcentaje de disminución se mantiene con todas las mezclas de cal y puzolana.

3.6.4. Análisis de datos del ensayo límite plástico

a) Procesamiento

Se procesó los datos del ensayo tan solo calculando el contenido de humedad de la misma forma que se hizo en el ensayo de contenido de humedad, luego se determinó el contenido de humedad promedio el cual resulta el límite plástico.

b) Diagramas y tablas

Para las calicatas C-01 y –C-02 no se determinó el límite plástico porque el ensayo no se pudo realizar ya que el suelo de estas calicatas no ofrecía la facilidad ni las condiciones para realizar el ensayo.

Tabla 91: Análisis del límite plástico de la calicata C-3

TARA	5	6	7	8
PESO HUMEDO DE SUELO MAS TARA (gr)	24.80	25.50	24.60	25.40
PESO SUELO SECO MAS TARA (gr)	24.20	24.70	24.10	24.80
PESO TARA (gr)	20.90	21.20	21.30	21.50
PESO SUELO SECO (gr)	3.30	3.50	2.80	3.30
PESO AGUA (gr)	0.60	0.80	0.50	0.60
CONTENIDO DE HUMEDAD %	18.18%	22.86%	17.86%	18.18%
LÍMITE PLÁSTICO	19.27%			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 92: Análisis del límite plástico de la calicata C-4

TARA	5	6	7	8
PESO HUMEDO DE SUELO MAS TARA (gr)	25.00	25.70	24.90	25.80
PESO SUELO SECO MAS TARA (gr)	24.20	24.90	24.30	25.10
PESO TARA (gr)	20.90	21.20	21.30	21.50
PESO SUELO SECO (gr)	3.30	3.70	3.00	3.60
PESO AGUA (gr)	0.80	0.80	0.60	0.70
CONTENIDO DE HUMEDAD %	24.24%	21.62%	20.00%	19.44%
LÍMITE PLÁSTICO	21.33%			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 93: Análisis del límite plástico de la calicata C-5

TARA	5	6	7	8
PESO HUMEDO DE SUELO MAS TARA (gr)	17.20	17.30	17.10	17.50
PESO SUELO SECO MAS TARA (gr)	16.90	17.10	16.70	17.10
PESO TARA (gr)	16.00	16.10	15.90	16.00
PESO SUELO SECO (gr)	0.90	1.00	0.80	1.10
PESO AGUA (gr)	0.30	0.20	0.40	0.40
CONTENIDO DE HUMEDAD %	33.33%	20.00%	50.00%	36.36%
CONTENIDO DE HUMEDAD %	34.92%			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 94: Análisis del límite plástico de la calicata C-6

TARA	5	6	7	8
PESO HUMEDO DE SUELO MAS TARA (gr)	17.10	17.50	18.60	21.30
PESO SUELO SECO MAS TARA (gr)	16.80	17.10	17.80	19.80
PESO TARA (gr)	15.90	16.00	16.00	15.90
PESO SUELO SECO (gr)	0.90	1.10	1.80	3.90
PESO AGUA (gr)	0.30	0.40	0.80	1.50
CONTENIDO DE HUMEDAD %	33.33%	36.36%	44.44%	38.46%
LÍMITE PLÁSTICO	38.15%			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 95: Análisis del límite plástico de la calicata C-5 y C-06 más la mezcla con cal 10% y puzolana volcánica al 15%

TARA	5	6
PESO HUMEDO DE SUELO MAS TARA (gr)	24.80	25.00
PESO SUELO SECO MAS TARA (gr)	24.10	23.90
PESO TARA (gr)	20.80	20.30
PESO SUELO SECO (gr)	3.30	3.60
PESO AGUA (gr)	0.70	1.10
CONTENIDO DE HUMEDAD %	21.21%	30.56%
LÍMITE PLÁSTICO	25.88%	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 96: Análisis del límite plástico de la calicata C-5 y C-06 más la mezcla con cal 10% y puzolana volcánica al 25%

TARA	5	6
PESO HUMEDO DE SUELO MAS TARA (gr)	40.20	42.00
PESO SUELO SECO MAS TARA (gr)	39.50	41.00
PESO TARA (gr)	36.40	36.50
PESO SUELO SECO (gr)	3.10	4.50
PESO AGUA (gr)	0.70	1.00
CONTENIDO DE HUMEDAD %	22.58%	22.22%
LÍMITE PLÁSTICO	22.40%	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 97: Análisis del límite plástico de la calicata C-5 y C-06 más la mezcla con cal 10% y puzolana volcánica al 30%

TARA	5	6
PESO HUMEDO DE SUELO MAS TARA (gr)	44.10	43.20
PESO SUELO SECO MAS TARA (gr)	42.80	42.10
PESO TARA (gr)	36.30	37.30
PESO SUELO SECO (gr)	6.50	4.80
PESO AGUA (gr)	1.30	1.10
CONTENIDO DE HUMEDAD %	20.00%	22.92%
LÍMITE PLÁSTICO	21.46%	

Fuente: Elaboración propia.

c) Análisis de la prueba

De acuerdo a lo obtenido en el ensayo se observa que las calicatas C-03 y C-04 poseen límite plástico bajos, pero las calicatas C-05 y C-06 poseen límites plásticos altos que de todas las calicatas por lo que se estabilizo estas calicatas, después de la estabilización se observó que el límite plástico bajo progresivamente hasta un 21,46% con 10% de cal y 30% de puzolana volcánica.

3.6.5. Análisis del índice de plasticidad

a) Procesamiento

Para este cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$$I_p = L_l - L_p$$

Donde

- Ip: es el índice plástico.
- Ll: es el límite líquido.
- Lp: es el límite plástico

De acuerdo a esta fórmula se obtuvieron los datos de índice de plasticidad y determinando que los suelos que no poseían límite líquido y plástico no presenten índice de plasticidad.

b) Diagramas y cuadros

Tabla 98: Resumen de los límites líquidos, límites plásticos e índices de plasticidad.

Muestra ensayada	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice de plasticidad
C-01	NP	NP	NP
C-02	NP	NP	NP
C-03	23.40	19.27	4.13
C-04	21.61	21.33	0.28
C-05	51.82	34.92	16.90
C-06	58.28	38.15	20.13
C-05 y C-06 más cal 10% y puzolana volcánica 15%	38.13	25.88	12.25
C-05 y C-06 más cal 10% y puzolana volcánica 25%	38.21	22.40	15.81
C-05 y C-06 más cal 10% y puzolana volcánica 30%	39.51	21.46	18.05

Fuente: Elaboración propia.

c) Análisis de la prueba

Se observa que las calicatas C-03 y C-04 poseen un índice de plasticidad bajos, y las calicatas C-05 y C-06 poseen unos índices de plasticidad altos y similares. Después de realizar la estabilización con cal y puzolana volcánica este bajo con el 15% de puzolana, pero subió conforme se aumentaba los porcentajes de puzolana hasta el 30% de puzolana.



3.6.6. Análisis de clasificación de suelos

Para este caso se utilizó dos sistemas de clasificación SUCS y AASTHO de acuerdo lo obtenido en el ensayo de granulometría, límite líquido y plástico. De acuerdo a las siguientes tablas de clasificación.



a) Procesamiento

Tabla 99: Criterio de clasificación SUCS

CRITERIOS PARA LA ASIGNACIÓN DE SÍMBOLOS DE GRUPO Y NOMBRE DE GRUPO CON EL USO DE ENSAYOS DE LABORATORIO		SÍMBOLO	NOMBRE DE GRUPO		
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más del 50% es retenido en la malla N° 200	GRAVAS Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla N° 4	GRAVAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla N° 200 $Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	GW Grava bien gradada		
		GRAVAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla N° 200 $IP < 4$ ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad $IP > 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad $4 \leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GP Grava mal gradada GM Grava limosa GC Grava arcillosa GC - GM Grava limosa arcillosa		
		GRAVAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla N° 200 Cumple los criterios para GW y GM Cumple los criterios para GW y GC o para GW y GC - GM Cumple los criterios para GP y GM Cumple los criterios para GP y GC o para GP y GC - GM	GW - GM Grava bien gradada con limo GW - GC Grava bien gradada con arcilla GP - GM Grava mal gradada con limo GP - GC Grava mal gradada con arcilla		
		ARENAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla N° 200 $Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW Arena bien gradada		
		ARENAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla N° 200 $IP < 4$ ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad $IP > 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad $4 \leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SP Arena mal gradada SM Arena limosa SC Arena arcillosa SC - SM Arena limosa arcillosa		
		ARENAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla N° 200 Cumple los criterios para SW y SM Cumple los criterios para SW y SC o para SW y SC - SM Cumple los criterios para SP y SM Cumple los criterios para SP y SC o para SP y SC - SM	SW - SM Arena bien gradada con limo SW - SC Arena bien gradada con arcilla SP - SM Arena mal gradada con limo SP - SC Arena mal gradada con arcilla		
	SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS El 50% o más de la fracción gruesa pasa la malla N° 4	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor que 50	Inorgánicos $IP < 4$ ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad $IP > 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad $4 \leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	ML Limo de baja plasticidad CL Arcilla de baja plasticidad CL - ML Arcilla limosa	
			Orgánicos	OL Limo orgánico Arcilla orgánica	
			LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido 50 o mayor	Inorgánicos Se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A" Se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	MH Limo de alta plasticidad CH Arcilla de alta plasticidad
		SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	Principalmente materia orgánica de color oscuro	Orgánicos	OH Limo orgánico Arcilla orgánica
					Pt Turba

Fuente: SUCS.

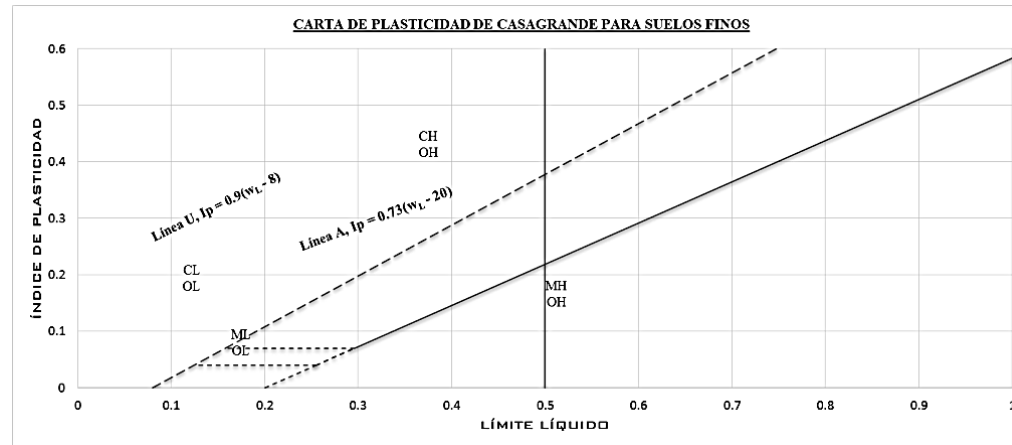


Figura Nro. 52 Carta de plasticidad de Casagrande para suelos finos

Tabla 100: Criterio de clasificación AASTHO

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% o menos pasa el tamiz N° 200)							MATERIALES LIMO - ARCILLOSOS (más del 35% pasa el tamiz N° 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
SUB - GRUPOS											
% que pasa el tamiz:											
N° 10	50 máx.										
N° 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.								
N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características del material que pasa el tamiz N° 40											
Límite Líquido			No Plástico	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Plasticidad	6 máx.	6 máx.		10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.	
Tipos de Material	Fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Gravas, arenas limosas y arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	

Fuente: AASTHO.

b) Diagramas y tablas

Tabla 101: Datos utilizados clasificación
SUCS C-01

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	
Tipo de Suelo	
Tipo =	Inorgánico
De la Granulometría	
% de Gruesos =	40.34%
% de Finos =	59.66%
Total =	100.00%
% de Grava =	0.43%
% de Arena =	39.91%
Total =	40.34%
Fracción Gruesa	
% de Grava =	1.07%
% de Arena =	98.93%
Total =	100.00%
Coefficientes	
Cu =	NO PRESENTA
Cc =	NO PRESENTA
De Límites de Consistencia	
LL =	NO PRESENTA
LP =	NO PRESENTA
IP =	NO PRESENTA

Fuente: Elaboración propia.

Clasificación SUCS: De acuerdo a estos datos se determinó que el tipo de suelo es un ML (Limo de baja plasticidad arenoso)

No presenta Cu y Cc porque más del 12% pasa el tamiz N°200

Tabla 102: Datos utilizados clasificación AASTHO C-01

DATOS PARA CLASIFICACIÓN		
De Granulometría	De Límites de Consistencia	Otros Datos
% que pasa el tamiz N° 10 = 99.04%	LL = NO PRESENTA	Tipo = Inorgánico
% que pasa el tamiz N° 40 = 97.38%	LP = NO PRESENTA	
% que pasa el tamiz N° 200 = 59.66%	IP = NO PRESENTA	

Fuente: Elaboración propia.

Clasificación AASTHO: De acuerdo a los criterios de clasificación AASTHO se clasificó como suelo A-4 (5).

Tabla 103: Datos utilizados clasificación

SUCS C-02

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	
Tipo de Suelo	
Tipo =	Inorgánico
De la Granulometría	
% de Gruesos =	40.81%
% de Finos =	59.19%
Total =	100.00%
% de Grava =	0.43%
% de Arena =	40.38%
Total =	40.81%
Fracción Gruesa	
% de Grava =	1.05%
% de Arena =	98.95%
Total =	100.00%
Coefficientes	
Cu =	NO PRESENTA
Cc =	NO PRESENTA
De Límites de Consistencia	
LL =	NO PRESENTA
LP =	NO PRESENTA
IP =	NO PRESENTA

Fuente: Elaboración propia.

Clasificación SUCS: De acuerdo a estos datos se determinó que el tipo de suelo es un ML (Limo de baja plasticidad arenoso)

No presenta Cu y Cc porque más del 12% pasa el tamiz N°200

Tabla 104: Datos utilizados clasificación AASTHO C-02

DATOS PARA CLASIFICACIÓN		
De Granulometría	De Límites de Consistencia	Otros Datos
% que pasa el tamiz N° 10 = 99.07%	LL = NO PRESENTA	Tipo = Inorgánico
% que pasa el tamiz N° 40 = 97.47%	LP = NO PRESENTA	
% que pasa el tamiz N° 200 = 59.19%	IP = NO PRESENTA	

Fuente: Elaboración propia.

Clasificación AASTHO: De acuerdo a los criterios de clasificación AASTHO se clasificó como suelo A-4 (5)

Tabla 105: Datos utilizados clasificación

SUCS C-03

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	
Tipo de Suelo	
Tipo =	Inorgánico
De la Granulometría	
% de Gruesos =	41.22%
% de Finos =	58.79%
Total =	100.00%
% de Grava =	0.55%
% de Arena =	40.67%
Total =	41.22%
Fracción Gruesa	
% de Grava =	1.32%
% de Arena =	98.68%
Total =	100.00%
Coefficientes	
Cu =	0.00
Cc =	0.000
De Límites de Consistencia	
LL =	23.40%
LP =	19.27%
IP =	4.13

Fuente: Elaboración propia.

Clasificación SUCS: De acuerdo a estos datos se determinó que el tipo de suelo es un CL (Arcilla ligera de baja plasticidad areno)

Tabla 106: Datos utilizados clasificación AASTHO C-03

DATOS PARA CLASIFICACIÓN		
De Granulometría	De Límites de Consistencia	Otros Datos
% que pasa el tamiz N° 10 = 98.71%	LL = 23.40%	Tipo = Inorgánico
% que pasa el tamiz N° 40 = 96.76%	LP = 19.27%	
% que pasa el tamiz N° 200 = 58.79%	IP = 0.04	

Fuente: Elaboración propia.

Clasificación AASTHO: De acuerdo a los criterios de clasificación AASTHO se clasificó como suelo A-4 (5)

Tabla 107: Datos utilizados clasificación

SUCS C-04

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	
Tipo de Suelo	
Tipo =	Inorgánico
De la Granulometría	
% de Gruesos =	41.72%
% de Finos =	58.28%
Total =	100.00%
% de Grava =	0.49%
% de Arena =	41.24%
Total =	41.72%
Fracción Gruesa	
% de Grava =	1.16%
% de Arena =	98.84%
Total =	100.00%
Coefficientes	
Cu =	
Cc =	
De Límites de Consistencia	
LL =	21.61%
LP =	21.33%
IP =	0

Fuente: Elaboración propia.

Clasificación SUCS: De acuerdo a estos datos se determinó que el tipo de suelo es un ML (Limo de baja plasticidad arenoso)

Tabla 108: Datos utilizados clasificación AASTHO C-04

DATOS PARA CLASIFICACIÓN		
De Granulometría	De Límites de Consistencia	Otros Datos
% que pasa el tamiz N° 10 = 98.76%	LL = 21.61%	Tipo = Inorgánico
% que pasa el tamiz N° 40 = 96.76%	LP = 21.33%	
% que pasa el tamiz N° 200 = 58.28%	IP = 0.00	

Fuente: Elaboración propia.

Clasificación AASTHO: De acuerdo a los criterios de clasificación AASTHO se clasificó como suelo A-4 (5)

Tabla 109: Datos utilizados clasificación

SUCS C-05

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	
Tipo de Suelo	
Tipo =	Inorgánico
De la Granulometría	
% de Gruesos =	7.99%
% de Finos =	92.02%
Total =	100.00%
% de Grava =	0.47%
% de Arena =	7.52%
Total =	7.99%
Fracción Gruesa	
% de Grava =	5.89%
% de Arena =	94.11%
Total =	100.00%
Coefficientes	
Cu =	0.00
Cc =	0.000
De Límites de Consistencia	
LL =	51.82%
LP =	34.92%
IP =	16.90

Fuente: Elaboración propia.

Clasificación SUCS: De acuerdo a estos datos se determinó que el tipo de suelo es un CH (Arcilla densa de alta plasticidad)

Tabla 110: Datos utilizados clasificación AASTHO C-05

DATOS PARA CLASIFICACIÓN		
De Granulometría	De Límites de Consistencia	Otros Datos
% que pasa el tamiz N° 10 = 99.30%	LL = 51.82%	Tipo = Inorgánico
% que pasa el tamiz N° 40 = 98.85%	LP = 34.92%	
% que pasa el tamiz N° 200 = 92.02%	IP = 0.17	

Fuente: Elaboración propia.

Clasificación AASTHO: De acuerdo a los criterios de clasificación AASTHO se clasificó como suelo A-7-5 (13)

Tabla 111: Datos utilizados clasificación
SUCS C-05

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	
Tipo de Suelo	
Tipo =	Inorgánico
De la Granulometría	
% de Gruesos =	8.40%
% de Finos =	91.60%
Total =	100.00%
% de Grava =	0.50%
% de Arena =	7.90%
Total =	8.40%
Fracción Gruesa	
% de Grava =	5.98%
% de Arena =	94.02%
Total =	100.00%
Coefficientes	
Cu =	0.00
Cc =	0.000
De Límites de Consistencia	
LL =	58.28%
LP =	38.15%
IP =	20.13

Fuente: Elaboración propia.

Clasificación SUCS: De acuerdo a estos datos se determinó que el tipo de suelo es un CH (Arcilla densa de alta plasticidad)

Tabla 112: Datos utilizados clasificación AASTHO C-05

DATOS PARA CLASIFICACIÓN		
De Granulometría	De Límites de Consistencia	Otros Datos
% que pasa el tamiz N° 10 = 99.22%	LL = 58.28%	Tipo = Inorgánico
% que pasa el tamiz N° 40 = 98.73%	LP = 38.15%	
% que pasa el tamiz N° 200 = 91.60%	IP = 0.20	

Fuente: Elaboración propia.

Clasificación AASTHO: De acuerdo a los criterios de clasificación AASTHO se clasificó como suelo A-7-5 (16)

c) Análisis de la prueba

Se determinó que los suelos más problemáticos que se encontró fue el de las calicatas C-05 y C-06 y su clasificación en ambos sistemas tanto SUCS y AASTHO son el mismo por lo que se estabilizo tan solo estas dos calicatas.

3.6.7. Análisis del ensayo de compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada (Proctor Modificado)

a) Procesamiento

De los datos de pesos de las taras obtenidos de la base, medio y parte superior de los moldes de suelo compactado se determinó el contenido de humedad, luego se determinó el contenido de humedad promedio.

Finalmente se determinó la densidad seca compactada para cada molde compactado mediante la siguiente formula:

$$\rho d = \frac{\rho m}{1 + \frac{w}{100}}$$

Donde:

- ρd es la densidad seca compactada
- ρm es la densidad húmeda compactada
- w es contenido de agua en (%).

Para determinar la densidad máxima seca y el contenido óptimo de humedad de compactación del suelo, es el punto máximo de la curva, pero para este cálculo se utilizó la ecuación de la curva graficada.

b) Diagramas y tablas

Tabla 113: Densidad húmeda compactada de la C-01 y C-02

Método de ensayo		Método A			
Ensayo N° + adición de agua		1 + 2%	2 + 4%	3 + 6%	4 + 8%
Numero de capas		5	5	5	5
Golpes de pisón por capa		25	25	25	25
N° de molde		1	2	1	2
Peso de suelo húmedo + molde	gr	5865.00	5955.00	5335.00	6115.00
Peso molde + base	gr	4170.00	4165.00	4170.00	4165.00
Peso suelo húmedo compactado	gr	1695.00	1790.00	1165.00	1950.00
Volumen del molde	cm ³	970.15	974.88	970.15	974.88
Densidad húmeda compactado	gr/cm ³	1.75	1.84	1.20	2.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 114: Contenidos de humedad promedio y densidad seca compactada C-01 y C-02

Ensayo N°		1			2		
Tara	und	1 arriba	2 medio	3 base	4 arriba	5 medio	6 base
Peso de taras	gr	16.10	16.10	15.90	15.80	15.90	16.20
Peso de suelo húmedo + tara	gr	22.60	26.30	27.70	28.00	29.20	49.00
Peso de suelo seco + tara	gr	22.35	25.90	27.20	27.30	28.50	47.00
Peso de agua	gr	0.25	0.40	0.50	0.70	0.70	2.00
Peso de suelo seco	gr	6.25	9.80	11.30	11.50	12.60	30.80
Contenido de humedad	%	4.00	4.08	4.42	6.09	5.56	6.49
Humedad promedio	%	4.17			6.05		
Densidad seca promedio	gr/cm3	1.68			1.73		
Ensayo N°		3			4		
Tara	und	7 arriba	8 medio	9 base	10 arriba	11 medio	12 base
Peso de taras	gr	16.20	15.80	15.70	37.50	37.10	37.50
Peso de suelo húmedo + tara	gr	22.90	29.20	33.60	60.50	65.00	90.20
Peso de suelo seco + tara	gr	22.40	28.20	32.30	58.40	62.50	85.30
Peso de agua	gr	0.50	1.00	1.30	2.10	2.50	4.90
Peso de suelo seco	gr	6.20	12.40	16.60	20.90	25.40	47.80
Contenido de humedad	%	8.06	8.06	7.83	10.05	9.84	10.25
Humedad promedio	%	7.99			10.05		
Densidad seca promedio	gr/cm3	1.11			1.82		

Fuente: Elaboración propia.

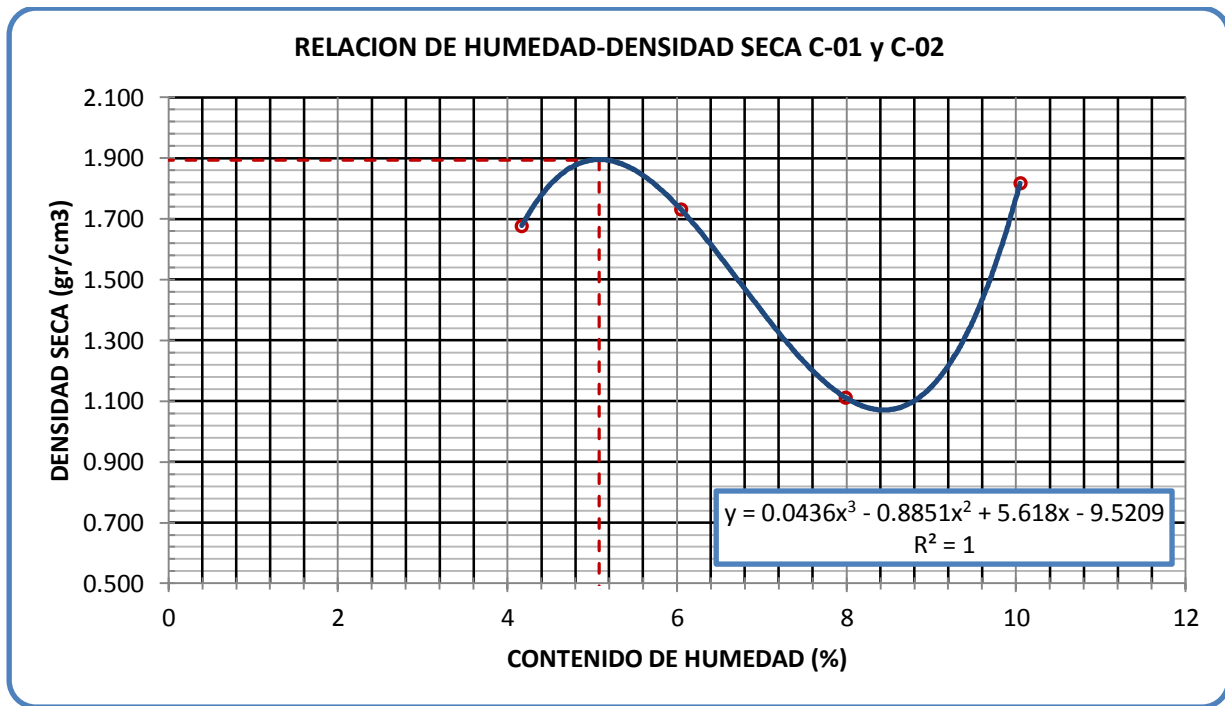


Figura Nro. 53 Gráfica de la densidad seca y contenido de humedad C-01 y C-02

De acuerdo a la ecuación de la curva se tabulo los valores máximos resultando:

Densidad máxima seca (gr/cm3) = 1.89

Contenido de humedad óptimo (%) = 5.08

Tabla 115: Densidad húmeda compactada de la C-03 y C-04

Método de ensayo		Método A			
Ensayo N° + adición de agua		1 + 2%	2 + 4%	3 + 6%	4 + 8%
Numero de capas		5	5	5	5
Golpes de pisón por capa		25	25	25	25
N° de molde		1	2	1	2
Peso de suelo húmedo + molde	gr	5820.00	5950.00	6085.00	6020.00
Peso molde + base	gr	4185.00	4190.00	4185.00	4190.00
Peso suelo húmedo compactado	gr	1635.00	1760.00	1900.00	1830.00
Volumen del molde	cm3	974.88	970.15	974.88	970.15
Densidad húmeda compactado	gr/cm3	1.68	1.81	1.95	1.89

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 116: Contenidos de humedad promedio y densidad seca compactada C-03 y C-04

Ensayo N°		1			2		
Tara	und	1 arriba	2 medio	3 base	4 arriba	5 medio	6 base
Peso de taras	gr	37.30	36.80	36.70	36.70	37.00	36.50
Peso de suelo húmedo + tara	gr	60.40	60.40	72.40	56.50	60.10	67.50
Peso de suelo seco + tara	gr	59.70	59.70	71.20	55.50	58.80	65.70
Peso de agua	gr	0.70	0.70	1.20	1.00	1.30	1.80
Peso de suelo seco	gr	22.40	22.90	34.50	18.80	21.80	29.20
Contenido de humedad	%	3.12	3.06	3.48	5.32	5.96	6.16
Humedad promedio	%	3.22			5.82		
Densidad seca promedio	gr/cm3	1.62			1.71		
Ensayo N°		3			4		
Tara	und	7 arriba	8 medio	9 base	10 arriba	11 medio	12 base
Peso de taras	gr	37.20	16.00	15.90	37.10	36.70	37.20
Peso de suelo húmedo + tara	gr	49.10	37.10	26.40	56.70	66.80	74.80
Peso de suelo seco + tara	gr	48.40	35.50	25.60	55.10	63.90	71.40
Peso de agua	gr	0.70	1.60	0.80	1.60	2.90	3.40
Peso de suelo seco	gr	11.20	19.50	9.70	18.00	27.20	34.20
Contenido de humedad	%	6.25	8.21	8.25	8.89	10.66	9.94
Humedad promedio	%	7.57			9.83		
Densidad seca promedio	gr/cm3	1.81			1.72		

Fuente: Elaboración propia.

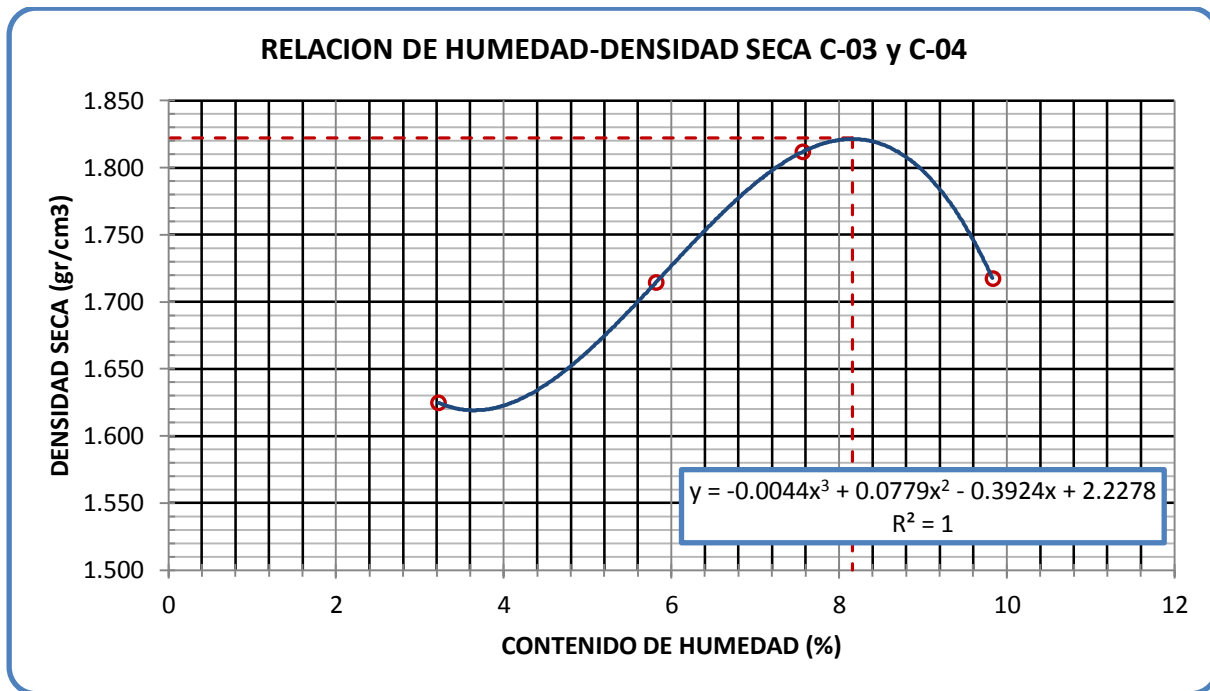


Figura Nro. 54 Gráfica de la densidad seca y contenido de humedad C-03 y C-04

De acuerdo a la ecuación de la curva se tabulo los valores máximos resultando:

Densidad máxima seca (gr/cm3)= 1.82

Contenido de humedad óptimo (%)= 8.16

Tabla 117: Densidad húmeda compactada de la C-05 y C-06

Método de ensayo		Método A				
Ensayo N° + adición de agua		1 + 2%	2 + 4%	3 + 6%	4 + 8%	5 + 12%
Numero de capas		5	5	5	5	5
Golpes de pisón por capa		25	25	25	25	25
N° de molde		1	2	1	2	2
Suelo húmedo + molde	gr	5910.00	6020.00	6110.00	6190.00	6095.00
Peso molde + base	gr	4165.00	4155.00	4165.00	4155.00	4160.00
Peso suelo húmedo compactado	gr	1485.00	1590.00	1668.00	1750.00	1642.00
Volumen del molde	cm3	970.15	974.88	970.15	974.88	974.88
Densidad húmeda compactado	gr/cm 3	1.53	1.63	1.72	1.80	1.68

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 118: Contenidos de humedad promedio y densidad seca compactada C-05 y C-06

Ensayo N°		1			2		
Tara	und	1 arriba	2 medio	3 base	4 arriba	5 medio	6 base
Peso de taras	gr	15.90	16.00	16.00	15.90	16.10	15.90
Peso de suelo húmedo + tara	gr	32.80	32.70	28.00	27.10	28.20	28.50
Peso de suelo seco + tara	gr	31.90	31.70	27.30	26.30	27.30	27.40
Peso de agua	gr	0.90	1.00	0.70	0.80	0.90	1.10
Peso de suelo seco	gr	16.00	15.70	11.30	10.40	11.20	11.50
Contenido de humedad	%	5.62	6.37	6.19	7.69	8.04	9.57
Humedad promedio	%	6.06			8.43		
Densidad seca promedio	gr/cm3	1.44			1.50		
Ensayo N°		3			4		
Tara	und	7 arriba	8 medio	9 base	10 arriba	11 medio	12 base
Peso de taras	gr	15.90	16.10	15.90	16.00	15.70	16.00
Peso de suelo húmedo + tara	gr	29.40	35.60	31.50	29.90	29.50	29.40
Peso de suelo seco + tara	gr	28.10	33.80	30.20	28.40	28.10	28.10
Peso de agua	gr	1.30	1.80	1.30	1.50	1.40	1.30
Peso de suelo seco	gr	12.20	17.70	14.30	12.40	12.40	12.10
Contenido de humedad	%	10.66	10.17	9.09	12.10	11.29	10.74
Humedad promedio	%	9.97			11.38		
Densidad seca promedio	gr/cm3	1.56			1.61		
Ensayo N°				5			
Tara		und	13 arriba		14 medio		
Peso de taras		gr	36.30		36.40		
Peso de suelo húmedo + tara		gr	79.00		64.90		
Peso de suelo seco + tara		gr	72.80		60.60		
Peso de agua		gr	6.20		4.30		
Peso de suelo seco		gr	36.50		24.20		
Contenido de humedad		%	16.99		17.77		
Contenido de humedad promedio		%	17.38				
Densidad seca promedio		gr/cm3	1.43				

Fuente: Elaboración propia.

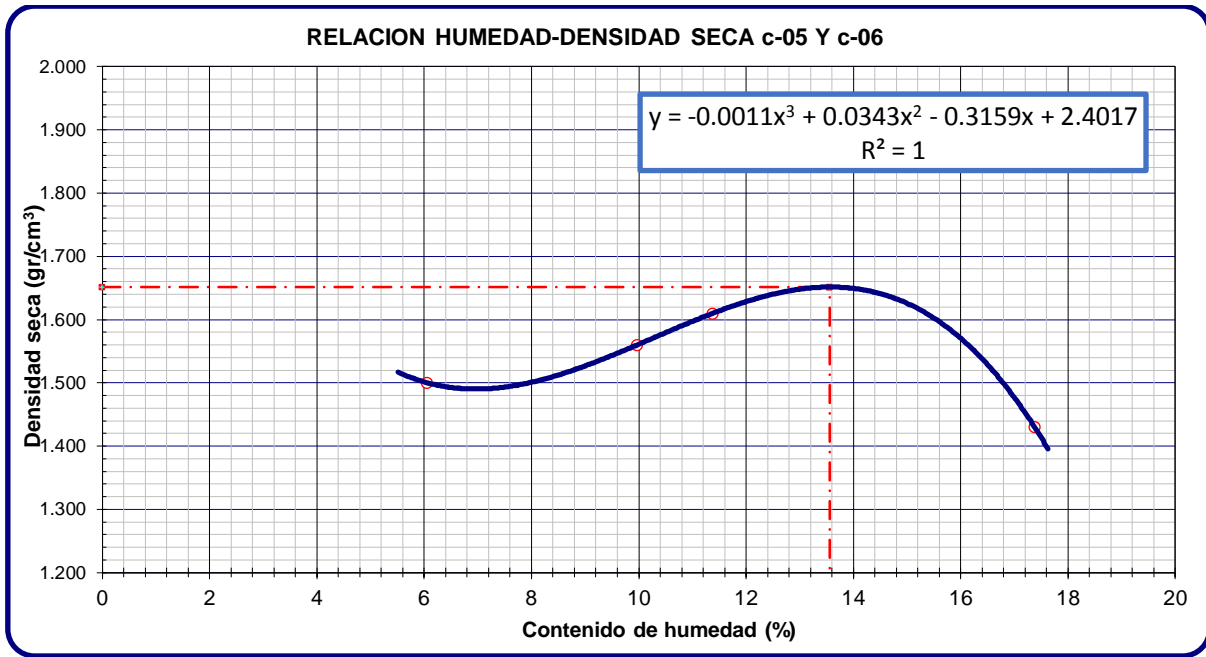


Figura Nro. 55 Gráfica de la densidad seca y contenido de humedad C-05 y C-06

De acuerdo a la ecuación de la curva se tabulo los valores máximos resultando:

Densidad máxima seca (gr/cm³)= 1.651

Contenido de humedad óptimo (%)= 13.56

Tabla 119: Densidad húmeda compactada de la C-05 y C-06 estabilizado con cal 10% y puzolana volcánica 15%

Método de ensayo		Método A				
Ensayo N° + adición de agua		1 + 0%	2 + 4%	3 + 8%	4 + 12%	5 + 16%
Numero de capas		5	5	5	5	5
Golpes de pisón por capa		25	25	25	25	25
N° de molde		1	2	1	2	2
Peso de suelo húmedo + molde	gr	5815.00	5905.00	6015.00	6175.00	6125.20
Peso molde + base	gr	4190.00	4190.00	4190.00	4190.00	4172.00
Peso suelo húmedo compactado	gr	1625.00	1715.00	1825.00	1985.00	1953.20
Volumen del molde	cm ³	970.15	974.88	970.15	974.88	974.88
Densidad húmeda compactado	gr/cm ³	1.67	1.76	1.88	2.04	2.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 120: Contenidos de humedad promedio y densidad seca compactada C-05 y C-06 estabilizado con cal 10% y puzolana volcánica 15%

Ensayo N°		1			2		
Tara	und	1 arriba	2 medio	3 base	4 arriba	5 medio	6 base
Peso de taras	gr	15.90	15.80	15.90	16.20	16.00	16.20
Peso de suelo húmedo + tara	gr	32.90	41.60	32.20	38.40	44.90	35.90
Peso de suelo seco + tara	gr	32.30	40.60	31.70	36.80	42.90	34.50
Peso de agua	gr	0.60	1.00	0.50	1.60	2.00	1.40
Peso de suelo seco	gr	16.40	24.80	15.80	20.60	26.90	18.30
Contenido de humedad	%	3.66	4.03	3.16	7.77	7.43	7.65
Humedad promedio	%	3.62			7.62		
Densidad seca promedio	gr/cm3	1.62			1.63		
Ensayo N°		3			4		
Tara	und	7 arriba	8 medio	9 base	10 arriba	11 medio	12 base
Peso de taras	gr	15.70	16.00	15.90	16.10	36.90	37.30
Peso de suelo húmedo + tara	gr	40.70	42.50	45.30	35.80	77.70	61.80
Peso de suelo seco + tara	gr	38.10	39.60	42.00	33.10	72.10	58.40
Peso de agua	gr	2.60	2.90	3.30	2.70	5.60	3.40
Peso de suelo seco	gr	22.40	23.60	26.10	17.00	35.20	21.10
Contenido de humedad	%	11.61	12.29	12.64	15.88	15.91	16.11
Humedad promedio	%	12.18			15.97		
Densidad seca promedio	gr/cm3	1.68			1.76		
Ensayo N°				5			
Tara	und	13 arriba	14 medio	15 base			
Peso de taras	gr	15.60	15.90	36.30			
Peso de suelo húmedo + tara	gr	39.00	36.10	87.70			
Peso de suelo seco + tara	gr	35.40	32.70	79.40			
Peso de agua	gr	3.60	3.40	8.30			
Peso de suelo seco	gr	19.80	16.80	43.10			
Contenido de humedad	%	18.18	20.24	19.26			
Contenido de humedad promedio	%	19.23					
Densidad seca promedio	gr/cm3	1.68					

Fuente: Elaboración propia.

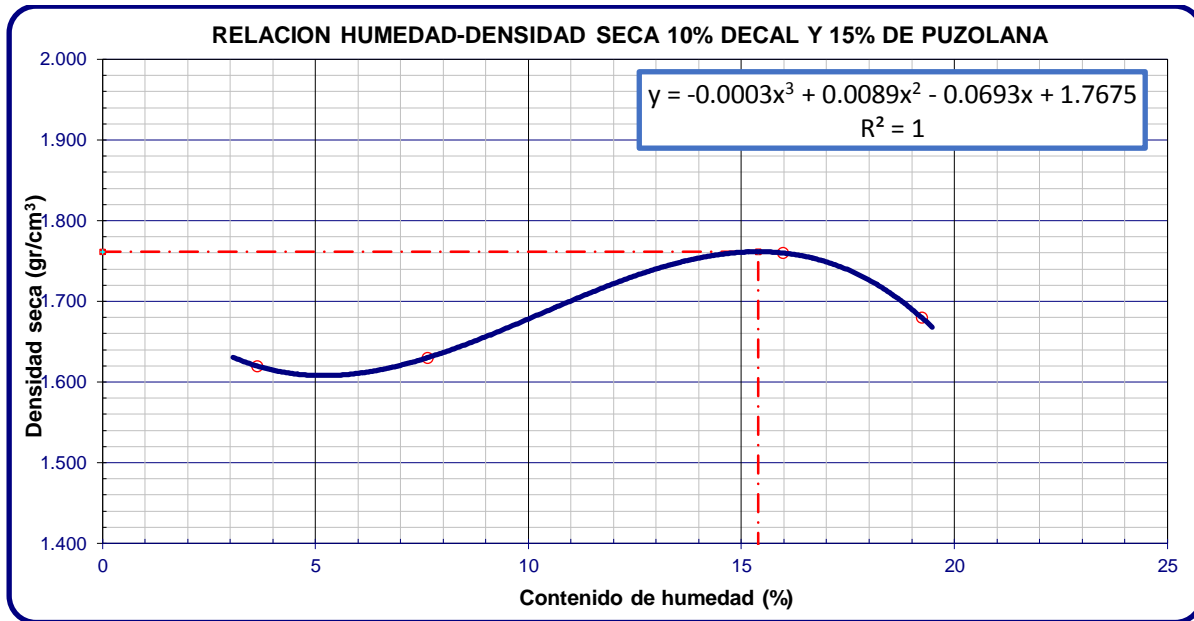


Figura Nro. 56 Gráfica de la densidad seca y contenido de humedad C-05 y C-06 estabilizado con cal 10% y puzolana volcánica 15%

De acuerdo a la ecuación de la curva se tabulo los valores máximos resultando:

Densidad máxima seca (gr/cm3)= 1.762

Contenido de humedad óptimo (%)= 15.39

Tabla 121: Densidad húmeda compactada de la C-05 y C-06 estabilizado con cal 10% y puzolana volcánica 25%

Método de ensayo		Método A			
Ensayo N° + adición de agua		1 + 0%	2 + 4%	3 + 12%	4 + 16%
Numero de capas		5	5	5	5
Golpes de pisón por capa		25	25	25	25
N° de molde		1	2	1	2
Peso de suelo húmedo + molde	gr	5785.00	5960.00	6160.00	6125.00
Peso molde + base	gr	4185.00	4160.00	4185.00	4160.00
Peso suelo húmedo compactado	gr	1600.00	1800.00	1975.00	1965.00
Volumen del molde	cm3	970.15	974.88	970.15	974.88
Densidad húmeda compactado	gr/cm3	1.65	1.85	2.04	2.02

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 122: Contenidos de humedad promedio y densidad seca compactada C-05 y C-06 estabilizado con cal 10% y puzolana volcánica 25%

Ensayo N°		1			2		
Tara	und	1 arriba	2 medio	3 base	4 arriba	5 medio	6 base
Peso de taras	gr	49.60	49.00		48.60	37.40	
Peso de suelo húmedo + tara	gr	73.80	74.20		72.60	61.40	
Peso de suelo seco + tara	gr	72.80	73.10		70.80	59.80	
Peso de agua	gr	1.00	1.10		1.80	1.60	
Peso de suelo seco	gr	23.20	24.10		22.20	22.40	
Contenido de humedad	%	4.31	4.56		8.11	7.14	
Humedad promedio	%	4.44			7.63		
Densidad seca promedio	gr/cm3	1.58			1.72		
Ensayo N°		3			4		
Tara	und	7 arriba	8 medio	9 base	10 arriba	11 medio	12 base
Peso de taras	gr	49.30	48.80		37.30	36.40	
Peso de suelo húmedo + tara	gr	84.30	75.70		74.80	87.10	
Peso de suelo seco + tara	gr	79.60	71.90		68.70	79.10	
Peso de agua	gr	4.70	3.80		6.10	8.00	
Peso de suelo seco	gr	30.30	23.10		31.40	42.70	
Contenido de humedad	%	15.51	16.45		19.43	18.74	
Humedad promedio	%	15.98			19.08		
Densidad seca promedio	gr/cm3	1.76			1.69		

Fuente: Elaboración propia.

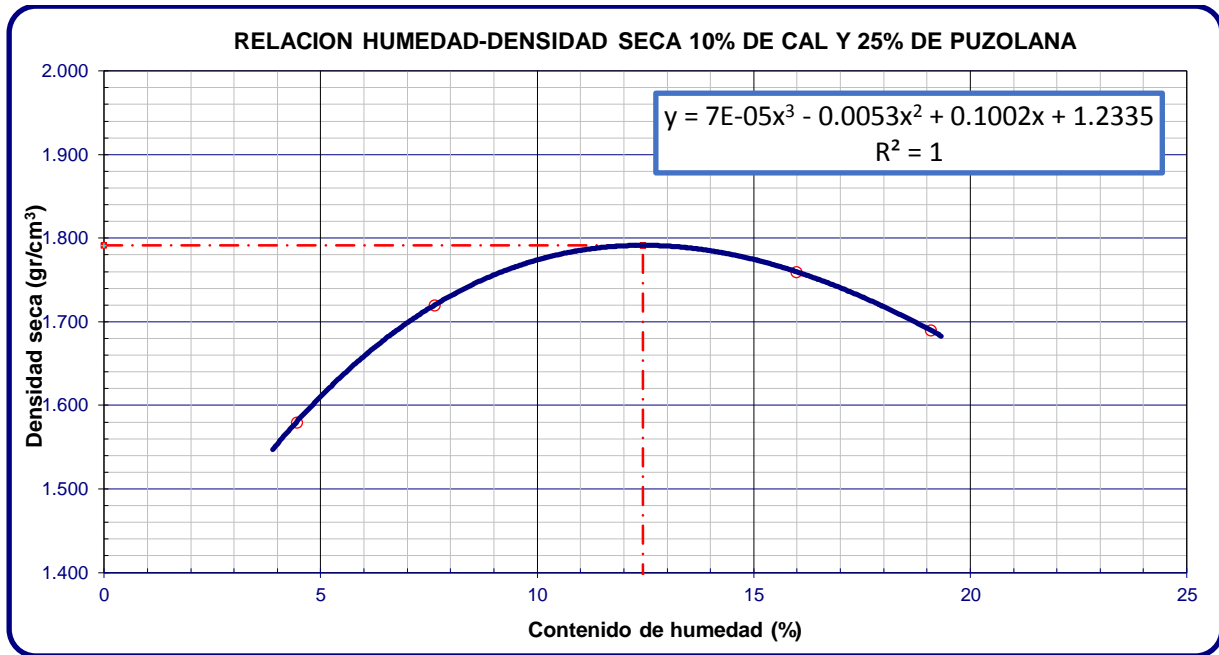


Figura Nro. 57 Gráfica de la densidad seca y contenido de humedad C-05 y C-06 estabilizado con cal 10% y puzolana volcánica 25%:

Densidad máxima seca (gr/cm3)= 1.791
Contenido de humedad óptimo (%)= 12.44

Tabla 123: Densidad húmeda compactada de la C-05 y C-06 estabilizado con cal 10% y puzolana volcánica 30%

Método de ensayo		Método A				
Ensayo N° + adición de agua		1 + 0%	2 + 4%	3 + 8%	4 + 12%	5 + 16%
Numero de capas		5	5	5	5	5
Golpes de pisón por capa		25	25	25	25	25
N° de molde		1	2	1	2	2
Suelo húmedo + molde	gr	5845.00	5915.00	6115.00	6210.00	6110.00
Peso molde + base	gr	4180.00	4180.00	4180.00	4180.00	4185.00
Suelo húmedo compactado	gr	1665.00	1735.00	1935.00	2030.00	1925.00
Volumen del molde	cm3	970.15	974.88	970.15	974.88	974.88
Densidad húmeda compactado	gr/cm3	1.72	1.78	1.99	2.08	1.97

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 124: Contenidos de humedad promedio y densidad seca compactada C-05 y C-06 estabilizado con cal 10% y puzolana volcánica 30%

Ensayo N°		1			2		
Tara	und	1 arriba	2 medio	3 base	4 arriba	5 medio	6 base
Peso de taras	gr	36.90	37.30	36.90	36.30	37.20	21.40
Peso de suelo húmedo + tara	gr	67.10	92.00	68.80	76.00	80.10	58.90
Peso de suelo seco + tara	gr	66.30	90.40	68.00	73.50	77.30	56.60
Peso de agua	gr	0.80	1.60	0.80	2.50	2.80	2.30
Peso de suelo seco	gr	29.40	53.10	31.10	37.20	40.10	35.20
Contenido de humedad	%	2.72	3.01	2.57	6.72	6.98	6.53
Humedad promedio	%	2.77			6.75		
Densidad seca promedio	gr/cm3	1.67			1.67		
Ensayo N°		3			4		
Tara	und	7 arriba	8 medio	9 base	10 arriba	11 medio	
Peso de taras	gr	21.90	21.40	20.80	21.90	21.70	
Peso de suelo húmedo + tara	gr	40.90	43.00	40.20	49.60	53.80	
Peso de suelo seco + tara	gr	39.00	40.90	38.30	46.10	49.90	
Peso de agua	gr	1.90	2.10	1.90	3.50	3.90	
Peso de suelo seco	gr	17.10	19.50	17.50	24.20	28.20	
Contenido de humedad	%	11.11	10.77	10.86	14.46	13.83	
Humedad promedio	%	10.91			14.15		
Densidad seca promedio	gr/cm3	1.80			1.82		
Ensayo N°		5					
Tara	und	13 arriba		14 medio			
Peso de taras	gr	36.80		50.10			
Peso de suelo húmedo + tara	gr	101.30		98.50			
Peso de suelo seco + tara	gr	91.10		90.70			
Peso de agua	gr	10.20		7.80			
Peso de suelo seco	gr	54.30		40.60			
Contenido de humedad	%	18.78		19.21			
Contenido de humedad promedio	%	19.00					
Densidad seca promedio	gr/cm3	1.66					

Fuente: Elaboración propia.

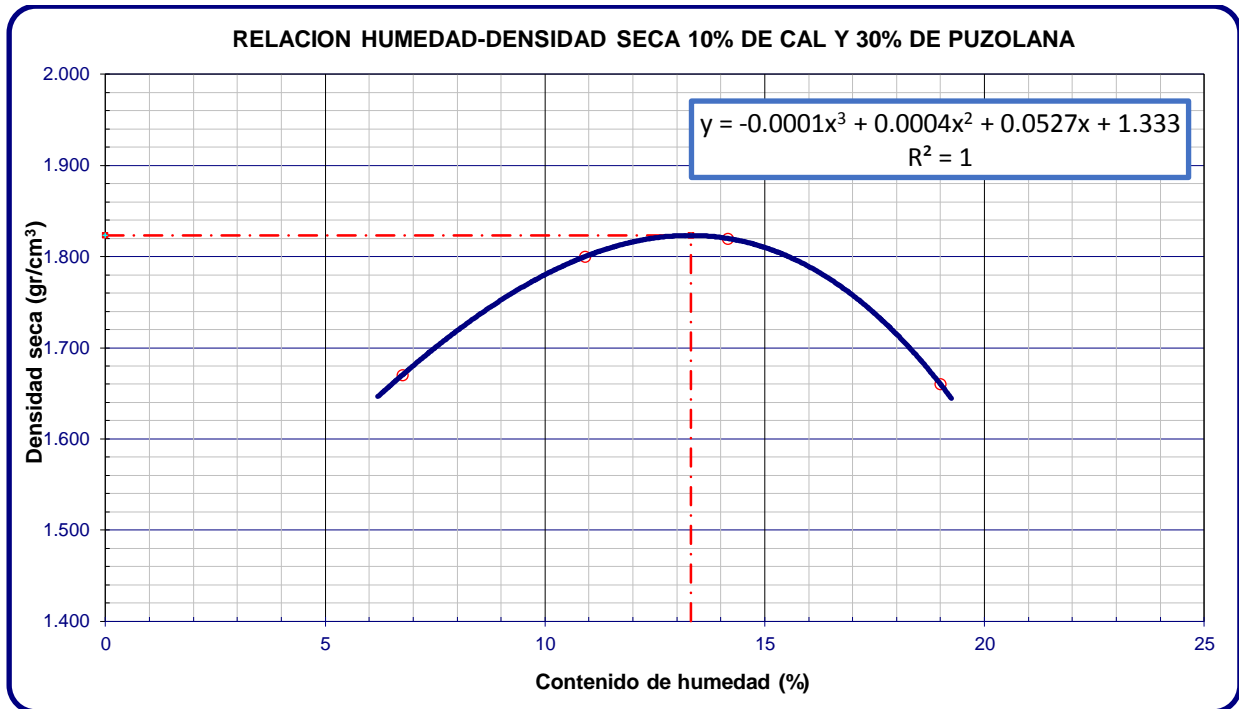


Figura Nro. 58 Gráfica de la densidad seca y contenido de humedad C-05 y C-06 estabilizado con cal 10% y puzolana volcánica 30%

De acuerdo a la fórmula de la curva se tabuló los valores máximos resultando:

$$\text{Densidad máxima seca (gr/cm}^3\text{)} = 1.823$$

$$\text{Contenido de humedad óptimo (\%)} = 13.32$$

c) Análisis de la prueba

Al obtener los resultados se observa que la densidad máxima seca de las calicatas C-01, C-02, C-03 y C-04 es más alta que las de las calicatas C-05 y C-06 a diferencia del contenido óptimo de humedad que son los más bajos. En el suelo estabilizado con cal 10% y puzolana 15, 25 y 30% se obtuvieron densidades máximas secas más altas que crecían conforme aumentaba el porcentaje de puzolana, en cuanto al contenido óptimo de humedad con un porcentaje de 15% de puzolana este baja, con el 25% sube y finalmente baja nuevamente con el 30% de puzolana.

3.6.8. Análisis y procesamiento del ensayo de Soporte California (CBR)

3.6.8.1. Determinación del contenido de humedad del ensayo de Soporte California (CBR) antes de sumergir

Se obtuvo el contenido de humedad con la fórmula utilizada en el ensayo de contenidos de humedad.

Tabla 125: Contenido de humedad del suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 antes de sumergir en poza de curado:

Muestra N°	1		2		3	
Numero de Golpes	55		26		12	
Lata de Humedad N°	1	2	3	4	5	6
Peso de Suelo Húmedo + tara gr (1)	49.8	41.2	44.6	53	71.3	38.7
Peso de suelo Seco + tara gr (2)	46.2	38.7	41.5	48.8	64.9	36.5
Peso de tara gr (3)	15.9	15.8	15.9	15.8	15.8	15.9
Peso de agua gr (4) = (1)-(2)	3.6	2.5	3.1	4.2	6.4	2.2
Peso de muestra seca gr (5) = (2)-(3)	24.2	16.9	20.5	27.6	27	30.9
Contenido de humedad %	14.88	14.79	15.12	15.22	14.88	14.77

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 126: Contenido de humedad del suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% + puzolana al 15% antes de inmersión en poza de curado:

Muestra N°	1		2		3	
Numero de Golpes	55		26		12	
Lata de Humedad N°	1	2	3	4	5	6
Peso de Suelo Húmedo + tara gr (1)	78.2	50.1	40	55.1	81.4	60.8
Peso de suelo Seco + tara gr (2)	70.8	46.4	37.8	50.9	75.6	57.7
Peso de tara gr (3)	20.8	21.5	21.3	21.8	36.9	36.5
Peso de agua gr (4) = (1)-(2)	7.4	3.7	2.2	4.2	5.8	3.1
Peso de muestra seca gr (5) = (2)-(3)	50	24.9	16.5	29.1	38.7	21.2
Contenido de humedad	14.80	14.86	13.33	14.43	14.99	14.62

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 127: Contenido de humedad del suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% + puzolana al 25% antes de inmersión en poza de curado:

Muestra N°	1		2		3	
Numero de Golpes	55		26		12	
Lata de Humedad N°	1	2	3	4	5	6
Peso de Suelo Húmedo + tara gr (1)	62.6	53	77.1	77.5	77.1	63
Peso de suelo Seco + tara gr (2)	59.5	51.1	72.3	72.7	72.7	60
Peso de tara gr (3)	36.4	36.5	36.7	36.7	37.3	36.7
Peso de agua gr (4) = (1)-(2)	3.1	1.9	4.8	4.8	4.8	3
Peso de muestra seca gr (5) = (2)-(3)	23.1	14.6	35.6	36	35	23.3
Contenido de humedad %	13.42	13.01	13.48	13.33	13.71	12.88

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 128: Contenido de humedad del suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana al 30% antes de inmersión en poza de curado

Muestra N°	1		2		3	
Numero de Golpes	55		26		12	
Lata de Humedad N°	1	2	3	4	5	6
Peso de Suelo Húmedo + tara gr (1)	59.5	54.4	57.9	61.2	58.9	69.1
Peso de suelo Seco + tara gr (2)	57	52.7	55.2	57.9	56.2	65
Peso de tara gr (3)	36.7	37	30.7	31	31.6	31.6
Peso de agua gr (4) = (1)-(2)	2.5	1.7	2.7	3.3	2.7	4.1
Peso de muestra seca gr (5) = (2)-(3)	20.3	15.7	24.5	26.9	24.6	33.4
Contenido de humedad %	12.32	10.83	11.02	12.27	10.98	12.28

Fuente: Elaboración propia.

3.6.8.2. Determinación del contenido de humedad del CBR antes de sumergir

Primero: Se obtuvo el peso del suelo húmedo sin el molde en gramos

$$W_{suelo\ húmedo} = W_{suelo + molde} - W_{molde}$$

Segundo: Luego se procede a realizar el cálculo de la densidad húmeda la cual resulta entre la división del peso del suelo sin el molde entre el volumen del suelo contenido en el molde.

$$\gamma_{Húmeda} = \frac{W_{suelo}}{Vol_{suelo}}$$

Tercero: Por último, se obtiene la densidad seca, del cociente de la densidad húmeda y el contenido de humedad más la unidad.

$$\gamma_{seca} = \frac{\rho_{húmeda}}{1 + W}$$

Tabla 129: Densidad de CBR del suelo arcilloso

Muestra N°	1	2	3
Numero de golpes	55	26	12
Volumen de molde cm ³ (1)	2294.50	2330.18	2328.31
Peso de Molde gr. (2)	8125.0	8535.0	6976.4
Peso de molde + suelo gr. (3)	12460.0	12685.0	10790.0
Peso de molde + suelo saturado gr. (4)	12755.0	13050.0	11275.0
Agua absorbida gr. (5) = (4)-(3)	295.0	365.0	485.0
Peso de la muestra antes de sumergir gr. (6) = (3)-(2)	4335.0	4150.0	3813.6
Peso de la muestra después de sumergir gr. (7) = (4)-(2)	4630.0	4515.0	4298.6
Densidad Húmeda gr. cm ³ (8) = (6) / (1)	1.89	1.78	1.64
Contenido de humedad, W% (9)	14.84	15.18	14.85
Densidad Seca gr/cm³ (10) = (8) / (1+(9))	1.65	1.55	1.43

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 130: Densidad de CBR del suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana al 15% antes de inmersión en poza de curado

Muestra N°	1	2	3
Numero de golpes	55	26	12
Volumen de molde cm ³ (1)	2264.60	2330.18	2356.76
Peso de Molde gr. (2)	6985.0	8015.0	6975.0
Peso de molde + suelo gr. (3)	11135.0	12020.0	10710.0
Peso de molde + suelo saturado gr. (4)	11440.0	12400.0	11180.0
Peso de agua absorbida gr. (5) = (4)-(3)	305	380	470
Peso de la muestra antes de sumergir gr. (6) = (3)-(2)	4150.0	4005.0	3735.0
Peso de la muestra después de sumergir gr. (7) = (4)-(2)	4455.0	4385.0	4205.0
Densidad Húmeda gr. cm ³ (8) = (6) / (1)	1.83	1.72	1.58
Contenido de humedad, W% (9)	14.82	14.04	14.86
Densidad Seca gr/cm³ (10) = (8) / (1+(9))	1.60	1.51	1.38

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 131: Densidad de CBR del suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana al 25% antes de inmersión en poza de curado

Muestra N°	1	2	3
Numero de golpes	55	26	12
Volumen de molde cm ³ (1)	2296.33	2328.31	2883.38
Peso de Molde gr. (2)	7775.0	7055.0	6270.0
Peso de molde + suelo gr. (3)	12335.0	11220.0	10090.0
Peso de molde + suelo saturado gr. (4)	12670.0	11645.0	10640.0
Peso de agua absorbida gr. (5) = (4)-(3)	335	425	550
Peso de la muestra antes de sumergir gr.	4560.0	4165.0	3820.0
Peso de la muestra después de sumergir gr. (7) = (4)-(2)	4895.0	4590.0	4370.0
Densidad Húmeda gr. cm ³ (8) = (6) / (1)	1.99	1.79	1.32
Contenido de humedad, W% (9)	13.26	13.41	13.38
Densidad Seca gr/cm³ (10) = (8) / (1+(9))	1.75	1.58	1.17

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 132: Densidad de CBR del suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana al 30% antes de inmersión en poza de curado

Muestra N°	1	2	3
Numero de golpes	55	26	12
Volumen de molde cm ³ (1)	2298.17	2324.59	2328.31
Peso de Molde gr. (2)	6610.0	6480.0	6475.0
Peso de molde + suelo gr. (3)	11020.0	10655.0	10345.0
Peso de molde + suelo saturado gr. (4)	11410.0	11115.0	10895.0
Peso de agua absorbida gr. (5) = (4)-(3)	390.0	460.0	550.0
Peso de la muestra antes de sumergir gr.	4410.0	4175.0	3870.0
Peso de la muestra después de sumergir gr.	4800.0	4635.0	4420.0
Densidad Húmeda gr. cm ³ (8) = (6) / (1)	1.92	1.80	1.66
Contenido de humedad, W% (9)	11.67	11.67	11.72
Densidad Seca gr/cm³ (10) = (8) / (1+(9))	1.72	1.61	1.49

Fuente: Elaboración propia.

3.6.8.3. Determinación del porcentaje de Humedad absorbida del ensayo de soporte

California (CBR)

Tabla 133: Porcentaje de absorción del ensayo de Soporte California (CBR) para el suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06

Muestra N°	1		2		3	
Numero de Golpes	55		26		12	
Lata de Humedad N°	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Peso de Suelo Húmedo + tara gr (1)	55.1	70.3	74.6	69.6	72.3	71.5
Peso de suelo Seco + tara gr (2)	49.2	63.6	66.1	60.5	61.5	59.0
Peso de tara gr (3)	31.0	31.5	32.5	33.5	32.1	31.8
Peso de agua gr (4) = (1)-(2)	5.9	6.7	8.5	9.1	10.8	12.5
Peso de muestra seca gr (5) = (2)-(3)	18.2	32.1	33.6	27.0	29.4	27.2
Contenido de humedad % (6) = (4) / (5)	32.42	20.87	25.30	33.70	36.73	41.35
Contenido de humedad promedio	26.64		29.50		41.35	
Porcentaje de humedad Absorbida	11.80		14.32		26.49	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 134: Porcentaje de absorción del ensayo de Soporte California (CBR) para el suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana al 15% antes de inmersión en poza de curado.

Muestra N°	1		2		3	
Numero de Golpes	55		26		12	
Lata de Humedad N°	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Peso de Suelo Húmedo + tara gr (1)	69.8	71.5	61.5	69.7	58.8	35.5
Peso de suelo Seco + tara gr (2)	62.7	63.2	54.6	61.3	53.2	31.5
Peso de tara gr (3)	29.4	31.7	31.6	31.7	31.1	11.4
Peso de agua gr (4) = (1)-(2)	7.1	8.3	6.9	8.4	5.6	4.0
Peso de muestra seca gr (5) = (2)-(3)	33.3	31.5	23.0	29.6	22.1	20.1
Contenido de humedad % (6) = (4) / (5)	21.32	26.35	30.00	28.38	25.34	19.90
Contenido de humedad promedio	23.84		29.19		22.62	
Porcentaje de humedad Absorbida	9.02		15.15		7.76	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 135: Porcentaje de absorción del ensayo de Soporte California (CBR) para el suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado cal al 10% y puzolana al 25% antes de inmersión en poza de curado.

Muestra N°	1		2		3	
Numero de Golpes	55		26		12	
Lata de Humedad N°	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Peso de Suelo Húmedo + tara gr (1)	48.0	29.10	39.0	33.6	33.4	35.2
Peso de suelo Seco + tara gr (2)	41.4	26.7	33.5	29.6	30.2	32.3
Peso de tara gr (3)	16.0	15.7	16.0	15.7	15.7	15.9
Peso de agua gr (4) = (1)-(2)	6.6	2.4	5.5	4.0	3.2	2.9
Peso de muestra seca gr (5) = (2)-(3)	25.4	11.0	17.5	13.9	14.5	16.4
Contenido de humedad % (6) = (4) / (5)	25.98	21.82	31.43	28.78	22.07	17.68
Contenido de humedad promedio	23.90		30.10		19.88	
Porcentaje de humedad Absorbida	10.64		16.69		6.5	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 136: Porcentaje de absorción del ensayo de Soporte California (CBR) para el suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana al 30% antes de inmersión en poza de curado.

Muestra N°	1		2		3	
Numero de Golpes	55		26		12	
Lata de Humedad N°	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Peso de Suelo Húmedo + tara gr (1)	35.30	33.8	34.6	32.9	31.3	30.2
Peso de suelo Seco + tara gr (2)	31.5	30.7	30.8	29.5	28.1	27.7
Peso de tara gr (3)	15.9	15.8	15.9	15.8	15.8	15.9
Peso de agua gr (4) = (1)-(2)	3.8	3.1	3.8	3.4	3.2	2.5
Peso de muestra seca gr (5) = (2)-(3)	156	14.9	14.9	13.7	12.3	11.8
Contenido de humedad % (6) = (4) / (5)	24.36	20.81	25.50	24.82	26.02	21.19
Contenido de humedad promedio	22.58		25.16		23.60	
Porcentaje de humedad Absorbida	10.92		13.49		11.88	

Fuente: Elaboración propia.

3.6.8.4. Determinación de la expansión del ensayo de soporte California (CBR).

Tabla 137: Determinación de la expansión del suelo arcilloso para 55 golpes.

Datos de ensayo de expansión		Muestra 1		
Tiempo acumulado		Dial	Expansión	
(Hs)	(Días)	*0.001"	(mm)	(%)
0	0	0.00	0.00	0.00%
24	1	126.00	3.20	2.56%
48	2	213.00	5.41	4.34%
72	3	255.00	6.48	5.19%
96	4	289.0	7.34	5.88%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 138: Determinación de la expansión del suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 para 26 golpes.

Datos de ensayo de expansión		Muestra 2		
Tiempo acumulado		Dial	Expansión	
(Hs)	(Días)	*0.001"	(mm)	(%)
0	0	0.00	0.00	0.00%
24	1	133.00	3.38	2.70%
48	2	239.00	6.07	4.85%
72	3	276.00	7.01	5.60%
96	4	306.0	7.77	6.21%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 139: Determinación de la expansión del suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 para 12 golpes.

Datos de ensayo de expansión		Muestra3		
Tiempo acumulado		Dial	Expansión	
(Hs)	(Días)	*0.001"	(mm)	(%)
0	0	0.00	0.00	0.00%
24	1	257.20	6.53	5.23%
48	2	388.20	9.86	7.89%
72	3	422.20	10.72	8.58%
96	4	459.2	11.66	9.33%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 140: Determinación de la expansión del suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 15% para 55 golpes.

Datos de ensayo de expansión		Muestra 1		
Tiempo acumulado		Dial	Expansión	
(Hs)	(Días)	*0.001"	(mm)	(%)
0	0	0.00	0.00	0.00%
24	1	149.00	3.78	3.03%
48	2	173.00	4.39	3.52%
72	3	178.20	4.53	3.63%
96	4	181.0	4.60	3.68%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 141: Determinación de la expansión del suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado cal al 10% y puzolana volcánica al 15% para 26 golpes.

Datos de ensayo de expansión		Muestra 2		
Tiempo acumulado		Dial	Expansión	
(Hs)	(Días)	*0.001"	(mm)	(%)
0	0	0.00	0.00	0.00%
24	1	167.00	4.24	3.39%
48	2	184.50	4.69	3.75%
72	3	192.00	4.88	3.90%
96	4	198.0	5.03	4.02%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 142: Determinación de la expansión del suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 cal al 10% y puzolana volcánica al 15% para 12 golpes.

Datos de ensayo de expansión		Muestra3		
Tiempo acumulado		Dial	Expansión	
(Hs)	(Días)	*0.001"	(mm)	(%)
0	0	0.00	0.00	0.00%
24	1	136.00	3.45	2.77%
48	2	137.00	3.48	2.79%
72	3	138.00	3.51	2.81%
96	4	140.0	3.56	2.85%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 143: Determinación de la expansión del suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 25% para 55 golpes.

Datos de ensayo de expansión		Muestra 1		
Tiempo acumulado		Dial	Expansión	
(Hs)	(Días)	*0.001"	(mm)	(%)
24	1	154.00	3.91	3.13%
48	2	173.00	4.39	3.52%
72	3	179.50	4.56	3.65%
96	4	183.0	4.65	3.72%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 144: Determinación de la expansión del suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 25% para 26 golpes.

Datos de ensayo de expansión		Muestra 2		
Tiempo acumulado		Dial	Expansión	
(Hs)	(Días)	*0.001"	(mm)	(%)
24	1	194.00	4.93	3.94%
48	2	197.00	5.00	4.00%
72	3	198.00	5.03	4.02%
96	4	198.0	5.03	4.02%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 145: Determinación de la expansión del suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado cal al 10% y puzolana volcánica al 25% para 12 golpes.

Datos de ensayo de expansión		Muestra3		
Tiempo acumulado		Dial	Expansión	
(Hs)	(Días)	*0.001"	(mm)	(%)
24	1	78.00	1.98	1.28%
48	2	80.00	2.03	1.31%
72	3	80.00	2.03	1.31%
96	4	81.0	2.06	1.33%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 146: Determinación de la expansión del suelo arcilloso de las calicatas de C-05 y C-06 estabilizado cal al 10% y puzolana volcánica al 30% para 55 golpes.

Datos de ensayo de expansión		Muestra 1		
Tiempo acumulado		Dial	Expansión	
(Hs)	(Días)	*0.001"	(mm)	(%)
0	0	0.00	0.00	0.00%
24	1	203.00	5.16	4.12%
48	2	203.00	5.16	4.12%
72	3	203.00	5.16	4.12%
96	4	203.2	5.16	4.13%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 147: Determinación de la expansión del suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 30% para 26 golpes.

Datos de ensayo de expansión		Muestra 2		
Tiempo acumulado		Dial	Expansión	
(Hs)	(Días)	*0.001"	(mm)	(%)
0	0	0.00	0.00	0.00%
24	1	164.50	4.18	3.35%
48	2	165.00	4.19	3.36%
72	3	165.50	4.20	3.37%
96	4	165.5	4.20	3.37%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 148: Determinación de la expansión del suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 30% para 12 golpes.

Datos de ensayo de expansión		Muestra3		
Tiempo acumulado		Dial	Expansión	
(Hs)	(Días)	*0.001"	(mm)	(%)
0	0	0.00	0.00	0.00%
24	1	151.50	3.85	3.08%
48	2	152.50	3.87	3.10%
72	3	152.50	3.87	3.10%
96	4	152.5	3.87	3.10%

Fuente: Elaboración propia.

3.6.8.5. Determinación del ensayo de soporte California (CBR)

Tabla 149: Penetración suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 a 55 golpes.

DATOS ENSAYO DE PENETRACION			MUESTRA 1			
PENETRACION		Carga Unitaria Patrón (kg/cm ²)	Carga (KN)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	CBR (%)
(mm)	(pulg)					
0.00	0.000		0.00	0.00	0.00	
0.64	0.025		0.12	11.73	0.61	
1.27	0.050		0.14	13.77	0.71	
1.91	0.075		0.22	22.43	1.16	
2.54	0.100	70.31	0.28	29.01	1.50	2.14%
3.18	0.125		0.34	34.69	1.80	
3.81	0.150		0.40	40.89	2.12	
5.08	0.200	105.46	0.53	53.64	2.78	2.63%
7.62	0.300		0.73	74.85	3.87	
10.16	0.400		0.93	95.10	4.92	
12.70	0.500		1.06	108.17	5.60	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 150: Penetración suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 a 26 golpes.

DATOS ENSAYO DE PENETRACION			MUESTRA 2			
PENETRACION		Carga Unitaria Patrón (kg/cm ²)	Carga (KN)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	CBR (%)
(mm)	(pulg)					
0.00	0.000		0.00	0.00	0.00	
0.64	0.025		0.10	10.20	0.53	
1.27	0.050		0.12	12.24	0.63	
1.91	0.075		0.19	18.97	0.98	
2.54	0.100	70.31	0.22	22.74	1.18	1.67%
3.18	0.125		0.26	26.12	1.35	
3.81	0.150		0.29	29.57	1.53	
5.08	0.200	105.46	0.36	36.71	1.90	1.80%
7.62	0.300		0.48	48.74	2.52	
10.16	0.400		0.59	60.35	3.12	
12.70	0.500		0.70	71.58	3.71	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 151: Penetración suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 12 golpes.

DATOS ENSAYO DE PENETRACION			MUESTRA 3			
PENETRACION		Carga Unitaria Patrón (kg/cm2)	Carga (KN)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm2)	CBR (%)
(mm)	(pulg)					
0.00	0.000		0.00	0.00	0.00	
0.64	0.025		0.05	5.48	0.28	
1.27	0.050		0.06	6.25	0.32	
1.91	0.075		0.07	7.14	0.37	
2.54	0.100	70.31	0.08	8.31	0.43	0.61%
3.18	0.125		0.09	9.40	0.49	
3.81	0.150		0.10	10.10	0.52	
5.08	0.200	105.46	0.11	11.62	0.60	0.57%
7.62	0.300		0.14	14.48	0.75	
10.16	0.400		0.17	17.44	0.90	
12.70	0.500		0.24	24.80	1.28	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 152: Penetración suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado cal al 10% y puzolana volcánica al 15% para 55 golpes.

DATOS ENSAYO DE PENETRACION			MUESTRA 1			
PENETRACION		Carga Unitaria Patrón (kg/cm2)	Carga (KN)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm3)	CBR (%)
(mm)	(pulg)					
0.00	0.000		0.00	0.00	0.00	
0.64	0.025		0.16	16.32	0.84	
1.27	0.050		0.26	26.92	1.39	
1.91	0.075		0.35	35.79	1.85	
2.54	0.100	70.31	0.43	43.34	2.24	3.19%
3.18	0.125		0.48	48.46	2.51	
3.81	0.150		0.52	53.23	2.76	
5.08	0.200	105.46	0.72	73.12	3.78	3.59%
7.62	0.300		0.86	88.00	4.55	
10.16	0.400		1.00	101.97	5.28	
12.70	0.500		1.13	114.92	5.95	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 153: Penetración suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 15% para 26 golpes.

DATOS ENSAYO DE PENETRACION		MUESTRA 2				
PENETRACION		Carga Unitaria Patrón (kg/cm2)	Carga (KN)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm3)	CBR (%)
(mm)	(pulg)					
0.00	0.000		0.00	0.00	0.00	
0.64	0.025		0.13	12.95	0.67	
1.27	0.050		0.21	21.72	1.12	
1.91	0.075		0.31	31.81	1.65	
2.54	0.100	70.31	0.37	37.73	1.95	2.78%
3.18	0.125		0.41	42.22	2.19	
3.81	0.150		0.47	47.52	2.46	
5.08	0.200	105.46	0.63	63.73	3.30	3.13%
7.62	0.300		0.78	79.54	4.12	
10.16	0.400		0.91	93.26	4.83	
12.70	0.500		1.03	105.37	5.45	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 154: Penetración suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 15% para 12 golpes.

DATOS ENSAYO DE PENETRACION		MUESTRA 3				
PENETRACION		Carga Unitaria Patrón (kg/cm2)	Carga (KN)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm3)	CBR (%)
(mm)	(pulg)					
0.00	0.000		0.00	0.00	0.00	
0.64	0.025		0.10	9.69	0.50	
1.27	0.050		0.13	12.75	0.66	
1.91	0.075		0.16	16.21	0.84	
2.54	0.100	70.31	0.18	18.66	0.97	1.37%
3.18	0.125		0.20	20.63	1.07	
3.81	0.150		0.22	22.43	1.16	
5.08	0.200	105.46	0.26	26.87	1.39	1.32%
7.62	0.300		0.33	33.85	1.75	
10.16	0.400		0.35	35.69	1.85	
12.70	0.500		0.37	37.73	1.95	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 155: Penetración suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 25% para 55 golpes.

DATOS ENSAYO DE PENETRACION		MUESTRA 1				
PENETRACION		Carga Unitaria Patrón (kg/cm2)	Carga (KN)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm3)	CBR (%)
(mm)	(pulg)					
0.00	0.000		0.00	0.00	0.00	
0.64	0.025		0.33	33.41	1.73	
1.27	0.050		0.50	50.90	2.63	
1.91	0.075		0.67	68.40	3.54	
2.54	0.100	70.31	0.81	82.11	4.25	6.04%
3.18	0.125		0.92	93.85	4.86	
3.81	0.150		1.04	106.33	5.50	
5.08	0.200	105.46	1.22	124.57	6.45	6.11%
7.62	0.300		1.42	145.27	7.52	
10.16	0.400		1.68	171.25	8.86	
12.70	0.500		1.94	197.37	10.22	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 156: Penetración suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 25% para 26 golpes.

DATOS ENSAYO DE PENETRACION		MUESTRA 2				
PENETRACION		Carga Unitaria Patrón (kg/cm2)	Carga (KN)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm3)	CBR (%)
(mm)	(pulg)					
0.00	0.000		0.00	0.00	0.00	
0.64	0.025		0.31	31.94	1.65	
1.27	0.050		0.48	48.95	2.53	
1.91	0.075		0.64	65.04	3.37	
2.54	0.100	70.31	0.76	77.86	4.03	5.73%
3.18	0.125		0.88	89.75	4.65	
3.81	0.150		0.99	100.46	5.20	
5.08	0.200	105.46	1.17	119.13	6.17	5.85%
7.62	0.300		1.36	138.70	7.18	
10.16	0.400		1.53	156.14	8.08	
12.70	0.500		1.69	172.53	8.93	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 157: Penetración suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 25% para 12 golpes.

DATOS ENSAYO DE PENETRACION		MUESTRA 3				
PENETRACION		Carga Unitaria Patrón (kg/cm2)	Carga (KN)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm3)	CBR (%)
(mm)	(pulg)					
0.00	0.000		0.00	0.00	0.00	
0.64	0.025		0.15	15.42	0.80	
1.27	0.050		0.22	22.15	1.15	
1.91	0.075		0.26	26.68	1.38	
2.54	0.100	70.31	0.30	30.64	1.59	2.26%
3.18	0.125		0.34	34.64	1.79	
3.81	0.150		0.37	37.93	1.96	
5.08	0.200	105.46	0.43	43.38	2.25	2.13%
7.62	0.300		0.53	53.60	2.77	
10.16	0.400		0.61	61.79	3.20	
12.70	0.500		0.68	69.63	3.60	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 158: Penetración del suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 30% para 55 golpes.

DATOS ENSAYO DE PENETRACION		MUESTRA 1				
PENETRACION		Carga Unitaria Patrón (kg/cm2)	Carga (KN)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm3)	CBR (%)
(mm)	(pulg)					
0.00	0.000		0.00	0.00	0.00	
0.64	0.025		0.30	30.35	1.57	
1.27	0.050		0.53	53.84	2.79	
1.91	0.075		0.74	75.13	3.89	
2.54	0.100	70.31	0.96	97.65	5.05	7.19%
3.18	0.125		1.18	120.53	6.24	
3.81	0.150		1.40	142.55	7.38	
5.08	0.200	105.46	1.68	171.43	8.87	8.41%
7.62	0.300		2.07	210.59	10.90	
10.16	0.400		2.37	241.18	12.48	
12.70	0.500		2.64	269.08	13.93	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 159: Penetración suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 30% para 26 golpes.

DATOS ENSAYO DE PENETRACION		MUESTRA 2				
PENETRACION		Carga Unitaria Patron (kg/cm2)	Carga (KN)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm3)	CBR (%)
(mm)	(pulg)					
0.00	0.000		0.00	0.00	0.00	
0.64	0.025		0.30	30.84	1.60	
1.27	0.050		0.46	46.87	2.43	
1.91	0.075		0.60	61.18	3.17	
2.54	0.100	70.31	0.75	76.11	3.94	5.60%
3.18	0.125		0.86	87.86	4.55	
3.81	0.150		0.95	96.79	5.01	
5.08	0.200	105.46	1.11	113.06	5.85	5.55%
7.62	0.300		1.50	153.08	7.92	
10.16	0.400		1.73	176.82	9.15	
12.70	0.500		1.98	201.41	10.43	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 160: Penetración suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 30% para 12 golpes.

DATOS ENSAYO DE PENETRACION		MUESTRA 3				
PENETRACION		Carga Unitaria Patrón (kg/cm2)	Carga (KN)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm3)	CBR (%)
(mm)	(pulg)					
0.00	0.000		0.00	0.00	0.00	
0.64	0.025		0.13	13.22	0.68	
1.27	0.050		0.21	21.78	1.13	
1.91	0.075		0.28	28.51	1.48	
2.54	0.100	70.31	0.33	33.53	1.74	2.47%
3.18	0.125		0.37	37.32	1.93	
3.81	0.150		0.42	42.71	2.21	
5.08	0.200	105.46	0.52	52.98	2.74	2.60%
7.62	0.300		0.69	70.60	3.65	
10.16	0.400		0.86	87.98	4.55	
12.70	0.500		1.01	102.91	5.33	

Fuente: Elaboración propia.

3.6.8.6. Determinación de la curvatura de esfuerzo de penetración

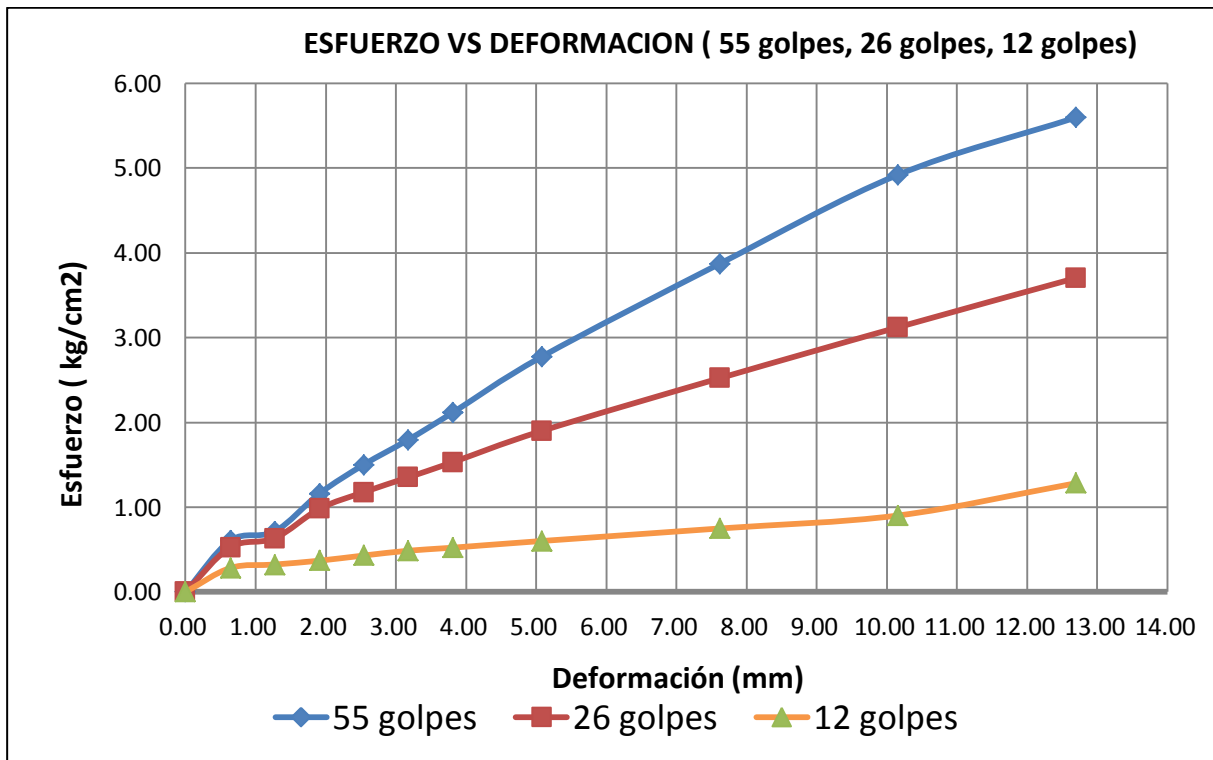


Figura Nro. 59 Suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06

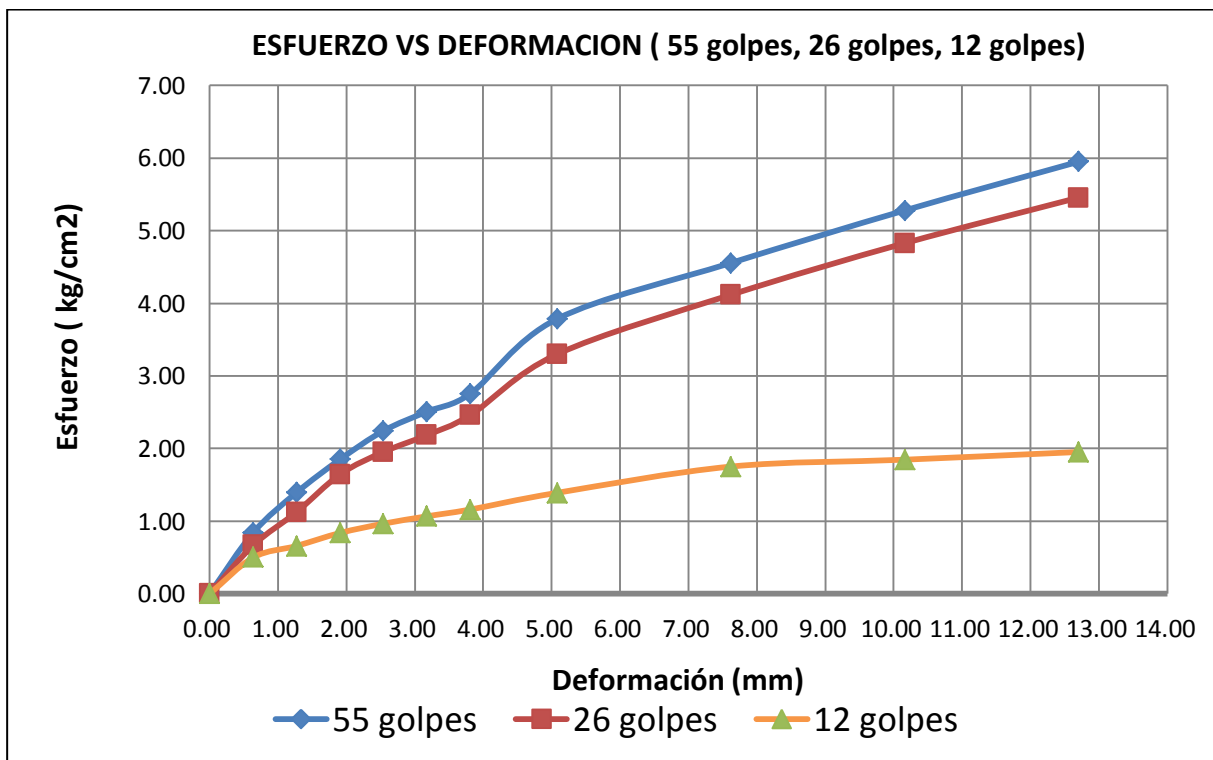


Figura Nro. 60 Suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 15%

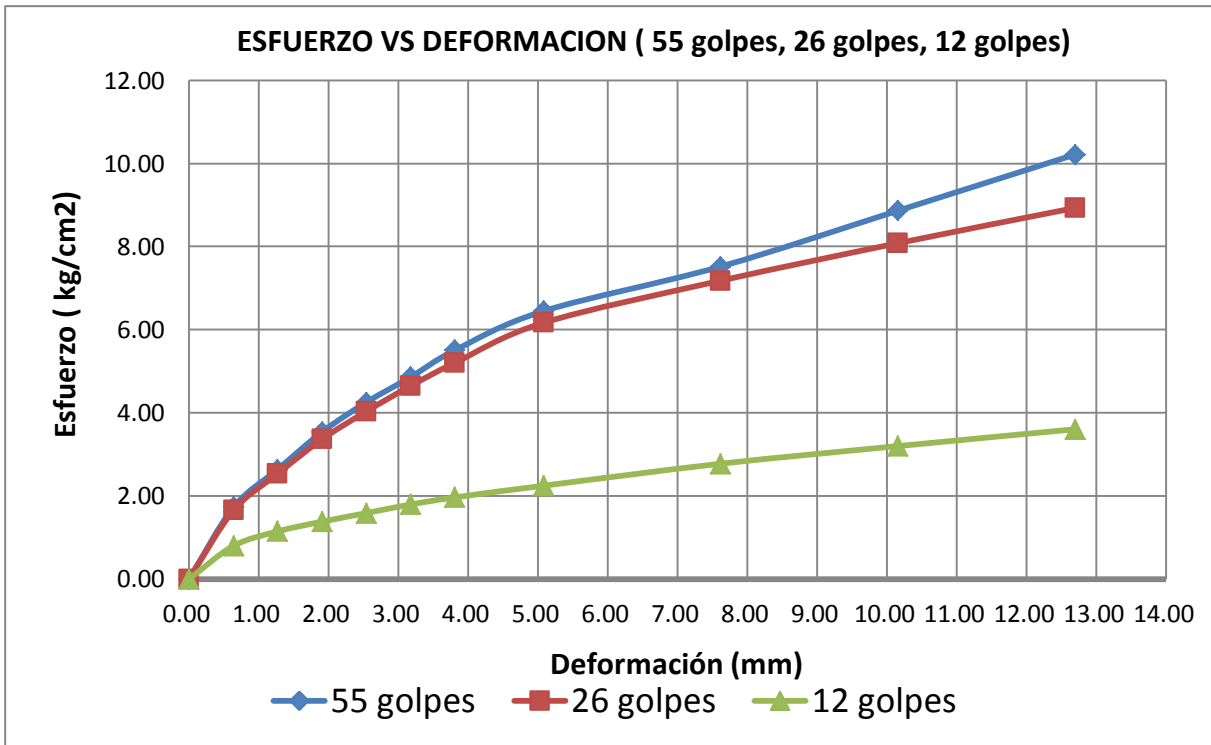


Figura Nro. 61 Suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 25%

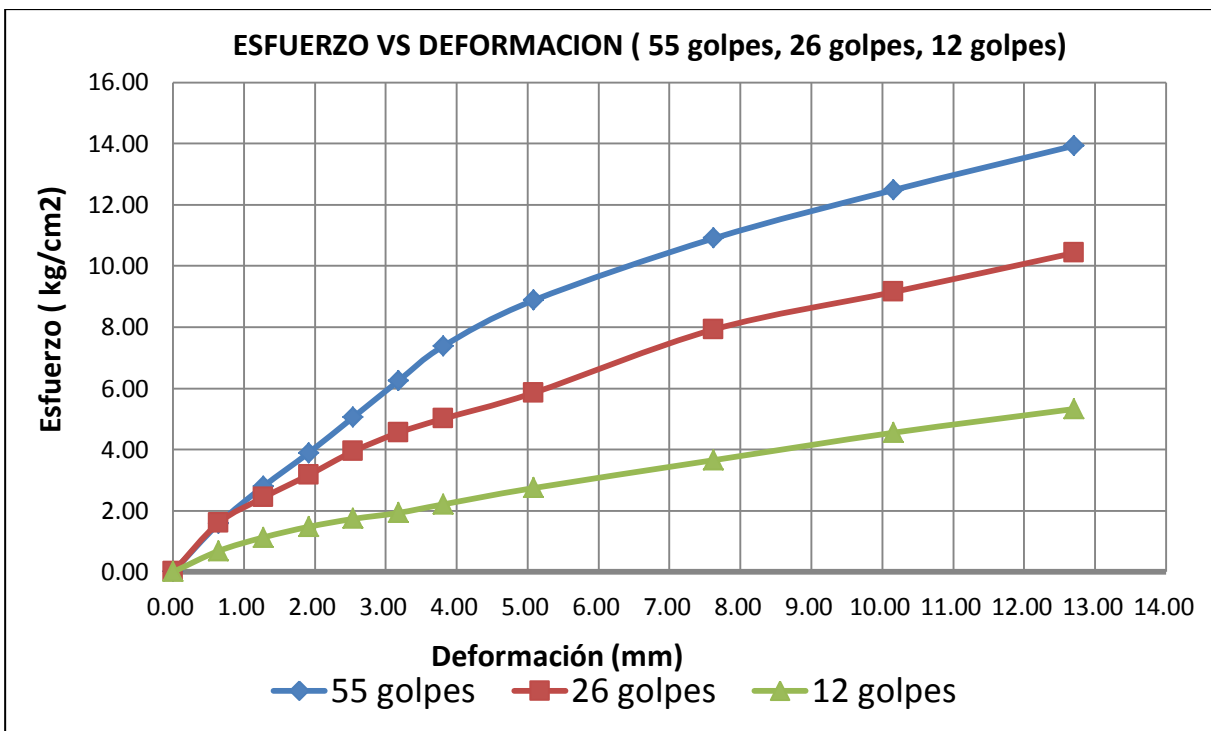


Figura Nro. 62 Suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 30%

3.6.8.7. Determinación de la densidad seca y el CBR

Con los datos obtenidos del esfuerzo a la penetración y la densidad seca, se realizó la siguiente gráfica.

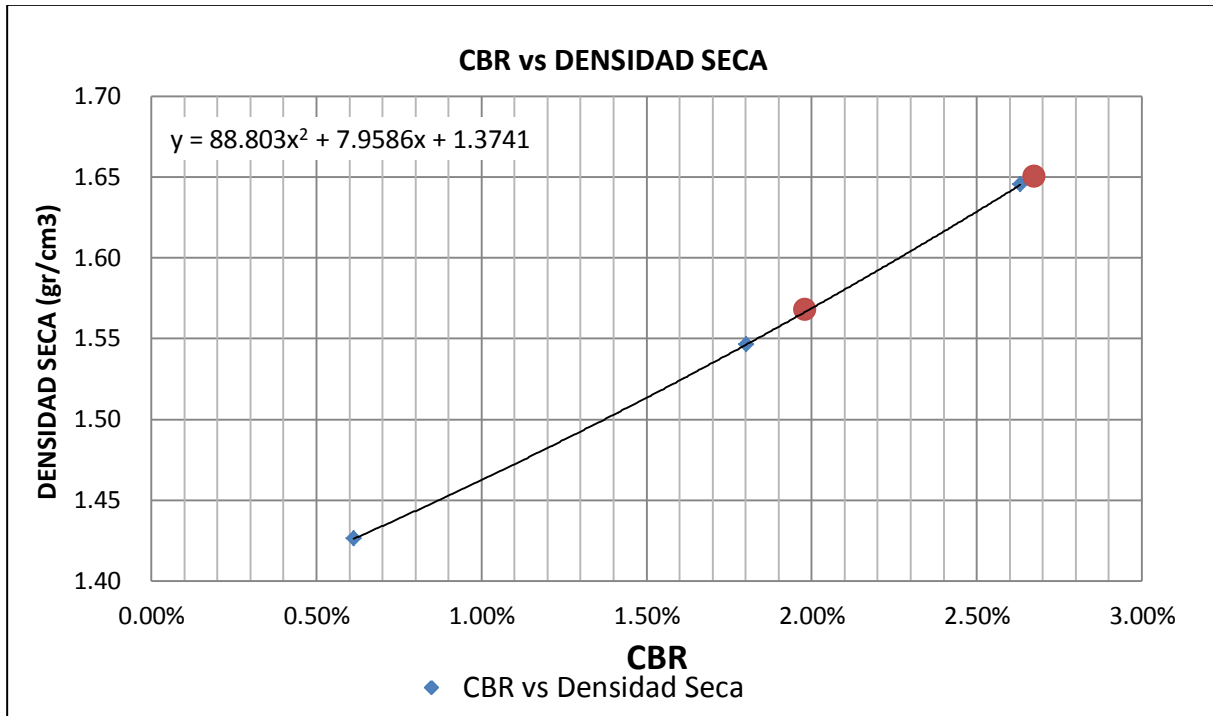


Figura Nro. 63 Gráfico de suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06

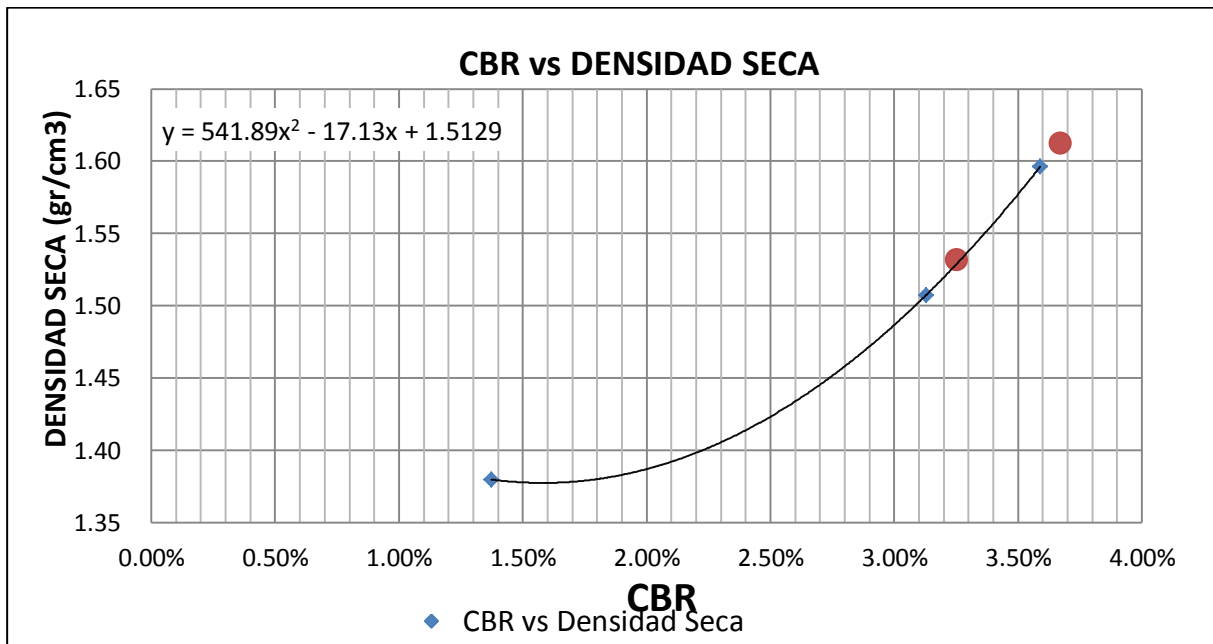


Figura Nro. 64 Suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 15%

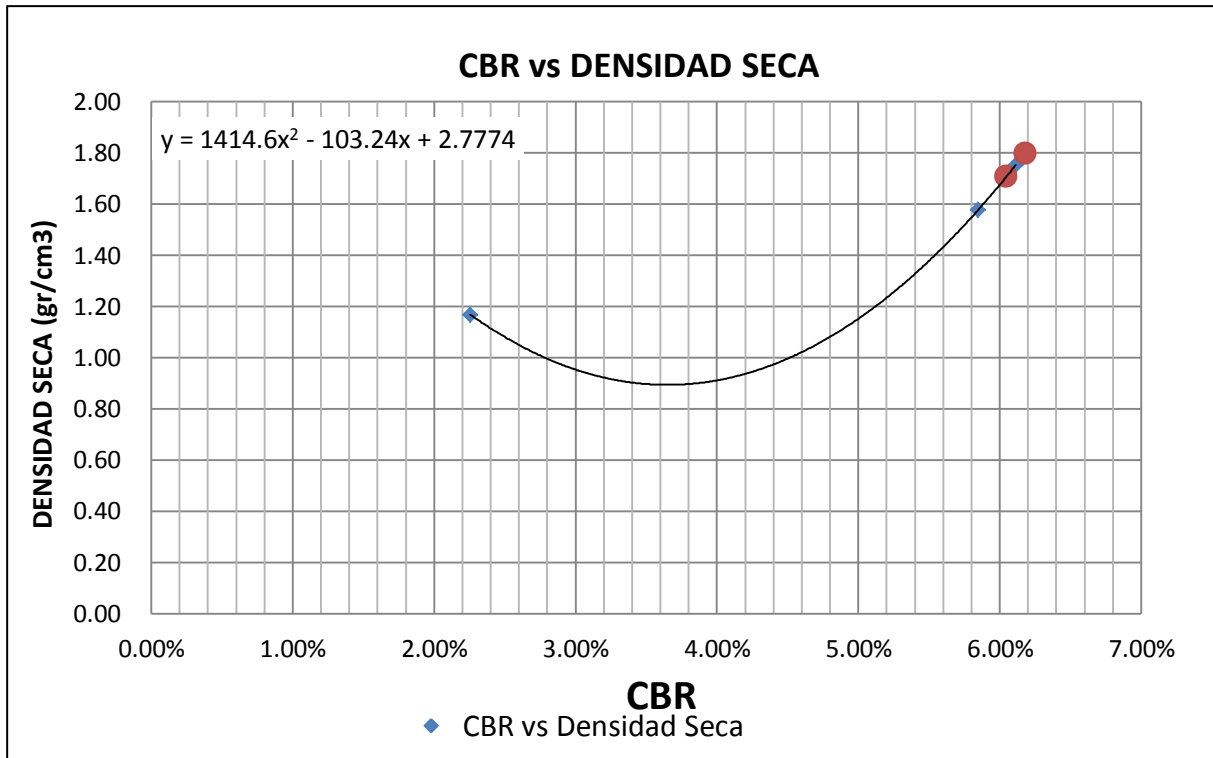


Figura Nro. 65 Suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 25%

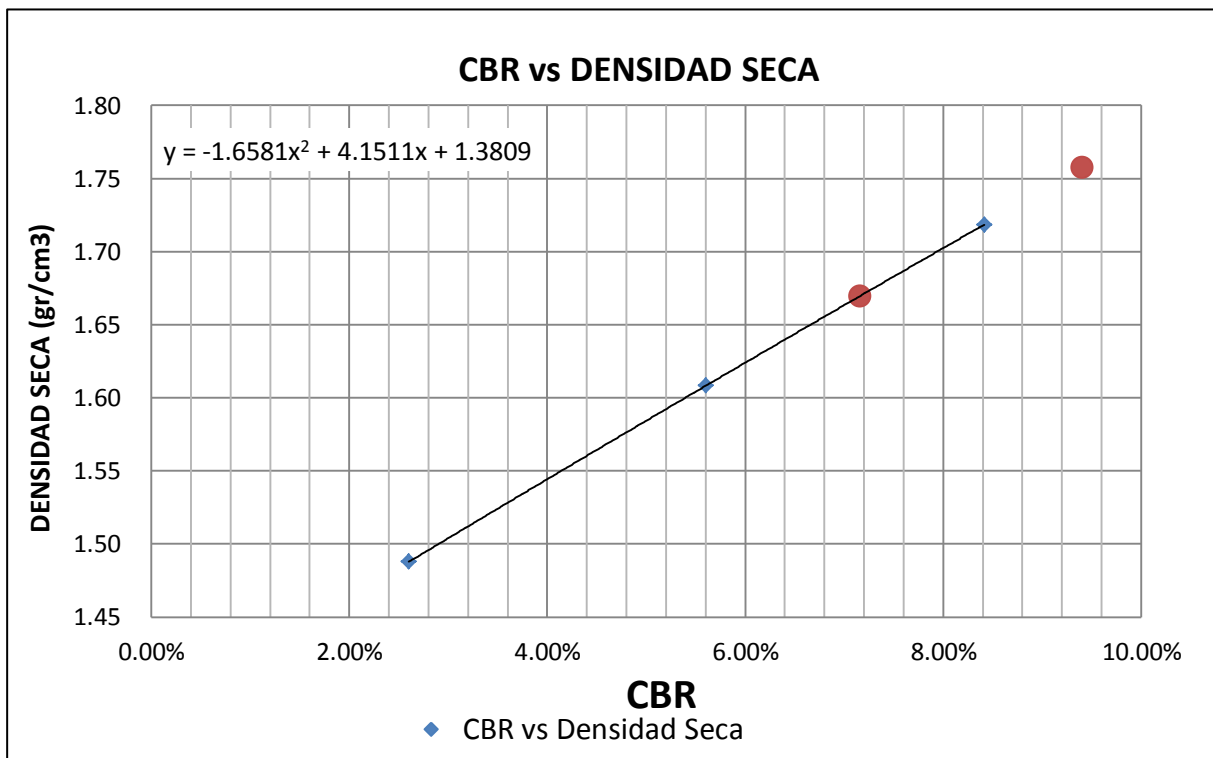


Figura Nro. 66 Suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 30%

3.6.8.8. Resultados finales del Ensayo de Soporte California (CBR)

Se obtuvieron los siguientes resultados para el ensayo de CBR:

Tabla 161: Suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06

Descripción	Resultado
Densidad Máxima Seca (gr/cm ³)	1.65
Densidad Máxima Seca 95% (gr/cm ³)	1.57
CBR al 100% de la Densidad Máxima Seca	2.67%
CBR al 95% de la Densidad Máxima Seca	1.98%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 162: Suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% + puzolana volcánica al 15%

Descripción	Resultado
Densidad Máxima Seca (gr/cm ³)	1.76
Densidad Máxima Seca 95% (gr/cm ³)	1.67
CBR al 100% de la Densidad Máxima Seca	4.45%
CBR al 95% de la Densidad Máxima Seca	3.99%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 163: Suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 25%

Descripción	Resultado
Densidad Máxima Seca (gr/cm ³)	1.79
Densidad Máxima Seca 95% (gr/cm ³)	1.70
CBR al 100% de la Densidad Máxima Seca	6.17%
CBR al 95% de la Densidad Máxima Seca	6.04%

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 164: Suelo arcilloso de las calicatas C-05 y C-06 estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 30%

Descripción	Resultado
Densidad Máxima Seca (gr/cm ³)	1.82
Densidad Máxima Seca 95% (gr/cm ³)	1.73
CBR al 100% de la Densidad Máxima Seca	11.01%
CBR al 95% de la Densidad Máxima Seca	8.68%

c) Análisis del Ensayo de Soporte California (CBR)

Según los datos obtenidos el ensayo de soporte california, podemos apreciar que el suelo arcilloso, más la cal, más la puzolana presentan un incremento en su densidad máxima seca, también se puede apreciar el incremento en CBR este incremento es de forma ascendente con respecto a la adición de cal al 10% y puzolana a 15%, 25%, 30%. De los cuales el suelo arcilloso más cal al 10% y puzolana al 30% es que presenta mejores resultados.

**CAPITULO IV: Resultados****4.1. Estratigrafía**

No hay presencia de nivel freático en todas las calicatas realizadas (C-01, C-02, C-03, C-04, C-05 y C-06) la cual se muestra en la estratigrafía sólo se observó presencia de alta humedad en las calicatas C-01, C-02, C-03 y C-04.

4.2. Determinación del contenido de humedad

Después del procesamiento de datos se obtuvo que el porcentaje de humedad de las calicatas N° 05 y 06 presenta un contenido de humedad menor a de las otras 4 calicatas según el siguiente cuadro.

Tabla 165: Resumen de los contenidos de humedad

CALICATA	MUESTRA	Peso del agua (gr)	Peso de suelo seco (gr)	HUMEDAD %	HUMEDAD NATURAL PROMEDIO %
C-01	TARA 1	2.20	15.90	13.84%	14.16%
	TARA 2	2.00	13.80	14.49%	
C-02	TARA 3	3.00	15.80	18.99%	20.38%
	TARA 4	2.70	12.40	21.77%	
C-03	TARA 5	1.90	14.80	12.84%	13.56%
	TARA 6	2.10	14.70	14.29%	
C-04	TARA 7	2.60	18.40	14.13%	14.97%
	TARA 8	2.80	17.70	15.82%	
C-05	TARA 9	1.70	31.90	5.33%	5.55%
	TARA 10	1.40	24.30	5.76%	
C-06	TARA 11	0.90	20.20	4.46%	5.22%
	TARA 12	1.00	16.70	5.99%	

Fuente: Elaboración propia.

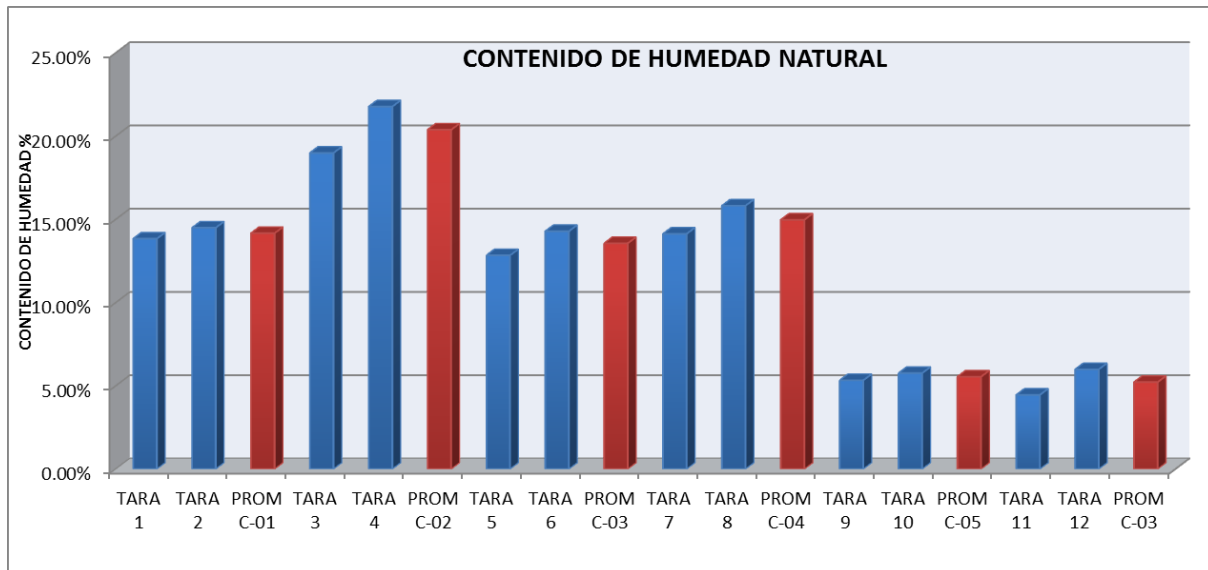


Figura Nro. 67 Contenidos de humedad natural

Comentario: Se determinó los contenidos de humedad solo del suelo sin estabilizar, presentándose más humedad en las primeras calicatas (C-01 a C-04) y en las C-05 y C-06 la humedad del suelo fue baja.

4.3. Resultado de límites de Atterberg

Se observa que hay una disminución del límite líquido del suelo arcilloso a comparación del suelo estabilizado con sus distintas dosificaciones.

Tabla 166: Resultados del ensayo de límites líquidos

Muestra	Resultado límite líquido
C-01	No presenta
C-02	No presenta
C-03	23.4%
C-04	23.4%
C-05	51.82%
C-06	58.28%
C-05 y C-06 adicionado con cal 10% y puzolana al 15%	38.13%
C-05 y C-06 adicionado con cal 10% y puzolana al 25%	38.21%
C-05 y C-06 adicionado con cal 10% y puzolana al 30%	39.51%

Fuente: Elaboración propia.

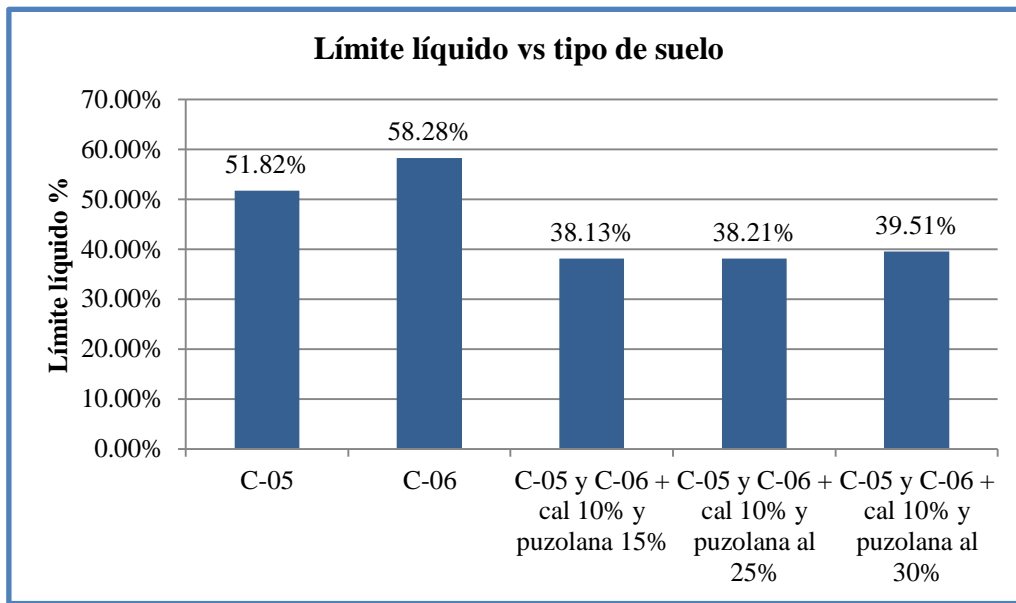


Figura Nro. 68 Limite líquido vs tipo de suelo

Comentario: Se observa una disminución en el límite plástico del suelo arcilloso sin estabilizar de la calicata C-05 y C-06 a comparación después de estabilizar con sus distintas dosificaciones de cal y puzolana volcánica.

Tabla 167: Resultados de los ensayos de límite plástico

Muestra	Resultado limite plástico
C-01	No presenta
C-02	No presenta
C-03	19.27%
C-04	21.33%
C-05	34.29%
C-06	38.15%
C-05 y C-06 adicionado con cal 10% y puzolana al 15%	25.88%
C-05 y C-06 adicionado con cal 10% y puzolana al 25%	22.40%
C-05 y C-06 adicionado con cal 10% y puzolana al 30%	21.46%

Fuente: Elaboración propia.

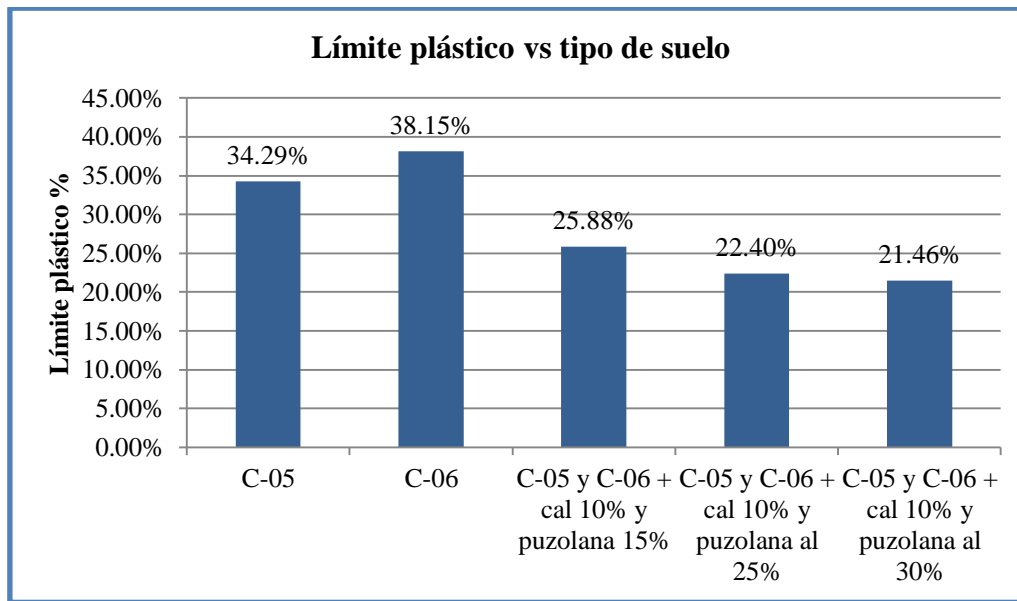


Figura Nro. 69 Limite plástico vs tipo de suelo

Comentario: Se observa que después de realizar la estabilización con cal y puzolana volcánica al suelo arcilloso de la calicata C-05 y C-06, este bajo en todos los casos pero a partir de la mezcla de cal al 10% y 15% de puzolana volcánica empezó a subir conforme se aumentaba los porcentajes de puzolana hasta el 30% de puzolana volcánica.

Tabla 168: Resultados del índice de plasticidad por calicata y suelo estabilizado

Muestra	Resultado índice de plasticidad
C-01	No presenta
C-02	No presenta
C-03	4.13
C-04	0.28
C-05	34.92
C-06	20.13
C-05 y C-06 adicionado con cal 10% y puzolana volcánica al 15%	12.25
C-05 y C-06 adicionado con cal 10% y puzolana volcánica al 25%	15.81
C-05 y C-06 adicionado con cal 10% y puzolana volcánica al 30%	18.05

Fuente: Elaboración propia.

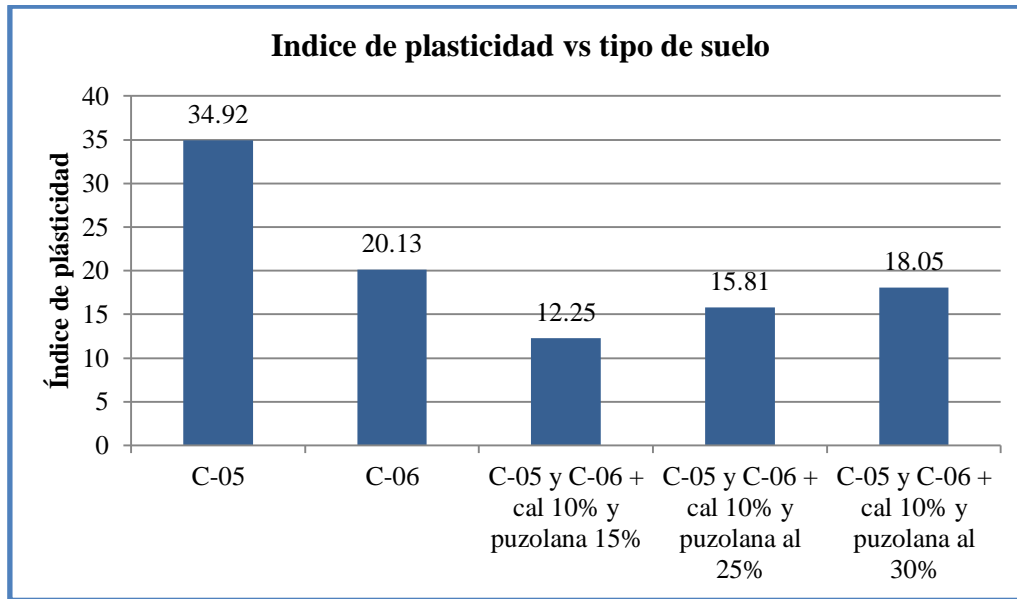


Figura Nro. 70 Índice de plasticidad vs tipo de suelo

Comentario: Se observa una disminución del índice de plasticidad en todos los casos a comparación del suelo arcilloso sin estabilizar de la C-05 y C-06, después de estabilizar con la primera mezcla de cal 10% y puzolana volcánica 15%, luego se incrementa conforme se aumenta el porcentaje de puzolana volcánica hasta la mezcla de cal 10% y puzolana volcánica 30%.

4.4. Clasificación de suelo

Se hizo la clasificación del suelo solo para el suelo natural arcilloso sin estabilizar.

Tabla 169: Resumen de los tipos de suelos obtenidos según

Muestra	Clasificación SUCS	Clasificación AASTHO
C-01	ML (Limo de baja plasticidad arenoso)	A-4(5)
C-02	ML (Limo de baja plasticidad arenoso)	A-4(5)
C-03	CL (Arcilla ligera de baja plasticidad areno)	A-4(5)
C-04	ML (Limo de baja plasticidad arenoso)	A-4(5)
C-05	CH (Arcilla densa de alta plasticidad)	A-7-5(13)
C-06	CH (Arcilla densa de alta plasticidad)	A-7-5(16)

Fuente: Elaboración propia.

4.5. Resultado de Proctor Modificado

Tabla 170: Resultados del ensayo de Proctor Modificado

Muestra	Densidad máxima seca (gr/cm3)	Contenido de humedad óptimo (%)
C-01 y C-02	1.89	5.08
C-03 y C-04	1.82	8.16
C-05 y C-06	1.65	13.56
C-05 y C-06 adicionado con cal 10% y puzolana al 15%	1.76	15.39
C-05 y C-06 adicionado con cal 10% y puzolana al 25%	1.79	12.44
C-05 y C-06 adicionado con cal 10% y puzolana al 30%	1.82	13.32

Fuente: Elaboración propia.

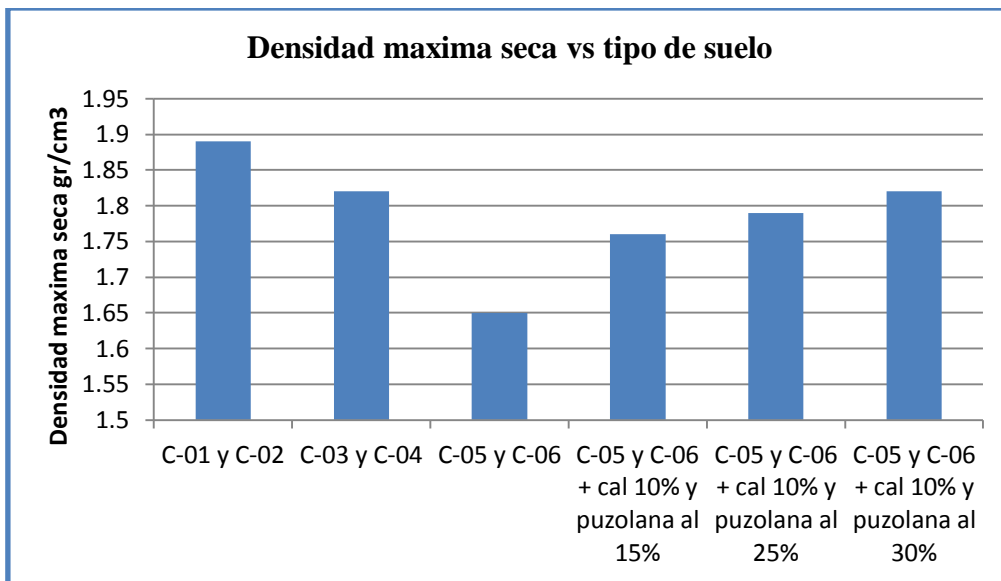


Figura Nro. 71 Densidad máxima seca vs tipo de suelo

Comentario: Las calicatas C-01, C-02, C-03 y C-04 son calicatas que son arcillosas arenosas por lo que no se estabilizaron y la calicata C-05 y C-06 que son arcillosas muy plásticas poseen una densidad máxima seca baja pero después de la estabilización con cal estas empezaron a aumentar conforme se aumentaban los porcentajes de puzolana volcánica.

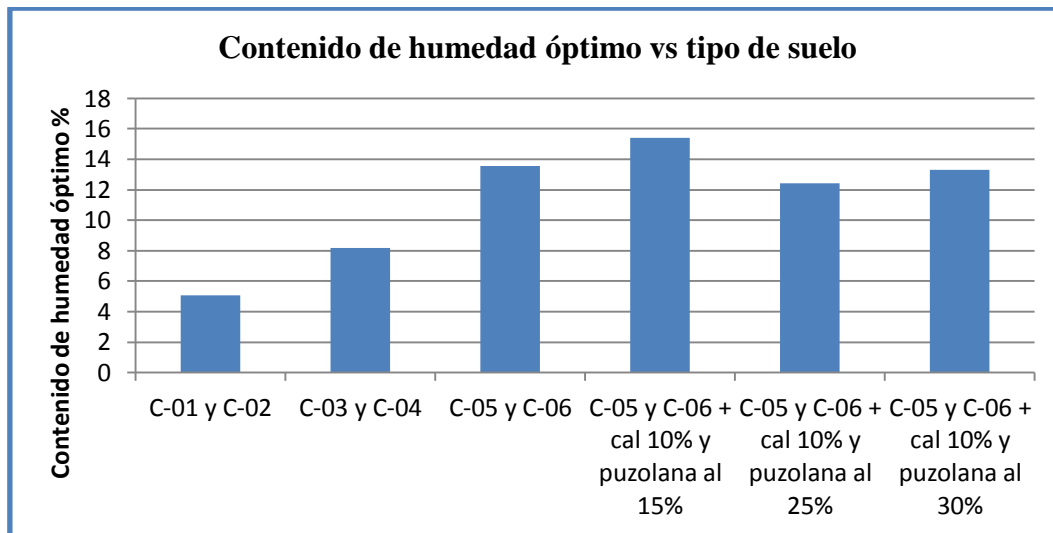


Figura Nro. 72 Contenido de humedad óptimo vs tipo de suelo

Comentario: Las calicatas C-01, C-02, C-03 y C-04 son calicatas que son arcillosas arenosas por lo que no se estabilizaron y la calicata C-05 y C-06 que son arcillosas muy plásticas el contenido de humedad el irregular ya que el suelo arcilloso sin estabilizar de la C-05 y C-06 posee un contenido de humedad óptimo que luego aumenta, baja y aumenta con forme se le agrega los agentes estabilizantes de cal y puzolana volcánica.

4.6. Resultado de Ensayo de Soporte California (CBR)

El ensayo de CBR se realizó para las calicatas C-05 y C-06 suelo arcilloso de alta plasticidad según SUCS y A-7-5 (13) y A-7-5 (16) respectivamente, para las mezclas estabilizadas con cal al 10% y puzolana volcánica al 15, 25 y 30% para un tiempo de curado de 96horas.

Tabla 171: Resumen de los resultados obtenidos de los ensayos de CBR

Muestra	CBR al 100%	CBR al 95%	Densidad máxima seca 100% (gr/cm3)	Densidad máxima seca 95% (gr/cm3)
C-05 y C-06	2.67%	1.98%	1.65	1.57
C-05 y C-06 estabilizado con cal 10% y puzolana al 15%	4.45%	3.99%	1.76	1.67
C-05 y C-06 estabilizado con cal 10% y puzolana al 25%	6.17%	6.04%	1.79	1.70
C-05 y C-06 estabilizado con cal 10% y puzolana al 30%	11.01%	8.68%	1.82	1.73

Fuente: Elaboración propia.

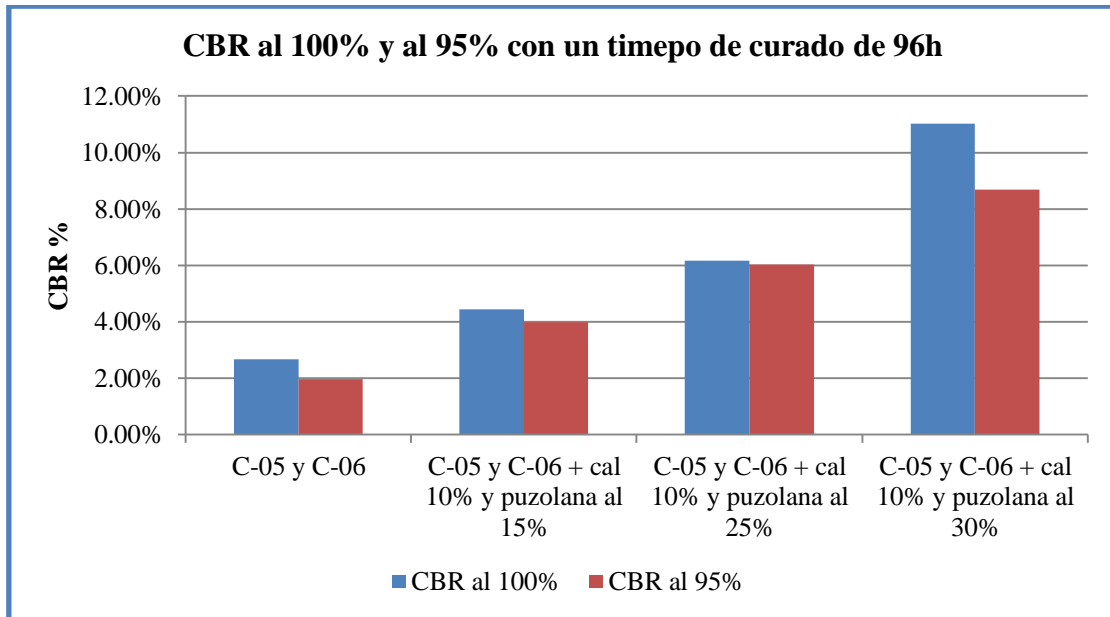


Figura Nro. 73 CBR del suelo arcilloso y estabilizado al 100% y 95%

Comentario: En el cuadro se observa que tanto en el CBR (Relación de soporte California) al 100% y 95% a comparación con el suelo sin estabilizar de la C-05 y C-06 esta mejora al estabilizarse con cal al 10% y puzolana volcánica al 15, 25 y 30%.

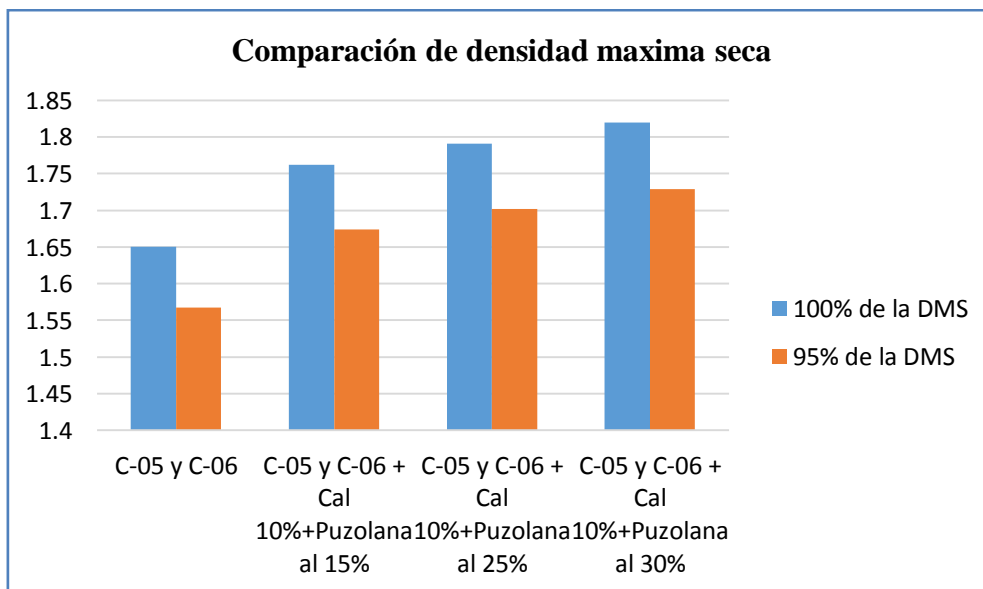


Figura Nro. 74 Comparación de densidad máxima seca obtenida en el CBR

Comentario: Se observa que en todos los casos la densidad máxima seca (DMS) incrementa a comparación del suelo arcilloso de la C-05 y C-06 conforme se añade la cal al 10% y puzolana volcánica al 15, 25 y 30%.

4.7. Resultados del ensayo de Ph

Tabla 172: Resultados del ensayo de Ph

		Resultados de los Ph-metro
Suelos	Suelo arcilloso natural	7.3
	Suelo arcilloso más cal 10% y puzolana volcánica 15%	7.5
	Suelo arcilloso más cal 10% y puzolana volcánica 25%	8.5
	Suelo arcilloso más cal 10% y puzolana volcánica 30%	9.5

Fuente: Elaboración propia.

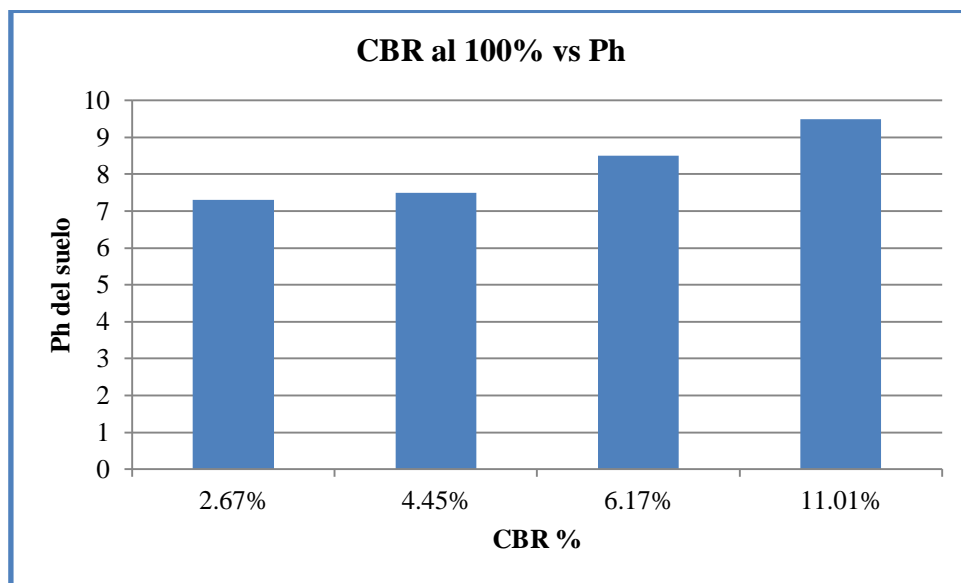


Figura Nro. 75 CBR al 100% vs Ph

4.8. Módulo de Resiliencia (Mr)

Tabla 173: Resultados del ensayo de módulo de resiliencia (Mr)

MUESTRA	CBR al 100%	Mr(psi)
C-05 y C-06	2.67%	4790
C-05 y C-06 estabilizado con cal 10% y puzolana volcánica 15%	4.45%	6643
C-05 y C-06 estabilizado con cal 10% y puzolana volcánica 25%	6.17%	8188
C-05 y C-06 estabilizado con cal 10% y puzolana volcánica 30%	11.01%	11861

Fuente: Elaboración propia.



CAPITULO V: Discusión

a) Contraste de resultados con referentes del marco teórico

¿Los resultados obtenidos en el ensayo de Soporte California CBR, satisface el CBR requerido en el “Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos”?

De acuerdo con los resultados obtenido, podemos determinar que el CBR alcanzado con las siguientes combinaciones de suelo arcilloso estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 25% y 30%, indica que nuestro suelo estabilizado alcanza un CBR al 95% de 6.04% y 8.68%, y un CBR al 100% de 6.17% y 11.01%; siendo estos resultados adecuados para el uso en sub rasante, según el Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos que exige un $CBR \geq 6\%$.

b) Interpretación de los resultados encontrados en la investigación

¿En qué porcentaje el CBR del Suelo arcilloso incrementa al estabilizarse con Cal al 10% y puzolana volcánica al 15%, 25% y 30%?

De acuerdo a los resultados obtenidos, podemos indicar que el suelo arcilloso tenía un CBR al 100% de 2.67% y después de la estabilización con porcentaje máximo de puzolana volcánica alcanza un 11.01% demostrando una mejora del suelo arcilloso.

¿Cómo fue la interacción química entre el suelo arcilloso, cal y puzolana volcánica registrada con el Ph como único indicador de propiedad química en la estabilización del suelo arcilloso?

Se observó que el Ph del suelo se incrementó al añadirse cal y puzolana volcánica desde un valor de 7.3 que poseía el suelo arcilloso alcalino, el Ph del suelo al estabilizarse con cal y puzolana volcánica siguió aumentado en una escala no tan grande hasta un Ph de 9.5 que es obtuvo con la máxima combinación, demostrando las reacciones químicas entre el suelo arcilloso, la cal y la puzolana volcánica aumentan las propiedades físico mecánicas del suelo en estudio.

c) Aportes de la investigación

¿Cuáles son los aportes de la investigación?



Se empleó una mezcla entre cal y puzolana volcánica de la cantera de Raqchi para estabilizar un suelo arcilloso muy plástico de la APV. Pícol Orcompugio, en proporciones de tal forma que se mantuvo estable la cal en 10% y puzolana volcánica en 15, 25 y 30%.

La utilización de la combinación de cal al 10% y puzolana volcánica al 30% como combinaciones máximas utilizadas, logran una mejor estabilización un suelo arcilloso muy plástico de tal manera que alcanza un CBR al 95% de 8.68% el cual es mayor al 6% exigido por el manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos para su uso como sub rasante.

Se hizo cuadros comparativos entre los límites líquidos, plásticos e índices de plasticidad, así también de las densidades máximas secas y contenidos de humedad óptimos, también del CBR obtenido para cada caso de la estabilización, con el fin de observar de mejor manera la variación y mejora de estos valores después de la estabilización con cal y puzolana volcánica.

Se mejoró un suelo arcilloso altamente plástico de la APV. Pícol Orcompugio que poseía un CBR bajo al 100% de 2.67% mejorando hasta obtener un CBR al 100% con la adición de cal 10% y puzolana volcánica al 30% de 11.01%.

Para la investigación se describió los comportamientos de los límites líquidos, plásticos, índices de plasticidad, densidades máximas secas y contenidos óptimos de humedad, ya que al mezclar cal y puzolana volcánica el suelo se comportó de manera diferente a diferencia de las estabilizaciones con solo cal.

d) Incorporación de temas nuevos que se han presentado durante el proceso de la investigación que no estaba considerado dentro de los objetivos de la investigación

¿Observar si se mejora a un más las propiedades físicas, mecánicas y químicas del suelo arcilloso al mantener estable la puzolana volcánica y aumentar los porcentajes de cal para la comprobación del factor de incidencia de la cal o la puzolana?

Si se cambian los porcentajes de cal y se mantienen los porcentajes de puzolana estable se podría ver si el aumento de cal hace que la arcilla mejore a un más sus propiedades físicas, mecánicas y químicas, de acuerdo a estos datos establecer porcentajes donde la estabilización del suelo arcilloso obtenga una mejora mayor en sus propiedades físicas, mecánicas y químicas.



Glosario

- Aditivo estabilizador:** Los aditivos estabilizantes deben aplicarse en suelos con problemas de presencia de material orgánico o en suelos con mucha presencia de finos (por ejemplo, en zonas de selva, zonas de bastante lluvia, pantanos, etc).
- Arcillas altamente sensibles:** Estas arcillas pierden resistencia al ser alteradas o re formadas y presentan mucha dificultad para obtener su resistencia cortante.
- Cal:** Es la terminología usada para designar la forma física del óxido de calcio (CaO)
- Capacidad de carga:** Es la presión última o la falla por corte que se produce en el suelo y esta se determina con la utilización de fórmulas aceptadas por la mecánica de los suelos.
- Densidad Máxima Seca:** Es la relación que existe con el contenido óptimo de humedad, correspondiente a la mayor densidad que puede alcanzar un suelo al ser compactado.
- Ensayo de Soporte California:** Por medio de este ensayo se mide la resistencia cortante del suelo, para poder evaluar la calidad del terreno. Este ensayo se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad.
- Estabilización:** Es un proceso tanto físico como químico, por el cual se mejora las condiciones mecánicas que posee el suelo.
- Flujos de arcilla:** Son suelos que al estar en contacto con el agua se comportan de manera como si alcanzasen el límite líquido, produciendo movimientos que son más lentos que el deslizamiento. Las cuales se la en pequeñas pendientes, pero en cantidades grandes.



- Humedad óptima:** Es el porcentaje de humedad, aplicado a un suelo; este puede alcanzar mediante compactación si densidad máxima seca DMS.
- Método químico:** Es el empleo de sustancias químicas muy especiales las cuales estabilizan suelos arcillosos y que al ser empleados en porciones pequeñas produce efectos deseados de mucha acción.
- PH:** Es el coeficiente que indica el grado de acides y alcalinidad de una solución.
- Puzolana:** Son materiales que contienen sílice reactiva o también pueden contener aluminio, este material por si solo tiene poca o ninguna calidad.
- Resilencia:** Es cuando un material es sometido a una energía de deformación y este puede recuperar su forma cuando cese el esfuerzo.
- Suelo:** Son agregados naturales conformados por partículas minerales, granulares y cohesivas las cuales se pueden separar por diferentes medios tanto mecánicos de aplicación de poca energía o por agitación de agua.



Acrónimos

AASTHO:	Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes.
AENOR:	Asociación Española de Normalización y Certificación.
APV:	Asociación Pro Vivienda.
ASTM:	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.
CBR:	Relación de Soporte California.
DIN:	Instituto Alemán de Normalización.
DME:	Depósitos de Material Excedente.
DMS:	Densidad Máxima Seca.
IP:	Índice de Plasticidad.
LKD:	Ceniza Volante de Horno de Cal.
LL:	Límite Líquido.
LP:	Límite Plástico.
MR:	Módulo de Resiliencia.
MTC:	Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
PH:	Potencial de Hidrógeno.
SUCS:	Sistema Unificado de Clasificación Suelos.



Conclusiones

Conclusión N°01

Se comprobó la hipótesis general, *“El uso de cal al 10% y puzolana volcánica al 15, 25 y 30% como estabilizadores mejora las propiedades físicas, mecánicas y químicas del suelo arcilloso, utilizado en la sub rasante de vías pavimentadas en la APV. Pícol Orcompugio.”*

Debido a que se comprobó que físicamente se consiguió reducir el porcentaje del límite líquido y plástico; mecánicamente por que se logró incrementar la densidad máxima seca, se logró incrementar el módulo de resiliencia e incrementar el porcentaje del CBR del suelo; químicamente se logró incrementar el PH del suelo. Es decir las combinaciones utilizadas de cal al 10% mantenida estable combinado con puzolana en sus porcentajes de 15%, 25% y 30% logran mejorar todas las propiedades físicas, mecánicas y químicas del suelo arcilloso de la APV. Pícol Orcompugio.

Conclusión N°2:

Se logró demostrar la sub hipótesis N°01 *“El uso de la cal 10% y puzolana volcánica 15, 25 y 30% como estabilizador del suelo arcilloso mejora por encima del 6% de CBR (Relación de Soporte California) para la sub rasante de vías pavimentadas en la APV. Pícol Orcompugio.”*

Según la tabla 173 se muestra el incremento gradual del porcentaje del CBR (95%), conforme se iba incrementado la cantidad de puzolana; teniendo como resultados:

CBR del suelo arcilloso 1.98% comparado con el CBR del suelo arcilloso estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 15% de 3.99%,

CBR del suelo arcilloso 1.98% comparado con el CBR del suelo arcilloso estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 25% de 6.04%

CBR del suelo arcilloso 1.98% comparado con el CBR del suelo arcilloso estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 30% de 8.68%

Siendo estos resultados los requeridos por el manual de carreteras suelos, geología, geotecnia y pavimentos que tienen un valor mínimo de CBR de 6%.

**Conclusión N°3:**

Se verificó la sub hipótesis N°02 *“La adición de cal al 10% y puzolana volcánica al 15, 25 y 30% como agente estabilizador influye positivamente en el suelo arcilloso aumentando la Densidad Máxima Seca (DMS) del suelo arcilloso de la sub rasante de vías pavimentadas en la APV. Pícol Orcompugio.”*

Según los resultados obtenidos en las tabla 172, siendo estos:

Suelo arcilloso se obtuvo que su Densidad Máxima Seca 1.65 gr/cm³.

Suelo arcilloso estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 15% se obtuvo que su Densidad Máxima Seca es 1.76 gr/cm³.

Suelo arcilloso estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 25% se obtuvo que su Densidad Máxima Seca es 1.79 gr/cm³.

Suelo arcilloso estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 30% se obtuvo que su Densidad Máxima Seca es 1.82 gr/cm³; la densidad máxima seca fue incrementado conforme se fue incrementado el porcentaje de puzolana volcánica en el suelo arcilloso.

Conclusión N°4:

Se verificó la sub hipótesis N°03 *“Disminuye los porcentajes de límite líquido por debajo del 40% y límite plástico por debajo de 25% al adicionarse la cal al 10% y puzolana volcánica al 15, 25 y 30% como estabilizador al suelo arcilloso de la sub rasante de vías pavimentadas en la APV. Pícol Orcompugio”*

Según los resultados mostrados en la tabla 168 se puede apreciar la disminución del límite líquido del suelo arcilloso con la adición de sus estabilizantes, teniendo como resultados:

Suelo arcilloso comparado con el suelo arcilloso estabilizado con la combinación cal al 10% y puzolana volcánica al 15%, 25% y 30% presenta una disminución del 34.26%, 34.12% y 31.88% respectivamente.

De igual manera disminuye los porcentajes limite plástico, según los resultados mostrados en la tabla 169 se puede apreciar que al comparar el suelo arcilloso con el Suelo arcilloso estabilizado con la combinación cal al 10% y puzolana volcánica al 15%, 25% y30% presenta una disminución del 32.16%, 41.28% y 43.75% respectivamente.

**Conclusión N°5:**

Se verifica la sub hipótesis N° 04 *“Incrementa la alcalinidad del suelo arcilloso al estabilizarse con cal al 10% y puzolana volcánica al 15, 25 y 30% para la sub rasante de vías pavimentadas en la APV. Pícol Orcompugio.”*

Según los resultados de la tabla 174, se verificó el incremento del PH;

Suelo arcilloso de 7.3.

Suelo arcilloso estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 15% de 7.5.

Suelo arcilloso estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 25% de 8.5.

Suelo arcilloso estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 30% de 9.5.

Demostrándose que hubo una buena interacción química entre la arcilla, cal y puzolana volcánica, que tal forma que al incrementarse la cantidad de material estabilizante el suelo se vuelve más alcalino. Por lo tanto se ha inferido que a mayor alcalinidad del suelo mayor valor de porcentaje de CBR.

Conclusión N°6:

Se verifica la sub hipótesis N° 05 *“El suelo arcilloso incrementa su Módulo de Resiliencia al estabilizarse con cal al 10% y puzolana volcánica al 15, 25 y 30% para la sub rasante de vías pavimentadas en la APV. Pícol Orcompugio.”*

Según la tabla 175, se verificó el incremento del módulo de resiliencia teniendo como resultado:

Suelo arcilloso 4790psi.

Suelo arcilloso estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 15% de 6643psi.

Suelo arcilloso estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 25% de 8188psi.

Suelo arcilloso estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 30% de 11861psi.



Recomendaciones

1. Utilizar equipos mecánicos que pueda triturar la puzolana en partículas más finas que puedan pasar la malla N°200 con el fin de mejorar la interacción entre el suelo arcilloso, la cal y la puzolana volcánica al realizar la estabilización.
2. Se recomienda realizar un análisis de costos unitarios para la verificación comparativa de la incidencia entre estabilizar el suelo con la combinación de cal y puzolana volcánica o realizar el cambio de sub rasante por material de relleno.
3. Analizar de manera más detallada la interacción a nivel químico entre la cal, la puzolana volcánica y el suelo arcilloso.
4. Estudiar a profundidad las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la puzolana volcánicas para establecer una clasificación de esta y que tipo reacciona de manera más positiva al momento de la estabilización.
5. Comprobar la calidad de la estabilización con la misma combinación utilizada pero con la aplicación de otros tipos de cal.



Bibliografía

- Asociación Americana de Constructores de Carreter. (Noviembre de 2006). Manual de estabilización de suelos tratado con cal. Estados Unidos: National Lime Association.
- Beltrán Parra, M. A., & Copado Beltrán, J. A. (2011). *Estabilización de un suelo arcilloso con cal hidratada, para ser utilizada como capa subrasante de pavimentos en la colonia San Juan Capistrano de ciudad Obregón, Son.* Obregón: Instituto Tecnológico de Sonora.
- Bowles, J. (1981). *Laboratorio de suelos*. Mexico: McGRAW-HILL.
- Braja M., D. (2015). *Fundamentos de ingeniería Geotécnica* (cuarta ed.). (S. Cervantes González, Ed.) Mexico: CENGAGE Learning.
- Calle Llactahuamani, S. E., & Arce Huahuachampi, M. G. (2018). *Estabilización con polímero acrílico de la subrasante de la zona del puente de Añashuayco para su uso como base y comparación frente a un pavimento convencional*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín.
- Calle Llactahuamani, S., & Arce Huahuachampi, M. (2018). *Estabilización con polímero acrílico de la subrasante de la zona del puente de Añashuayco para su uso como base y comparación frente a un pavimento convencional*. Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín.
- García Romero, E., & Suárez Barrio, M. (s.f.). Las arcillas: Propiedades y Usos. *Universidad de Complutense y Universidad de Salamanca*, 3-24.
- Gonzales de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Mecánica de Suelos*. Madrid, ESPAÑA: PEARSON EDUCACIÓN, S. A.
- Guamán Iler, I. I. (2016). *Estudio del comportamiento de un suelo arcilloso estabilizado por dos métodos químicos (cal y cloruro de sodio)*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Mateos de Vicente, M. (2014). *Estabilización de Tierras Para pavimentos, cimientos, laderas, zanjas y casas de adobe* (2º Edición ed.). Madrid, España: Bellisco, Ediciones técnicas y científicas.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Lima: Ministerio de transportes y comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de ensayos de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Peña Pinedo, O., & Ramos Fernández, N. (2015). *Análisis comparativo de la estabilización de limos de baja plasticidad (Ccontay) con cal, cemento y aceites sulfonados para subrasantes en la APV República de Francia en el sector del Alto Qosqo para pavimentos urbanos*. Cusco: Universidad Andina del Cusco.
- Peña Pinedo, O., & Ramos Fernández, N. (2015). *Análisis comparativo de la estabilización de limos de baja plasticidad (Ccontay) con cal, cemento y aceites sulfonados para*



subrasantes en la APV. Republica de Francia en el sector del Alto Qosqo para pavimentos urbanos. Cusco, Perú: Universidad Andina del Cusco.

Pérez Collantes, R. (2012). *Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada y/o sub base de pavimentos*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

Pérez Collantes, R. (2012). *Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada y/o sub base de pavimentos*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

Practical Action Technology challenging poverty. (1994). Puzolanas. *Practical Action*, 6.

Ruano López, D. R. (2012). *Estabilización de suelos cohesivos por medio de arenas volcánicas y cal viva*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

Salazar J., A. (s.f.). *ecoingenieria*. Obtenido de *ecoingenieria*: <http://www.ecoingenieria.org/docs/Puzolanas.pdf>



Anexos

Matriz de consistencia

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS	HIPÓTESIS
Problema general: ¿Cómo afecta la adición de cal al 10% y la puzolana volcánica al 15, 25 y 30% como estabilización química para mejorar las propiedades físicas, mecánicas y químicas del suelo arcilloso, para sub rasante de vías pavimentadas en la APV. Pícol Orcompugio?	Objetivo general Determinar cómo varían las propiedades físicas, mecánicas y químicas del suelo arcilloso mediante la estabilización química al adicionarse cal al 10% y puzolana volcánica al 15, 25 y 30%, para mejorar la sub rasante de vías pavimentadas en la APV. Pícol Orcompugio.	Hipótesis general: El uso de cal al 10% y puzolana volcánica al 15, 25 y 30% como estabilizadores mejora las propiedades físicas, mecánicas y químicas del suelo arcilloso, utilizado en la sub rasante de vías pavimentadas en la APV. Pícol Orcompugio.
Problema específicos	Objetivos específicos:	Hipótesis específica:
1. ¿Cuánto varía la magnitud de la capacidad de soporte (CBR) del suelo arcilloso, estabilizado con la adición de cal al 10% y puzolana volcánica al 15, 25 y 30% para sub rasante de vías pavimentadas en la APV. Pícol Orcompugio?	1. Determinar la variación de la magnitud de la Relación de Soporte California (CBR) del suelo arcilloso estabilizado con la adición de cal al 10% y puzolana volcánica al 15, 25 y 30% para sub rasante de vías pavimentadas en la APV. Pícol Orcompugio.	1. El uso de la cal 10% y puzolana volcánica 15, 25 y 30% como estabilizador del suelo arcilloso mejora por encima del 6% de CBR (Relación de Soporte California) para la sub rasante de vías pavimentadas en la APV. Pícol Orcompugio.
2. ¿Cuánto es la variación de la Densidad Seca Máxima (DMS) del suelo arcilloso, estabilizado con adición de cal al 10% y puzolana volcánica al 15, 25 y 30% para sub rasante de vías pavimentadas en la APV. Pícol Orcompugio?	2. Determinar la variación de la Densidad Seca Máxima (DMS) del suelo arcilloso estabilizado al adicionarse cal 10% y puzolana volcánica al 15, 25 y 30% para la sub rasante de vías pavimentadas en la APV. Pícol Orcompugio.	2. Disminuye los porcentajes de límite líquido por debajo del 40% y límite plástico por debajo de 25% al adicionarse la cal al 10% y puzolana volcánica al 15, 25 y 30% como estabilizador al suelo arcilloso de la sub rasante de vías pavimentadas en la APV. Pícol Orcompugio.



		Orcompugio.
3. ¿Cuánto es la variación del índice de plasticidad del suelo arcilloso, estabilizado con la adición de cal al 10% y puzolana volcánica al 15, 25 y 30% para sub rasante de vías pavimentadas en la APV. Pícol Orcompugio?	3. Determinar la variación del índice de plasticidad del suelo arcilloso estabilizado con la adición de cal al 10% y puzolana volcánica al 15, 25 y 30% para la sub rasante de vías pavimentadas en la APV. Pícol Orcompugio.	3. Disminuye los porcentajes de límite líquido por debajo del 40% y límite plástico por debajo de 25% al adicionarse la cal al 10% y puzolana volcánica al 15, 25 y 30% como estabilizador al suelo arcilloso de la sub rasante de vías pavimentadas en la APV. Pícol Orcompugio.
4. ¿Cuánto varía el PH del suelo arcilloso al adicionarse cal al 10% y puzolana volcánica al 15, 25 y 30% para sub rasante de vías pavimentadas en la APV. Pícol Orcompugio?	4. Determinar cómo es la variación del el PH del suelo arcilloso estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 15, 25 y 30% para la sub rasante de vías pavimentadas en la APV. Pícol Orcompugio.	4. Incrementa la alcalinidad del suelo arcilloso al estabilizarse con cal al 10% y puzolana volcánica al 15, 25 y 30% para la sub rasante de vías pavimentadas en la APV. Pícol Orcompugio.
5. ¿En qué medida varía el Módulo de Resiliencia de una sub rasante de suelo arcilloso estabilizado con cal al 10% y puzolana volcánica al 15, 25 y 30% para sub rasante de vías pavimentadas en la APV. Pícol Orcompugio?	5. Determinará la variación del Módulo de Resiliencia de la sub rasante estabilizada con cal al 10% y puzolana volcánica al 15, 25 y 30% para la sub rasante de vías pavimentadas en la APV. Pícol Orcompugio.	5. El suelo arcilloso incrementa su Módulo de Resiliencia al estabilizarse con cal al 10% y puzolana volcánica al 15, 25 y 30% para la sub rasante de vías pavimentadas en la APV. Pícol Orcompugio.