

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**TESIS PROFESIONAL**

**COMPORTAMIENTO GEOLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DEL  
ÁREA PARA EL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DEL COLEGIO SAN CARLOS  
– BAMBAMARCA**

**Para optar el título profesional de:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. Edgar Omar Herrera Figueroa**

**ASESOR:**

**M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana**

**Cajamarca - Perú**

**2021**

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi gratitud a Dios por estar en cada momento, por guiar mis pasos cada día y por renovar mis fuerzas. a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, gracias por cada día que confiaron y creyeron en mi a pesar de las adversidades.

De igual manera a la universidad nacional de Cajamarca, a todos los docentes de la escuela académica profesional de ingeniería geológica. Y en especial, quiero agradecer al M.Cs. Ing. Roberto Gonzales Yana, Asesor de esta tesis y mi maestro, él fue el primero quien creyó en este proyecto, me apoyo de manera personal e institucional y me alentó para que concluyera con esta investigación.

Y a mis amigos y compañeros por su apoyo incondicional y que gracias a ellos fue posible la realización de este trabajo.

## **DEDICATORIA**

Esta tesis está dedicada a mis padres Enrique Herrera y Juana Figueroa quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, a mi esposa e hijos y a toda mi familia.

Esta tesis también está dedicada a la memoria de mi tío Gerardo Figueroa, vivió su vida, actuando concienzudamente sobre sus creencias, ayudando tanto a familiares como extraños necesitados. Se enfrentó valientemente a la vida y también a su muerte prematura e injusta. Su ejemplo me mantuvo soñando cuando quise rendirme.

## CONTENIDO

AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA .....	iii
RESUMEN .....	xvi
ABSTRAC .....	xvii
ABREVIATURAS.....	xviii
CAPÍTULO I .....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II .....	3
MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
2.1.1. Internacionales .....	3
2.1.2. Nacionales.....	4
2.1.3. Locales .....	5
2.2. BASES TEÓRICAS.....	6
2.2.1. Litología .....	6
2.2.2. Formaciones geológicas y su comportamiento frente al agua .....	6
2.2.2.1. Tipos de acuíferos.....	7
a. Los acuíferos libres .....	8
b. Acuíferos confinados .....	8
c. Acuíferos de medios porosos .....	8
d. Acuíferos de medios fisurados .....	8
2.2.2.2. Parámetros hidrogeológicos característicos de las formaciones geológicas .....	8
a. Porosidad .....	9

	Pág.
b. Permeabilidad .....	9
c. Transmisibilidad hidráulica .....	10
d. El coeficiente de almacenamiento.....	10
2.2.2.3. Relación de la permeabilidad con la granulometría. ....	11
2.2.3. Suelos expansivos .....	14
2.2.4. Suelos colapsables .....	15
2.2.5. Ensayos geotécnicos .....	16
2.2.5.1. Análisis granulométrico.....	16
2.2.5.2. Límites de Atterberg.....	19
2.2.5.2.1. Límites de plasticidad .....	20
2.2.5.3. Proctor normal.....	21
2.2.5.4. Relación de soporte califonia .....	22
2.2.5.5. Humedad natural.....	23
2.2.5.6. Densidad aparente.....	23
2.2.5.7. Ensayo de compresión simple.....	23
2.2.5.8. Ensayos de corte directo. ....	24
2.2.6. Cimentación mediante pilotes .....	25
2.2.7. Cimentación con pozos.....	26
2.2.8. Cimentación por sustitución del terreno .....	26
2.3. SISMICIDAD .....	27
2.3.1. Parámetros de sitio (S, <i>TPy TL</i> ).....	28
2.3.2. Factor de amplificación Sísmica (C).....	29
2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	30
CAPÍTULO III .....	32
MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	32
3.1.1. Geográfica.....	32

	Pág.
3.1.2. Política .....	32
3.1.3. Accesibilidad .....	32
3.1.4. Clima .....	33
3.1.5. Geología .....	33
3.1.5.1. Unidades Estratigráficas .....	33
3.1.6. Hidrogeología .....	35
3.1.6.1. Movimiento del agua subterránea .....	35
3.1.6.2. Evaluación hidrológica de la ciudad de Bambamarca .....	35
3.2. PROCEDIMIENTOS .....	35
3.2.1. Etapa preliminar de gabinete.....	36
3.2.2. Etapa de campo .....	36
3.2.3. Etapa de ensayos .....	36
3.2.4. Etapa final de gabinete .....	36
3.2.5. Metodología.....	36
3.2.5.1. Población de estudio.....	37
3.2.5.2. Muestra.....	37
3.2.5.3. Unidades de análisis .....	37
3.2.6. Identificación de variables .....	38
3.2.6.1. Independientes.....	38
3.2.6.2. Dependientes .....	38
3.2.7. Técnicas .....	38
3.2.8. Instrumentos y equipos.....	38
3.3. COMPORTAMIENTO GEOLÓGICO.....	40
3.3.1. Geología Regional .....	40
3.3.1.1. Formación Cajamarca (Km-c) .....	40
3.3.1.2. Formación Celendín (Ks - ce).....	41
3.3.1.3. Formación Chota (KPc - ch) .....	41
3.3.1.4. Volcánico Bambamarca (Mis - vb) .....	42

	Pág.
3.3.1.5. Depósito Fluvio – Aluviales (Qr - al) .....	43
3.3.2. Geología Local .....	43
3.3.2.1. Formación Chota (KPc – ch) .....	44
3.3.2.2. Depósitos aluviales (Qr-al) .....	45
3.3.3. Identificación de estratos .....	45
3.3.4. Estratigrafía .....	47
3.3.5. Geología Estructural .....	47
3.3.5.1. Fallas .....	48
3.3.5.2. Alineaciones Sedimentarias .....	50
3.3.5.3. Estratificación .....	50
3.4. COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO .....	51
3.4.1. Medición del nivel del agua en las calicatas .....	51
3.4.2. Líneas isofreáticas y dirección del flujo subterráneo .....	54
3.4.3. Parámetros hidrogeológicos de los estratos .....	55
3.4.3.1. Permeabilidad por infiltración – carga variable .....	55
3.5. COMPORTAMIENTO GEOTÉCNICO .....	58
3.5.1. Características Geotécnicas de los Materiales .....	58
3.5.2. Descripción de calicatas .....	58
3.5.3. Ensayos de suelos .....	63
3.5.3.1. Humedad natural.....	64
3.5.3.2. Densidad Relativa .....	64
3.5.3.3. Ensayo de análisis granulométrico.....	64
3.5.3.4. Límites de Atterberg.....	69
3.6. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	73
3.6.1. Geología y estructuras geológicas que condicionan el diseño de la cimentación. ....	73
3.6.2. Hidrogeología y propiedades físicas de los suelos que condicionan el diseño de la cimentación. ....	76

	Pág.
3.6.2.1. Nivel freático y sus variaciones .....	76
3.6.2.2 Propiedades hidrogeológicas de los estratos. ....	77
3.6.3. Propiedades geotécnicas de los suelos que condicionan el diseño de la cimentación. ....	80
3.6.3.1. Ensayos geotécnicos .....	80
3.6.4. Suelos expansivos .....	83
3.6.5. Suelos colapsables .....	83
3.6.6. Parámetros geotécnicos .....	85
3.7. PARÁMETROS SÍSMICOS .....	85
3.8. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES CON EL SOFTWARE SLIDE V6.005 Y PHASE 2 V8.0.....	85
3.9. ANÁLISIS DE LA CIMENTACIÓN.....	88
3.10. ANÁLISIS CON EL SOFTWARE Phase2 V8.0 .....	88
CAPÍTULO IV .....	91
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	91
4.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	91
4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	92
4.2.1. Estabilidad de taludes con muros de contención .....	93
4.2.2. Cimentación por sustitución del material .....	93
4.2.3. Cimentación por pilotes .....	100
4.2.4. Cimentación con pozos rellenos de hormigón pobre .....	100
4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....	100
CAPÍTULO V .....	101
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	101
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	103
ANEXOS .....	106
ANEXO 001 ENSAYOS DE PERMEABILIDAD .....	107

	Pág.
ANEXO 002	RESULTADOS DE ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS . 109
ANEXO 003	RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE CARGA ADMISIBLE USANDO EL SOFTWARE CSVIC..... 121
ANEXO 004	CÁLCULO DE DESPLAZAMIENTO DE FALLA ..... 124
ANEXO 005	RESULTADOS OBTENIDOS POR ING. ANGEL ZAMORA 2019 EN LA MISMA ÁREA..... 125
ANEXO 006	ALBUM DE FOTOS ..... 126
PLANOS	..... 130

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2. 1:	Cuadro de clasificación de los sedimentos en función de la granulometría de DIN 4022 y WENTWORTH..... 6
Tabla 2. 2:	Calificación del grado de colapso a partir del peso específico..... 16
Tabla 2. 3:	Tipos de suelos por su contenido de arena, grava y arcilla según la clasificación SUCS..... 18
Tabla 2. 4:	Parámetros de sitio para corrección de valor se zona sísmica. ... 28
Tabla 2. 5:	Periodos de amplificación sísmica. .... 29
Tabla 3. 1:	Clasificación y tipos de la investigación. .... 37
Tabla 3. 2:	Características del ambiente de transición. .... 47
Tabla 3. 3:	En esta tabla se muestra la diferencia de buzamientos de los estratos de la parte superior e inferior..... 51
Tabla 3. 4:	Mediciones del nivel freático en las calicatas. .... 51
Tabla 3. 5:	Ubicación de los acuíferos para la determinación de gradiente hidráulico. .... 54
Tabla 3. 6:	Gradiente hidráulico del área de cimentación..... 55
Tabla 3. 7:	Valores de k en cm/s..... 57
Tabla 3. 8:	Resultados de Humedad natural de las muestras de suelo. .... 64
Tabla 3. 9:	Cálculo de densidades in situ. .... 64
Tabla 3. 10:	Peso de las muestras iniciales y después de lavado. .... 65

	Pág.
Tabla 3. 11: Resultados de ensayo granulométrico de muestra M1 .....	66
Tabla 3. 12: Resultados de ensayo granulométrico de la muestra M2. ....	67
Tabla 3. 13: Resultados de ensayo granulométrico de la muestra M3. ....	68
Tabla 3. 14: Cu y Cc de las tres muestras.....	69
Tabla 3. 15. Resultados de Límites de Atterberg. ....	69
Tabla 3. 16: Propiedades de las fallas encontradas .....	73
Tabla 3. 17: Propiedades geológicas del terreno tomadas en campo .....	75
Tabla 3. 18: Descripción de calicatas y sus variaciones de nivel freático. ....	77
Tabla 3. 19 : Resultados de propiedades hidrogeológicas de dos estratos. ....	78
Tabla 3. 20: Descripción del material de la calicata N° 04 de manera directa. .....	80
Tabla 3. 21: Descripción del material de la calicata N° 07 de manera directa. .....	80
Tabla 3. 22: Resultados de ensayos de suelos realizados. ....	81
Tabla 3. 23. Resultados de los índices de los suelos. ....	82
Tabla 3. 24: Resultados de las muestras si son o no suelos expansivos. ....	83
Tabla 3. 25: Grado de colapso según su peso específico de cada muestra....	83
Tabla 3. 26: Resultados de los ensayos de suelos y determinando su colapsabilidad del suelo. ....	84
Tabla 3. 27: Parámetros geotécnicos de las muestras ensayadas. ....	85
Tabla 3. 28: Coeficientes sísmico horizontal y vertical del área de cimentación. .....	85
Tabla 3. 29: Factor de seguridad de perfiles según Jambu y Bishop.....	85
Tabla 3. 30: Capacidad portante de los suelos según MEYERHOF. Y carga ultima admisible para zapatas cuadradas de 2 metros de lado. ..	88
Tabla 3. 31: Asentamientos.....	89
Tabla 3. 32: Asentamiento en metros según el tipo de diseño de cimentación. ....	89

Tabla 6. 1:	Límites de Atterberg, clasificación de suelos, coeficiente de permeabilidad y corte directo calculados en otro estudio con fines de estabilidad de taludes de la misma área. ....	125
-------------	---	-----

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2. 1:	Tipos de acuíferos según el funcionamiento hidráulico. (Custodio y Llamas, 1983). ....	7
Figura 2. 2:	Condiciones para el uso de pilotes en cimentaciones. (Braja, 2011).....	26
Figura 2. 3:	Posibles soluciones de cimentaciones en suelos difíciles. (González de Vallejo, 2002). ....	27
Figura 2. 4:	Mapas de las zonas sísmicas del Perú. ....	28
Figura 3. 1:	Líneas de flujo y dirección de flujo de aguas subterráneas. ....	55
Figura 3. 2.	Fallas geológicas que pasan por el área de cimentación del colegio San Carlos-Bambamarca. ....	74
Figura 3. 3:	Flujo del agua subterránea hacia la superficie. ....	78
Figura 3. 4:	Comportamiento hidrogeológico con el software Phase2. ....	79
Figura 3. 5:	Perfil 01 análisis de estabilidad según Bishop simplificado, indicando inestabilidad en estos taludes.....	86
Figura 3. 6:	Perfil 02 análisis de estabilidad según Bishop simplificado, indicando inestabilidad en este talud.. ....	87
Figura 3. 7:	Perfil A-A' del área de cimentación. ....	88
Figura 3. 8:	Perfil C-C' Asentamientos en los estratos arena limosa de 0.0001m y limo de baja plasticidad de 0.089m a 0.124m. ....	90
Figura 4. 1:	Aumento de factor de seguridad de 0.264 a 1.07.....	93
Figura 4. 2:	Cimentación del colegio por sustitución del terreno de 3.5m.....	94
Figura 4. 3:	Máximo asentamiento (0.02m) con el método de reemplazamiento de material. ....	95
Figura 4. 4:	Cimentación con pilotes. ....	96

Figura 4. 5:	Asentamientos de 0.0001m con diseño de pilotes de 0.46m de diámetro de concreto armado.....	97
Figura 4. 6:	Cimentación con pozos rellenos de hormigón pobre.....	98
Figura 4. 7:	Asentamiento de 0.019m con el diseño de cimentación de pozos de hormigón pobre de 3.0m.....	99

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2. 1:	Estimación del coeficiente C de Hanzen (gráfico elaborado a partir de valores numéricos de Weight (2018)).....	12
Gráfico 2. 2:	Curvas de Breddin de la conductividad hidráulica del material. (Simoes, 2010). ....	14
Gráfico 2. 3:	Curva granulométrica de un suelo según NTP 339.128 ASTM D422. ....	17
Gráfico 2. 4:	Interpretación de la curva granulométrica según NTP 339.128 ASTM D422. ....	18
Gráfico 2. 5:	Límites de Atterberg. (Torrijo, 2013).....	20
Gráfico 2. 6:	Curva de flujo para la determinación del límite líquido de una arcilla limosa. (Braja, 2011). ....	20
Gráfico 2. 7:	Capacidad de carga. (Braja, 2011).....	21
Gráfico 2. 8:	Efecto de la energía de compactación en arcilla limosa. (Braja, 2011).....	22
Gráfico 2. 9:	Tensión al corte $\tau$ en función de la deformación horizontal $\epsilon$ . (Hoyos, 2012). ....	25
Gráfico 2. 10:	Resistencia al corte en función de la tensión normal ( $\sigma$ ). (Hoyos, 2012). ....	25
Gráfico 3. 1:	Precipitación y temperatura en la localidad de Bambamarca. ....	33
Gráfico 3. 2:	Curva granulométrica de la muestra M1 arena amarillenta.....	66
Gráfico 3. 3:	Curva granulométrica de la muestra M2 suelo limo arcilloso marrón rojizo.....	67
Gráfico 3. 4:	Curva granulométrica de la muestra de suelo M3. ....	68
Gráfico 3. 5:	Curva de fluidez de muestra 01 (M1). ....	70

	Pág.
Gráfico 3. 6: Abaco de casa grande de muestra 01 (M1).....	70
Gráfico 3. 7: Curva de fluidez de la muestra 02 (M2). ....	71
Gráfico 3. 8: Abaco de casa grande de muestra 02 (M2).....	71
Gráfico 3. 9: Curva de fluidez de la muestra 03 (M3). ....	72
Gráfico 3. 10: Abaco de casa grande de muestra 03 (M3).....	72
Gráfico 3. 11: Ángulo de fricción a partir de Índice de Plasticidad. ....	82
Gráfico 3. 12: Criterio de colapsabilidad de Gibbs. ....	84

### **LISTA DE IMÁGENES**

Imagen 3. 1: Estratos de la Formación Chota (parte inferior) y depósitos cuaternarios (parte superior). ....	34
Imagen 3. 2: Estratos de calizas de la Formación Cajamarca.....	40
Imagen 3. 3: Estratos de calizas margosas de la Formación Celendín. ....	41
Imagen 3. 4: Estratos de la Formación Chota. ....	42
Imagen 3. 5: Contacto de la Formación Chota y Volcánico Bambamarca. ....	42
Imagen 3. 6: Contacto entre la Formación Chota y Depósitos Aluviales. ....	43
Imagen 3. 7: Zona de la cimentación donde se observa los estratos de la Formación Chota. ....	44
Imagen 3. 8: Contacto entre la Formación Chota y los Depósitos Fluviales. ....	45
Imagen 3. 9: Estrato donde presenta minerales (yeso y calcita). ....	46
Imagen 3. 10: Fallas identificadas desde una imagen satelital.....	48
Imagen 3. 11: Falla normal sinistral en el área de cimentación.....	49
Imagen 3. 12: Falla inversa que pasa por el área de cimentación casi de oeste a este. ....	49
Imagen 3. 13: Alineaciones sedimentarias en los estratos de la Formación Chota. ....	50
Imagen 3. 14: (A) Estratificación en la parte norte del área de cimentación; (B) Medición del estrato de la parte sur del área de sedimentación. ....	50

Imagen 3. 15: (A) Calicata N° 11 presencia de nivel freático a 0.2m del nivel del suelo. (B) Calicata N° 09 indicio del nivel freático. ....	53
Imagen 3. 16: Calicata N° 01 con presencias de agua subterránea en diferentes estaciones del año, noviembre y agosto respectivamente. ....	54
Imagen 3. 17: Estratos de suelos de la formación Chota con mayor resistencia a la meteorización y erosión. ....	58
Imagen 3. 18: Muestras tomadas para los ensayos de suelos. ....	63

### LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 3. 1: Calicata N° 01 y calicata N° 02 donde el nivel freático se encuentra a nivel del suelo. ....	52
Fotografía 3. 2: Izquierda calicata N° 04 no presenta agua subterránea. Derecha calicata N° 05 calicata hecha a solo 10m y a la misma altura que la calicata 007 y no presenta agua subterránea. ....	52
Fotografía 3. 3: (A) Calicata N° 07 y (B) calicata N° 08 afloramiento del nivel freático a 1.0m y 0.4m respectivamente, ubicadas en el centro del área de cimentación. ....	53
Fotografía 3. 4: Ensayo in situ de permeabilidad en suelo limo arcilloso. ....	56
Fotografía 3. 5: Calicata N° 01 con coordenadas UTM DATUM WGS-84 E: 773 359; N: 9 261 921. Cota: 2 568msnm. ....	59
Fotografía 3. 6: Calicata N° 02 en suelos limos arcillosos blanquecinos con coordenadas UTM DATUM WGS-84 E: 773 357; N:9 261 968. Cota: 2 577msnm. ....	59
Fotografía 3. 7: Calicata N° 04 en estratos limos arcillosos con coordenadas UTM DATUM WGS-84 E: 773 386; N:9 261 900. Cota: 2 577msnm. ....	60
Fotografía 3. 8: Calicata N° 05 en estrato de arena limosa amarillenta con coordenadas UTM DATUM WGS-84 E: 773 419 y N:9 261 912. Cota: 2 582msnm. ....	60
Fotografía 3. 9: Calicata N° 06 con coordenadas UTM DATUM WGS-84 E:773 399; N:9 261 920. Cota: 2 568msnm ....	61
Fotografía 3. 10: Calicata N° 07 sobre falla geológica con coordenadas UTM DATUM WGS-84 E: 773 439; N:9 261 962. Cota: 2 579msnm ....	62

Fotografía 3. 11:	Calicata N° 08 sobre limos arcillosos con coordenadas UTM DATUM WGS-84 E: 773 439; N:9 261 995. Cota:2 585msnm. ....	62
Fotografía 3. 12:	Realización del tamizado para el análisis granulométrico. ....	65
Fotografía 3. 13:	Ejecución del Límite Líquido (Izquierda) y límite plástico (Derecha). ....	69
Fotografía 3. 14:	Estrato de mayor porosidad y permeabilidad en el área de cimentación. Con coordenadas UTM WGS-84 E= 773388 N= 9261908. ....	77
Fotografía 6. 1:	Contacto entre la Formación Chota y Volcánico Bambamarca.....	126
Fotografía 6. 2:	Afloramiento de agua subterránea.....	126
Fotografía 6. 3:	Remoción de masas de taludes generados por el corte hecho para la cimentación. ....	127
Fotografía 6. 4:	Estructuras de sedimentación de los estratos.....	127
Fotografía 6. 5:	Falla inversa en el área de cimentación. ....	128
Fotografía 6. 6:	Afloramiento de agua subterránea en calicata N° 02.....	128
Fotografía 6. 7:	Corte del área de cimentación donde aflora los estratos de la Formación Chota. ....	129
Fotografía 6. 8:	Contacto de la Formación Chota y depósitos fluviales. ....	129

## RESUMEN

Este proyecto de investigación trata del comportamiento Geotécnico para el diseño de la cimentación del colegio San Carlos en Bambamarca. Para el estudio se ha tenido en cuenta geología estructural, mecánica de suelos y la hidrogeología. La construcción que se pretende realizar se ubica sobre suelos producto de la meteorización in situ de la Formación Chota, siendo su Geología; suelos limo arenoso con clastos, carbonatos y sulfatos. Se realizaron estudios de geología estructural donde se identificó fallas geológicas que pasan por el área de cimentación. Con los ensayos de mecánica de suelos realizados en tres calicatas se determinó el límite líquido entre 35.36% y 53.32% y límite plástico 26.92% a 34.42% calificándolo a este suelo de regular a mala para una cimentación y con el cambio de humedad hacen que estos suelos se comporten como suelos expansivos. Con el software Slide V6.005 de la firma Rocscience y Phase2 V8.0, tomando los datos obtenidos, se analizó el asentamiento vertical llegando a ser 0.124m para el suelo limo arcilloso y 0.01m para la arena limosa. Se realizó un cálculo de su capacidad portante según MEYERHOF con el software CSVIC siendo de 768.020KN/m<sup>2</sup> para la arena limosa y 84.253KN/m<sup>2</sup> para el limo arcilloso. Por el cual se concluye que para realizar la cimentación se tiene que hacer por: sustitución del terreno de 3.0m con una base impermeable y compactación añadiendo algunos aditivos, pozos de hormigón pobre de 3.5m de profundidad y por pilotes de una profundidad de 12.0m. preferible con cemento autocompactante.

Palabras claves: Cimentaciones, Capacidad portante, suelos expansivos, diseño geotécnico, pilotes, sustitución del terreno, mecánica de suelos, hidrogeología.

## ABSTRAC

This research project deals with the Geotechnical behavior for the design of the foundation of the San Carlos school in Bambamarca. Structural geology, soil mechanics and hydrogeology have been taken into account for the study. The construction that it intends to carry out is located on soils as a result of the in situ weathering of the Chota Formation, its Geology being; sandy silty soils with clasts, carbonates and sulfates. Structural geology studies were carried out where geological faults that pass through the foundation area were identified. With the soil mechanics tests carried out in three pits, the liquid limit was determined between 35.36% and 53.32% and the plastic limit 26.92% to 34.42%, qualifying this soil from fair to bad for a foundation and with the change in humidity they make these soils behave like expansive soils. With the software Slide V6.005 from Rocscience and Phase2 V8.0, taking the data obtained, the vertical settlement was analyzed, reaching 0.124m for the silty clay soil and 0.01m for the silty sand. A calculation of its bearing capacity was carried out according to MEYERHOF with the CSVIC software, being 768,020KN / m<sup>2</sup> for silty sand and 84,253KN / m<sup>2</sup> for clay silt. By which it is concluded that to make the foundation it has to be done by: substitution of the 3.0m ground with an impermeable base and compaction adding some additives, poor concrete wells of 3.5m deep and by piles of a depth of 12.0m. Preferable with self-compacting cement.

Keywords: Foundations, Bearing capacity, expansive soils, geotechnical design, piles, substitution of the ground, soil mechanics, hydrogeology.

## ABREVIATURAS

$V_h$  = Volumen de huecos

$V_t$  = Volumen total

$k$  = Conductibilidad hidráulica

$T$  = Transmisibilidad hidráulica

$s$  = Coeficiente de almacenamiento

$C$  = Coeficiente que depende del tamaño de grano y de la uniformidad.

$U$  = Coeficiente de uniformidad

$d_{10}$  = Diámetro que deja pasar el 10% de los granos (10% menor, 90% mayor)

$d_{20}$  = Diámetro (mm) que deja pasar el 20% de los granos (20% menos, 80% mayor)

$d_{60}$  = Diámetro que deja pasar el 60% de los granos (60% menor, 40% mayor)

$m$  = Porosidad

$\gamma_d$  = Peso específico

$C_c$  = Coeficiente de curvatura  $C_c$

$C_u$  = Coeficiente de uniformidad

LL = Límite líquido

LP = Límite plástico

PI = Índice de plasticidad

$\gamma_{cva}$  = Peso unitario con cero vacíos de aire

$\gamma_w$  = Peso unitario del agua

$e$  = Radio del hueco

$G_s$  = Peso específico de sólidos del suelo

°C = Grados centígrados

$w(\%)$  = Humedad

$W_w$  = Peso húmedo

$W_s$  = Peso seco

$c'$  = Cohesión del suelo

$\phi'$  = Angulo de fricción interna

$\sigma'$  = Tensión efectiva

$i$  = Gradiente hidráulico

$\Delta h$  = Diferencia de carga hidráulica entre dos líneas equipotenciales

$V$  = Volumen promedio drenado

$L$  = Distancia en el interior de la muestra de suelo

$H$  = Perdida de carga hidráulica total, en la cual se produce la infiltración.

$A$  = Área de la sección transversal de la muestra

$F_s$  = Factor de seguridad

$m_e$  = Porosidad

SUCS = Sistema unificado de clasificación del suelo.

UTM = Unidad técnica de medida

$K_s$  = Cretácico superior

Qr – al = Cuaternario aluviales

$E_s$  = Modulo de Young

$\nu$  = Coeficiente de Poisson

$D_f$  = Profundidad de cimentación

$S_e$  = Asentamiento

KN = Kilo Newton

$q$  = Carga admisible

DIP = Buzamiento

DD = Dirección de buzamiento

$C$  = Coeficiente máximo efectivo de aceleración de zona Sismica.

$K_H$  y  $K_V$  = Coeficiente de aceleración horizontal y vertical.

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

En los últimos tiempos la geología y la geotecnia tiene un papel muy importante para una cimentación. Es por ello la necesidad de estudios geológicos – geotécnicos para la realización de la cimentación en cualquier tipo de litología. El tema de las cimentaciones es uno de los más estudiados dentro de la ingeniería, y toma mucha importancia cuando se trata de suelos de poca resistencia, ya que se tienen que hacer consideraciones importantes para su diseño y construcción de la propia cimentación. El principal parámetro para la resistencia de un terreno de cimentación es la capacidad de carga de él mismo y las deformaciones que este tendrá durante la construcción y después de ésta.

La zona urbana del distrito de Bambamarca se asienta sobre suelo que son el resultado de la meteorización in situ de la Formación Chota y el volcánico Bambamarca, debido a sus características litológicas se tiene que hacer un análisis detallado de las cimentaciones para cualquier tipo de edificación que se pretenda realizar. La ejecución del proyecto del colegio emblemático San Carlos que se pretende realizar sobre los suelos que son producto de la meteorización in situ de la Formación Chota, la cual está conformada por sedimentos de un ambiente de transición que en condiciones de erosión afecta el comportamiento litológico y geomecánico, e incrementándose en periodos de fuertes precipitaciones, el cual hace que este material no sea apto para construcción de dicho proyecto.

A través de la aplicación de los conocimientos de geología y geotecnia, se estudiará el suelo existente aplicando ensayos en mecánica de suelos, y a partir de ello se determinará su comportamiento, y recomendar el diseño de la cimentación más óptima. Para tal investigación se ha formulado la siguiente interrogante.Cuál es el

comportamiento geológico, hidrogeológico y geotécnico del área para el diseño de la cimentación del colegio San Carlos en Bambamarca.

Razón por la cual es necesario realizar diferentes ensayos de suelos para determinar el comportamiento geotécnico del suelo de la cimentación. El presente trabajo de investigación busca contribuir con la construcción de la infraestructura del colegio al realizar la caracterización geológica, hidrogeológica y geotécnica para el diseño de la cimentación y así beneficiar a la población estudiantil de Bambamarca.

La cimentación del colegio consta de un área de 12 479.72m<sup>2</sup> en el barrio Maygasbamba para dicha investigación se ha planteado los siguientes objetivos. Objetivo General: Determinar el comportamiento geotécnico del área para el diseño de la cimentación del colegio San Carlos en Bambamarca, y como objetivos específicos se va a describir las condiciones geológicas e hidrogeológicas de la fundación; así como también realizar ensayos geotécnicos de humedad natural, densidad relativa, análisis granulométrico y límites de atterberg, para calcular las propiedades geológicas y resistencia de carga del terreno; para luego utilizar el software Slide V6.005 y Phase<sup>2</sup> V8.0 y calcular el factor de seguridad y el hundimiento del terreno y por último proponer posibles cimentaciones más apropiadas.

El proyecto se desarrolló siguiendo una secuencia lógica en cada capítulo, los cuales se sintetizan a continuación; en el segundo capítulo se va a llevar a cabo el marco teórico, que consta de antecedentes teóricos internacionales, nacionales y locales; las bases teóricas en donde se definirán las teorías principales y definición de términos básicos en forma de glosario; en cuanto al tercer capítulo trata sobre los materiales y métodos donde se detalla la ubicación tanto geográfica como política, su acceso, el procedimiento, la metodología, la definición de variable de dicha investigación, las técnicas, instrumentos y equipos usados, luego se va a realizar el tratamiento y análisis de datos para obtener los resultados. En el cuarto capítulo es el análisis y discusión de resultados, y contrastando a la hipótesis y el capítulo cinco se dará las conclusiones y recomendaciones que estarán acorde con los objetivos inicialmente propuestos.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **2.1.1. Internacionales**

**Castilla (2008).** En su estudio, Análisis de las características geológicas-geotécnicas del Barrio Azucaica -Toledo. Se centra en analizar las características geológicas, hidrogeológicas y geotécnicas de rellenos antrópicos y suelos arcillosos. Esta investigación evalúa los parámetros geotécnicos de carga admisible y asentamientos asociados, y determinando el estrato competente de cimentación. Concluyendo la opción más apropiada es una cimentación profunda mediante pilotes por encontrar estos rellenos hasta de 8.0 m. por tener el contenido de arcillas y ser afectado por el agua subterránea y la precipitación se podría decir que tiene comportamientos similares a los suelos de la cimentación del colegio San Carlos.

**Diaz (2015).** En su investigación, Sistema de recalce de cimentaciones en los proyectos de conservación de edificios patrimoniales en Andalucía Analiza casos en los que se demuestra la ineficacia de los recalces de cimientos de edificios patrimoniales, partiendo que se trata de suelos expansivos y metaestables. Siendo su principal objetivo saber detectarlos, estudiando sus características para así poder aplicar las tecnologías más eficaces, que prevengan posibles fallos. Concluyendo que cada caso es único e irrepetible, la estratigrafía del suelo, las condiciones externas y la distribución de cargas es exclusiva en cada obra, por lo que es necesario contemplar los factores (suelo, cimentación, estructura, rigidez y equilibrio del diseño). Con esta investigación nos ayuda a identificar los suelos metaestables.

**Niño (2015).** En su tesis, Estudio de suelos y análisis geotécnico del sector Reyes-Colombia. Hace un estudio de suelos y geotecnia, para establecer la magnitud, estratigrafía y parámetros de los suelos involucrados en el proceso de inestabilidad y a la luz de estos, diseñar las obras necesarias para la mitigación y/o control del proceso. Dando la alternativa de la implantación de un muro de confinamiento con el fin de garantizar la estabilidad del sector. Y también un prediseño de una serie de estructuras que controlen el drenaje, como instalación de filtro tipo francés. Con este estudio nos ayuda a dar un tipo de tratamiento del agua para que no afecte a la edificación.

### **2.1.2. Nacionales**

**Quispe y Mamani (2017).** Realizo una investigación titulada, Estudio de suelos para cimentaciones de edificaciones en la zona de Alto Locumba – Tacna. Tiene por finalidad determinar la capacidad portante, mediante ensayos estándares y especiales en laboratorio; y sugerir el tipo de cimentación adecuada para edificaciones. Experimentalmente determinó que el Potencial de Expansión es bajo, pero los suelos plásticos sufren un asentamiento debido al flujo del agua en el estrato, siendo el cambio muy drástico en la capacidad portante de  $9.7\text{Kg/cm}^2$  a  $0.89\text{Kg/cm}^2$ . Deduciendo que puede cimentarse en terrenos arcillosos con bajo potencial de expansión. Con esta investigación se determina los ensayos geotécnicos a realizar y la importancia del agua a tener en cuenta para determinar su capacidad portante de un suelo.

**García (2016).** En su estudio de suelos y análisis de cimentación de un edificio en Lima; dice que a partir del estudio de suelos y el perfil estratigráfico puede recomendar un tipo de cimentación para esta infraestructura. Con base en el perfil estratigráfico y en las características de la estructura a construir ha concluido que la cimentación más recomendable es la conformada por pilotes preexcavados y fundidos in situ. Indicando esta investigación que es muy importante la caracterización geológica para una cimentación de una infraestructura.

**Ochoa (2012).** En su estudio de mecánica de suelos para la elaboración del anteproyecto de ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado del distrito de Ventanilla. Verifica las condiciones geológicas y

geotécnicas del suelo de fundación realizando 34 calicatas para los reservorios. Llegando a realizar un mapeo geológico del área de estudio indicando los diferentes tipos de suelos y realizando una zonificación geotécnica también recomendando a usar el cemento Tipo V de alta resistencia a los sulfatos para la construcción de reservorios. Indicando esta investigación lo importante del análisis químico del agua subterránea y además la gran ayuda que brinda una zonificación geotécnica.

### **2.1.3. Locales**

**Alva (2008).** Estudio geotécnico con fines de cimentación del parque polideportivo y nuevo coliseo de Cajamarca. Realizándose ensayos estándar de clasificación de suelos, compresión no confinada, CBR y químicos, y en base a las características del perfil estratigráfico y de las cargas transmitidas por las estructuras proyectadas, recomendó cimentar sobre pilotes y el uso de cemento Portland tipo I por no presentar sales agresivas. Este estudio formula que es muy importante el control del agua para elegir un tipo de cimentación, además su análisis químico del agua para recomendar el tipo de cementos a usar.

**Rodríguez (2006).** Estudio de los asentamientos y deslizamientos en la ciudad de Bambamarca. Indica que los factores geotécnicos e hidrogeológicos juegan un papel importante sobre los asentamientos y deslizamientos en el Barrio Cinco Esquinas-Bambamarca. Esto es aplicable para dicho estudio debido a la presencia de lluvias torrenciales, las cuales originan en la mayoría la inestabilidad del suelo. Este estudio indica que las condiciones climáticas de Bambamarca es un factor muy importante en la estabilidad de los suelos.

**Carranza (2014).** Evaluación geotécnica del sector uno la Paccha por condiciones de hundimientos ciudad de Bambamarca - Cajamarca. Concluye que con la información obtenida con el mapeo geológico de los 12 manantiales que están ubicados mayormente en la zona SW del área de estudio, no influye en el proceso de asentamiento de las estructuras.



No todas las Formaciones geológicas o rocas en general, poseen la misma facilidad para transmitir agua. Los acuíferos que se presentan con mayor frecuencia están formados por depósitos no consolidados de materiales sueltos, tales como arenas, gravas, pudiendo ser su origen geológico muy distinto: fluvial, deltaico, depósitos sedimentarios ocasionados por la acumulación de partículas transportadas por la gravedad (piedemonte), viento (dunas y/o loess), hielo (depósitos glaciares).

Sin embargo, Las rocas no carstificadas, suelen ser poco permeables al igual que las margas, intermedias entre las calizas y las arcillas. Los conglomerados y areniscas, considerados como gravas y arenas cementadas, ven disminuida su porosidad y permeabilidad a causa del cemento que las une y da cohesión. En las rocas volcánicas es difícil establecer una clasificación de las mismas, respecto si constituyen o no buenos acuíferos, puesto que depende de las características físicas y químicas y de las propias rocas, de la erupción que las originó, del grado de alteración y edad. (Todd, 1959).

### 2.2.2.1. Tipos de acuíferos

Atendiendo al comportamiento de las Formaciones geológicas, así como a su posición estructural en el terreno, se distinguen dos tipos principales de acuíferos: acuíferos libres y acuíferos confinados. (Custodio y Llamas, 1983).

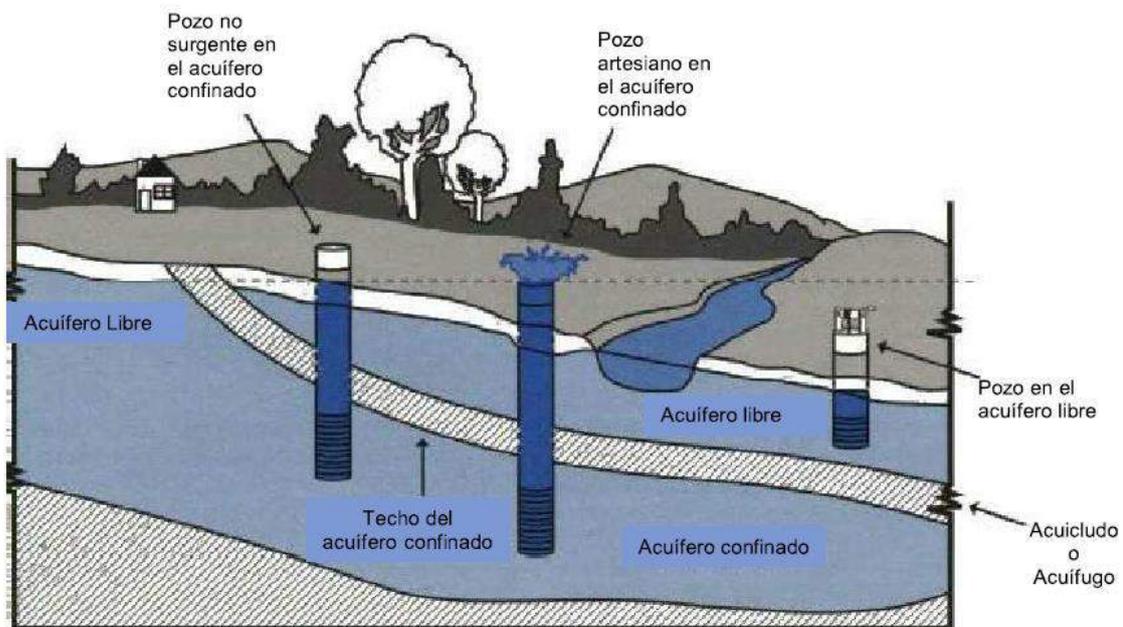


Figura 2. 1: Tipos de acuíferos según el funcionamiento hidráulico. (Custodio y Llamas, 1983).

**a. Los acuíferos libres**

Son aquellos en los que el nivel superior de saturación se encuentra a presión atmosférica. A la superficie piezométrica de un acuífero libre se denomina superficie freática.

**b. Acuíferos confinados**

Corresponden a Formaciones geológicas permeables, completamente saturadas de agua, confinadas entre dos capas o estratos que podemos asumir como impermeables.

**c. Acuíferos de medios porosos**

Se encuentran en los sedimentos detríticos, areniscas y conglomerados; estos presentan unas excelentes condiciones para almacenar y transmitir el agua. (Gil, 2007).

**Porosidad y permeabilidad intergranulares.** El agua está contenida y circula a través de los poros o espacios existentes entre los granos o partículas de la Formación. Habrá que tener en cuenta la granulometría, la compactación y cementación de los granos.

**d. Acuíferos de medios fisurados**

En materiales geológicos sin porosidad intergranular, las únicas aberturas donde puede contener agua y por las que puede circular, son fracturas o fisuras producidas después de la formación de la roca. Por esto a esta se la denomina porosidad secundaria en contraposición con la porosidad primaria, que se refiere a la que ya existe en la roca desde su formación. (Sánchez, 2013).

**2.2.2.2. Parámetros hidrogeológicos característicos de las formaciones geológicas**

La capacidad de almacenar y transmitir el agua por parte de un acuífero debe ser cuantificada para evaluar las Formaciones desde el punto de vista hidrológico. Por ello, se asocian a Formaciones cuatro parámetros básicos en cuanto a su comportamiento respecto al agua que puedan contener y transmitir. Porosidad y coeficiente de almacenamiento, permeabilidad y transmisibilidad, son los cuatro

parámetros, dependiente dos a dos, cuyos conceptos deben fijarse para definir las características de los acuíferos. (González de Vallejos, 2002)

Considerando los acuíferos como sistemas que poseen un cierto funcionamiento, regulado por la recarga y las extracciones, se comprende que deben poseer unas ciertas características fundamentales de las cuales dependen. Estas características o parámetros permiten definir el funcionamiento de un acuífero frente a unas determinadas acciones exteriores. Estos parámetros son: La porosidad, la permeabilidad y la transmisividad. (Gil, 2007)

#### **a. Porosidad**

La porosidad de un terreno se define como la relación (%) entre el volumen de huecos y el volumen total del terreno que los contiene:  $me = V_h/V_t \times 100$

La porosidad depende de un gran número de factores entre los que cabe destacar:

- Naturaleza del terreno
- La uniformidad granulométrica de sus componentes
- La disposición y forma de las partículas
- Grado de cementación o compactación
- Efectos de la fisuración, disolución, meteorización

#### **b. Permeabilidad**

Es la capacidad de un terreno de permitir el paso del agua a través. La permeabilidad es el factor más importante de las rocas en relación con la explotación de sus aguas subterráneas. Depende de:

- Tamaño de los huecos interconectados (poros, fracturas)
- La granulometría de las partículas rocosas
- Naturaleza y rugosidad de la superficie de estas partículas
- La dirección dentro del terreno (anisotropía).

Los materiales granulares bien clasificados (gravas y arenas) tienen una elevada porosidad y permeabilidad; en cambio, en las arcillas y los limos el agua se adosa a los diminutos poros por atracción iónica y queda retenida, es decir, son rocas muy porosas, pero resultan impermeables, (Gil, 2007).

### **c. Transmisibilidad hidráulica**

La determinación de las propiedades hidráulicas de un acuífero, es crítica en la comprensión y el desarrollo de modelos de flujo de agua subterránea de una región en particular. Es por ello que, en estudio de un acuífero, son varias las pruebas hidráulicas que se pueden elaborar; entre las que se tiene la medición del caudal ( $m^3/día$ ), nivel freático (m) (por ende, los niveles estático y dinámico) y el tiempo de descargar; con los que se pueden determinar los coeficiente o características dinámicas del mismo. Entre las características a determinar esta la conductibilidad hidráulica (k) en (m/día) la transmisibilidad hidráulica (T) en  $m^2/día$  y el coeficiente de almacenamiento (s) el cual es adimensional. (Caballero, 2009)

La transmisividad es igual al producto de la permeabilidad por dicho espesor:  $T = P \times E$ . Desde el punto de vista hidrogeológico, la transmisividad tiene más importancia que la permeabilidad, porque, así como ésta (P) es una característica constante del terreno que deja pasar el agua, lo que no implica que la contenga, aquella (T) depende de la altura o espesor del manto acuífero saturado, (Gil, 2007).

### **d. El coeficiente de almacenamiento.**

El coeficiente de almacenamiento (S) se define como el agua que puede ser liberada por un prisma vertical del acuífero, de sección igual a la unidad y altura equivalente al espesor saturado (b) del mismo, cuando se produce un descenso unitario del nivel piezométrico. Es un valor adimensional, (Gil, 2007).

El coeficiente de almacenamiento en un acuífero cautivo (se suele denominar también coeficiente de almacenamiento elástico) se expresa así:  $S = \gamma b(m\epsilon\beta + \alpha)$ , Siendo  $\gamma$  el peso específico del agua y b el espesor saturado del acuífero.

En un acuífero libre el  $S = m$  ya que el agua ocupa los huecos, sin más. En cambio, en un acuífero confinado el agua y el acuífero están comprimidos y el agua que libera el acuífero confinado cuando se la extrae por ejemplo mediante un bombeo,

proviene exclusivamente de la decompresión (componente elástico); no del almacenamiento. De hecho, el acuífero al acabar el bombeo, sigue completamente saturado, solo que ligeramente decomprimido. A esa agua que expulsa gracias a la decompresión permaneciendo saturado el acuífero, se le denomina coeficiente de almacenamiento elástico ( $S$  elástico, cuya fórmula aparece arriba). Lo único que pasa es que tanto el agua como el terreno son poco compresibles. El agua normalmente es menos compresible que el terreno (Gil, 2007).

$\alpha$  = Módulo de compresibilidad del acuífero.

$\beta$  = Módulo de compresibilidad del agua, que vale  $\beta = 4,8 \text{ N } 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$  o  $4,7 \text{ } 10^{-9} \text{ m}^2/\text{kg}$ .

### **2.2.2.3. Relación de la permeabilidad con la granulometría.**

Para el caso de los materiales granulares se ha establecido diversas fórmulas y gráficos que facilitan aproximadamente la conductividad hidráulica a partir de la granulometría y en algún caso en función de la porosidad. Todas estas expresiones son estimaciones, pero a veces cualquier aproximación es mejor que nada. No hay que olvidar que todas estas fórmulas se refieren a sedimentos granulares, no a rocas consolidadas, aunque se ha aplicado a areniscas (Ishaku et al; 2011 citado por Sánchez, J. 2013)

La expresión de Hazen, 1911 en Weight; 2008, p. 108 es la más utilizada por su sencillez:

$$K \text{ (m/día)} = 8.64 * C + d_{10}^2$$

Dónde:  $d_{10}$  = diámetro (mm) que deja pasar el 10% de los granos (10% menor, 90% mayor)

C: coeficiente que depende del tamaño de grano y de la uniformidad.

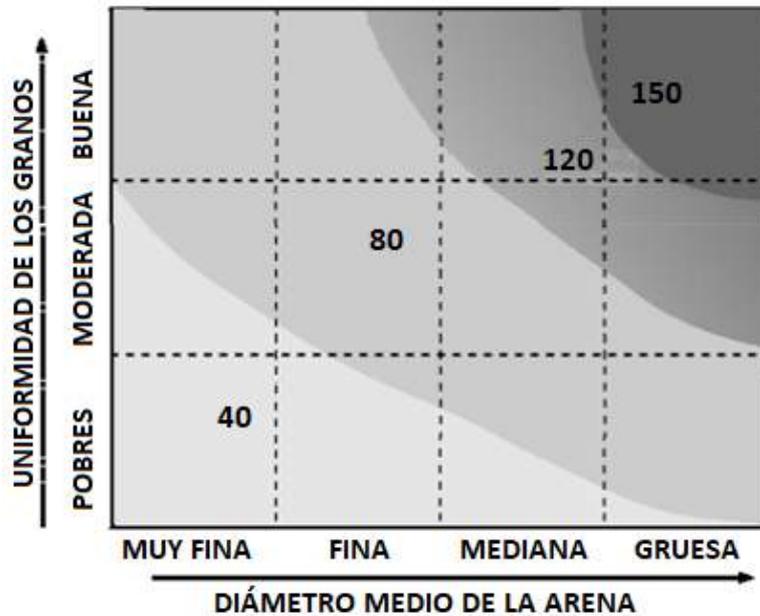


Gráfico 2. 1: Estimación del coeficiente C de Hanzen (gráfico elaborado a partir de valores numéricos de Weight (2018)).

Para evaluar la uniformidad se utiliza el coeficiente de uniformidad  $U$ :

$$U = d_{60}/d_{10}$$

Dónde:  $d_{60}$  = diámetro que deja pasar el 60% de los granos (60% menor, 40% mayor)

$d_{10}$  = diámetro que deja pasar el 10% de los granos (10% menor, 90% mayor)

El sedimento se considera mal clasificado (poco uniforme, heterogéneo) si  $U > 6$ . Está bien clasificado (uniforme, homogéneo) si  $U > 3$  y moderadamente clasificado para valores de  $U$  ente 3 y 6.

Aun es más simple la expresión del U.S Bureau of Reclamtion (en Kasenow, 2002, p.83).  $K = 311 * d$

$$K = 311 * d_{20}$$

Donde  $d_{20}$  = diámetro (mm) que deja pasar el 20% de los granos (20% menor, 80% mayor)

$K$  = conductividad hidráulica (m/día)

Las expresiones más complejas tienen esta estructura común (Vukovic y soro, 1992, citado en Odog, 2007)

$$K = \frac{g}{\nu} (\text{coeficiente de uniformidad}) * (\text{funcion de la porosidad}) * d_e$$

Dónde:  $d_e$  = diámetro efectivo, que en algunas fórmulas es  $d_{10}$ , en otras debe calcularse.

$g$  = aceleración de la gravedad

$\nu$  = viscosidad cinemática

Ley de Darcy

$$K = k * \frac{g}{\nu}$$

$K$  = permeabilidad intrínseca, propia del medio.

El coeficiente de uniformidad y la función de la porosidad varían de unas formulas a otras. Quizás la más prestigiosa sea la fórmula de Kozeny-Carman, que en su versión más simplificada es (Odong, 2007)

$$K = \frac{g}{\nu} * 8.3 * 10^{-3} \left( \frac{m^3}{(1-m)^2} \right) d_{10}^2$$

Dónde:  $K$  = conductividad hidráulica (m/s);  $g$  = gravedad (m/s<sup>2</sup>);  $\nu$  = viscosidad cinemática;  $m$  = porosidad;  $d_{10}$  = diámetro 10% (metros)

Una aproximación gráfica, sin formulas, son las curvas de Breddin (1993, en Simoes, 2010): superponiendo una curva granulométrica sobre este grafico nos indicara aproximadamente la conductividad hidráulica del material. En muchos casos una curva de mayor inclinación que las del grafico (materiales más heterométricos) cruza varias zonas del gráfico de Breddin, por lo que no resulta aplicable.

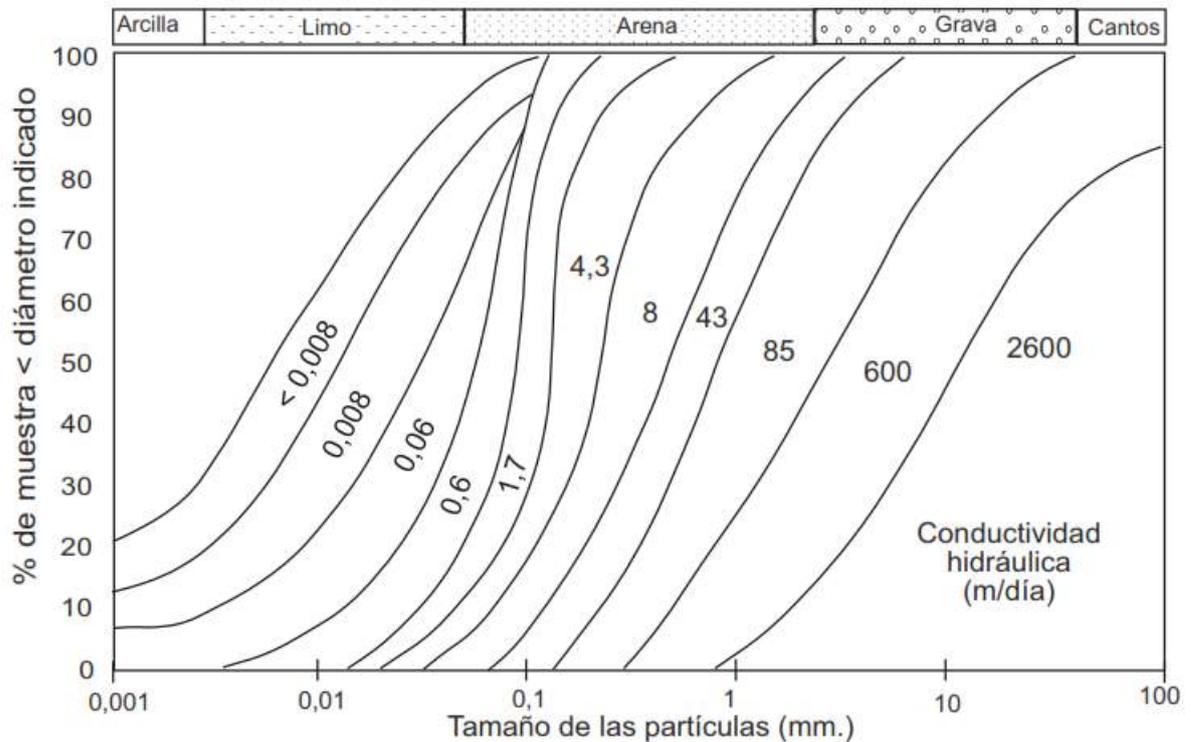


Gráfico 2. 2: Curvas de Breddin de la conductividad hidráulica del material. (Simoes, 2010).

### 2.2.3. Suelos expansivos

El problema de la expansividad va unido a la presencia de minerales esmectíticos y a la posibilidad de cambios de humedad en el suelo, lo que a su vez está condicionado a que el ambiente circundante cambie cíclicamente de humedad, estos cambios de volumen contracción y expansión también pueden producirse localmente al construirse viviendas en estaciones o periodos secos o húmedos al cambiar las condiciones de evapotranspiración bajo el edificio, por fugas de conducciones, por la presencia de vegetación y árboles cuyas raíces pueden dar lugar a cambios de humedad bajo edificios. Tan peligrosa es la expansividad como la retracción del suelo, sobre todo en obras ligeras viviendas de una o dos plantas, explanaciones para ferrocarriles y carreteras. Ya que lo perjudicial es el cambio de volumen y no su signo. (González de Vallejos, 2002)

#### a) Métodos de identificación

Técnicas directas. - Son ensayos edométricos que se basan en medir el hinchamiento inducido en el suelo y la presión a aplicar para anular el hinchamiento.

Con los Límites de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de Retracción) vemos que la plasticidad de un suelo refleja el porcentaje y tipo de su fracción arcillosa. La Actividad Coloidal se utiliza como índice de su potencial expansivo ( $A = IP\% < 2\mu$ ). Así, por ejemplo,  $A = 0.4$  para arcillas caolínicas, y  $A = 1.6$  en arcillas montmorilloníticas.

Técnicas indirectas. - Estudian la mineralogía del material, sus propiedades físicas y químicas y el cálculo de determinados índices indicadores, así como el estado del suelo y sus características organolépticas. (Díaz, 2015)

#### **2.2.4. Suelos colapsables**

El cambio de volumen en suelos colapsables es negativo y se puede originar por: Humectación y eliminación de presiones intersticiales negativas que se producen alrededor de contactos de granos en los meniscos que forma el agua en un suelo semisaturado; la saturación disminuye la presión efectiva y da lugar a disminuciones de volumen que pueden llegar al 5-7 %. (González de Vallejos, 2002)

La dificultad para identificarlos se agrava si tenemos en cuenta que se trata de suelos muy heterogéneos, que presentan múltiples variaciones en sus características químicas y mineralógicas, favoreciendo que la entrada de agua no sea uniforme. Esta circunstancia determina que los asientos no sean los mismos en puntos muy próximos, ya que existen macroporos y concreciones de carbonatos que alteran las vías de humedecimiento y por tanto las deformaciones. Además, para unas mismas características físico-mecánicas, el comportamiento deformacional puede ser diferente según la magnitud del área inundada, y el espesor del estrato afectado, así como del estado tensional peso propio. (Díaz, 2015)

##### **a) Métodos de identificación**

Según D. Pablo de la Fuente Martín, Dr. Ingeniero de Caminos Canales y Puertos y colaborador de la empresa CEMOSA, la campaña de reconocimiento adecuada para detectar los suelos metaestables, se puede diseñar con los ensayos que se reseñan a continuación, en los que se emplean diferentes métodos de identificación, unos basados en parámetros físicos, otros en ensayos mecánicos, o bien en la magnitud del asiento por colapso.

## b) Métodos basados en Parámetros Físicos:

Tabla 2. 2: Calificación del grado de colapso a partir del peso específico.

$\gamma_d$ (KN/m <sup>3</sup> )	Grado de colapso
>14	Bajo
12 – 14	Bajo – Medio
10 – 12	Medio – Alto
<10	Alto – Muy alto

Fuente: (Díaz, 2015).

## c) Métodos basados en Ensayos Mecánicos o Edométricos:

Mediante un ensayo de compresión confinada en estado de saturación determinamos la presión de Colapso o Presión Inicial de Fluencia, que se manifiesta en un quiebro brusco en la curva de compresibilidad. Para presiones inferiores a la de fluencia, no se producirá colapso.

### 2.2.5. Ensayos geotécnicos

#### 2.2.5.1. Análisis granulométrico

Según Bañon (2011). Este ensayo tiene como finalidad determinar las proporciones de los distintos tamaños de grano existentes, o su granulometría. El tamiz. Se emplea una serie normalizada de tamices de malla cuadrada y abertura decreciente, a través de los cuales se hace pasar una determinada cantidad de suelo seco, quedando retenida en cada tamiz la parte de suelo cuyas partículas tengan un tamaño superior a la abertura de dicho tamiz. Existen diversas series normalizadas de tamices, aunque las más empleadas son la UNE 7050 española y la ASTM D-2487/69 americana.

Para determinar la fracción fina de suelo tales como limos y arcillas no es posible efectuar el tamizado, por lo que se empleará el método de sedimentación (densímetro). Una vez realizado el proceso de tamizado y sedimentación, se procede a pesar las cantidades retenidas, construyéndose una gráfica

semilogarítmica donde se representa el porcentaje en peso de muestra retenida o el que pasa para cada abertura de tamiz.

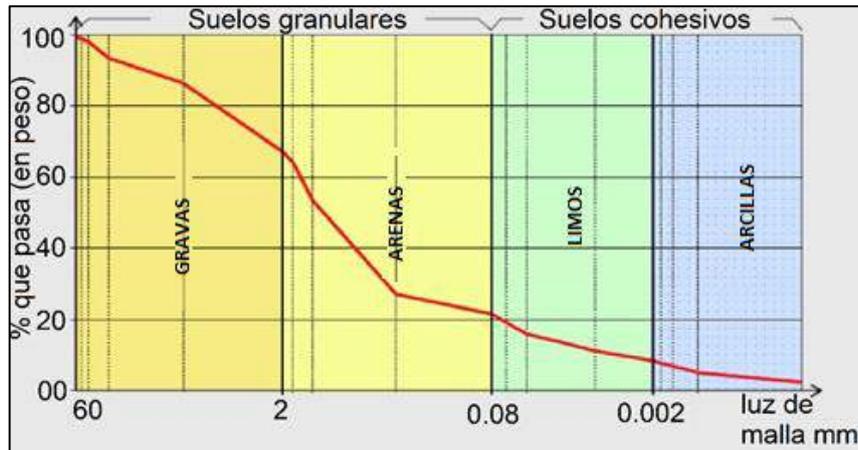


Gráfico 2. 3: Curva granulométrica de un suelo según NTP 339.128 ASTM D422.

**a) Granulometría discontinua:** La curva presenta picos y tramos planos, que indican que varios tamices sucesivos no retienen material, lo que evidencia que la variación de tamaños es escasa. En este caso, se habla de suelos mal gradados. La arena de playa es un claro ejemplo de este tipo de suelos.

**b) Granulometría continua:** La práctica totalidad de los tamices retienen materia, por lo que la curva adopta una disposición suave y continua. A este tipo de suelos se les denomina bien gradados. Las zahorras se engloban dentro de este grupo.

De cara a determinar numéricamente la gradación de un suelo se emplea el coeficiente de curvatura, definido por la siguiente expresión:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$$

Donde  $D_{xx}$  es la abertura del tamiz o diámetro efectivo (mm) por donde pasa el X% en peso de la totalidad de la muestra de suelo analizada (Bañon,2011) Otro parámetro muy empleado para dar idea del grado de uniformidad de un suelo es el llamado coeficiente de uniformidad, definido por Hazen como la relación entre las aberturas de tamices por donde pasan el 60% y el 10% en peso de la totalidad de la muestra analizada:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Según este coeficiente, un suelo que arroje valores inferiores a 2 se considera muy uniforme, mientras que un coeficiente inferior a 5 define un suelo uniforme.

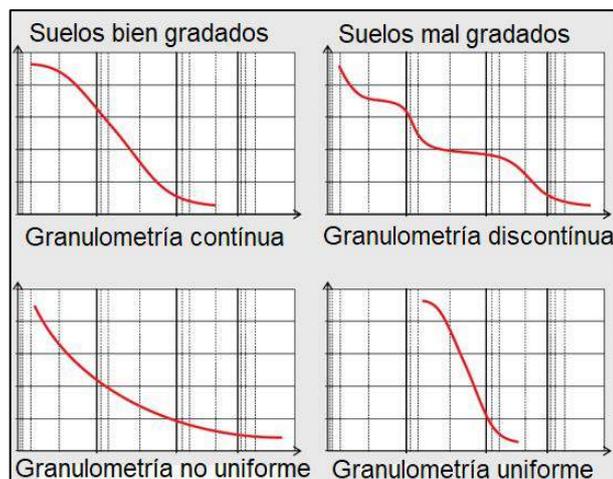


Gráfico 2. 4: Interpretación de la curva granulométrica según NTP 339.128 ASTM D422.

### c) Clasificación de los suelos

Tabla 2. 3: Tipos de suelos por su contenido de arena, grava y arcilla según la clasificación SUCS.

Símbolo del grupo		Nombre del grupo
GW	15% de arena	Grava bien gradada
	15% de arena	Grava bien gradada con arena
GP	15% de arena	Grava mal gradada
	15% de arena	Grava mal gradada con arena
GW-GM	15% de arena	Grava bien gradada con limo
	15% de arena	Grava bien gradada con limo y arena
GW-GC	15% de arena	Grava bien gradada con arcilla (o arcilla limosa)
	15% de arena	Grava bien gradada con arcilla y arena (o arcilla limosa y arena)
GP-GM	15% de arena	Grava mal gradada con limo
	15% de arena	Grava mal gradada con limo y arena
GP-GC	15% de arena	Grava mal gradada con arcilla (o arcilla limosa)
	15% de arena	Grava mal gradada con arcilla y arena (o arcilla limosa y arena)
GM	15% de arena	Grava limosa
	15% de arena	Grava limosa con arena
GC	15% de arena	Grava arcillosa
	15% de arena	Grava arcillosa con arena

Símbolo del grupo		Nombre del grupo
	15% de arena	Grava limo arcilloso con arena
SW	15% de grava	Arena bien gradada con limo
	15% de grava	Arena bien gradada con grava
SP	15% de grava	Arena mal gradada
	15% de grava	Arena mal gradada con grava
GW-GM	15% de grava	Arena bien gradada con limo
	15% de grava	Arena bien gradada con limo y grava
GW-GC	15% de grava	Arena bien gradada con arcilla y grava (o arcilla limosa y grava)
	15% de grava	Arena bien gradada con arcilla y grava
SP-SM	15% de grava	Arena mal gradada con limo
	15% de grava	Arena mal gradada con limo y grava
SP-SC	15% de grava	Arena mal gradada con arcilla (o arcilla limosa)
	15% de grava	Arena mal gradada con arcilla y grava (o arcilla limosa y grava)
SM	15% de grava	Arena limosa
	15% de grava	Arena limosa con grava
SC	15% de grava	Arena arcillosa
	15% de grava	Arena arcillosa con grava
SC-SM	15% de grava	Arena limo arcillosa
	15% de grava	Arena limo arcillosa con grava

Fuente: (Braja, 2011).

### 2.2.5.2. Límites de Atterberg

Cuando los minerales de arcilla están presentes en el suelo de grano fino, el suelo se puede remover en presencia de algo de humedad sin que se desmorone. Esta naturaleza cohesiva se debe al agua adsorbida que rodea a las partículas de arcilla. Con un contenido de humedad muy bajo, el suelo se comporta más como un sólido quebradizo. Cuando el contenido de humedad es muy alto, el suelo y el agua pueden fluir como un líquido. (Villalaz, 2004)

Según el contenido de agua en orden decreciente, un suelo susceptible de ser plástico, puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia, definidos por Atterberg (científico sueco).

Estado líquido (por propiedades y apariencia de una suspensión)

Estado semilíquido (con propiedades de un fluido viscoso)

Estado plástico (con comportamiento plástico)

Estado semisólido (con apariencia de un sólido, pero disminuye volumen al secado)

Estado sólido (el volumen del suelo ya no disminuye con el secado)

### 2.2.5.2.1. Límites de plasticidad

**Límite líquido (LL).** Es la humedad del suelo por el cual este pasa del estado semilíquido a plástico se emplea una técnica basada en el uso de la copa de Casagrande. (Hoyos, 2012).

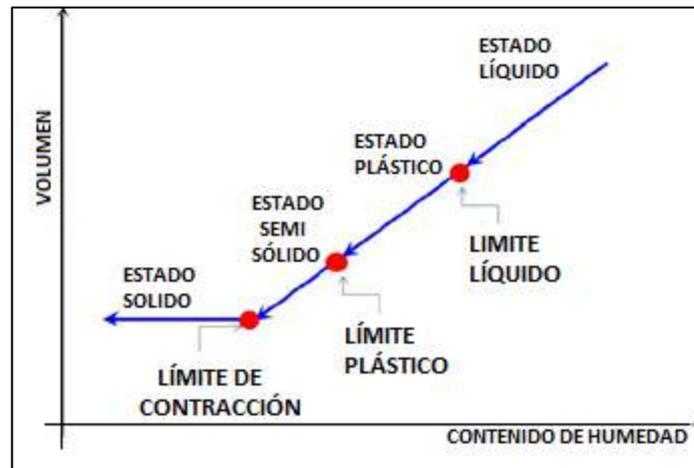


Gráfico 2. 5: Límites de Atterberg. (Torrijo, 2013).

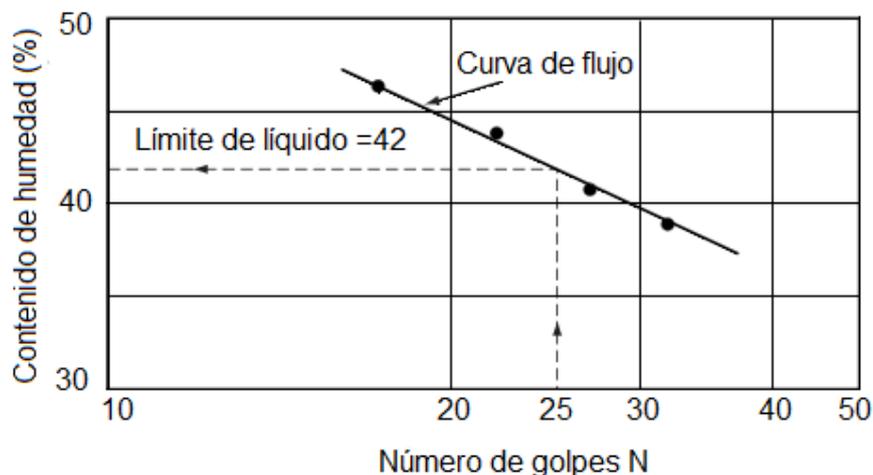


Gráfico 2. 6: Curva de flujo para la determinación del límite líquido de una arcilla limosa. (Braja, 2011).

**Límite plástico (LP).** Es la humedad del suelo expresado en porcentaje respecto a suelo seco, por la cual este pasa del estado plástico al semi-sólido. El contenido de agua es definido arbitrariamente como aquel donde el suelo, después de dejarse moldear hasta alcanzar rollitos de 3.2 mm de diámetro se empiece a romper en

pequeñas piezas. (Hoyos, 2012). Y el índice de plasticidad (PI) es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo.  $PI = LL - PL$

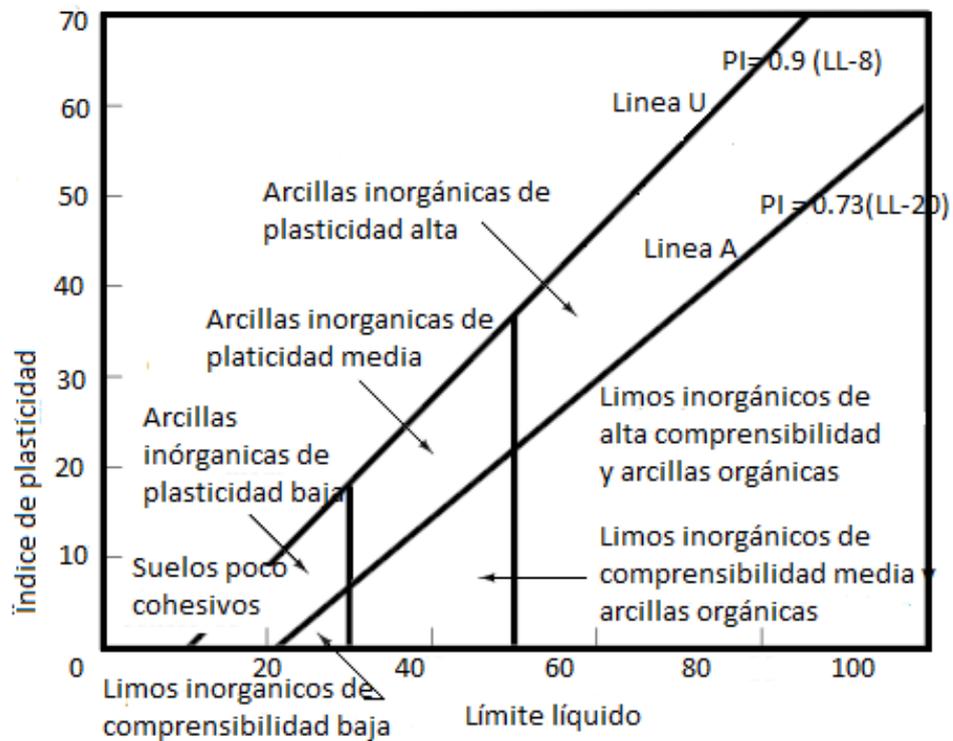


Gráfico 2. 7: Capacidad de carga. (Braja, 2011).

**Límite de contracción (LC).** Es la frontera entre los estados de consistencia semi sólido y sólido de un suelo, definido con el contenido de agua con el que el suelo ya no disminuye su volumen al seguirle secando. (Hoyos, 2012).

### 2.2.5.3. Proctor normal

Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos curva de compactación compactados en un molde de 4 o 6 pulgadas 101,6 o 152,4mm de diámetro con un pisón de 5,5lbf o 24,4N que cae de una altura de 12 pulgadas o 305 mm, produciendo un Energía de compactación de 12400lb-pie<sup>3</sup> o 600kN-m/m<sup>3</sup>. Este ensayo se aplica sólo para suelos que tienen 30% o menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 3/4" pulgadas. 19.0mm. (Funes, 2012)

$$\gamma_{cva} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + e}$$

Donde:  $\gamma_{cva}$  = peso unitario con cero vacíos de aire;  $\gamma_w$  = peso unitario del agua;  $e$  = radio del hueco;  $G_s$  = peso específico de sólidos del suelo.

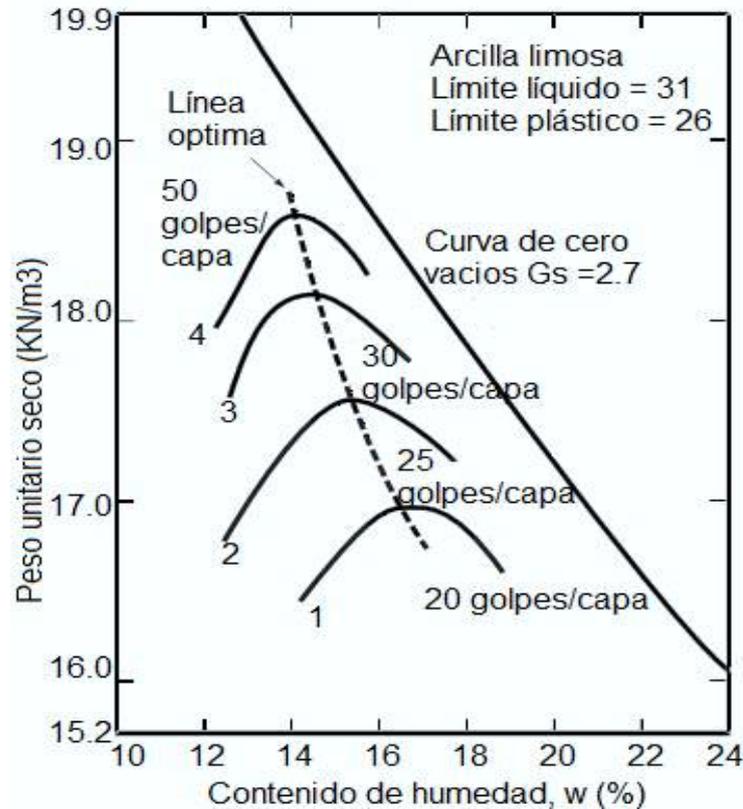


Gráfico 2. 8: Efecto de la energía de compactación en arcilla limosa. (Braja, 2011)

### Efectos del esfuerzo de compactación

La energía de compactación por unidad de volumen,  $E$ , usada en la prueba Proctor estándar puede escribirse como.

$$E = \frac{(\text{Nro de golpes por capa}) \times (\text{Nro de capas}) \times (\text{peso del mart.}) \times (\text{altura})}{\text{volumen del molde}}$$

#### 2.2.5.4. Relación de soporte california

La Relación de Soporte California. (CBR) Es un ensayo para evaluar la calidad de un material de suelo con base en su resistencia, medida a través de un ensayo de placa a escala. Fue desarrollado en 1925. La Relación de Soporte California es uno de los ensayos más extendidos y aceptados en el mundo debido al relativo bajo costo de ejecución si se compara con ensayos triaxiales, y a que está asociado a un número de correlaciones y métodos semi-empíricos de diseño de pavimentos. (Hoyos, 2012)

#### 2.2.5.5. Humedad natural.

Se define como humedad al contenido de agua presente en una masa de suelo, es expresado en porcentaje, cuando la muestra a ensayar es inalterada se conoce como humedad natural. Según norma ASTM D2216. El ensayo consiste en llevar un proceso de secado a la muestra en un horno por un tiempo de 24 horas a la temperatura aproximada de 110°C.

$$w(\%) = \left( \frac{W_w}{W_s} \right) 100$$

#### 2.2.5.6. Densidad aparente

También llamado peso unitario húmedo o densidad húmeda y es el peso de la muestra por unidad de volumen del material in situ incluyendo el agua que contiene.

Método del cono de arena. Se utiliza para cualquier tipo de suelo, y consiste en un frasco con cono, lleno de arena, cuya densidad ya es conocida. El frasco tiene el volumen de un galón (3.785 lts.) y está formado por una válvula cilíndrica con un orificio que termina en un embudo pequeño en uno de los extremos y otro grande en el opuesto.

$$W_{ah} = (W_{arena\ usada} - W_{a(cono)}); \quad V_m = \frac{W_{ah}}{D_a}; \quad D_{hm} = \frac{W_m}{V_m}$$

Dónde:  $W_{ah}$  = peso de la arena;  $V_m$  = volumen del hoyo;  $D_a$  = densidad de la arena;  $D_{hm}$  = densidad del suelo

#### 2.2.5.7. Ensayo de compresión simple

El ensayo de compresión simple o compresión no confinada de un suelo, es una prueba de compresión uniaxial en el cual la probeta es ensayada sin soporte y en condiciones no drenadas mientras soporta la compresión vertical. Este ensayo se limita a suelos cohesivos o semi cohesivos (p.e. las arenas no pueden permanecer con una forma establecida sin algo que lo sostenga). El ensayo mide la resistencia a la compresión no confinada ( $q_u$ ) de un cilindro de suelo cohesivo o semi cohesivo, e indirectamente la resistencia al corte ( $\lambda$ ), la cual es generalmente tomada con la mitad de  $q_u$

$$\lambda = q_u/2$$

el ensayo usualmente se ejecuta sobre muestras inalteradas con su humedad natural, con el fin de medir la resistencia del suelo in situ.

deformación unitaria  $\varepsilon = \Delta L / L_0$

dónde:  $\varepsilon$  = deformación axial;  $\Delta L$  = cambio de altura de la probeta, leída en el dial de la deformación;  $L_0$  = altura inicial de la probeta

Área corregida  $A_c = A_0 / (1 - \varepsilon)$

Carga por unidad de área  $\sigma = \frac{P}{A_c} (Kg/cm^2)$

Resistencia al corte o cohesión.  $\lambda = c = q_u/2$

Dónde:  $\lambda = c$  = resistencia al corte y  $q_u$  = resistencia a la compresión simple.

#### **2.2.5.8. Ensayos de corte directo.**

En los problemas de estabilidad de los suelos (cimentaciones, obras de sostenimiento, terraplenes, taludes; además de la acción combinada de las fuerzas externas y las fuerzas internas que se desarrollan en la masa de suelo que crea esfuerzos horizontales capaces de producir desplazamientos laterales de material), es necesario conocer la resistencia al corte de los suelos. Cuando se aplica un sistema de fuerzas a un volumen determinado de suelo, se desarrollan lesiones de corte, las cuales implican deformaciones de este. Estas deformaciones son o pueden ser importantes a lo largo de los llamados plano de falla. Por lo tanto, se puede definir la resistencia de corte de un suelo como la tensión de corte en el plano de falla, en el momento de falla.

El ensayo se realiza con un cierto número de muestras idénticas, usando distintas cargas verticales para poder así representar la resistencia al corte en función de las tensiones verticales. Esta resistencia al corte, medida por este ensayo depende de la cohesión ( $c$ ) del suelo y de su fricción interna ( $\phi$ ). (Hoyos, 2012)



Gráfico 2. 9: Tensión al corte  $\tau$  en función de la deformación horizontal  $\epsilon$ . (Hoyos, 2012).

Los valores de resistencia al corte son llevados a un gráfico en función de la tensión normal ( $\sigma$ ). se obtiene así una recta llamada “recta intrínseca”, en la cual el ángulo formado por esta con el eje de las abscisas, es el llamado ángulo de  $\phi$  (ángulo de fricción interna del suelo) y la ordenada hasta el origen es el valor “ $c$ ”(cohesión del suelo).

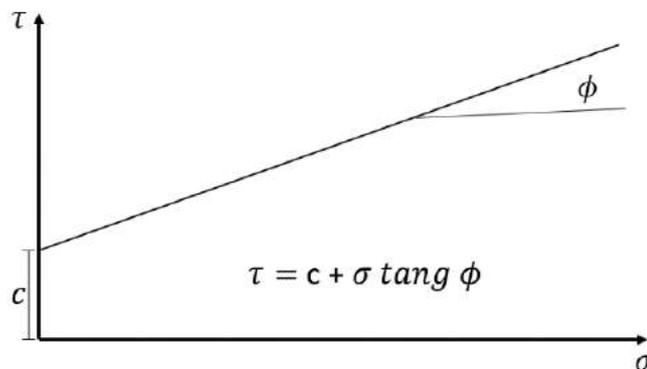


Gráfico 2. 10: Resistencia al corte en función de la tensión normal ( $\sigma$ ). (Hoyos, 2012).

### 2.2.6. Cimentación mediante pilotes

Los pilotes son elementos estructurales de acero, concreto o madera. En contraste con las zapatas continuas y losas de cimentación que son cimentaciones poco profundas. La necesidad de pilotes en una cimentación es para garantizar la seguridad estructural en las siguientes situaciones. Cuando las capas superiores son altamente compresibles y demasiado débiles para soportar carga transmitida por la superestructura. Cuando se someten a esfuerzos horizontales los pilotes resisten flexionándose sin dejar de soportar carga vertical transmitida por la

superestructura. Para suelos expansivos y colapsables. Estos pueden extenderse a una gran profundidad. Los suelos se hinchan y se contraen a medida que aumenta y disminuye el contenido de humedad, si se usa cimentaciones superficiales la estructura sufrirá daños muy importantes. (Braja, 2011).

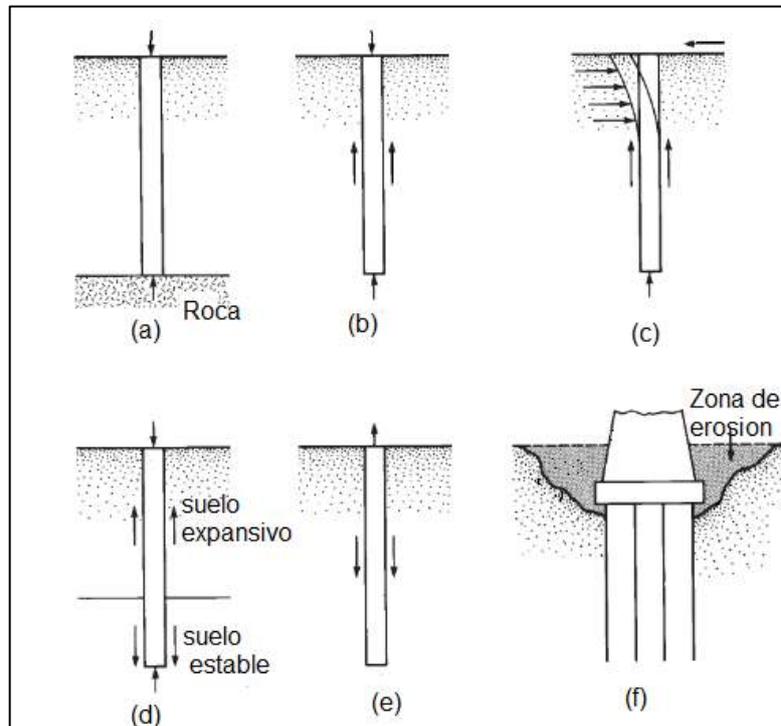


Figura 2. 2: Condiciones para el uso de pilotes en cimentaciones. (Braja, 2011).

### 2.2.7. Cimentación con pozos

Pozos rellenos de hormigón pobre u hormigón de cal que atraviesan la “carga activa” alcanzando profundidades mínimas del orden de 4.0m; encima del relleno se dispone la verdadera Zapata sobre la que se apoya un forjado estructural en la planta inferior de la del edificio, aislando este terreno dejando un hueco o cámara bufa, disponiendo planchas de polietileno expandido. (González de vallejo, 2002)

### 2.2.8. Cimentación por sustitución del terreno

Sustitución del terreno expansivo superficial en la capa activa por un material de aportación, grueso e inactivo, colocando una lámina impermeable sobre el terreno y material, de forma que no se produzcan entradas de agua en zonas profundas; esta solución es muy empleada en el caso de apoyo de estructuras de gran superficie y de poca carga, como puede ser una estructura viaria, en la que,

además, se dan sobre anchos para evitar una penetración del agua bajo la plataforma viaria. El terreno podría ser la misma arcilla expansiva compactada adecuadamente con rodillo pata de cabra y del lado húmedo o bien con adición de cal.

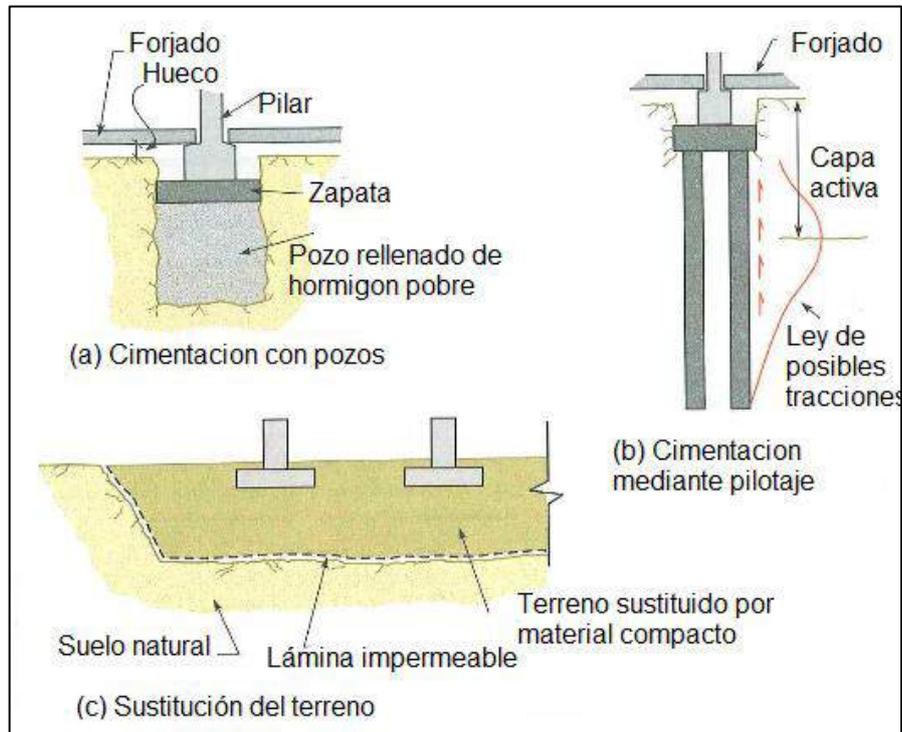


Figura 2. 3: Posibles soluciones de cimentaciones en suelos difíciles. (González de Vallejo, 2002).

### 2.3. SISMICIDAD

El territorio peruano está dividido en cuatro zonas sísmicas. La zonificación está basada en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en la información neotectónica. A cada zona se asigna un factor “z”, este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años. El factor “z” se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad.

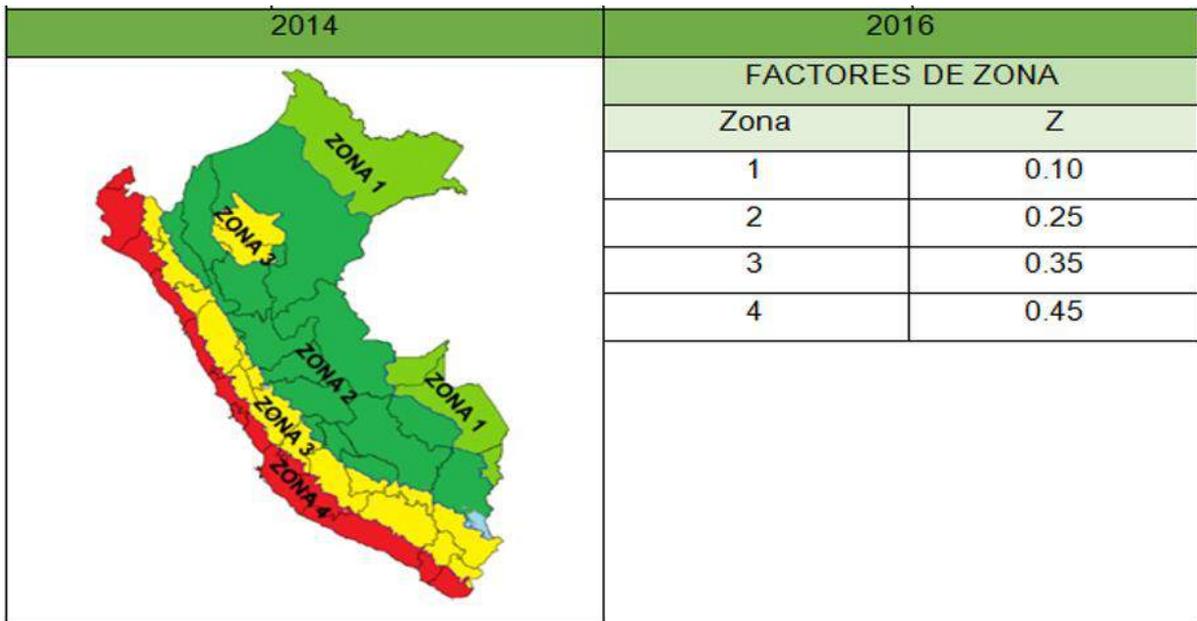


Figura 2. 4: Mapas de las zonas sísmicas del Perú.

### 2.3.1. Parámetros de sitio ( $S$ , $T_p$ y $T_L$ )

Deberá considerarse el tipo de perfil que mejor describa las condiciones locales, utilizándose los correspondientes valores del factor de amplificación del suelo  $S$  y de los períodos  $T_p$  (Período que define la plataforma del factor  $C$ ) y  $T_L$  (Período que define el inicio de la zona del factor  $C$  con desplazamiento constante).

Tabla 2. 4: Parámetros de sitio para corrección de valor se zona sísmica.

FACTOR DEL SUELO "S"				
ZONA/SUELO	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$
$Z_4$	0.8	1.0	1.05	1.10
$Z_3$	0.8	1.0	1.15	1.20
$Z_2$	0.8	1.0	1.20	1.40
$Z_1$	0.8	1.0	1.60	2.00

Tabla 2. 5: Periodos de amplificación sísmica.

PERIODOS "T <sub>P</sub> " Y "T <sub>L</sub> "				
PERFIL DE SUELO				
	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
T <sub>P</sub> "	0.3	0.4	0.6	1.0
"T <sub>L</sub> "	3.0	2.5	2.0	1.6

S<sub>0</sub> — Roca Dura: Corresponden las rocas sanas

S<sub>1</sub> = Roca o Suelos Muy Rígidos: corresponden las rocas con diferentes grados de fracturación, de macizos homogéneos y los suelos muy rígidos (Roca fracturada, Arena muy densa o grava arenosa densa y Arcilla muy compacta de espesor menor que 20 m),

S<sub>2</sub> = Suelos Intermedios: corresponden los suelos medianamente rígidos (Arena densa, gruesa a media, o grava arenosa medianamente densa y Suelo cohesivo compacto)

S<sub>3</sub> = Suelos Blandos: Corresponden los suelos flexibles (Arena media a fina o grava arenosa, suelo cohesivo blando y cualquier perfil que no correspondan al tipo S<sub>4</sub>)

S<sub>4</sub> = Condiciones Excepcionales: A este tipo corresponden los suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables, en los cuales se requiere efectuar un Estudio de Mecánica de Suelos (EMS) para el sitio.

### 2.3.2. Factor de amplificación Sísmica (C)

$$T < T_P \rightarrow C = 2.5$$

Dónde:

$$T_P < T < T_L \rightarrow C = 0.25 \left( \frac{T_P}{T} \right)$$

T: Período fundamental de la estructura para el análisis estático o período de un modo en el análisis dinámico.

$$T > T_L \rightarrow C = 0.25 \left( \frac{T_P \times T_L}{T^2} \right)$$

## 2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

**Acuífero.** Formaciones geológicas capaces de almacenar y transmitir el agua (gravas, arenas, materiales calizos), con capacidad de drenaje alta. (González de Vallejo, 2002)

**Acuitardo.** Son formaciones geológicas capaces de almacenar el agua en cantidades muy importantes, pero la transmiten con dificultad; se suelen denominar con frecuencia semipermeables (limos, arenas limosas, arenas arcillosas) y su capacidad de drenaje es media a baja. (González de Vallejo, 2002)

**Asentamiento.** Efecto de descenso del terreno bajo la cimentación de una edificación ocasionada por las cargas que se transmiten al mismo. (Braja, 2011).

**Cimentaciones profundas.** Las cimentaciones profundas son aquellas que transfieren las cargas a estratos de suelos resistentes localizados a gran profundidad. Las cargas pueden ser transmitidas directamente en el estrato resistente pilas o pilotes de punta o por fricción lateral que se crea entre la cimentación y el suelo pilotes de fricción. (González, 2006)

**Coeficiente de carga.** Coeficiente que toma en cuenta las posibles desviaciones de las cargas con respecto a sus valores característicos. (Fuentes, 2008)

**Colapso.** Definen como colapso a cualquier disminución rápida de volumen del suelo, producida por el aumento de cualquiera de los siguientes factores. (Redolfi, 2007)

**Consolidación.** Proceso de reducción de volumen de los suelos finos cohesivos arcillas y limos plásticos, provocado por la actuación de solicitaciones cargas sobre su masa y que ocurre en el transcurso de un tiempo generalmente largo. Es la reducción gradual de volumen del suelo por compresión, debido a cargas estáticas. También puede darse por pérdida de aire o agua. (Nij, 2009)

**Densidad.** La densidad de un cuerpo es la masa de dicho cuerpo contenida en la unidad de volumen, sin incluir sus vacíos. Matemáticamente es la relación de la masa con el volumen. (Redolfi, 2007)

**Estudio geotécnico.** El estudio geotécnico es el conjunto de actividades que permiten obtener la información geológica y geotécnica del terreno, necesaria para la redacción de un proyecto de construcción. (Lomoschitz, 2005)

**Disgregamiento.** Desunión o separación de las partes de un todo que era compacto, en este caso las partículas de suelo. (Nij, 2009)

**Hidrogeología.** Es la ciencia, parte de la geología que estudia el comportamiento y distribución de las aguas subterráneas. Los diferentes tipos de rocas y las formaciones geológicas que las contienen, teniendo en cuenta las estructuras. Además, la hidrogeología se ocupa también del aprovechamiento de las aguas subterráneas que el hombre puede darle en bien de la humanidad. (Dávila, 2011)

**Litología.** Ciencia que estudia el origen, evolución y clasificación de las rocas. Se podría considerar como un sinónimo de petrología. (Dávila, 2011)

**Nivel freático.** El agua que se encuentra por debajo de la superficie del suelo, en los distintos estados y relaciones de composición con la parte sólida y gaseosa, se conoce como agua subterránea. (Villalaz, 2004)

**Pilotes.** Son miembros estructurales hechos de acero, concreto y/o madera usados para construir cimentaciones profundas. (Braja, 2011)

**Prefabricado.** Se dice del elemento o pieza que han sido fabricados en serie, para facilitar el montaje o construcción en el lugar de destino. (Braja, 2011)

**Software – phase<sup>2</sup> V8.0.** Es el software de análisis de estabilidad de taludes más completa disponible, completa con el análisis de elementos finitos de las aguas subterráneas filtraciones, reducción rápida, sensibilidad y análisis probabilístico, y el diseño de soporte. Todos los tipos de suelo y roca taludes, terraplenes, diques de tierra y muros de contención pueden ser analizados. Estado de las capacidades de última generación permite crear y editar modelos complejos con mucha facilidad. (Castro, 2006)

**Suelos.** Para un ingeniero geotécnico, el suelo es un material natural que, a diferencia de la roca, presenta una marcada modificación de sus propiedades en presencia de agua. (Bañon, 2011)

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **3.1.1. Geográfica**

La investigación se va a realizar la parte Nor Occidental del territorio peruano a 1Km. al noroeste del Distrito de Bambamarca, en el barrio de Maygasbamba, con las siguientes coordenadas de unidad técnica de medida (UTM.) Datum. WGS-84: Latitud 9 261 847 m, longitud 773 527m y una altitud de 2 526 msnm. (Ver plano de ubicación).

##### **3.1.2. Política**

Políticamente la investigación se va a realizar en la siguiente ubicación:

Región y Departamento:	Cajamarca
Provincia:	Hualgayoc
Distrito:	Bambamarca
Barrio:	Maygasbamba

##### **3.1.3. Accesibilidad**

Para acceder al área de la cimentación se toma una vía de comunicación asfaltada de 93Km Cajamarca – Bambamarca con un tiempo aproximado de 3 horas, luego se toma la avenida Ricardo Palma, Km 1.1 de la carretera Bambamarca-Chota. (ver plano de accesibilidad)

### 3.1.4. Clima

El clima en Bambamarca es cálido y templado. Bambamarca tiene una cantidad significativa de lluvia durante el año. Esto es cierto incluso para el mes más seco. La temperatura aquí es en promedio 14.3 °C. Precipitaciones aquí promedios 79.2mm. El mes más seco es agosto, con 20mm de lluvia. Con un promedio de 115mm, la mayor precipitación cae en marzo.

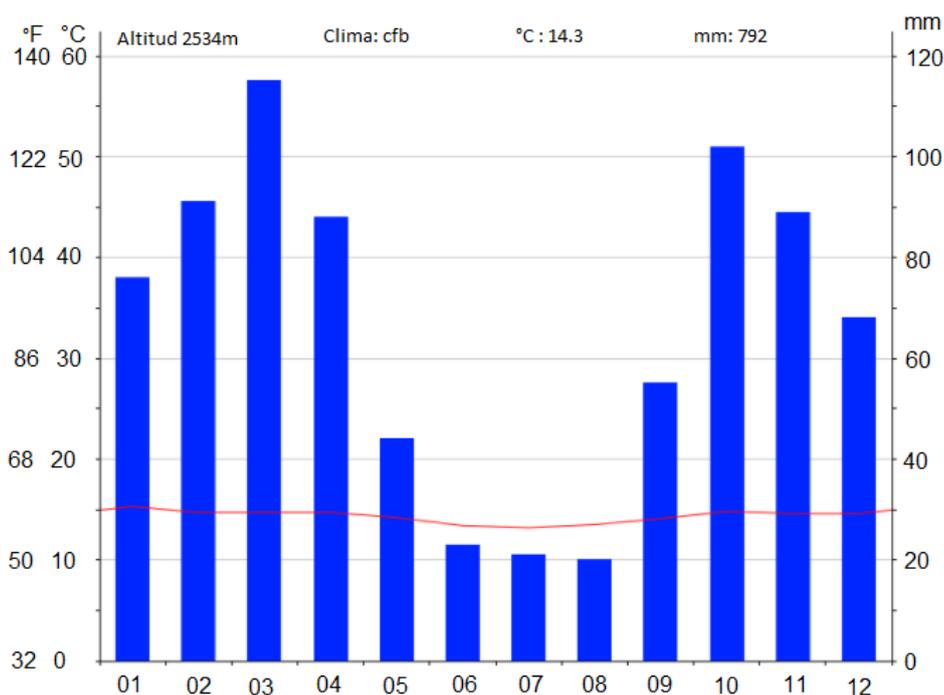


Gráfico 3. 1: Precipitación y temperatura en la localidad de Bambamarca. Fuente. Estación meteorológica Puente Maygasbamba (SENAMHI, 2019).

### 3.1.5. Geología

#### 3.1.5.1. Unidades Estratigráficas

Las unidades estratigráficas de interés para la investigación son:

##### a) Formación Chota

Una secuencia de conglomerados finos a medios, cantos de gran tamaño, con capas de argilitas y areniscas gruesas, mayormente de color rojizo. En los contactos con el volcánico Huambos se encuentran conglomerados intercalados con tobas de color grisáceo, meteorizados y muy porosos. (Rojas, 2014)

## b) Volcánico Huambos

Se encuentran como paquetes subhorizontales de tobas andesíticas porfiríticas, de color verdoso a violáceo en la parte SE del área de estudio, con gradación hacia tobas andesíticas traquíticas en el lado SW en la parte alta de la ciudad, con afloramientos típicos cerca de la carretera y la antena. Las tobas traquitas presentan coloraciones beige a cremas con fuerte intemperización, tienen textura porfirítica compuesta por fenocristales de hornblenda, biotita y plagioclasas. Generalmente se encuentran bastante alteradas y superficialmente presentan alta porosidad y alteración de las micas como la biotita. (Rojas, 2014)

## c) Depósitos Fluvio-aluviales

Constituidos por una mezcla de cantos redondeados, gravas sub redondeadas a subangulosas, arenas y algo de limos. Los encontramos cercanos a los ríos Llaucano y Maygasbamba y formando gran terraza que bordean la ciudad de Bambamarca en el lado noreste en la confluencia de los ríos Llaucano y Maygasbamba.

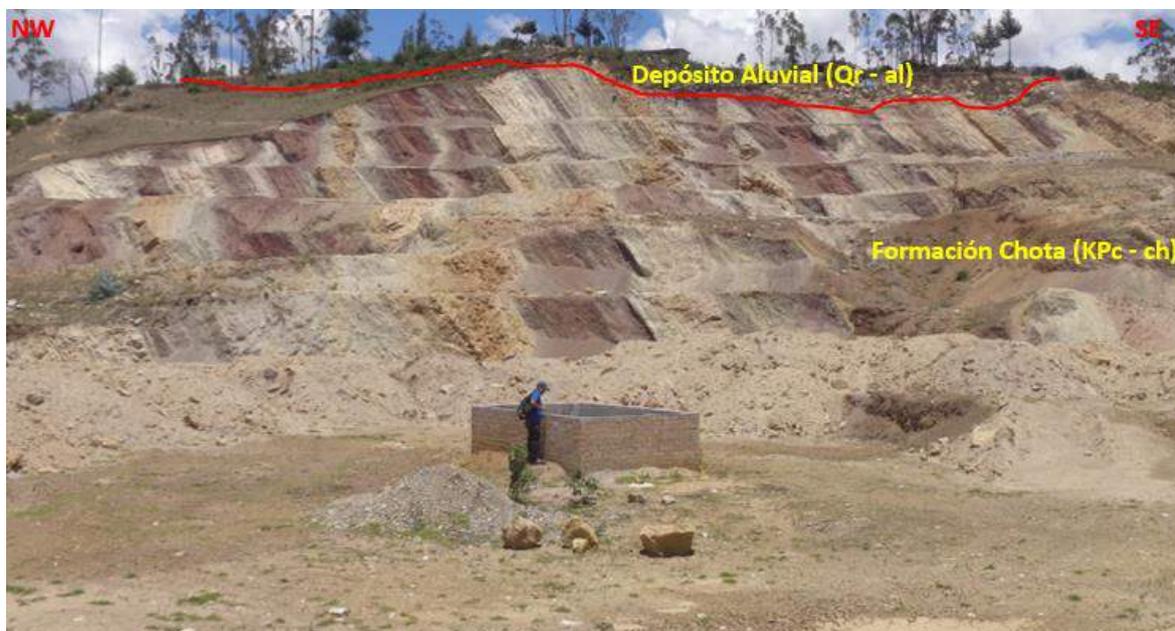


Imagen 3. 1: Estratos de la Formación Chota (parte inferior) y depósitos cuaternarios (parte superior).

### **3.1.6. Hidrogeología**

Las aguas subterráneas se derivan, directa e indirectamente, de las lluvias. Parte importante de las aguas caídas se infiltran en el suelo, subsuelo y estratos profundos de donde se deduce que las características geológicas de la cuenca son fundamentales para tal proceso. En las áreas bajo riego, uno de los componentes del flujo hacia los acuíferos es consecuencia de la infiltración. La lluvia que cae al suelo es absorbida y la cantidad infiltrada dependerá de las características del suelo y subsuelo. Este proceso, aunque teóricamente simple, depende de muchos fenómenos variables en sí mismos. En la ciudad de Bambamarca existe agua subterránea ocupando un acuífero no confinado que sigue la pendiente en la que se desarrolla la zona urbana, y se encuentran muchos manantiales.

#### **3.1.6.1. Movimiento del agua subterránea**

El movimiento del agua, por debajo de la superficie del terreno, depende de la capacidad para transmitirla del material en el cual se mueve, es decir, los materiales permeables es la gravedad la que obliga al agua a desplazarse hacia abajo, hasta que los poros queden saturados, punto a partir del cual se inicia un movimiento lateral en el sentido que el desnivel lo permita.

#### **3.1.6.2. Evaluación hidrológica de la ciudad de Bambamarca**

La red hidrográfica está conformada por los ríos Llaucano y Maygasbamba y por dos quebradas Las Tinajas y la Las Tayas. Estas desembocan en el río Llaucano. La Quebrada Las Tayas inicia desde la cota 2 659msnm. fluye en dirección Noreste hasta el Jr. Los Libertadores, luego se dirige al Este hasta el Jr. Miguel Grau cambiando en dirección Sur 61° Este, hasta desembocar al río Llaucano. La Quebrada Las Tinajas inicia en la cota 2652msnm. dirigiéndose en dirección Noreste hasta desembocar al Río Maygasbamba. (Rojas. 2015)

### **3.2. PROCEDIMIENTOS**

En la siguiente investigación se va a utilizar los métodos de observación y análisis porque identifica las características de terreno y analiza sus comportamientos geológicos, de diseño experimental, para ello se va a seguir las siguientes etapas:

### **3.2.1. Etapa preliminar de gabinete**

En esta primera etapa se hace una recopilación y análisis de la información existente sobre el área de estudio relacionada a los temas para ello se utilizó fuentes escritas como documentos, libros y tesis. Se elaboró el mapa geológico preliminar 1/12 500 y de altitud para lo cual se utilizó imágenes satelitales. Se determinó las unidades de muestreo de acuerdo a criterios geológicos y al acceso existente en la zona. Uso del SIG para integración cartográfica existente.

### **3.2.2. Etapa de campo**

En esta etapa consiste en realizar un estudio geológico, hidrogeológico y Geotécnico con la descripción de las litologías presentes. Registro fotográfico de la litología, con georreferenciación en los puntos de muestreo y puntos de observación adicionales, con la ayuda de fichas y ábacos se tiene que recaudar todo el dato posible que sea útil para la investigación. Como por ejemplo rumbos y buzamientos, la medida de calicatas toma de muestras para los ensayos geotécnicos.

### **3.2.3. Etapa de ensayos**

Realización de los ensayos necesarios para la investigación tales como granulometría; límites de Atterberg; Proctor normal; CBR; ensayos edométrico; humedad natural y densidad aparente; comprensión simple y corte directo. A partir de estos se podrá determinar todas sus características y propiedades del suelo para su comportamiento geotécnico frente al peso de la infraestructura.

### **3.2.4. Etapa final de gabinete**

En esta etapa se realizará el procesamiento y compilación de la información de campo junto con la interpretación de los ensayos y elaboración de la tesis final.

### **3.2.5. Metodología.**

La metodología usada en la investigación se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 3. 1: Clasificación y tipos de la investigación.

Clasificación	Tipos de investigación
<b>Según su tipo</b>	<p><b>Descriptivo.</b> Fenómeno o situación concreta indicando sus rasgos más peculiares o diferenciadores, en la investigación se va a describir la litología presente para luego ser analizada.</p> <p><b>Analítico.</b> Es aquel método de investigación que consiste en la desmembración de un todo, descomponiéndolo en sus partes o elementos para observar las causas, la naturaleza y los efectos.</p> <p><b>Explicativo.</b> Buscan encontrar las razones o causas que ocasionan ciertos fenómenos. Su objetivo último es explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se da éste.</p>
<b>Según el diseño</b>	<p><b>De campo.</b> Cuando las recolecciones de los datos usados en la investigación son recolectadas in situ.</p>
<b>Según su naturaleza</b>	<p><b>Combinado.</b> Ya que se van la investigación va a ser cualitativa y cuantitativa ya que describe y cuantifica con los resultados de laboratorio.</p>
<b>Según la finalidad</b>	<p><b>Aplicativa.</b> Es un estudio que busca la aplicación de los conocimientos adquiridos a la vez que se adquiere otro, en nuestro caso sobre el comportamiento geotécnico del suelo para la cimentación.</p>

### 3.2.5.1. Población de estudio

La población de estudio será el área de la cimentación del colegio San Carlos que consta de 12 479.72 m<sup>2</sup> en el barrio Maygasbamba del distrito de Bambamarca.

### 3.2.5.2. Muestra

La muestra es el tipo de suelo y las propiedades físicas del suelo.

### 3.2.5.3. Unidades de análisis

Será los ensayos geotécnicos como: granulometría; límites de Atterberg; Proctor normal; CBR; ensayos edométrico; humedad natural; densidad aparente; comprensión simple y corte directo.

### **3.2.6. Identificación de variables**

#### **3.2.6.1. Independientes**

**Litología.** Relacionada con el tipo de sedimentación que existió en un lugar y periodo determinado.

**Nivel freático.** Nivel superior de una capa freática o de un acuífero en general.

**Propiedades físicas del suelo.** Condiciona en gran medida el tipo de cimentación que se debe realizar para una determinada construcción.

#### **3.2.6.2. Dependientes**

**Caracterización geotécnica del suelo.** Análisis de parámetros geológicos y geotécnicos para definición de propiedades geotécnicas del suelo.

### **3.2.7. Técnicas**

Para la recolección de información se tiene que elegir primero bibliografía garantizada y recaudar toda la información posible para luego escoger lo que si será de ayuda para nuestra investigación.

En la recolección de datos es netamente observacional la técnica es observar de distintas partes para poder distinguir muy bien el problema de la investigación para luego describir muy detalladamente.

En la toma de fotografías siempre se debe tomar una fotografía perpendicular al objeto que se quiere estudiar y buscar el lugar más apropiado.

La tomar de las coordenadas con el Sistema de Posicionamiento Global (GPS.) se espera hasta que cargue bien los satélites para una buena lectura.

Las mediciones con la brújula de rumbos y buzamientos se realizar con una brújula geotécnica para mayor exactitud, cerciorarse de no tener nada metálico que pueda alterar las mediciones de la brújula.

El llenado de las fichas se hace en un tablero para mejor comodidad para poder escribir lo más rápido posible.

### **3.2.8. Instrumentos y equipos**

**Imágenes satelitales.** Es la representación visual de las características del terreno, capturada por un sensor colocado en un satélite artificial con una escala de 1:5 000.

**Brújula tipo Brunton Azimutal.** Utilizado para la toma de datos de direcciones de discontinuidades y planos de estratificación.

**GPS. Navegador.** Instrumento utilizado para la obtención de las coordenadas para la ubicación de puntos con coordenadas del sistema UTM, DATUM WGS-84.

**Flexómetro de 5.0m. Y Wincha de 30.0m.** El flexómetro se utilizó para medir longitudes pequeñas, como persistencia, abertura entre diaclasas y la Wincha se utilizó para medir longitud y ancho de los taludes.

**Picota de Geólogo.** Herramienta necesaria para extraer muestras de roca y probar la resistencia de las mismas en campo.

**Tablas geotécnicas.** Utilizados como guías para la documentación de las propiedades de resistencia de los macizos rocosos.

**Libreta de campo.** Elemento didáctico destinado al registro de las observaciones que se realizan en campo, gabinete y/o laboratorio. Se utiliza para anotar observaciones de carácter geológico, estructural, hidrológico y geodinámica; tomadas en campo y gabinete.

**Cámara fotográfica digital de 16 Megapíxeles.** Dispositivo electrónico usado para capturar y almacenar fotografías, sonidos y videos electrónicamente en un formato digital. Se utilizó para capturar las fotografías de las características de geológicas y estructurales del terreno, que nos ayudarían en la investigación.

**Computadora-Laptop.** Para la elaboración de la presente tesis se utilizó el software Microsoft Office, el software Slide para procesamiento de la data y la elaboración de planos se utilizó el software ArcGis 10.3. y AutoCAD civil 3D.

**Fichas.** Para llenar los datos que se tomaran en campo mediciones cálculos y la utilización de ábacos para mecánica de rocas para determinar el tipo de suelo, así como también sus límites tanto plástico como líquido.

### 3.3. COMPORTAMIENTO GEOLÓGICO

#### 3.3.1. Geología Regional

Desde el punto de vista geológico, el área de cimentación se enmarca dentro de la Cuenca del río Maygasbamba que es un afluente del río Llaucano, constituida por calizas de la Formación Cajamarca y Celendín, suelos resultados de la meteorización in situ de la Formación Chota, Volcánico Huambos (Volcánico Bambamarca) y materiales detríticos continentales como se observa en los perfiles A – A' y B – B'.

##### 3.3.1.1. Formación Cajamarca (Km-c)

Formación geológica constituida por estratos de gran espesor de roca caliza de coloración azulada, intercalado por estrato de pequeños espesores de lutitas. Aflorando al suroeste y oeste del área de la cimentación del colegio, con buzamientos entre 30° a 65°. Ver plano geológico regional.

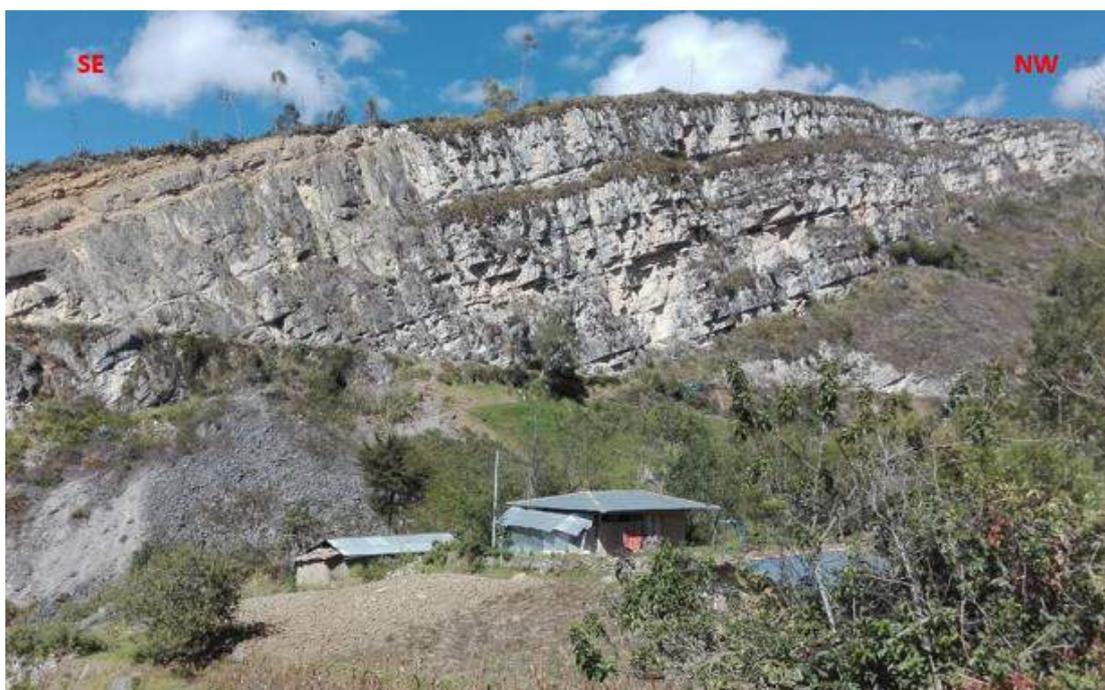


Imagen 3. 2: Estratos de calizas de la Formación Cajamarca

La imagen corresponde a 1.3 Km al oeste del área de cimentación, observándose estratos de gran espesor de calizas con DIP: 40° y DD: 130°, ha sido tomada desde la carretera con coordenadas E: 772 023; N: 9 262 261. Cota 2 661 m.s.n.m.

### 3.3.1.2. Formación Celendín (Ks - ce)

Formación geológica constituida por estratos de calizas margosas nodulares intercalado con estratos de lutitas y limos arcillosos. Suprayase con la Formación Cajamarca de tipo continuo e infrayase a la Formación Chota de tipo discordancia angular.



Imagen 3. 3: Estratos de calizas margosas de la Formación Celendín.

En la imagen se puede observar las calizas margosas nodulares aflorando en la carretera Bambamarca- Cajamarca (Km 02) con DIP: 45° y DD: 80°. Y con coordenadas E: 772 286; N: 9 260 152; Cota: 2 770 m.s.n.m.

### 3.3.1.3. Formación Chota (KPc - ch)

Formación geológica constituida por estratos de areniscas volcánico-clásticas amarillas cremosas intercalado con estratos de limos y arcillas de diversos colores como marrón rojizo, blancos grisáceos y algunas capas de rocas carbonatadas. Suprayase con la Formación Celendín de tipo discordancia angular e infrayase al Volcánico Bambamarca de tipo discordancia erosiva.



Imagen 3. 4: Estratos de la Formación Chota.

En la imagen se puede observar los estratos de coloración marrón rojizo de limos arcillosos y un estrato de arenas volcánico-sedimentarios de coloración amarillo blanquecino aflorando en corte de carretera Bambamarca – Cajamarca (Km 1.8).  
 Coordenadas E: 772 838; N: 9 261 061; Cota: 2 670 m.s.n.m.

#### 3.3.1.4. Volcánico Bambamarca (Mis - vb)

Constituida por rocas volcánicas y se encuentran como paquetes subhorizontales de tobas andesíticas porfiríticas, de color verdoso a violáceo en la parte SE del área de cimentación con gradación hacia tobas andesíticas traquíticas.



Imagen 3. 5: Contacto de la Formación Chota y Volcánico Bambamarca.

Contacto de tobas andesíticas del Volcánico Bambamarca con suelos meteorizados insitu de la Formación Chota aflorando en corte de carretera en el lugar denominado “Cruz verde” el contacto es de tipo erosivo. DIP 20° DD 130° Coordenadas E: 773 226; N: 9 260 767; Cota 2 702 m.s.n.m.

### 3.3.1.5. Depósito Fluvio – Aluviales (Qr - al)

Constituidos por una mezcla de cantos redondeados, gravas sub redondeadas a subangulosas, arenas y algo de limos. Los encontramos cercanos a los ríos Llaucano y Maygasbamba y formando gran terraza que bordean la ciudad de Bambamarca en el lado noreste en la confluencia de los ríos Llaucano y Maygasbamba.

En la imagen izquierda se observa el contacto entre la Formación Chota y Depósitos Aluviales tomada desde el puente Maygasbamba margen derecha aguas abajo del río del mismo nombre. Coordenadas E: 772 618; N: 9 262 144; Cota 2 583 m.s.n.m. con un espesor de 30m. aproximadamente. En la imagen 3.6. se observa el contacto entre la Formación Chota y Depósitos Aluviales, esta fue tomada desde la trocha carrozable Bambamarca – San Juan de la Camaca. a una distancia de 200.0m aproximadamente y con un espesor de 20.0m.

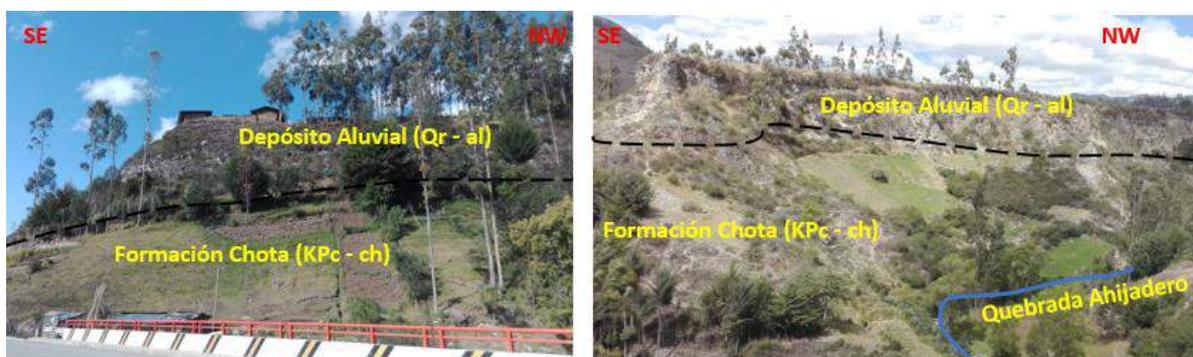


Imagen 3. 6: Contacto entre la Formación Chota y Depósitos Aluviales.

### 3.3.2. Geología Local

La zona de estudio encuadrada dentro de la Formación Chota que presenta un espesor entre 150m (ver columna estratigráfica) depositados en el Paleoceno y cuaternarios fluviales y aluviales los cuales presentan un espesor de varios metros. Para un mejor estudio se ha dividido el espesor de dicha Formación en dos tipos teniendo en cuenta sus características litológicas. Ver plano geológico.

### 3.3.2.1. Formación Chota (KPc – ch)

#### Facies de estratos 01

Estratos de limos arcillosos marrón rojizo; con espesores de hasta 8 metros, intercalados con estratos de arenas limosas de color blanca plomiza, con espesores de 2.5m incrustados clastos redondeados hasta 0.06m de diámetro; capas de 0.03m de espesor de rocas carbonatadas y algunos estratos de arenas volcánico-clásticas. Contiene también láminas de arcillas blancas y laminillas de sulfatos (yeso) y carbonatos (calcita). Ver columna estratigráfica.

#### Facies de estratos 02

Estratos de arenas amarillentas de grano medio incrustados clastos redondeados de hasta 0.20m. De diámetro, con un espesor de hasta 10.0m intercalados con limos arcilloso de 4.0m a 6.0m de espesor de color marrón rojizo encontrándose en su base rocas carbonatadas y además capas pequeñas de arcilla blanca y laminillas de carbonatos.

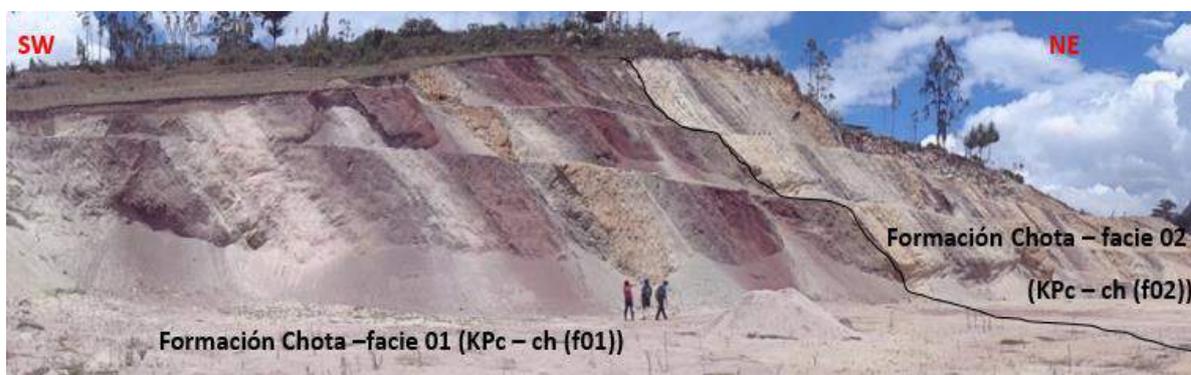


Imagen 3. 7: Zona de la cimentación donde se observa los estratos de la Formación Chota.

Parte izquierda de la imagen se puede observar los estratos limo arcillosos intercalados con arenas volcánico-clásticos, con DIP: 58° y DD: 110° parte superior y DIP: 50° y DD: 115° en la parte inferior, mientras el lado derecho se observa las arenas amarillentas intercaladas con limos arcillosos con DIP: 52° y DD: 110° parte superior y DIP: 48° y DD: 110° en la parte inferior.

### 3.3.2.2. Depósitos aluviales (Qr-al)

Depósitos cuaternarios conformados por bloques semiredondeados, gravas, arenas y en muy poco porcentaje arcillas. En el área de cimentación se encontró en dos partes bien definidas, en la parte superior central y en la parte media de la cimentación como se indica en las siguientes imágenes.

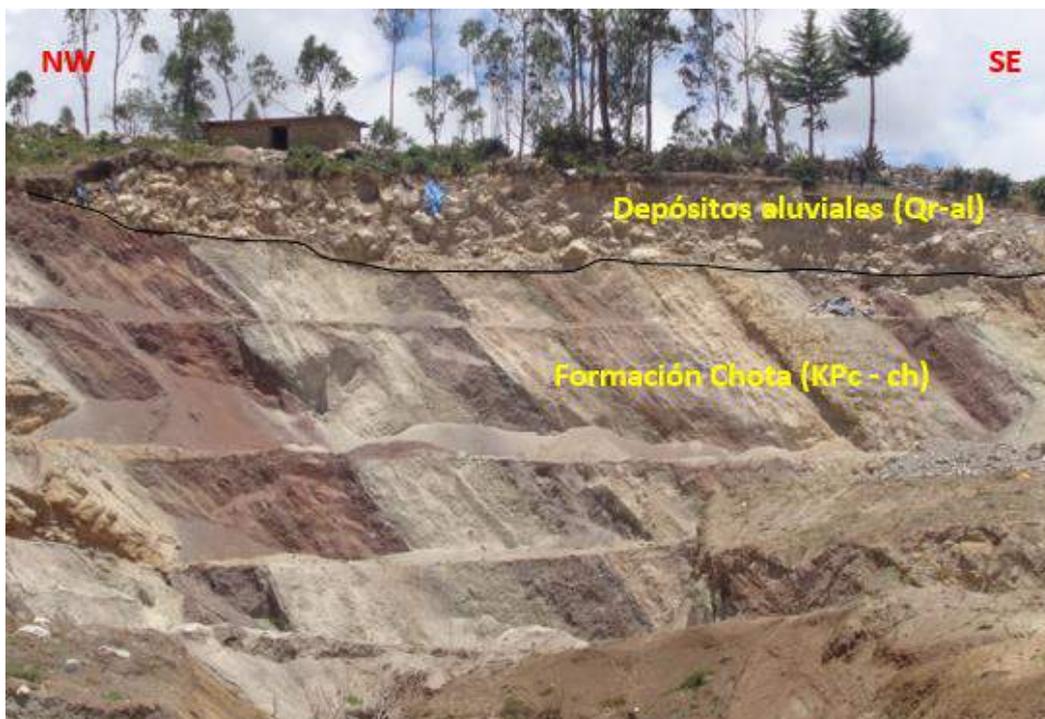


Imagen 3. 8: Contacto entre la Formación Chota y los Depósitos Fluviales.

La imagen 3.8. tiene como coordenadas E: 773 393; N: 9 261 950; Cota 2 564 m.s.n.m. donde se observa estratos de la Formación Chota en contacto con depósitos aluviales de hasta 5.0m indicando una paleolaguna.

### 3.3.3. Identificación de estratos

La identificación del suelo se realiza valiéndose de la observación directa. Para el análisis de suelos se realizaron estudios macroscópicos los cuales emplearon lupa, rayador y ácido para su identificación. Los suelos analizados están conformados por arenas de origen volcánico, arcillas y bloques redondeados de origen volcánico y arenas.

se realizó una descripción del suelo para determinar sus propiedades físicas del terreno como; el color, la textura y composición mineralógica, donde se describen:

**Color.** Los colores son diversos tales como plomos blanquecinos, blancos plomizos, blancos amarillentos, grises verdosos, rosados amarillentos, marrones rojizos y marrones oscuros.

**Textura-estructura.** El material es netamente volcánico-clásticos donde se pudo observar; los sedimentos limosos arcillosos, arenosos, clastos, rocas carbonatadas en poca proporción. Encontrándose estructuras como; estratificación laminar, estratificación bimodal “espina de pescado”, imbricaciones y estructuras de deformación.

**Minerales.** Los minerales predominantes son; Sulfato de calcio, carbonato de calcio, arcillas, biotitas alteradas (clorita) y óxidos.



Imagen 3. 9: Estrato donde presenta minerales (yeso y calcita).

La imagen 3.9. corresponde al área de cimentación, donde se aprecia de suelos volcánico clástico con presencia de sulfatos y un porcentaje pequeño de carbonatos y sulfato de calcio (yeso). Con coordenadas UTM DATUM WGS-84 E: 773 395 y N: 9 261 802.

Los clastos analizados en las calicatas corresponden a roca que se clasifican según WENTWORTH, como Limo - Arcillitas, arenisca de grano medio (psamitas) y gravas gruesas (psefitas).

Según las descripciones de las rocas y los sedimentos hechos anteriormente, determinan que estos sedimentos se depositaron en un ambiente sedimentario de

transición. Por presentar sedimentos procedentes de tierra como las gravas y arenas y los sedimentos de mar como las arcillas y minerales como los carbonatos (calcitas) y sulfatos (yeso).

Tabla 3. 2: Características del ambiente de transición.

<b>Ambiente</b>	<b>Agente de transporte / deposito</b>	<b>Sedimento</b>	<b>Estructuras</b>	<b>Procesos orgánicos</b>
<b>Transición</b>		Sales y carbonatos		
<b>Delta</b>	Ríos, oleaje, mareas	Arena, lodo	Marca de corrientes	Enterramientos procesos de plantas
<b>Playa</b>	Oleaje, mareas	Arena, grava	Rizadura de corrientes simétricas	Poca actividad, frag. Conchas
<b>Planicies de marea</b>	Corrientes, mareas	Arena, lodo	Burrows, perforaciones	Mezcla de O. continentales y marinos (bentónicos)

Fuente: Ambientes sedimentarios clásticos. (Barrios, 2015).

### 3.3.4. Estratigrafía

La estratificación del área de cimentación es netamente suelos meteorizados in situ de la Formación Chota, con una geometría de sus estratos tabulares, irregulares (entre el Depósito Aluvial y los estratos de la Formación Chota) y ondulados. Presentan una asociación de estratos: estratodecrecientes, aleatorio o de espesores variables y estratocrecientes en la Formación Chota – limo arcilloso; en haces, estratodecrecientes, estratocrecientes y cíclica en Formación Chota grupo 02. Ver columna estratigráfica.

### 3.3.5. Geología Estructural

Con la ayuda de imágenes satelitales se pudo identificar fallas que pasan por el sur oeste y sur este del área de la cimentación del colegio (falla del río Maygasbamba). En cuanto a la dirección de los estratos cambian a 180° tanto de SW a NE como de NE a SW. Determinando que se trata de una zona de subsidencia regional (Ver plano Geológico Estructural Regional y los perfiles regionales).

Consecuencia de las fallas regionales dieron resultado a cuatro fallas normales que pasan por el área de cimentación del colegio.

### 3.3.5.1. Fallas

Se pueden observar cuatro fallas en el área de cimentación de las cuales dos se puede medir su rumbo, buzamiento y longitud de movimiento.

Fallas que cortan al área de cimentación de sur a norte y que se puede identificar desde la imagen satelital.

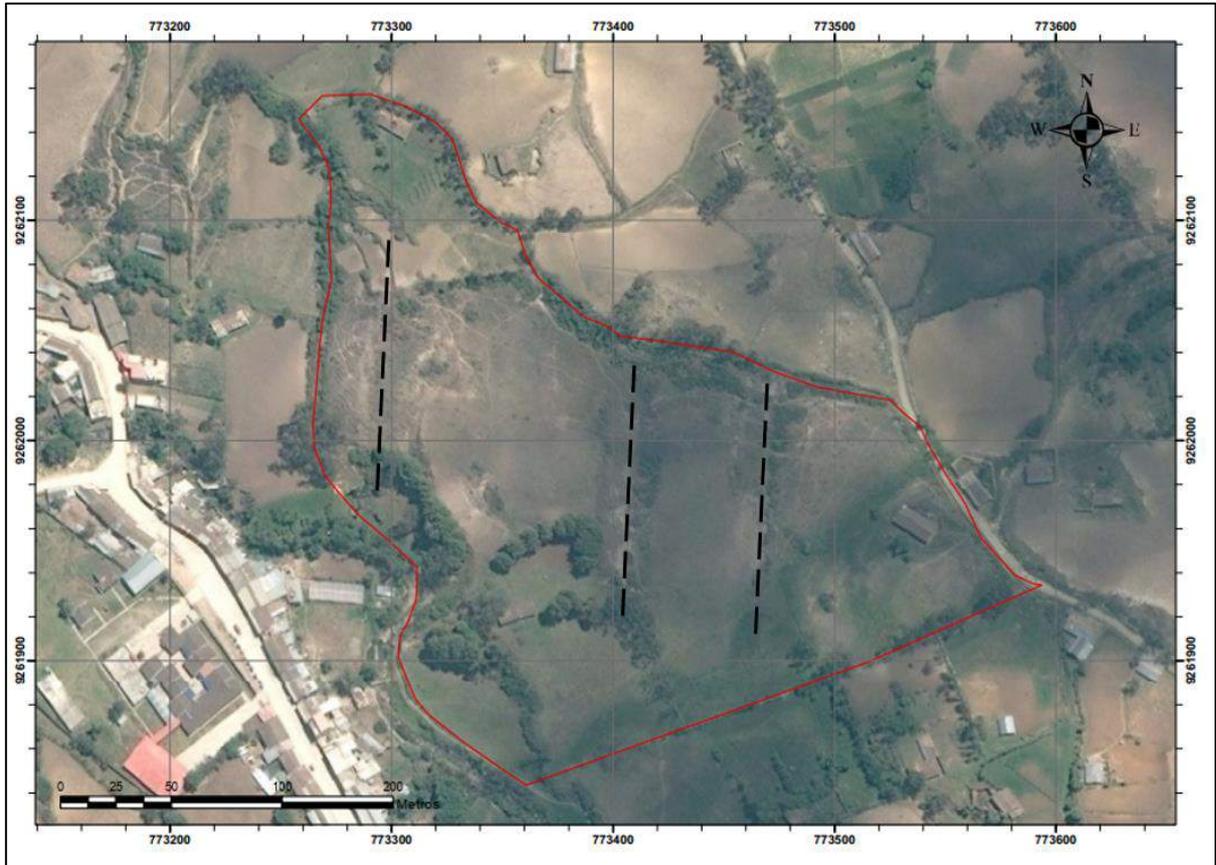


Imagen 3. 10: Fallas identificadas desde una imagen satelital

Fallas se localizan en el centro del área de cimentación del colegio San Carlos. (Ver imagen satelital 2010, planos). La falla que pasa por la parte central del área de cimentación con DIP  $80^\circ$  y DD  $250^\circ$ . Que ha sido desplazado vertical 12.5m y horizontal 4.55m aproximadamente. (Ver en anexo 04).

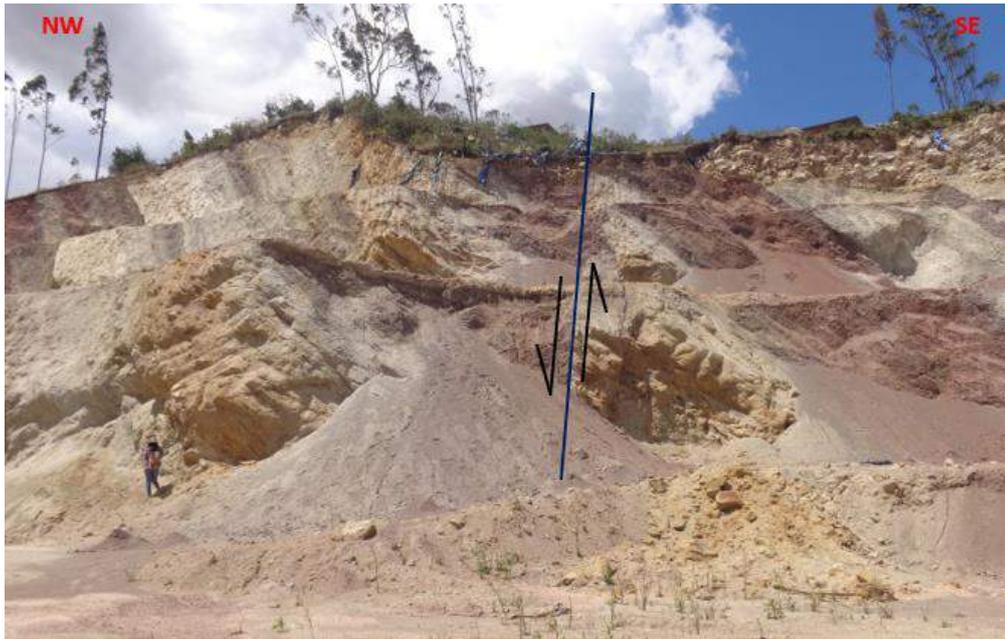


Imagen 3. 11: Falla normal sinistral en el área de cimentación.

La imagen 3.11 tiene como coordenadas UTM DATUM WGS-84 E: 773 392 N: 9 261 908. Cota 2 572 m.s.n.m. Falla normal con un Pitch: 78° y Plunge: 70°. Siendo una falla normal sinistral.



Imagen 3. 12: Falla inversa que pasa por el área de cimentación casi de oeste a este. .

La imagen tiene como coordenadas UTM DATUM WGS-84 E: 773 360; N: 9 262 049. Cota 2 580 m.s.n.m. Falla inversa con un DIP 64° y DD 60°. Corta por la parte sur del área de cimentación.

### 3.3.5.2. Alineaciones Sedimentarias

Estas estructuras se pueden apreciar en la figura 3.13. las cuales son mayormente paralelas a los estratos, determinando estructuras laminadas.

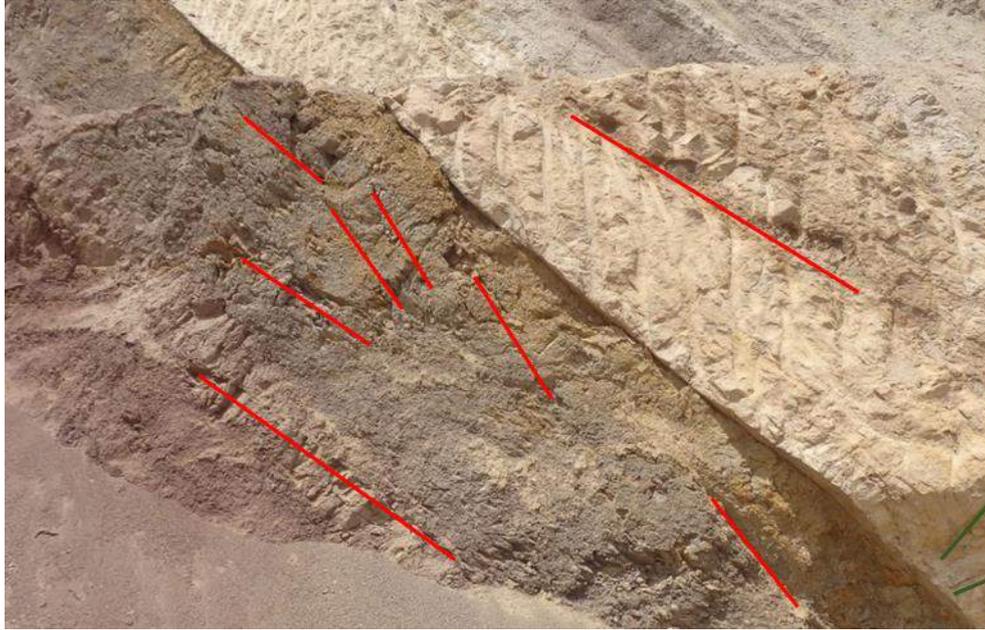


Imagen 3. 13: Alineaciones sedimentarias en los estratos de la Formación Chota.

### 3.3.5.3. Estratificación

La estratificación varía su ángulo de buzamiento, siendo en la parte superior mayor que en la parte inferior. Como se muestra en las siguientes figuras y en el cuadro que muestra las medidas tomadas.



Imagen 3. 14: (A) Estratificación en la parte norte del área de cimentación; (B) Medición del estrato de la parte sur del área de sedimentación.

Tabla 3. 3: En esta tabla se muestra la diferencia de buzamientos de los estratos de la parte superior e inferior.

ESTACIÓN	Este	Norte	Cota	DIP	DD
E3	773 395	9 262 008	2 582m	58°	90°
E4	773 390	9 261 895	2 558m	48°	122°

### 3.4. COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

El área de cimentación del Colegio se ubica en la parte baja de la cuenca Tingo – Maygasbamba esta área presentan los depósitos aluviales de cuatro metros de espesor, y la mayor parte son estratos de la Formación Chota. En estos estratos constituidos por estratos limos arcillosos y estratos de arenas limosas donde se hallan los acuíferos libres.

#### 3.4.1. Medición del nivel del agua en las calicatas

La campaña de mediciones del nivel freático se realizó en de julio y noviembre del 2019. Midiéndose un total de 14 calicatas en el que garantiza una medición representativa para el modelo de líneas isopiezas. En el Cuadro siguiente se muestran los datos obtenidos en dicha campaña de medición.

Tabla 3. 4: Mediciones del nivel freático en las calicatas.

Calicata	Código	Coordenadas			Profundidad (m.d.n.s.)	Nivel freático (m.d.n.s.)
		Este	Norte	Cota		
Nº-01	CC-A	773 359	9 261 921	2 567	2.3	0
Nº-02	CC-B	773 357	9 261 968	2 577	1.2	0
Nº-03	CC-C	773 357	9 262 007	2 588	0	indicio
Nº-04	CC-D	773 386	9 261 900	2 578	0.5	NO
Nº-05	CC-E	773 419	9 261 912	2 582	0.7	NO
Nº-06	CC-F	773 399	9 261 920	2 567	0.5	NO
Nº-07	CC-G	773 439	9 261 962	2 579	1.8	0.4
Nº-08	CC-H	773 439	9 261 995	2 585	1.8	1
Nº-09	CC-I	773 518	9 261 929	2 580	0	0
Nº-10	CC-J	773 502	9 261 981	2 590	0	0
Nº-11	CC-K	773 472	9 261 919	2 574	0.4	0
Nº-12	CC-L	773 458	9 261 898	2 569	0	0
Nº-13	CC-M	773 488	9 261 950	2 585	1.2	0
Nº-14	CC-N	773 295	9 262 029	2 586	0	Indicio



Fotografía 3. 1: Calicata N° 01 y calicata N° 02 donde el nivel freático se encuentra a nivel del suelo.

Coordenadas UTM DATUM WGS-84 E: 773 357; N: 9 262 007. Cota: 2567 m.s.n.m. y E: 773 400; N: 9 261 920 Cota: 2577 respectivamente, fotografías 01 tomada en noviembre y fotografía 02 en julio del 2019.



Fotografía 3. 2: Izquierda calicata N° 04 no presenta agua subterránea. Derecha calicata N° 05 calicata hecha a solo 10m y a la misma altura que la calicata 007 y no presenta agua subterránea.

En estas dos calicatas no hay presencia de nivel freático a pesar de estar a la misma altura que las calicatas anteriores. Con coordenadas UTM DATUM WGS-84 E: 773 393 N: 9 261 900 Cota: 2578 y E: 773 393 N: 9 261 912 Cota: 2582 msnm respectivamente. (Ver plano de ubicación de calicatas).



Fotografía 3. 3: (A) Calicata N° 07 y (B) calicata N° 08 afloramiento del nivel freático a 1.0m y 0.4m respectivamente, ubicadas en el centro del área de cimentación.

Las calicatas N° 07 y N° 08 se realizaron en dirección de la falla normal, centro del área de cimentación, donde se aprecia el nivel freático a 1.0m y 0.40m del nivel del suelo respectivamente. con coordenadas UTM DATUM WGS-84 E: 773 390 y N: 9 261 918. E: 773395 Cota: 2 579msnm y N: 9 261 906 Cota: 2 585msnm.



Imagen 3. 15: (A) Calicata N° 11 presencia de nivel freático a 0.2m del nivel del suelo. (B) Calicata N° 09 indicio del nivel freático.

La calicata N° 11 se ubica en dirección de la falla, donde se aprecia afloramiento de nivel freático a 0.20m y la calicata N° 09 se puede observar el agua subterránea a nivel del suelo sin elaborar calicata. con coordenadas UTM DATUM WGS-84 E=773 472 y N= 9 261 919 Cota 2574msnm y E=773 518 y N= 9 261 929 Cota: 2569 msnm respectivamente.



Imagen 3. 16: Calicata N° 01 con presencias de agua subterránea en diferentes estaciones del año, noviembre y agosto respectivamente.

### 3.4.2. Líneas isofreáticas y dirección del flujo subterráneo

Como se trata de un acuífero libre el nivel freático va a coincidir con el nivel piezométrico con base en la información recopilada en las calicatas de julio y noviembre del 2019, se estableció las líneas isopiezas de los acuíferos superficiales. Ver plano de hidrogeológico.

Los niveles de las isopiezas muestran valores que van desde los 2 610 m.s.n.m hasta 2 550 m.s.n.m mostrando una tendencia general del nor-oeste hacia el sur-este; tal como se aprecia en la siguiente figura. Las líneas de flujo siguen la dirección del drenaje natural del río de la zona evidenciando una influencia bastante significativa de estos drenajes sobre el acuífero.

Se puede determinar el gradiente hidráulico del acuífero midiendo la diferencia de carga entre dos líneas equipotenciales y la distancia entre ambas; de modo que:  $i = \Delta h/L$   $i$  = gradiente hidráulico  $\Delta h$  = Diferencia de carga hidráulica entre dos líneas equipotenciales  $L$  = Distancia entre las dos líneas equipotenciales.

Tabla 3. 5: Ubicación de los acuíferos para la determinación de gradiente hidráulico.

Acuíferos	Cota (msnm)	Este (m)	Norte (m)
<b>h1 = 01</b>	2 580	773 542	9 261 939
<b>h2 = 02</b>	2 575	773 561	9 261 920
<b>h3 = 03</b>	2 555	773 243	9 261 972
<b>h4 = 04</b>	2 552	773 294	9 261 889
<b>h5 = 05</b>	2 600	773 529	9 262 117
<b>h6 = 06</b>	2 590	773 635	9 262 055

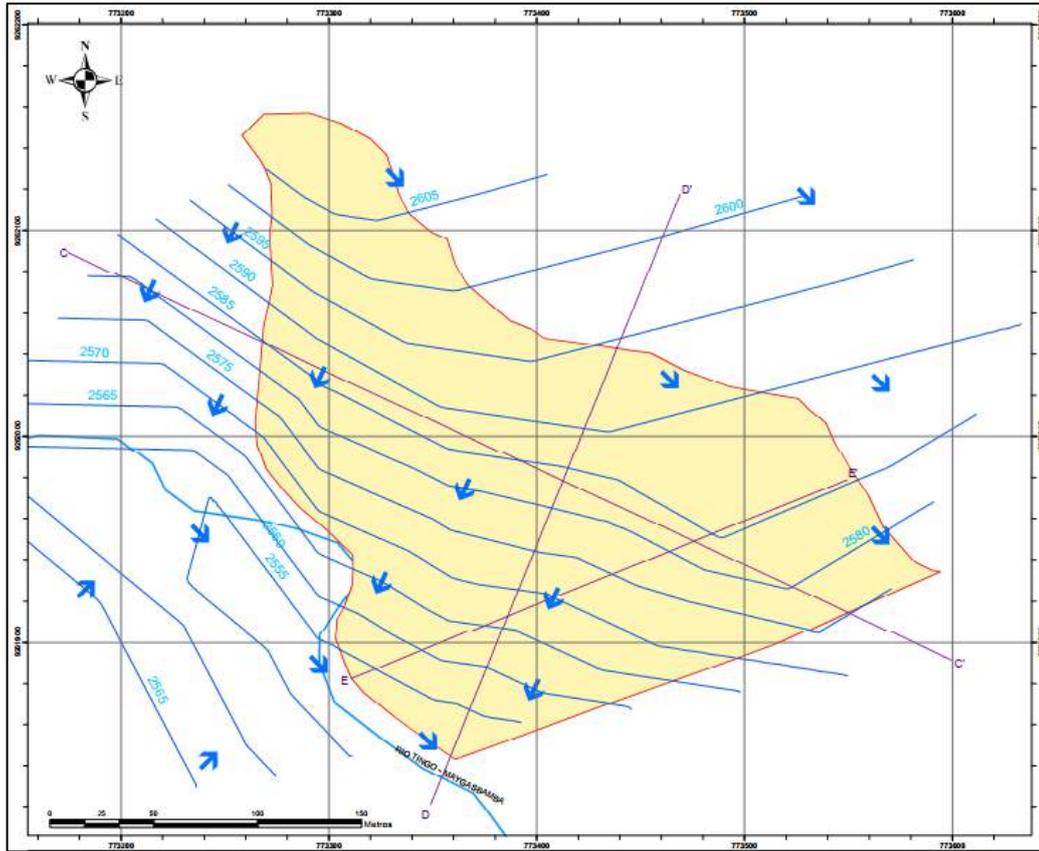


Figura 3. 1: Líneas de flujo y dirección de flujo de aguas subterráneas.

Tabla 3. 6: Gradiente hidráulico del área de cimentación.

Acuíferos	$\Delta h$ (m)	L (m)	I	Porcentaje
h1 - h2	5	30	0.177	17.70%
h3 - h4	3	98	0.031	3.10%
h5 - h6	10	121	0.083	8.30%

Como se observa en la tabla anterior hay una menor gradiente en la parte SW del área de estudio con solo 3.1% a orillas del río Tingo Maygasbamba y, con una gradiente de 17.7% en la parte SE del área de cimentación que se puede corroborar en el plano hidrogeológico las líneas isopiezas están más juntas.

### 3.4.3. Parámetros hidrogeológicos de los estratos

#### 3.4.3.1. Permeabilidad por infiltración – carga variable

Para hallar la capacidad del terreno de permitir el paso del agua a través de él (permeabilidad) de los estratos en la zona se realizó dos pruebas in situ en diferentes estratos como se muestran en las siguientes imágenes. Siendo la fórmula para calcular el coeficiente de permeabilidad.

$$k = \frac{V * L}{H * A * T}$$

V: Volumen promedio drenado

L: Distancia al interior del hoyo para en ensayo.

H: Perdida de carga hidráulica total, en la cual se produce la infiltración.

A: Área de la sección transversal de la muestra

T: tiempo necesario para que el volumen de agua atravesase el suelo

Coefficiente de permeabilidad del estrato de arenas limosas.

El ensayo fue hecho en un pozo hecho con un área de  $100\text{cm}^2$  y una profundidad de 0.20m. Y las mediciones fue tomado en intervalos de tiempo de 10 minutos resultando su coeficiente de permeabilidad de  $k = 7.9 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ .

El ensayo fue hecho en un pozo hecho con un área de  $121\text{cm}^2$  y una profundidad de 0.30m. Y las mediciones fue tomado en intervalos de tiempo de 2 minutos resultando su coeficiente de permeabilidad de  $k = 2.2 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ . Ver tablas de permeabilidad. Ver hojas de cálculo en anexos 001.



Fotografía 3. 4: Ensayo in situ de permeabilidad en suelo limo arcilloso.

## Transmisibilidad hidráulica

La transmisibilidad se obtuvo a partir de la permeabilidad para cada estrato que se realizó el ensayo in situ de permeabilidad.  $T$  = coeficiente de permeabilidad \* Espesor del estrato.

Estrato de arena limosa:

$$k = 8 \times 10^{-5} \text{ cm/s} \quad E = 6.8 \text{ m} = 680 \text{ cm} \quad T = 0.054 \text{ cm}^2/\text{s}$$

Estrato de limos:

$$k = 2.2 \times 10^{-3} \text{ cm/s} \quad E = 10.5 \text{ m} = 1050 \text{ cm} \quad T = 2.4 \text{ cm}^2/\text{s}$$

Tabla 3. 7: Valores de  $k$  en cm/s.

	100	10	1	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$
Drenaje	Bueno						Pobre			Prácticamente impermeable		
Tipo de suelo	Grava limpia	Arenas limpias y mezclas limpias de arena y grava			Arenas muy orgánicas e inorgánicas, mezclas de arena, limo y arcilla, morenas glaciares, depósitos de arcilla estratificada			Suelos "impermeables", modificados por la vegetación o la descomposición. <sup>d</sup>			Suelos "impermeables", es decir, arcillas homogéneas situadas por debajo de la zona de descomposición	
Determinación directa de $k$	Ensayo directo del suelo "in situ" por ensayos de bombeo. Se requiere mucha experiencia, pero bien realizados son bastante exactos.						Permeámetro de carga hidráulica constante. No se requiere mayor experiencia.					
Determinación indirecta de $k$	Permeámetro de carga hidráulica decreciente. No se requiere mayor experiencia y se obtienen buenos resultados		Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados dudosos. Se requiere mucha experiencia.			Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados de regular a bueno. Se requiere mucha experiencia.						
	Por cálculo, partiendo de la curva granulométrica. Sólo aplicable en el caso de arenas y gravas limpias sin cohesión.								Cálculos basados en los ensayos de consolidación. Resultados buenos. Se necesita mucha experiencia			

En la tabla anterior se indica los resultados de permeabilidad de las dos muestras. Línea azul: Mezcla limos arenas y arcillas. Línea roja: Arenas limosas.

### 3.5. COMPORTAMIENTO GEOTÉCNICO

#### 3.5.1. Características Geotécnicas de los Materiales

En la columna lito-estratigráfica del subsuelo estudiada, está constituida por tres unidades geológicas distintas, la más superficiales están constituidos por depósitos fluviales recientes, los estratos infrayacentes, que es de mayor importancia para el estudio están formados por suelos limo-arcilloso y arenas con mayor resistencia a la meteorización, con clastos de hasta 0.20m de diámetro como se observa en la imagen donde se puede diferenciar por la meteorización y erosión de los estratos.



Imagen 3. 17: Estratos de suelos de la formación Chota con mayor resistencia a la meteorización y erosión.

#### 3.5.2. Descripción de calicatas

Se realizó la descripción de 08 calicatas en diferentes puntos del área de la cimentación.

##### **CALICATA N° 01**

Calicata a 1.0m de ancho, 2.0m de largo y 2.3m de profundidad, el nivel freático está a nivel del suelo, también se hizo esta calicata a dirección de una falla geológica. conformada por material limoso, clastos y arenas, el nivel freático se encuentra en la superficie.



Fotografía 3. 5: Calicata N° 01 con coordenadas UTM DATUM WGS-84 E: 773 359; N: 9 261 921. Cota: 2 568msnm.

### **CALICATA N° 02**

Calicata de 0.8m de ancho, 1.40m de largo y 1.2m de profundidad con nivel freático a nivel del suelo, conformada por suelo limos arcillosos blanquecinos, clastos y sulfatos y carbonatos el nivel freático se encuentra en la superficie.



Fotografía 3. 6: Calicata N° 02 en suelos limos arcillosos blanquecinos con coordenadas UTM DATUM WGS-84 E: 773 357; N:9 261 968. Cota: 2 577msnm.

### **CALICATA N° 04**

Calicata de 1.0m de ancho, 2.0m de largo y 0.5m de profundidad, está conformada por dos capas o estratos de color marrón rojizo y plomo blanquecino; ambos materiales limos arcillosos con presencia de clastos subangulosos carbonatadas, además presencia de arcillas y sulfatos.



Fotografía 3. 7: Calicata N° 04 en estratos limos arcillosos con coordenadas UTM DATUM WGS-84 E: 773 386; N:9 261 900. Cota: 2 577msnm.

### **CALICATA N° 05**

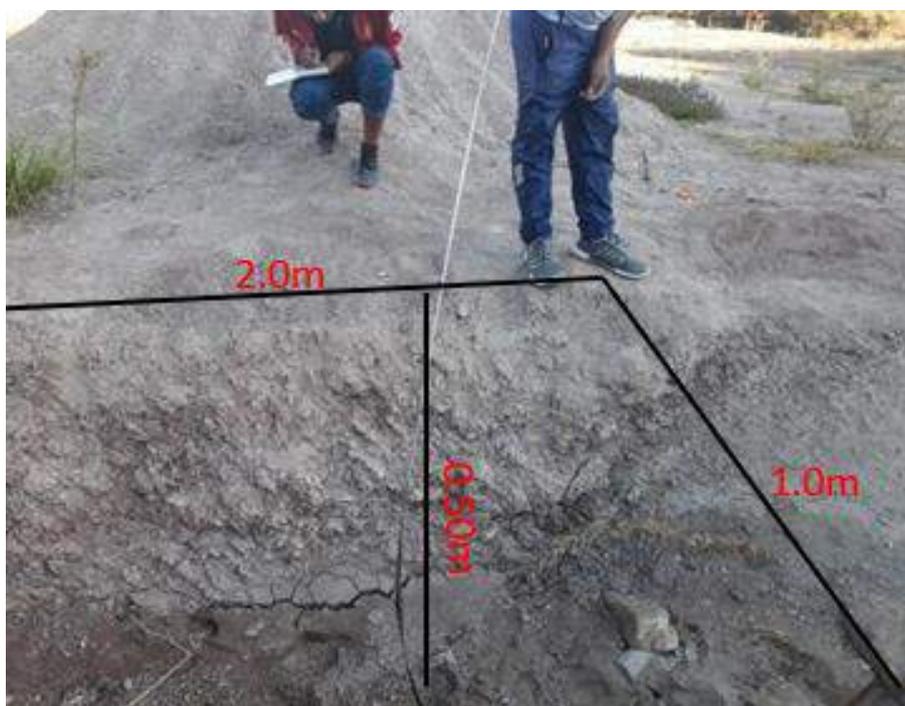


Fotografía 3. 8: Calicata N° 05 en estrato de arena limosa amarillenta con coordenadas UTM DATUM WGS-84 E: 773 419 y N:9 261 912. Cota: 2 582msnm.

1.2m de ancho, 1.5m de largo y 1.4m de profundidad, sin presencia de agua subterránea. Elaborada en el estrato con mayor resistencia a la meteorización y erosión, conformada por arenas de grana medio con presencia de clastos de hasta 0.20m de diámetro y poco porcentaje de arcillas.

### **CALICATA N° 06**

Calicata de 1.0m de ancho, 2.0m de largo y 0.5m de profundidad, conformadas por arenas limosas, clastos carbonatados y arcillas. Presencia de humedad dando indicio de que hubo presencia de agua subterránea.



Fotografía 3. 9: Calicata N° 06 con coordenadas UTM DATUM WGS-84 E:773 399; N:9 261 920. Cota: 2 568msnm

### **CALICATA N° 07**

Calicata de 1.0m de ancho, 2.0m de largo y 1.8m de profundidad hecha en dirección de una falla como se observa claramente en la imagen, con el nivel freático llega a una altura de 0.4m debajo del nivel del suelo, conformada por un estrato de arena limosa y clastos redondeados y muy poco porcentaje de arcillas; y otro estrato conformado por suelos limos arcillosos de color marrón rojizo además clastos carbonatados y sulfatos.



Fotografía 3. 10: Calicata N° 07 sobre falla geológica con coordenadas UTM DATUM WGS-84 E: 773 439; N:9 261 962. Cota: 2 579msnm

### **CALICATA N° 08**

Calicata de 1.0m de ancho, 2.0m de largo y 1.8m de profundidad con presencia de agua subterránea que llega a una altura de 1.0m debajo del nivel del suelo, conformada por suelo limoso de color plomo blanquecino con presencia de clastos.



Fotografía 3. 11: Calicata N° 08 sobre limos arcillosos con coordenadas UTM DATUM WGS-84 E: 773 439; N:9 261 995. Cota:2 585msnm.

### 3.5.3. Ensayos de suelos

El reconocimiento del subsuelo ha consistido en la ejecución de los ensayos de suelos según Norma ASTM, tomando muestras en tres estratos de diferentes tipos de suelos. Estos ensayos realizados son: Humedad Natural; Densidad Relativa; Análisis Granulométrico y Límites de Atterberg.

M1: Muestra 01 identificada en la tara con A22. La muestra de suelo extraída está compuesta por arena limosa, de coloraciones amarillentas. Con coordenadas E: 773426 N: 9 261998 Cota. 2 591 m.s.n.m.

M2: Muestra 02 identificada en la tara con LL3. Muestra de suelo extraída de composición limo arcilloso con coloraciones marrón rojizo. Coordenadas E: 773384, N: 9261969, Cota. 2579 m.s.n.m.

M3: Muestra 03 identificada en la tara con M2. Muestra de suelo extraída de composición limo arcilloso de color gris y blanco. Coordenadas E: 773354, N: 9261972, Cota. 2 580m.s.n.m.



Imagen 3. 18: Muestras tomadas para los ensayos de suelos.

Estas muestras han sido tomadas a una profundidad de 0.50m, 0.30m y 0.20m respectivamente en las calicatas hechas, representando a los estratos indicados en la imagen 3. 18.

### 3.5.3.1. Humedad natural

Ensayo realizado el 26 de junio del 2019 en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca facultad de ingeniería.

Tabla 3. 8: Resultados de Humedad natural de las muestras de suelo.

Muestra	M01-A22	M02-LL3	M03-M2
Wt(gr)	27.9	27.3	26.2
Wmh + t (gr)	218.7	219.7	167.4
Wms + t (gr)	204.3	198.6	138.1
Wms (gr)	176.4	171.3	111.9
Ww(gr)	14.4	21.1	29.3
W%	8.16	12.32	26.18

Los resultados de ensayos de humedad natural dieron como resultado que la muestra M1 de suelo arena limosa tiene un contenido de humedad de 8.16%, y la muestra M3 un contenido de agua de 26.18%, siendo la muestra con mayor porcentaje de humedad natural.

### 3.5.3.2. Densidad Relativa

Ensayo in situ realizado el 06 de julio de 2019 por el método de cono de arena (reemplazo).

Tabla 3. 9: Cálculo de densidades in situ.

MUESTRA	M1	M2	M3
D seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.050	1.871	1.861
D seca (KN/m <sup>3</sup> )	20.55	18.78	18.67
D saturada (KN/cm <sup>3</sup> )	20.02	18.52	18.62

M1: muestra de suelo de limo arenoso con densidad 20.55KN/m<sup>3</sup>, es la de mayor densidad.

### 3.5.3.3. Ensayo de análisis granulométrico

Los ensayos granulométricos se realizaron por el método del tamizado según la Norma NTP 339.128 (ASTM D 422) haciendo pasar por los tamices desde 2" hasta el tamiz número 200. Este ensayo se realizó en la universidad Nacional de Cajamarca a tres muestras de diferentes estratos.

La muestra M1 es un suelo de coloración amarillenta constituidas por limo arenoso.

La muestra M2 es un suelo limo arcillosos de coloraciones marrón y rojo.  
 La muestra M3 material limo arcilloso de color gris y blanco.



Fotografía 3. 12: Realización del tamizado para el análisis granulométrico.

Tabla 3. 10: Peso de las muestras iniciales y después de lavado.

	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
<b>W(seco)-inicial</b>	500 gr	491.33gr	500gr
<b>W(seco)-lavado</b>	394.20gr	19.03gr	176.90gr
<b>W(finós)- lavados</b>	105.80gr	472.30	333.10gr

Tabla 3. 11: Resultados de ensayo granulométrico de muestra M1

<b>Tamices</b> <b>Ø (mm)</b>	<b>Peso</b> <b>Retenido</b>	<b>% Retenido</b> <b>Parcial</b>	<b>%</b> <b>Retenido</b> <b>Acumulado</b>	<b>% Que pasa</b>
5"	127	0	0.00	100
4"	101.6	0	0.00	100
3"	76.2	0	0.00	100
2"	50.8	0	0.00	100
1 1/2"	38.1	0	0.00	100
1"	25.4	0	0.00	100
3/4"	19.05	11.5	2.30	97.70
1/2"	12.7	5.4	3.38	96.62
3/8"	9.525	11.3	5.64	94.36
1/4"	6.35	15.4	8.72	91.28
Nº 4	4.76	5.7	1.14	90.14
Nº 8	2.38	2.1	0.42	89.72
Nº 10	2	26	5.20	84.52
Nº 16	1.19	4.9	0.98	83.54
Nº 20	0.84	31.7	6.34	77.20
Nº 30	0.59	43.2	8.64	68.56
Nº 40	0.426	58.2	11.64	56.92
Nº 50	0.297	3.6	0.72	56.20
Nº 60	0.25	80.7	16.14	59.94
Nº 80	0.177	7.3	1.46	61.40
Nº 100	0.149	50.5	10.10	71.50
Nº 200	0.074	36.7	7.34	78.84
Fondo	0.01	105.8	21.16	100.00
<b>PESO INICIAL</b>	<b>500</b>	<b>100.00</b>		

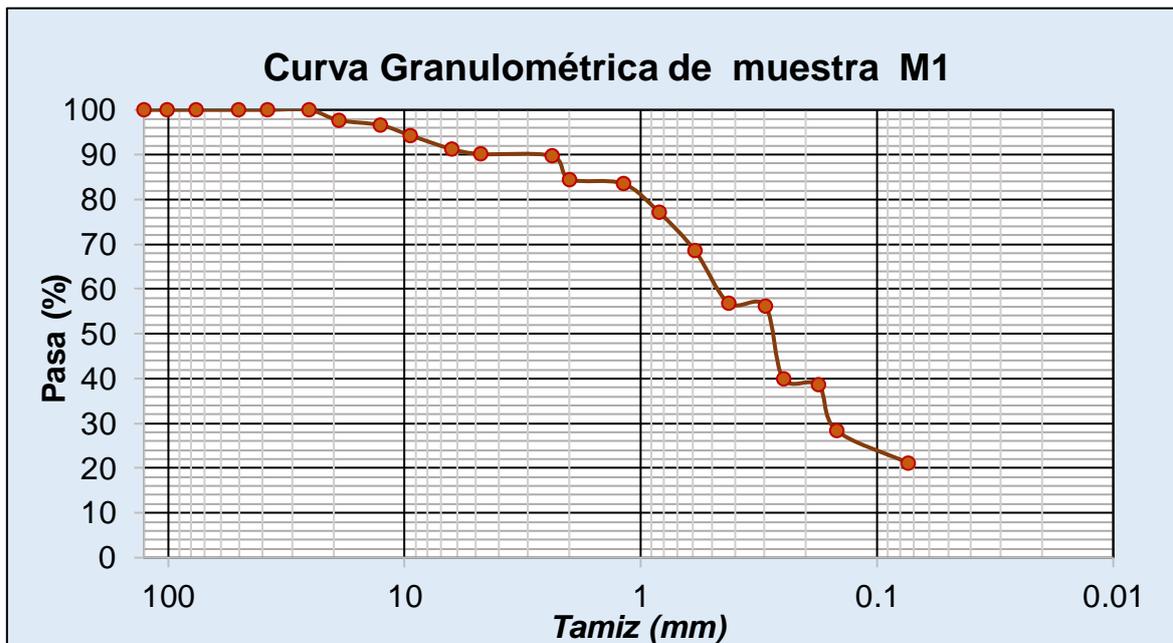


Gráfico 3. 2: Curva granulométrica de la muestra M1 arena amarillenta.

Tabla 3. 12: Resultados de ensayo granulométrico de la muestra M2.

<i>Tamices</i>		<i>Peso Retenido</i>	<i>% Retenido Parcial</i>	<i>% Retenido Acumulado</i>	<i>% Que pasa</i>
<i>Ø</i>	<i>(mm)</i>				
5"	127	0.00	0.00	0.00	100
4"	101.6	0.00	0.00	0.00	100
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	0.00	100
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.7	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
1/4"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 8	2.38	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 10	2	0.60	0.12	0.12	99.88
Nº 16	1.19	0.50	0.10	0.22	99.78
Nº 20	0.84	0.84	0.17	0.39	99.61
Nº 30	0.59	0.59	0.12	0.51	99.49
Nº 40	0.426	1.50	0.30	0.81	99.19
Nº 50	0.297	1.70	0.34	1.15	98.85
Nº 60	0.25	4.00	0.80	1.95	98.05
Nº 80	0.177	4.30	0.86	2.81	97.19
Nº 100	0.149	3.10	0.62	3.43	96.57
Nº 200	0.074	1.90	0.38	3.81	96.19
Fondo	0.01	472.30	94.46	98.27	1.73
<b>PESO INICIAL</b>		500	98.27		

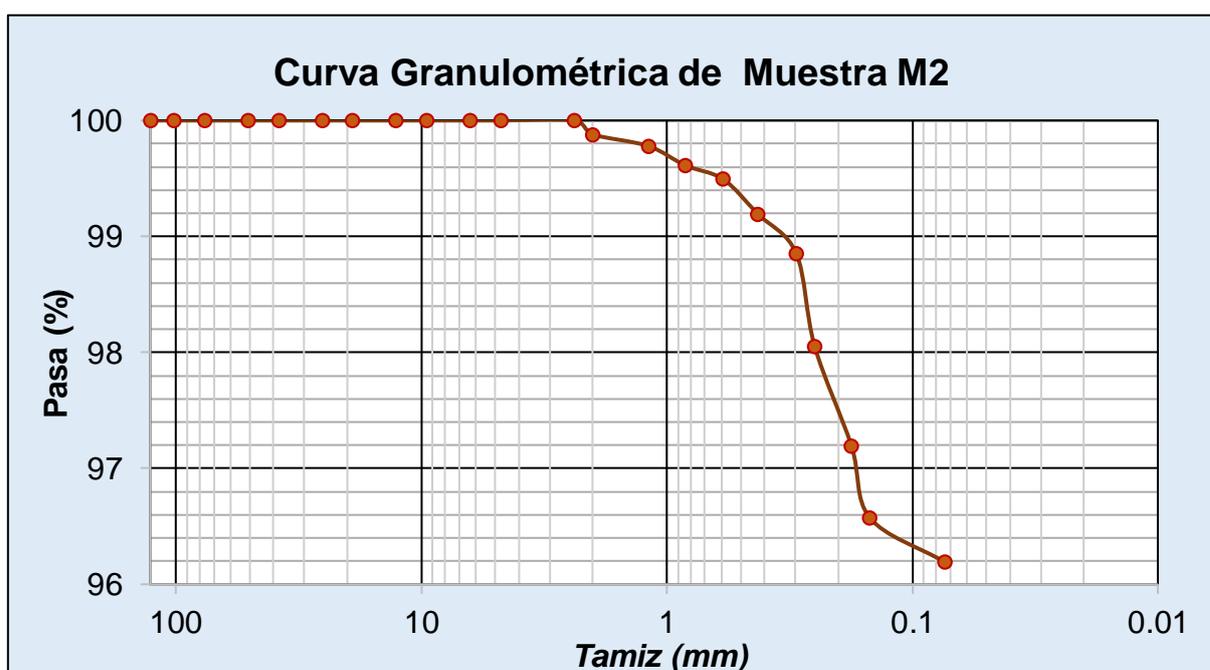


Gráfico 3. 3: Curva granulométrica de la muestra M2 suelo limo arcilloso marrón rojizo.

Tabla 3. 13: Resultados de ensayo granulométrico de la muestra M3.

<i>Tamices</i>		<i>Peso Retenido</i>	<i>% Retenido Parcial</i>	<i>% Retenido Acumulado</i>	<i>% Que pasa</i>
<i>Ø</i>	<i>(mm)</i>				
5"	127	0.00	0.00	0.00	100
4"	101.6	0.00	0.00	0.00	100
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	0.00	100
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.7	14.60	2.92	2.92	97.08
3/8"	9.525	1.60	0.32	3.24	96.76
1/4"	6.35	2.60	0.52	3.76	96.24
Nº 4	4.76	0.60	0.12	3.88	96.12
Nº 8	2.38	1.10	0.22	4.10	95.90
Nº 10	2	2.20	0.44	4.54	95.46
Nº 16	1.19	0.80	0.16	4.70	95.30
Nº 20	0.84	2.20	0.44	5.14	94.86
Nº 30	0.59	2.10	0.42	5.56	94.44
Nº 40	0.426	3.60	0.72	6.28	93.72
Nº 50	0.297	1.90	0.38	6.66	93.34
Nº 60	0.25	16.10	3.22	9.88	90.12
Nº 80	0.177	3.10	0.62	10.50	89.50
Nº 100	0.149	56.50	11.30	21.80	78.20
Nº 200	0.074	87.90	17.58	39.38	60.62
Fondo	0.01	303.10	60.62	100.00	0.00
<i>PESO INICIAL</i>		<i>500.00</i>	<i>100.00</i>		

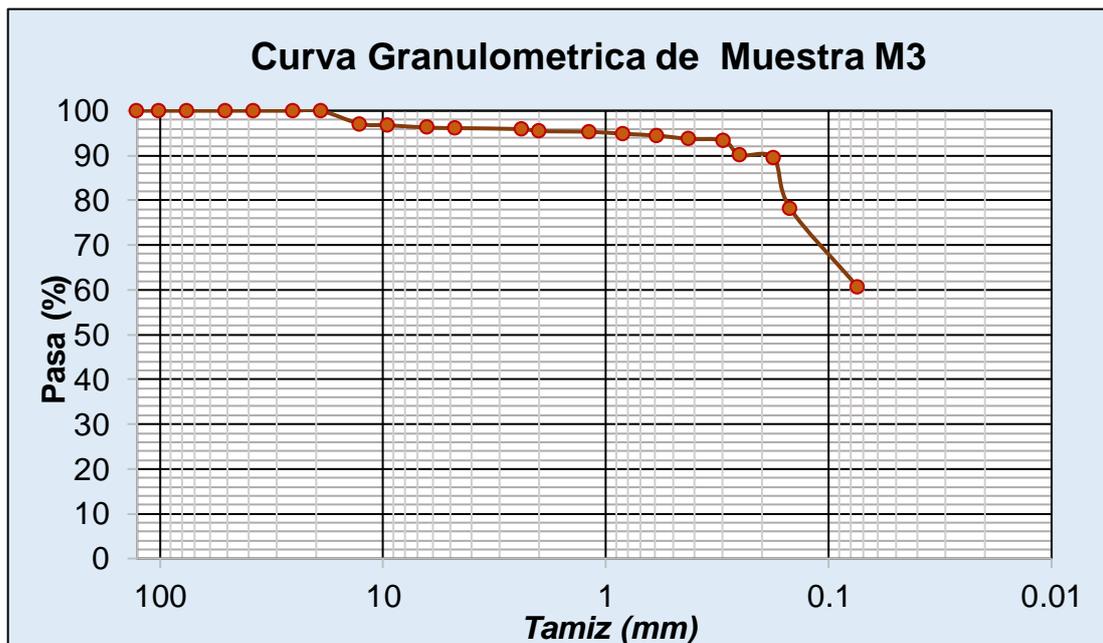


Gráfico 3. 4: Curva granulométrica de la muestra de suelo M3.

Tabla 3. 14: Cu y Cc de las tres muestras.

Muestra	Valores	Coefficiente de uniformidad Cu	Coefficiente de curvatura Cc
<b>M1</b>	D10: 0.040 D30: 0.153 D60: 0.469	11.66	1.24
<b>M2</b>	D10: 0.016 D30: 0.029 D60: 0.049	3.17	1.10
<b>M3</b>	D10: 0.021 D30: 0.042 D60: 0.073	3.57	1.15

### 3.5.3.4. Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg se realizaron según la Norma para el Límite líquido y Límite Plástico: ASTM D - 4318. Este ensayo se realizó en la universidad Nacional de Cajamarca a tres muestras de diferentes estratos.



Fotografía 3. 13: Ejecución del Límite Líquido (Izquierda) y límite plástico (Derecha).

Tabla 3. 15. Resultados de Límites de Atterberg.

	M1	M2	M3
<b>Límite líquido</b>	35.36%	47.60%	53.32%
<b>Límite plástico</b>	26.92%	27.94%	34.42%
<b>Índice de plasticidad</b>	8.44%	19.66%	18.90%

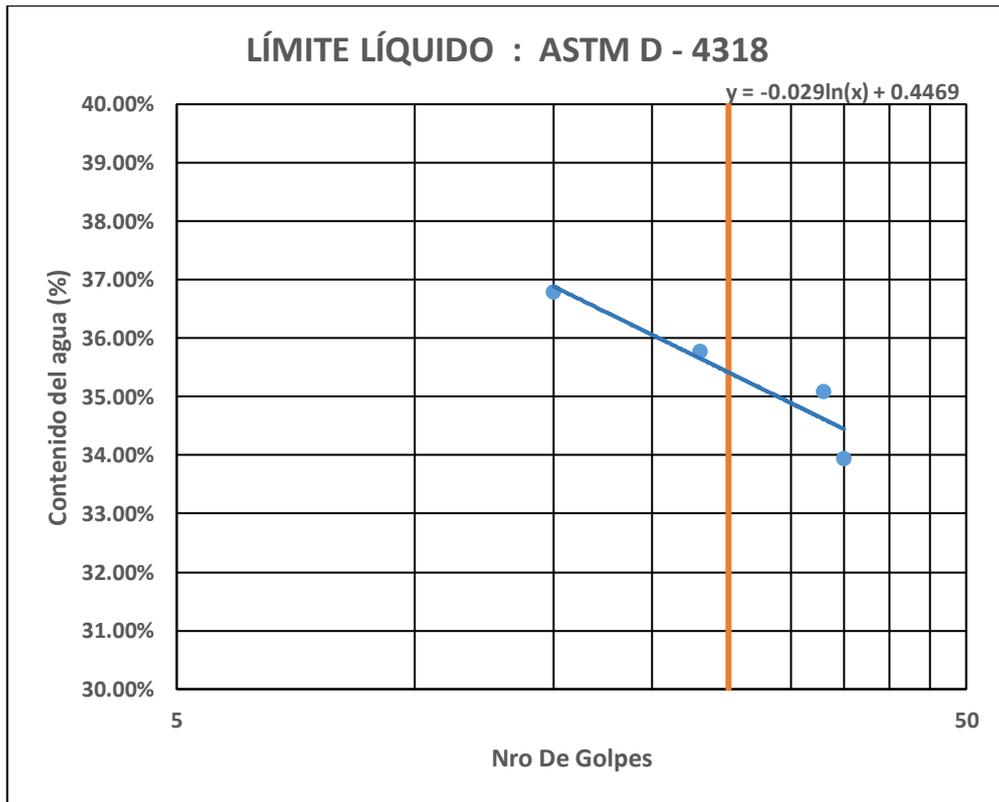


Gráfico 3. 5: Curva de fluidez de muestra 01 (M1).

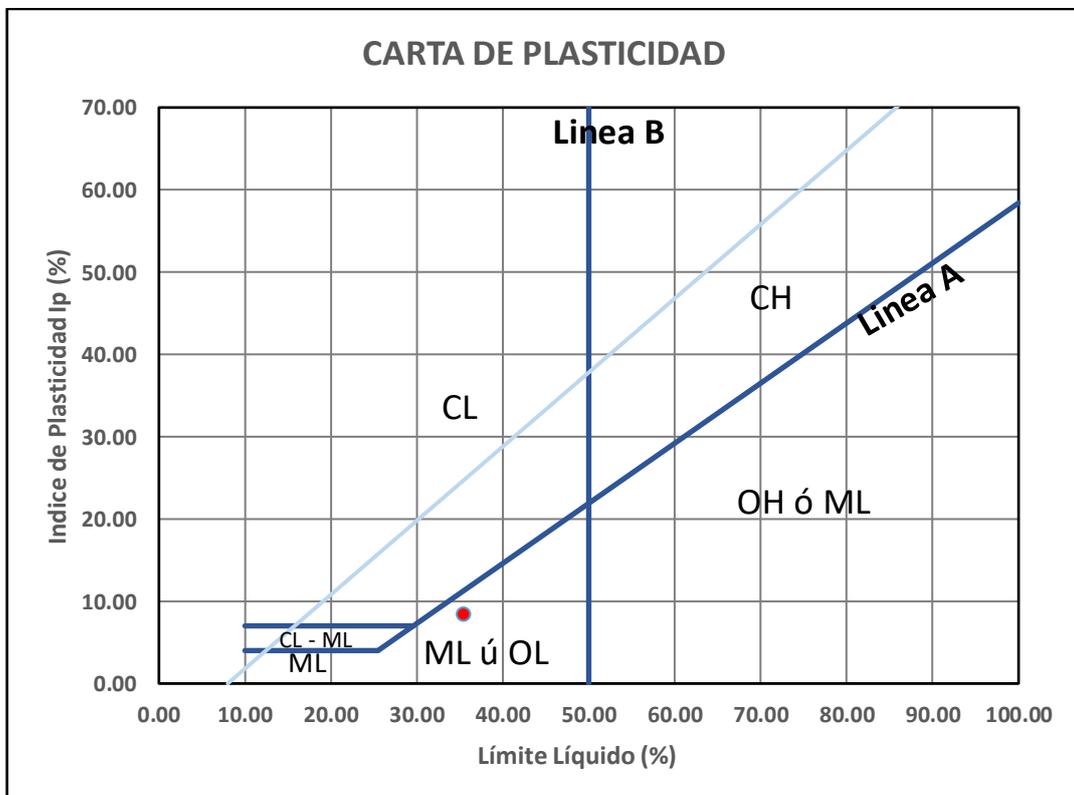


Gráfico 3. 6: Abaco de casa grande de muestra 01 (M1).

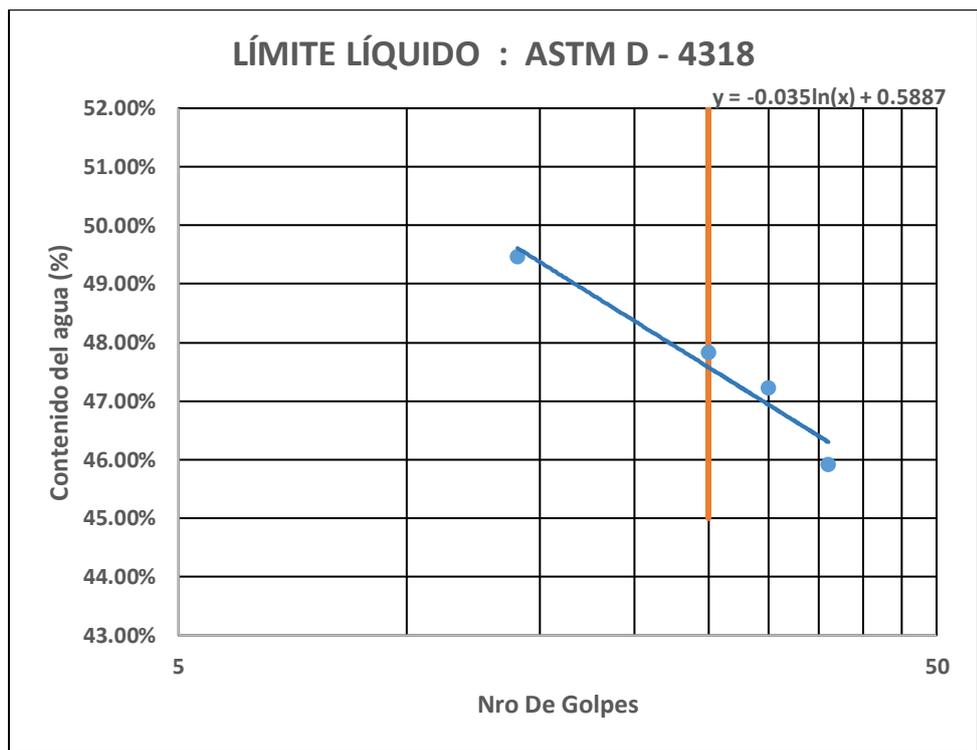


Gráfico 3. 7: Curva de fluidez de la muestra 02 (M2).

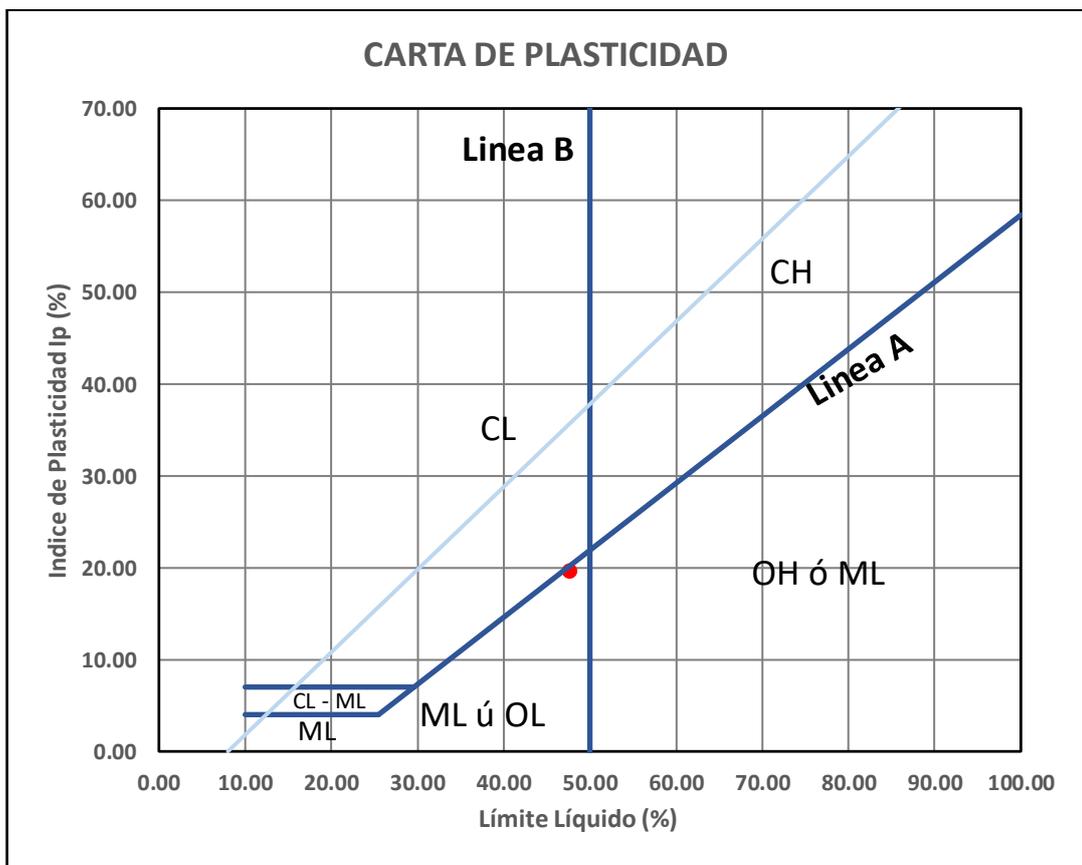


Gráfico 3. 8: Abaco de casa grande de muestra 02 (M2).

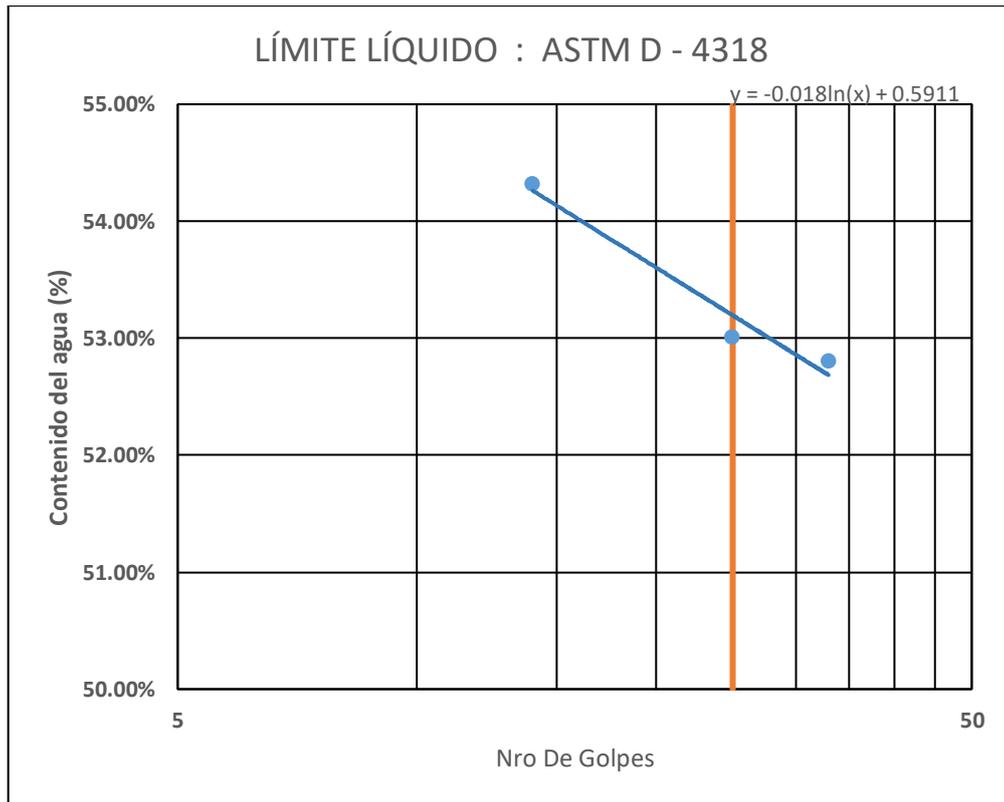


Gráfico 3. 9: Curva de fluidez de la muestra 03 (M3).

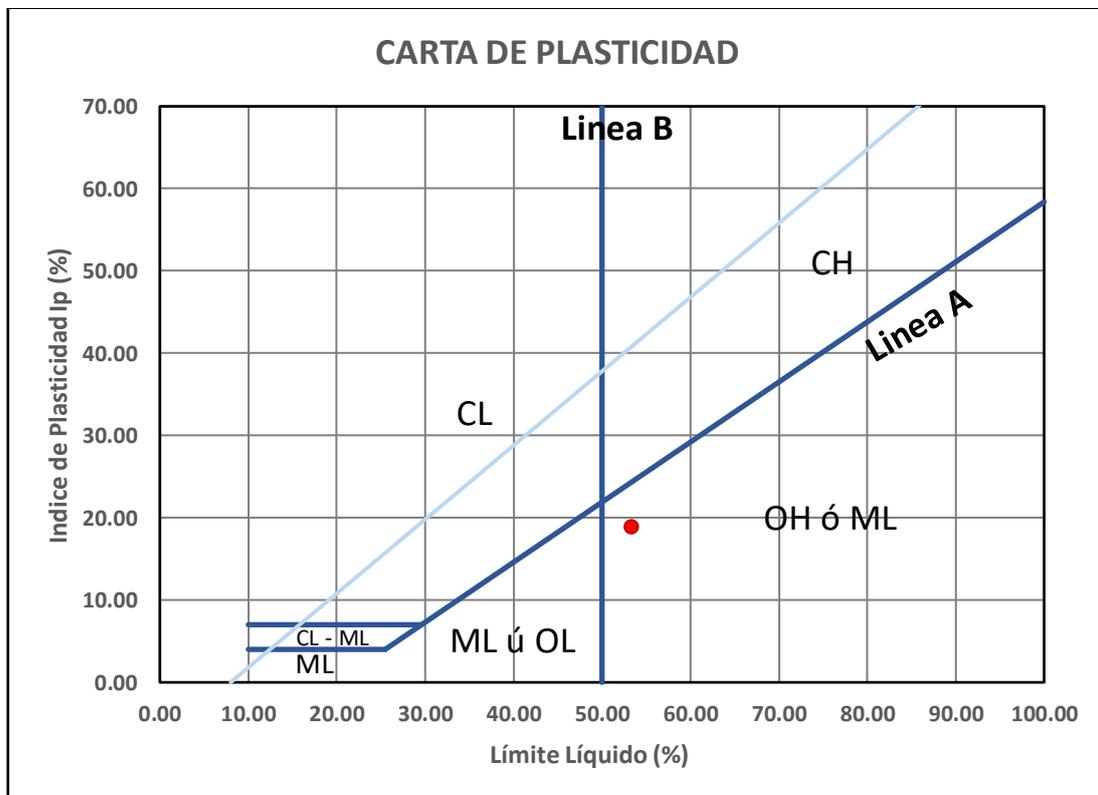


Gráfico 3. 10: Abaco de casa grande de muestra 03 (M3).

Clasificación de los suelos (S.U.C.S)

M1 = SM (arena limosa) suelo de partículas gruesas (suelo sucio)

M2 = ML (limo de baja plasticidad arcilloso) M3 = MH (limo de alta plasticidad arenoso)

### 3.6. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

#### 3.6.1. Geología y estructuras geológicas que condicionan el diseño de la cimentación.

El aspecto geológico desempeña un papel muy importante en el diseño de la cimentación, ya que depende del tipo de litología, minerales encontrados, su estratificación, estructuras, etc. para optar el tipo de cimentación a utilizar. La geología regional indica que el área de cimentación se halla en la Formación Chota y que se encuentra en una zona que sufrió subsidencia. Ver perfiles geológicos regionales. La naturaleza de los suelos está conformada por: limo, arcillas, arena de grano fino con clastos.

Con los datos obtenidos en campo, del área de cimentación, su litología indica que algunos estratos son favorables (arenas limosas) para una cimentación, mientras que otros son muy desfavorables (limos arcillosos), y además hacen más desfavorable con las fallas que pasan por toda el área de sedimentación. A continuación, se presenta unas tablas donde se detalla los datos geológicos recogidos en campo.

Tabla 3. 16: Propiedades de las fallas encontradas

	<b>Tipo</b>	<b>Orientación</b>	<b>Desplazamiento</b>	<b>Condición</b>	<b>Identificación</b>
<b>Falla</b>	Normal	SSW a NNE	---	Probable	Oeste del área
<b>Falla</b>	Normal siniestral	DIP 80° DD 250°	V: 12.5m H: 2.8m	Probada	Central de área
<b>Falla</b>	Normal	DIP 50° DD 230°	V: 5.5m H: 1.2m	Probada	Central de área
<b>Falla</b>	Inversa	NW a SE	---	Inducida	Sur del área

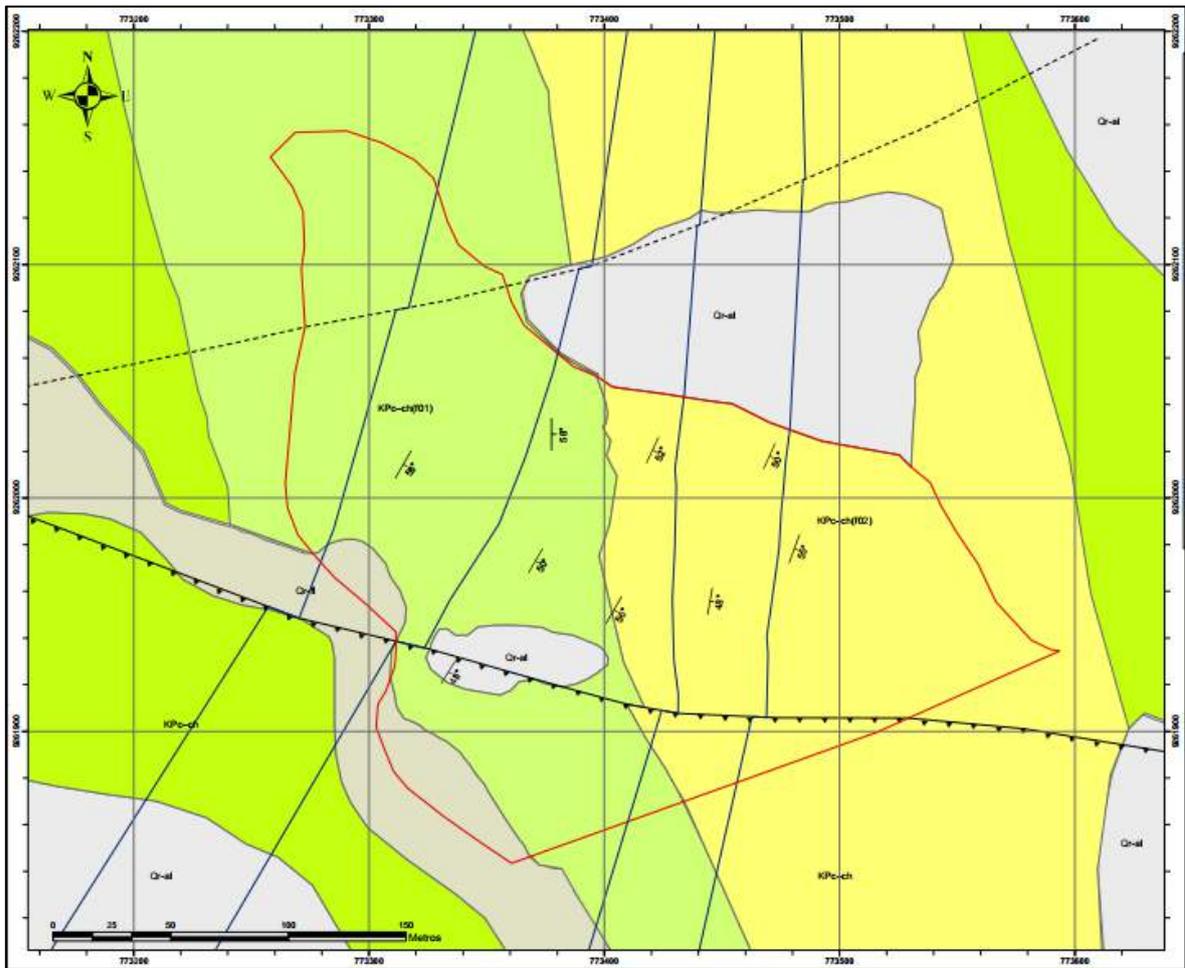


Figura 3. 2. Fallas geológicas que pasan por el área de cimentación del colegio San Carlos-Bambamarca.

Tabla 3. 17: Propiedades geológicas del terreno tomadas en campo

	Formación geológica	Litología y/o suelos	DIP y DD de los estratos	Condición para cimentación	Evidencias geológicas
GEOLOGÍA REGIONAL	Fm. Cajamarca	Calizas	40°/130° 70°/85°	Muy favorables	Rocas muy compactas
	Fm. Celendín	Margas nodulares, arcillas	45°/80°	Favorables	Rocas nodulares medianamente compactas
	Fm. Chota	Conglomerados con cantos de calizas y areniscas rojizas	58°/110°	Favorables a Desfavorables	Subsidencias y estructuras de carga.
	Vol. Bambamarca	tobas andesíticas porfiríticas	----	Favorables	Material volcánico compacto.
	Qr. Aluvial	Clastos, arenas y arcillas	----	Favorables	Clastos de gran tamaño.

	Formación geológica	Litología	Espesor de estratos	Minerales	DIP y DD de estratos	Afloramiento	Estructuras	Condición para cimentación
GEOLOGÍA LOCAL	Fm. Chota (grupo 01)	Limos arcillosos	8.0m	Sulfatos, carbonatos, clorita, etc.	58°/110°	SW del área de cimentación	Laminar, espina de pescado, de deformación.	Muy desfavorable. Limos arcillosos Favorables. arenas limosas
		arenas limosas	2.5m		50°/115°			
	Fm. Chota (grupo 02)	Conglomerados con cantos de calizas y areniscas	12.0m	Óxidos, Sulfatos, etc.	52°/110°	NE del área de cimentación	Laminar, de deformación.	Favorable. Arenas amarillentas
		limos arcillosos	6.0m		48°/110°			
	Qr. Aluvial	Cantos, arenas y arcillas	5.0m	-----	---	Al N del área de cimentación	Erosión	Muy Favorable

### **3.6.2. Hidrogeología y propiedades físicas de los suelos que condicionan el diseño de la cimentación.**

A partir de la descripción geológica hechas anteriormente y de sus propiedades hidrogeológicas de los estratos, se puede determinar su comportamiento hidrogeológico del terreno, las cuales desempeñan un papel muy importante para elegir un tipo de cimentación.

Los materiales de arenas de grano medio de estratos que son muy pequeños de espesor (0.15m) y en estratos de limos, son afectados por el nivel freático y haciendo que estos materiales se comporten como materiales expansivos.

En algunas de las calicatas analizadas se encontró que el agua es constante durante todo el año; estas calicatas con presencia de agua tienen mucha relación con las fallas.

Las condiciones de estas rocas porosas, como los volcánico sedimentarios y las arenas gruesas de la Formación Chota también permiten la infiltración del agua y su transporte mediante los poros abiertos y conectados.

#### **3.6.2.1. Nivel freático y sus variaciones**

Las presencias de agua permanentes en las calicatas demuestran la presencia de una conexión entre las aguas subterráneas y la superficie, relacionada directamente con las rocas porosas, fracturadas y fallas que permiten el transporte del agua.

La presencia agua en las calicatas son indicadoras que el nivel freático en la zona es bastante alto, con tendencia a ser más superficial en tiempos de lluvias y tiene pocas variaciones, por lo cual se afirma que existe un gran cuerpo de agua considerado como acuífero libre.

Debe tenerse en cuenta que el principal causante del nivel freático aflora a superficie a la altura de las tres fallas.

Se pudo determinar el gradiente hidráulico siendo la de mayor valor de 17.7% en la zona SE de área de cimentación.

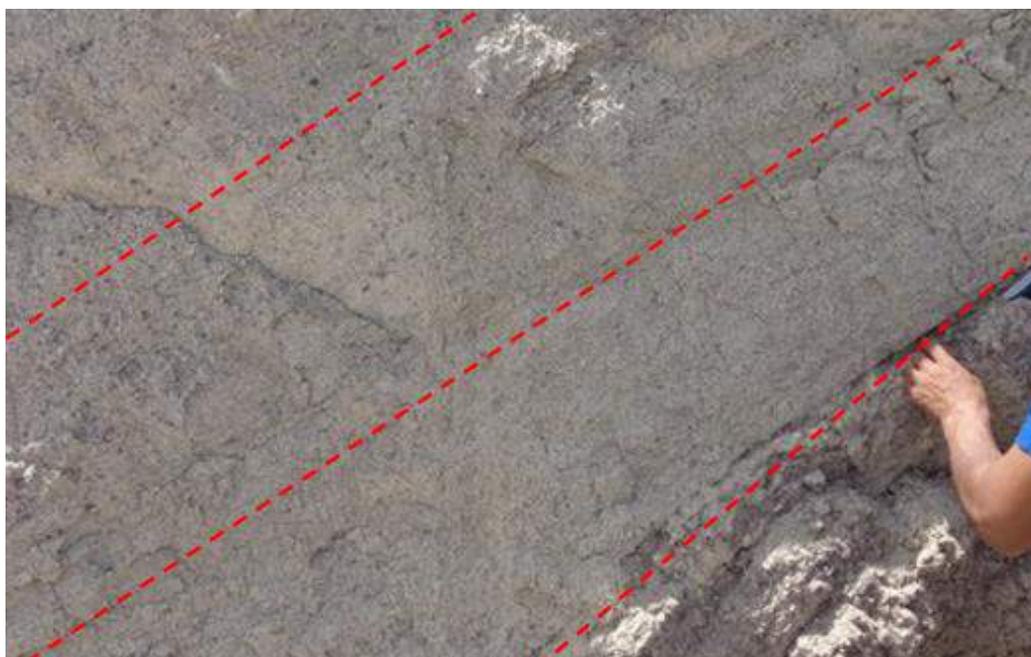
A continuación, se presenta una tabla donde se describe las calicatas y sus variaciones según la temporada del año.

Tabla 3. 18: Descripción de calicatas y sus variaciones de nivel freático.

Calicata	Código	Profundidad (m.d.n.s.)	Nivel freático verano (m.d.n.s.)	Nivel freático invierno (m.d.n.s.)	Sobre falla
Nº-01	CC-A	2.30	0.00	0.00	Si
Nº-04	CC-D	0.50	NO	0.40	NO
Nº-05	CC-E	0.70	NO	NO	NO
Nº-07	CC-G	1.80	1.00	0.10	Si
Nº-08	CC-H	1.80	0.40	0.00	Si

### 3.6.2.2. Propiedades hidrogeológicas de los estratos.

Los estratos de limos arenosos sin mucha presencia de arcillas son los de gran porosidad y alta permeabilidad, dando lugar a una alta transmisividad, constante y continúa. La infiltración desde la superficie hacia la profundidad debido principalmente a las lluvias, constituye el parámetro más importante de recarga en toda el área y en especial en la cabecera de la zona.



Fotografía 3. 14: Estrato de mayor porosidad y permeabilidad en el área de cimentación. Con coordenadas UTM WGS-84 E= 773388 N= 9261908.

Tabla 3. 19 : Resultados de propiedades hidrogeológicas de dos estratos.

Estrato	Espesor	Parámetro hidráulico	Ensayo in situ		Resultados	Denominación
<b>Arena limosa</b>	6.8m	Permeabilidad	Por infiltración	Carga variable	K: $8 \times 10^{-5}$ cm/s	Suelos casi impermeables
		Transmisibilidad	A partir de (k)		0.0057 cm <sup>2</sup> /s	
<b>Limo arcilloso</b>	10.5m	Permeabilidad	Por infiltración	Carga variable	K: $1 \times 10^{-3}$ cm/s	Suelos permeables modificados por la meteorización
		Transmisibilidad	A partir de (k)		0.62 cm <sup>2</sup> /s	

El agua subterránea se infiltra aprovechando las fallas geológicas, como se observa en la calicata N° 07. Entonces en el área de cimentación encontramos dos tipos de acuíferos a) acuíferos de medios fisurados, es decir que el agua circula por fallas geológicas, denominada porosidad secundaria. B) acuíferos de medios porosos por estratos de suelos de limos arenosos sin presencia de arcillas.

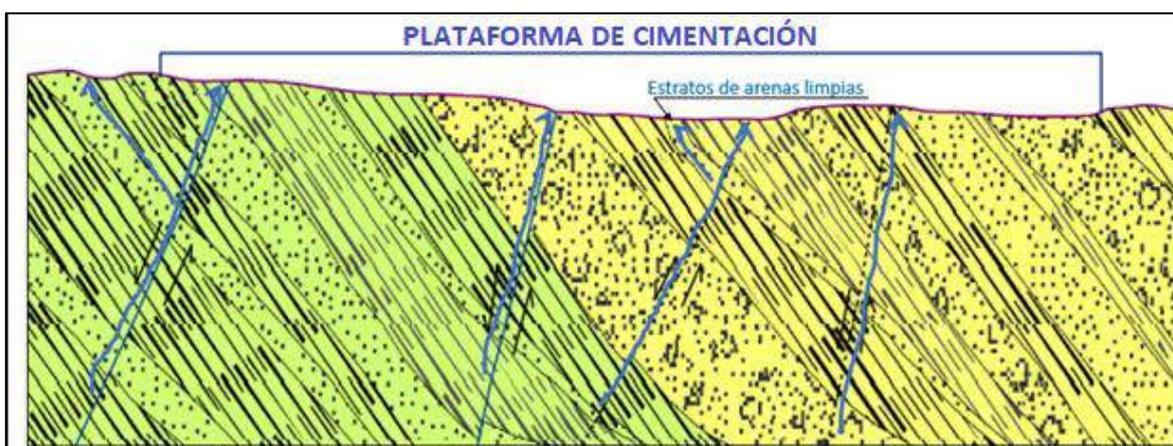


Figura 3. 3: Flujo del agua subterránea hacia la superficie.

Como se observa en la figura anterior del camino del agua hacia la superficie lo hace principalmente por fallas geológicas, pero también en su transcurso aprovecha estratos de arenas limpias para salir a la superficie.

En la siguiente figura se representa mediante un perfil el comportamiento hidrogeológico del área de cimentación analizado con el software Phase2. Determinando un gradiente hidráulico que esta entre 8% y 17% con un caudal entre 1 500 y 2 000 litros de agua al día. Ver a más detalle plano de análisis hidrogeológico con Phase2. Visualizando muy claramente el estrato que se comporta casi impermeable, y el afloramiento de agua en las calicatas es mediante las fallas geológicas.

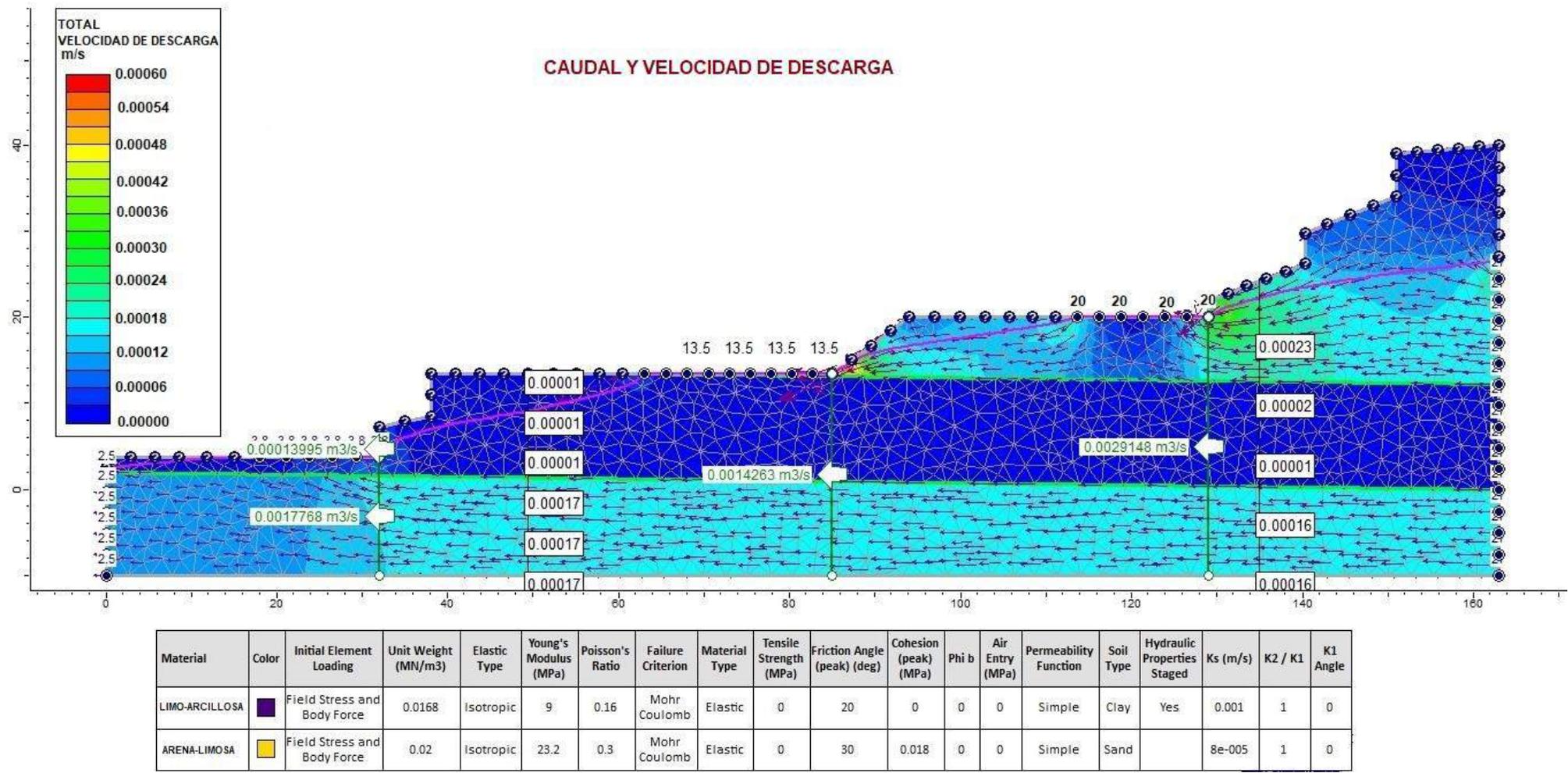


Figura 3. 4: Comportamiento hidrogeológico con el software Phase2.

### 3.6.3. Propiedades geotécnicas de los suelos que condicionan el diseño de la cimentación.

Los parámetros geotécnicos de un suelo y en combinación con la geología e hidrogeología hacen que un estudio geotécnico con fines de cimentación, tengan menos errores a la hora de ejecutar un proyecto. Las estratigrafías de las calicatas estudiadas se describen a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 3. 20: Descripción del material de la calicata N° 04 de manera directa.

Pof. (m)	Estrato	Descripción del material	SUCS
1.50	E1	Material de arcilla, de color plomo blanquecino, de poca humedad, de estado de compacidad media a baja.	ML
0.75	E2	Material de arenas pobremente gradadas semi húmedas, de color marrón rojizo, de estado de compacidad media a baja.	ML

En esta calicata solo se puede apreciar indicios de presencia de nivel freático, esto es por el cambio de estación del año.

Tabla 3. 21: Descripción del material de la calicata N° 07 de manera directa.

Pof. (m)	Muestra	Descripción del material	SUCS
1.70	M1	E1 Material de arena pobremente gradadas saturada, plomo amarillento, de estado de compacidad media a alta.	SM
0.90	M2	E2 Material de limo arcillitas pobremente gradadas saturado, de color beige pardo, de estado de compacidad media a baja.	ML

Esta calicata está afectada por una falla geológica la cual permite la infiltración de agua subterránea hacia la superficie

#### 3.6.3.1. Ensayos geotécnicos

Los ensayos de suelos se realizaron en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad nacional de Cajamarca y algunos de manera in situ. A continuación, se presenta todos los ensayos y resultados obtenidos.

Tabla 3. 22: Resultados de ensayos de suelos realizados.

Muestra	Ensayo	Resultado	Calidad	
<b>M1</b> <b>Calicata N°-08</b>	Ensayos de estado	Humedad natural Densidad relativa	8.16 % 20.204KN/m <sup>3</sup>	Laboratorio In-situ
	Análisis granulométrico	Grava:	9.86%	Laboratorio
		Arena:	68.98%	
		Finos:	21.16%	
	Límites	Límite Líquido Límite plástico Índice de plasticidad	35.36% 26.92% 8.44%	Laboratorio
Clasificación	S.U.C. S	SP (Arena Limosa)		
<b>M2</b> <b>Calicata N°-02</b>	Ensayos de estado	Humedad natural Densidad relativa	12.32 % 18.53KN/m <sup>3</sup>	Laboratorio In-situ
	Análisis granulométrico	Grava:	00.00%	Laboratorio
		Arena:	3.81%	
		Finos:	96.19%	
	Límites	Límite Líquido Límite plástico Índice de plasticidad	47.60% 27.94% 19.66%	Laboratorio
Clasificación	S.U.C. S	ML (Limo de baja plasticidad)		
<b>M3</b> <b>Calicata N 04</b>	Ensayos de estado	Humedad natural Densidad relativa	26.18 % 18.42KN/m <sup>3</sup>	Laboratorio In-situ
	Análisis granulométrico	Grava:	3.88%	Laboratorio
		Arena:	35.50%	
		Finos:	60.62%	
	Límites	Límite Líquido Límite plástico Índice de plasticidad	53.32% 34.42% 18.90%	Laboratorio
Clasificación	S.U.C. S	MH (Limo alta plasticidad Arenoso)		

M1: baja plasticidad M2 y M3: mediana plasticidad.

### Índice de Plasticidad y Ángulo de Fricción Residual de Suelos Cohesivos

En el siguiente grafico se puede observar el resultado del ángulo de fricción residual de las muestras analizadas a partir de su Índice de plasticidad siendo para la M1 = 30°- 40° M2 y M3= 20° - 30°.

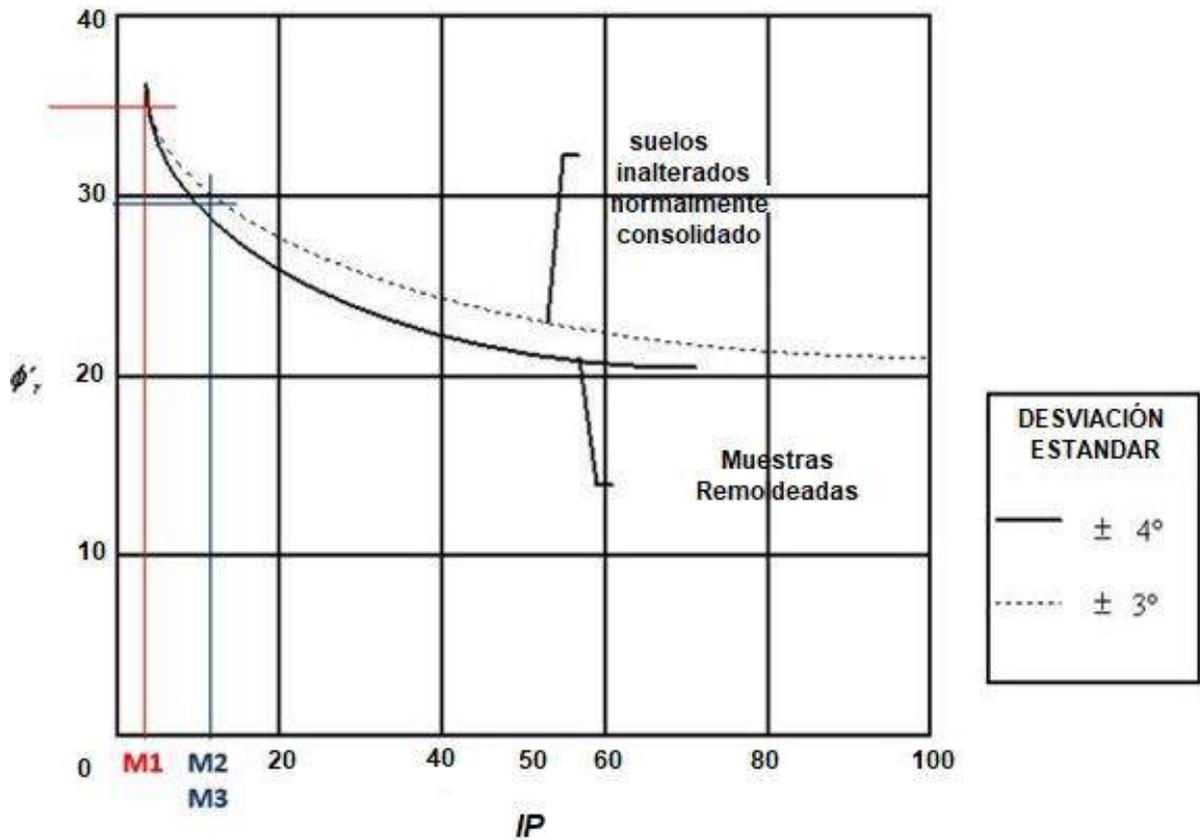


Gráfico 3. 11: Ángulo de fricción a partir de Índice de Plasticidad.

Tabla 3. 23. Resultados de los índices de los suelos.

	Abrev.	M1	M2	M3
Índice de consistencia	<b>I<sub>c</sub> (C.R.)</b>	3.22	1.79	1.44
Índice de liquidez	<b>I<sub>L</sub></b>	-2.22	-0.79	-0.44
Índice de compresión	<b>C<sub>c</sub>=</b>	0.23	0.34	0.39
Contracción lineal	<b>CL (%) =</b>	3.96	9.23	8.87

Índice de liquidez.  $I_L < 0$  Demuestra una fractura rígida, porque el contenido natural de humedad  $W_n$  es menor que el límite plástico LP. En este caso el suelo estará en estado sólido a semi sólido.

Índice de compresión según Terzaghi y Peck ( $C_c = 0.009 (LL - 10)$ ) es de compresibilidad media por estar entre 0.2 y 0.39.

C.R cercano a 1 indica que el suelo tiene resistencia a la compresión confinada entre 1,00 - 5,00 kg/cm<sup>2</sup>. M1

Si CR = 1 el suelo se encuentra en su LP.

Si CR = 0 el suelo se encuentra en su LL.

Si  $CR > 1$  el suelo se encuentra en un estado semi sólido y tendrá un comportamiento rígido. En el cual se hallan las tres muestras analizadas.

Si  $CR < 0$  el suelo posee un contenido de humedad natural superior a su LL y se comportará como un fluido viscoso.

Contracción lineal: si  $CL > 9$  se espera una actividad significativa de contracción y expansión.

#### 3.6.4. Suelos expansivos

Para determinar si es o no un suelo expansivo se utilizó la técnica de los límites de Atterberg (LL, LP), y a partir de estos se encontró la Contracción lineal:  $(CL = \frac{IP}{2.13})$ ; si  $CL > 9$  se espera una actividad significativa de contracción y expansión. Siendo suelos expansivos los estratos de la muestra M2.

Tabla 3. 24: Resultados de las muestras si son o no suelos expansivos.

Muestra	Contracción lineal (CL%)	Condición
M1	3.96	No expansivo
M2	9.23	Expansivo
M3	8.87	No expansivo

#### 3.4.6.5. Suelos colapsables

En la siguiente tabla indica el grado de colapso del suelo basados en el parámetro físico como es el peso específico, de las tres muestras.

Tabla 3. 25: Grado de colapso según su peso específico de cada muestra

Muestra	Densidad Natural $gr/cm^3$	Densidad seca $gr/cm^3$	$\gamma_d$ (KN/m <sup>3</sup> )	Grado de colapso
M1	2.212	2.050	20.55	Bajo
M2	1.975	1.871	18.78	Bajo
M3	2.002	1.861	18.67	Bajo-medio

Fuente: Díaz, 2015

Basados en ensayos mecánicos utilizando el índice de compresión teniendo una compresibilidad media por estar entre 0.2 y 0.39, por ende, no son suelos colapsables.

Las variables más importantes que afectan el área de estudio son, químicos, fisicoquímicos, mecánicos, estructurales y aguas subterráneas, los cuales influyen directamente en el proceso de hundimiento.

Análisis del terreno teniendo en cuenta; su geología, las aguas subterráneas y ensayos de suelos en los softwares SLIDE V6.005 y Phase2 V8.0.

Tabla 3. 26: Resultados de los ensayos de suelos y determinando su colapsabilidad del suelo.

ENSAYO	M1	M2	M3
LL (%)	35.36	47.60	53.32
LP (%)	26.92	27.94	34.42
IP (%)	8.44	19.66	18.90
Humedad natural (%)	8.16	12.32	26.18
Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.050	1.871	1.861
Colapsabilidad	No colapsable	No colapsable	No colapsable
	1.35	1.16	1.09

En la tabla anterior se muestran los resultados de colapsabilidad de los suelos siguiendo el criterio de Gibbs, a partir de los ensayos hechos en el laboratorio e in situ resultando que ninguna de las muestras son suelos colapsables.

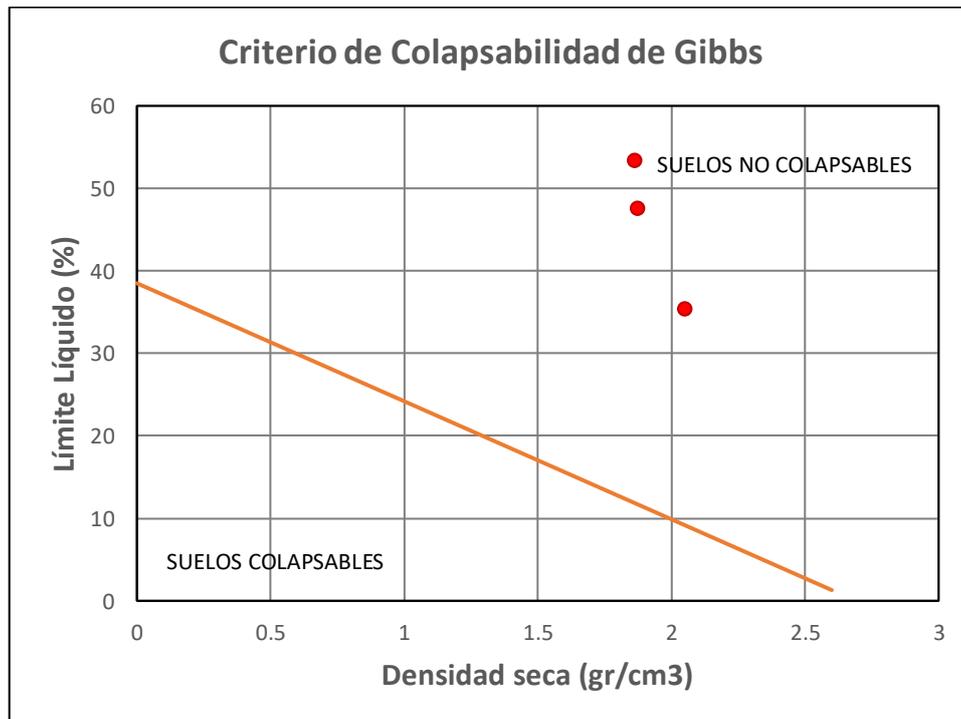


Gráfico 3. 12: Criterio de colapsabilidad de Gibbs.

### 3.4.6.6. Parámetros geotécnicos

Los parámetros geotécnicos de estos materiales, según la bibliografía consultada y comparándolo con ensayos de laboratorio son:

Tabla 3. 27: Parámetros geotécnicos de las muestras ensayadas.

PARAMETRO	M1	M2	M3
<b>Cohesión <math>c'</math></b> Rodríguez y González de Vallejo Pág. 70	18 KN/m <sup>2</sup>	1.5 KN/m <sup>2</sup>	1 KN/m <sup>2</sup>
<b>Ángulo de Fricción <math>\phi'</math></b>	30°	20°	18°
<b>Densidad Aparente <math>\delta</math></b>	20.055 KN/m <sup>3</sup>	18.368 KN/m <sup>3</sup>	16.298 KN/m <sup>3</sup>
<b>Módulo de Young (E)</b>	23.2 MN/m <sup>2</sup>	9.0 MN/m <sup>2</sup>	8.0 MN/m <sup>2</sup>
<b>Coefficiente de Poisson <math>u</math></b>	0.3	0.16	0.14

Parámetros comparados con los ensayos de corte directo realizados por Ing. Ángel Zamora (2019). Siendo de 18.4 KN/m<sup>2</sup> y 29.832° respectivamente. Anexos 005.

### 3.7. PARÁMETROS SÍSMICOS

Tabla 3. 28: Coeficientes sísmico horizontal y vertical del área de cimentación.

Zona	C	S	T <sub>P</sub>	T <sub>L</sub>	K <sub>V</sub>	K <sub>H</sub>
2	0.25	1.2	0.6	2.0	0.18	0.28

### 3.8. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES CON EL SOFTWARE SLIDE V6.005 Y PHASE 2 V8.0

A partir de los datos obtenidos en campo, y también de los ensayos de suelos se realizó un análisis de estabilidad de los taludes que se generan con la excavación para la cimentación. Con ayuda del software Slide V6.005. Se determinará el factor de seguridad de estos taludes según los métodos de Bishop simplificado y Jambu simplificado en condiciones pseudoestáticas.

Tabla 3. 29: Factor de seguridad de perfiles según Jambu y Bishop.

Perfil	Jambu simplificado	Bishop simplificado	Parte del talud
P01-A	0.264	0.265	Superior
P01-B	0.384	0.386	Medio
P01-C	0.553	0.595	Inferior

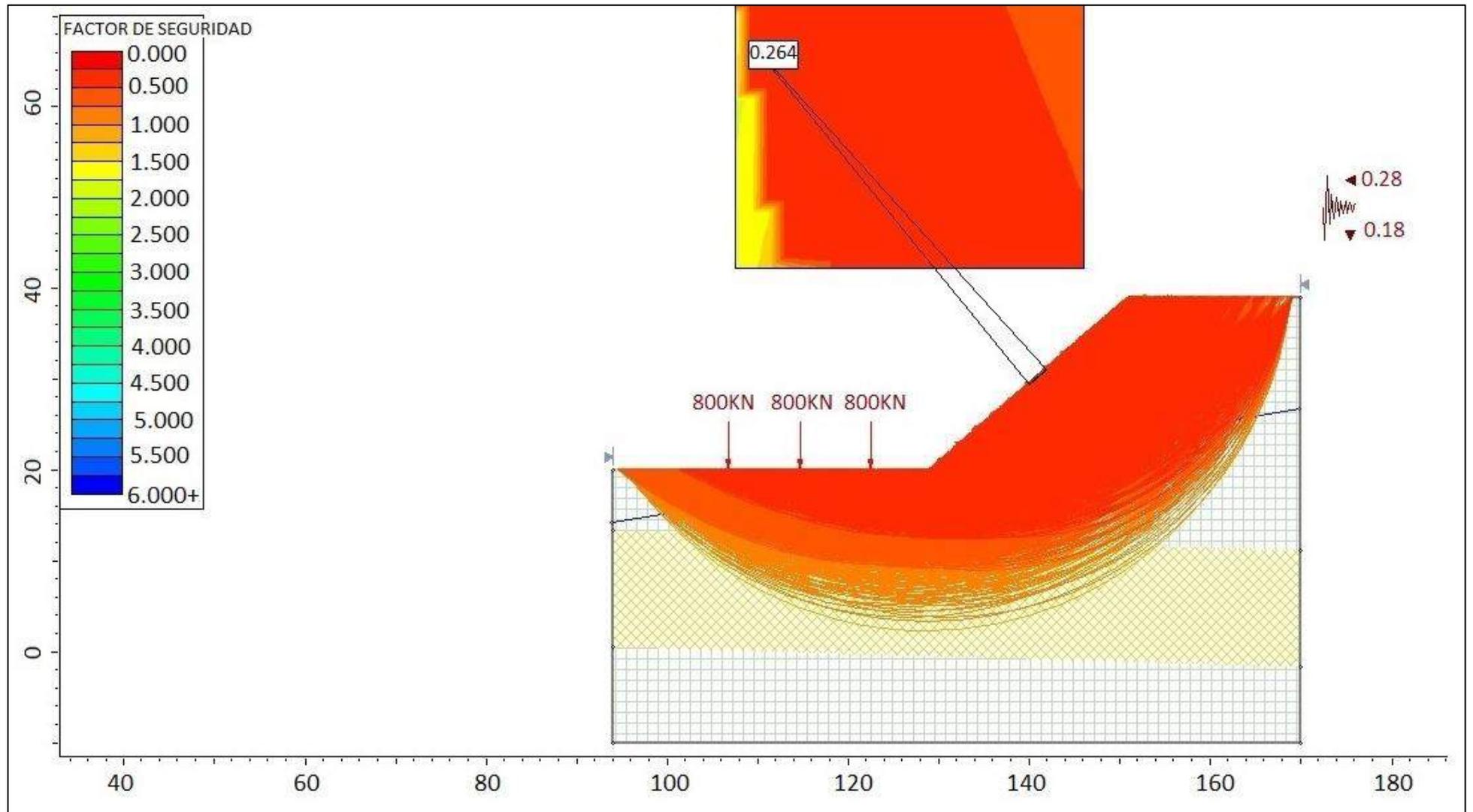


Figura 3. 5: Perfil 01 análisis de estabilidad según Bishop simplificado, indicando inestabilidad en estos taludes.

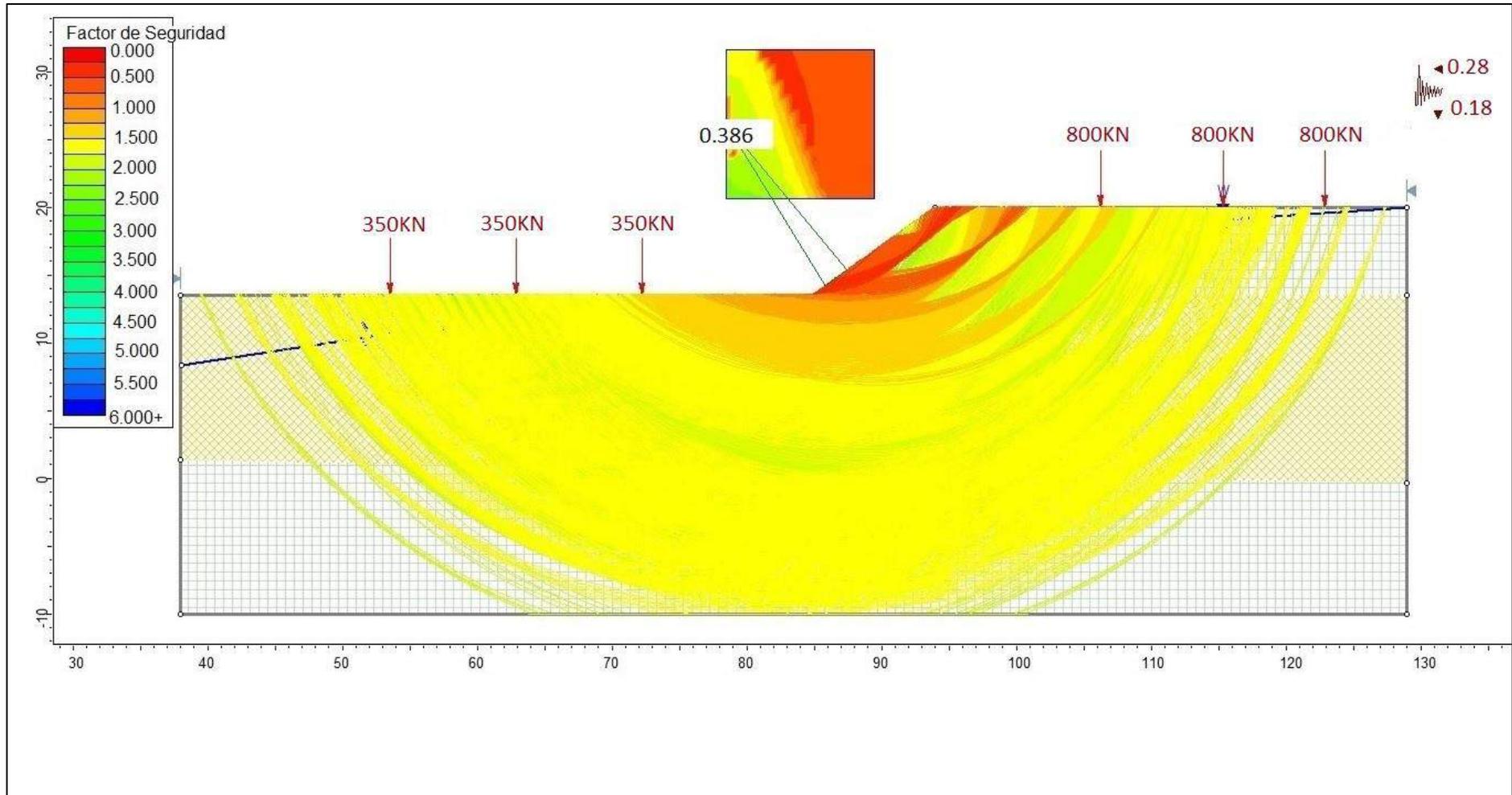


Figura 3. 6: Perfil 02 análisis de estabilidad según Bishop simplificado, indicando inestabilidad en este talud..

### 3.9. ANÁLISIS DE LA CIMENTACIÓN

Basado en los trabajos de campo, ensayos de laboratorio, perfiles y registros estratigráficos, hidrogeología y característica de la estructura, se recomienda cimentar en la arena limosa (SM) suelo de partículas gruesas con finos (suelo sucio), a una profundidad de cimentación mínima de:  $D_f = 1.60$  m, para Cimientos Corridos y  $D_f = 2.00$  m para Cimientos Cuadrados, y un ancho de zapata de 2.00 m para ambos casos.

Tabla 3. 30: Capacidad portante de los suelos según MEYERHOF. Y carga ultima admisible para zapatas cuadradas de 2 metros de lado.

Muestra	Capacidad portante	Nivel freático m.d.n.s	Capacidad portante 2	Carga última admisible
M1	834.339 KN/m <sup>2</sup>	1.40m	768.020 KN/m <sup>2</sup>	3337 – 3072 KN
M2	126.920 KN/m <sup>2</sup>	0.80m	84.253 KN/m <sup>2</sup>	507 – 337 KN.
M3	88.833 KN/m <sup>2</sup>	0.80m	56.235 KN/m <sup>2</sup>	355 – 224 KN

### 3.10. ANÁLISIS CON EL SOFTWARE Phase2 V8.0

Utilizando los datos obtenidos con los ensayos se pudo hacer un análisis con este software para calcular el factor de seguridad si se construye en este tipo de suelo sin previo tratamiento.

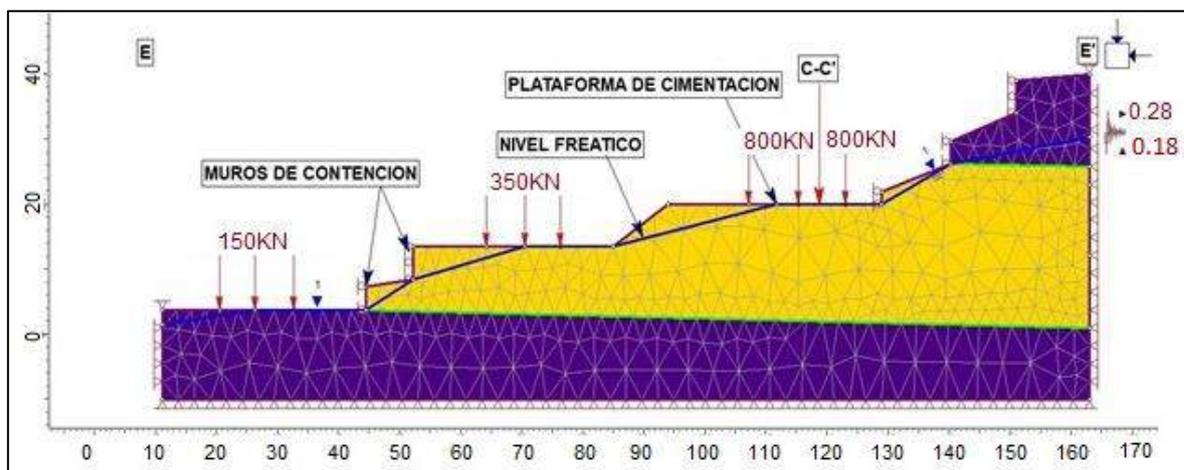


Figura 3. 7: Perfil A-A' del área de cimentación.

Para un análisis de asentamiento se tiene que realizar con su litología casi en su verdadera dirección de inclinación para obtener datos más reales. Ver plano de análisis de asentamientos. Los perfiles se pueden observar en el plano de zonificación geotécnica.

El estrato de limo de baja plasticidad se determina un mayor asentamiento de hasta 0.12m por presencia del nivel freático haciendo que este material se comporte como un suelo colapsable.

Tabla 3. 31: Asentamientos.

Muestra	Módulo de Young Es	Coefficiente de Poisson u	Asentamiento Se
M1	23.2 MN/m <sup>2</sup> BRAJA M. DAS Pág. 523	0.30	0.0012m
M2	9 MN/m <sup>2</sup>	0.14	0.07– 0.12m
M3	8 MN/m <sup>2</sup>	0.11	0.07– 0.12m

Tabla 3. 32: Asentamiento en metros según el tipo de diseño de cimentación.

Seudo Zapata	800KN por zapata		Sustitución de material (3.5m)		Pozos de hormigón (3.0m)		Pilote de concreto armado	
	Prof.	Se	Prof.	Se	Prof.	Se	Prof.	Se
<b>01</b>	0.00	<b>-0.124</b>	0.00	<b>-0.024</b>	0.00	<b>-0.019</b>	0.00	<b>0.029</b>
	-4.00	0.016	-4.00	0.010	-4.00	0.001	-4.00	0.030
	-8.00	0.053	-8.00	0.041	-8.00	0.045	-8.00	0.030
<b>02</b>	0.00	<b>-0.089</b>	0.00	<b>0.038</b>	0.00	<b>0.048</b>	0.00	–
	-4.00	0.060	-4.00	0.037	-4.00	0.065	-4.00	–
	-8.00	0.093	-8.00	0.086	-8.00	0.102	-8.00	–
<b>03</b>	0.00	<b>-0.034</b>	0.00	<b>0.090</b>	0.00	<b>0.083</b>	0.00	<b>0.099</b>
	-4.00	0.114	-4.00	0.116	-4.00	0.100	-4.00	0.100
	-8.00	0.141	-8.00	0.138	-8.00	0.133	-8.00	0.103
<b>04</b>	0.00	<b>0.186</b>	0.00	<b>0.127</b>	0.00	–	0.00	–
	-4.00	0.116	-4.00	0.145	-4.00	–	-4.00	–
	-8.00	0.121	-8.00	0.155	-8.00	–	-8.00	–
<b>05</b>	0.00	<b>0.004</b>	0.00	<b>0.105</b>	0.00	–	0.00	–
	-4.00	0.074	-4.00	0.119	-4.00	–	-4.00	–
	-8.00	0.076	-8.00	0.120	-8.00	–	-8.00	–

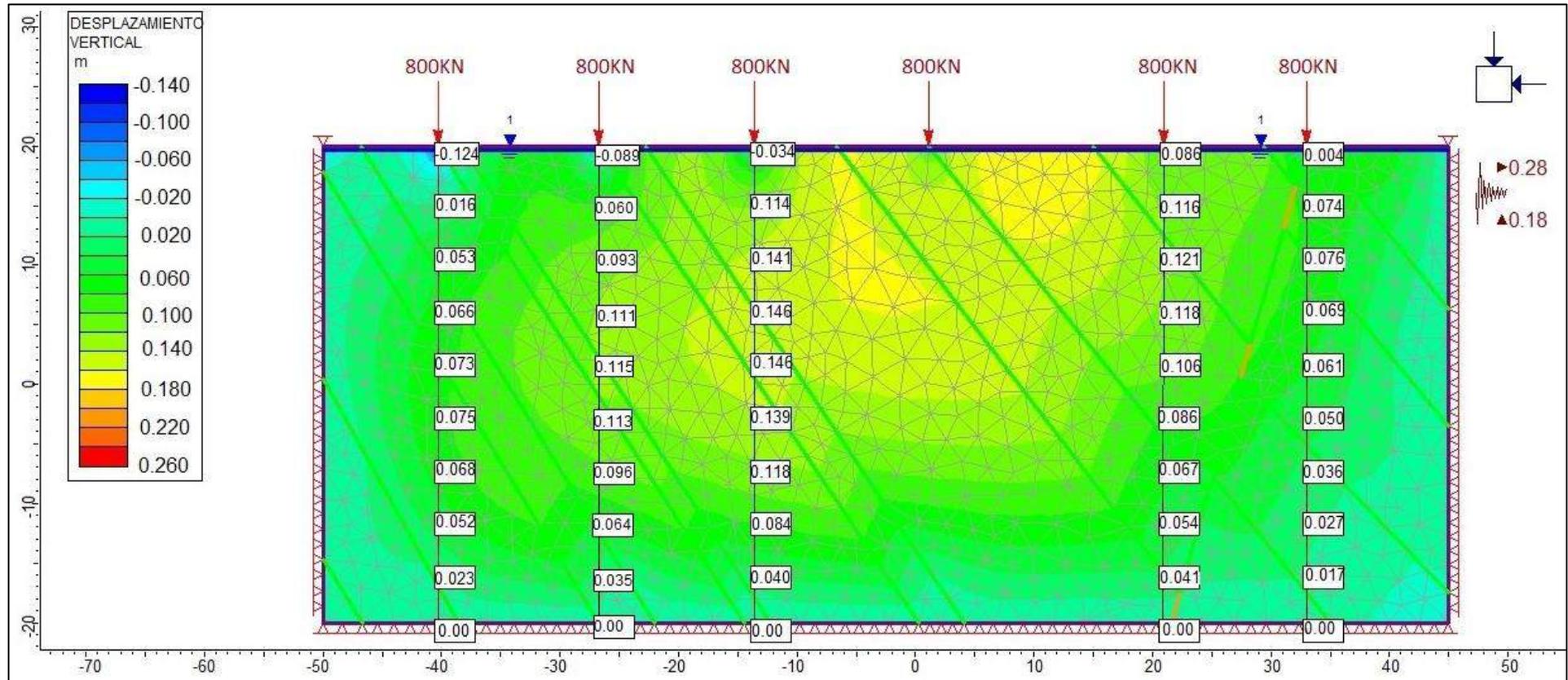


Figura 3. 8: Perfil C-C' Asentamientos en los estratos arena limosa de 0.0001m y limo de baja plasticidad de 0.089m a 0.124m.

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

Para determinar todas las propiedades del suelo que condicionan a una cimentación se estudió, el comportamiento Geológico, Hidrogeológico y Geotécnico del área de cimentación del colegio San Carlos.

El área de cimentación se halla en una zona de subsidencia sobre estratos de la Formación Chota, y afectados por fallas geológicas que pasan por el área de cimentación. Con el análisis e identificación del suelo valiéndose de la observación directa este suelo está conformado por estratos de limos arcillosas, arenas limosas, clastos de diferente tipo de rocas, carbonatos y arcillas que por efecto del agua subterránea estos suelos han cambiado notablemente sus propiedades físicas y químicas.

En el área de cimentación se encuentra afloramientos de agua subterránea en las calicatas. Que demuestran una conexión entre aguas subterráneas y la superficie. El nivel freático puede fluctuar dependiendo de la estación del año. Hidrogeológicamente el estrato arena limosa se comportan como capas casi impermeables debido a su naturaleza granular.

Los estratos analizados presentan una permeabilidad baja a muy baja ( $7.9 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ ;  $2.2 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ ) y de igual manera la transmisibilidad ( $0.0054 \text{cm}^2/\text{s}$ ,  $2.4 \text{cm}^2/\text{s}$ ), y solo hay estratos de espesores pequeños de arenas limpias, de gran porosidad y alta permeabilidad.

Según los resultados anteriores se puede decir que el agua subterránea sale a la superficie, en primer lugar, aprovechando las fallas geológicas (permeabilidad secundaria) y en segunda instancia por algunos estratos de arenas limpias.

Por las fallas geológicas ayudan que el agua salga a la superficie, el agua entra en contacto con las arcillas, carbonatos y sulfatos. Realizando cambios de sus propiedades químicas del suelo. Permitiendo que el suelo se comporte como suelos expansivos y dificulten la cimentación.

A partir de los ensayos geotécnicos de determino que: el suelo como resultado de la meteorización in situ denominándose según S.U.C.S. SM-arena limosa de baja plasticidad. De compresibilidad media en el cual no se tendría ningún problema para una cimentación.

El suelo de limo arcilloso presenta un mayor porcentaje de finos denominándose según S.U.C.S. MH – limos de alta plasticidad. El cual se tendría problemas para una cimentación, si no se hace un previo mejoramiento del suelo. El estrato de arenas limpias se comporta como un suelo colapsable, pero por carecer de espesor no afectaría mucho en una cimentación.

Según los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio, los estratos limos arcillosos se comportan como suelo expansivo. Por presentar la mayor área estos estratos y con la presencia del agua subterránea hacen que el suelo disminuya hasta 40% su capacidad portante (muestras 02 y 03) disminuyendo de  $126.920\text{KN/m}^2$  y  $88.833\text{KN/m}^2$  a  $50.768\text{KN/m}^2$  y  $39.974\text{KN/m}^2$  respectivamente haciendo que estos dos suelos se no sean aptos para una cimentación.

El análisis con el software Slide para estabilidad de taludes por los métodos de Jambu y Bishop indican inestabilidad después de realizar el corte, entonces, para realizar una cimentación se tiene realizar una estabilidad de esos taludes. Y con el software Phase2 indica un hundimiento de hasta 0.124m en el estrato limo de baja plasticidad. Indicando que se tiene que hacer un mejoramiento de suelos.

## **4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Después del análisis de los datos obtenidos en campo se distingue tres tipos de estratos; arenas consolidadas con presencia de gravas; limos de baja y alta

plasticidad (con contenido de carbonatos y sulfatos) y algunos estratos angostos de arenas limpias (0.15m). Y que por la interacción del agua subterránea con los suelos que tienen una contracción lineal de 9.23, haciendo que estos se comporten como suelos expansivos.

#### 4.2.1. Estabilidad de taludes con muros de contención

La estabilidad de taludes para fines de cimentación se tendría que realizar con muros de contención de concreto armado para mayor seguridad, el análisis se realizó con el software Phase2, generando un aumento de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas. Ver a detalle en plano N°16 de estabilidad de taludes.

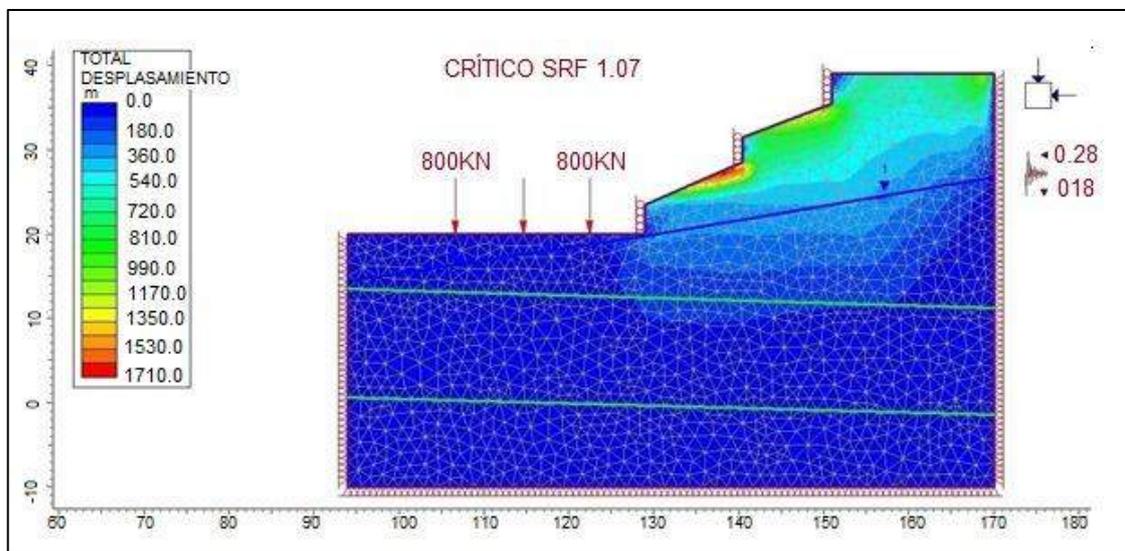


Figura 4. 1: Aumento de factor de seguridad de 0.264 a 1.07.

#### 4.2.2. Cimentación por sustitución del material

Una opción para cimentación sería por sustitución del terreno, es decir retirar el terreno y reemplazarlo con un material apto para cimentación. Colocando en la parte inferior un material impermeable, y además se puede utilizar enrocados para drenar el agua subterránea. Y en la parte donde solo se tendrá un polideportivo, cancha deportiva, estacionamiento su mejoramiento del terreno solo se haría por compactación usando cualquier aditivo como por ejemplo Cal.

Después del análisis con el software Phase2. El reemplazamiento del material (relleno) de 6.0m llegaría a ser muy eficiente porque disminuiría el asentamiento de 0.124m a 0.04m. (Ver plano de análisis de cimentaciones).

Análisis con el software Phase2 para cimentaciones por sustitución de material, o del suelo de cimentación.

Modelo de reemplazo de material de 3.5m

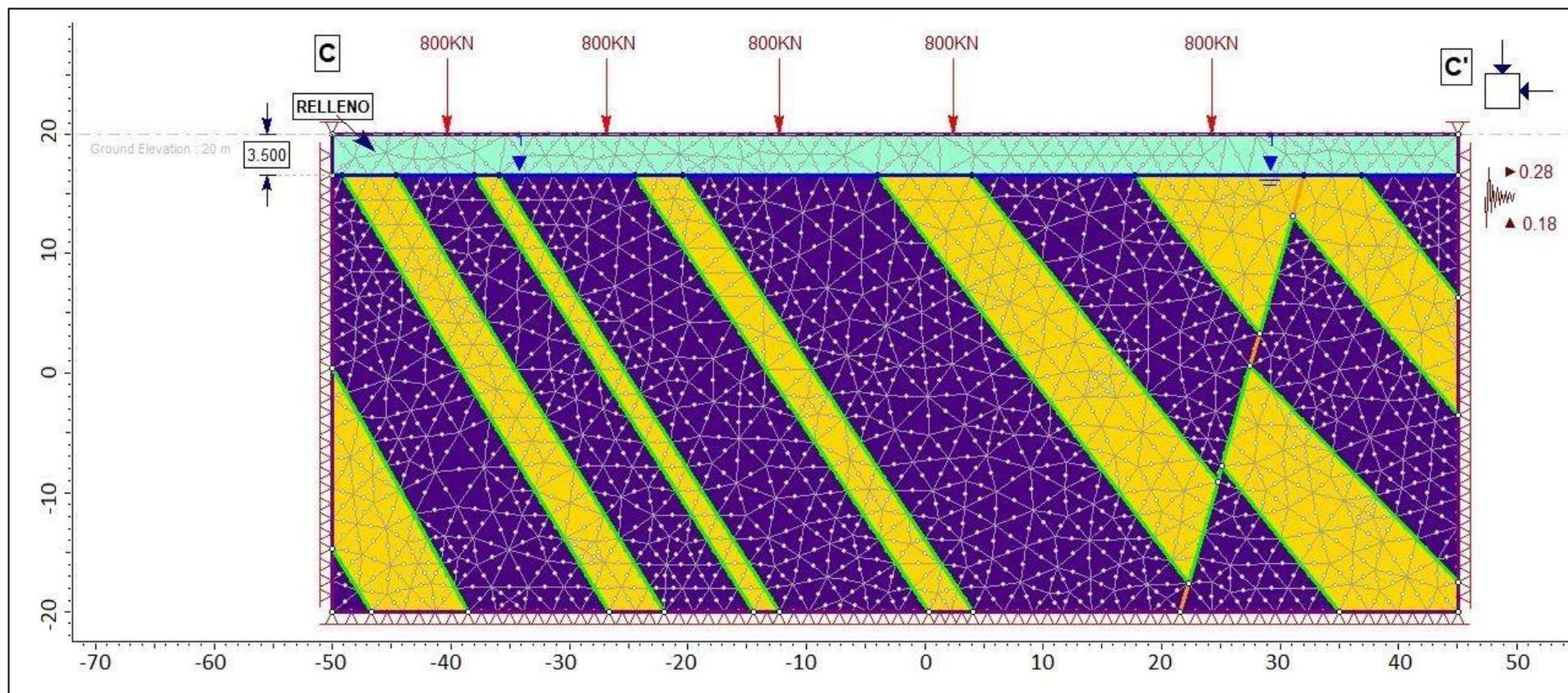


Figura 4. 2: Cimentación del colegio por sustitución del terreno de 3.5m.

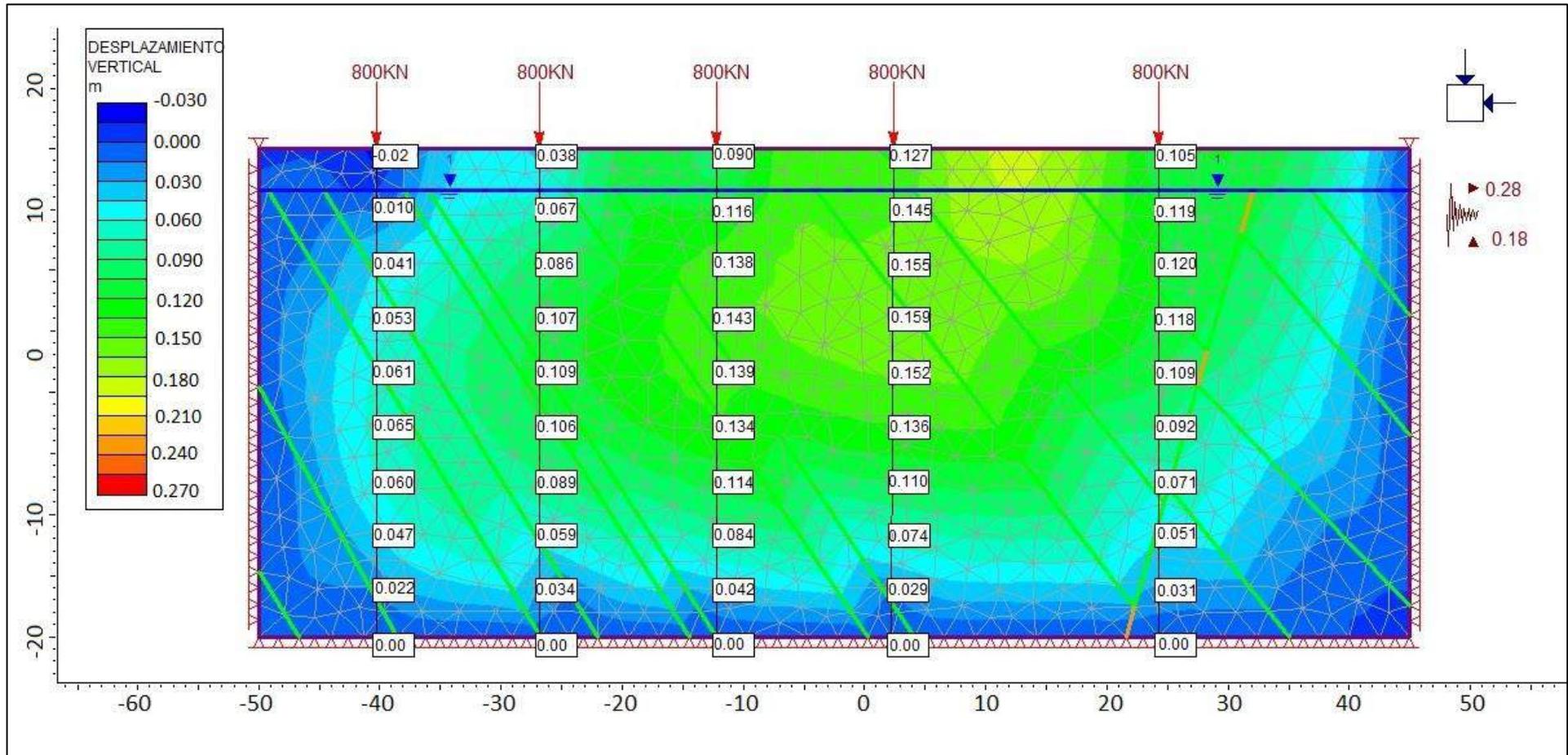


Figura 4. 3: Máximo asentamiento (0.02m) con el método de reemplazamiento de material.

Análisis con el software Phase2 para cimentaciones por pilotes de concreto armado de 7.10m a 12.0m

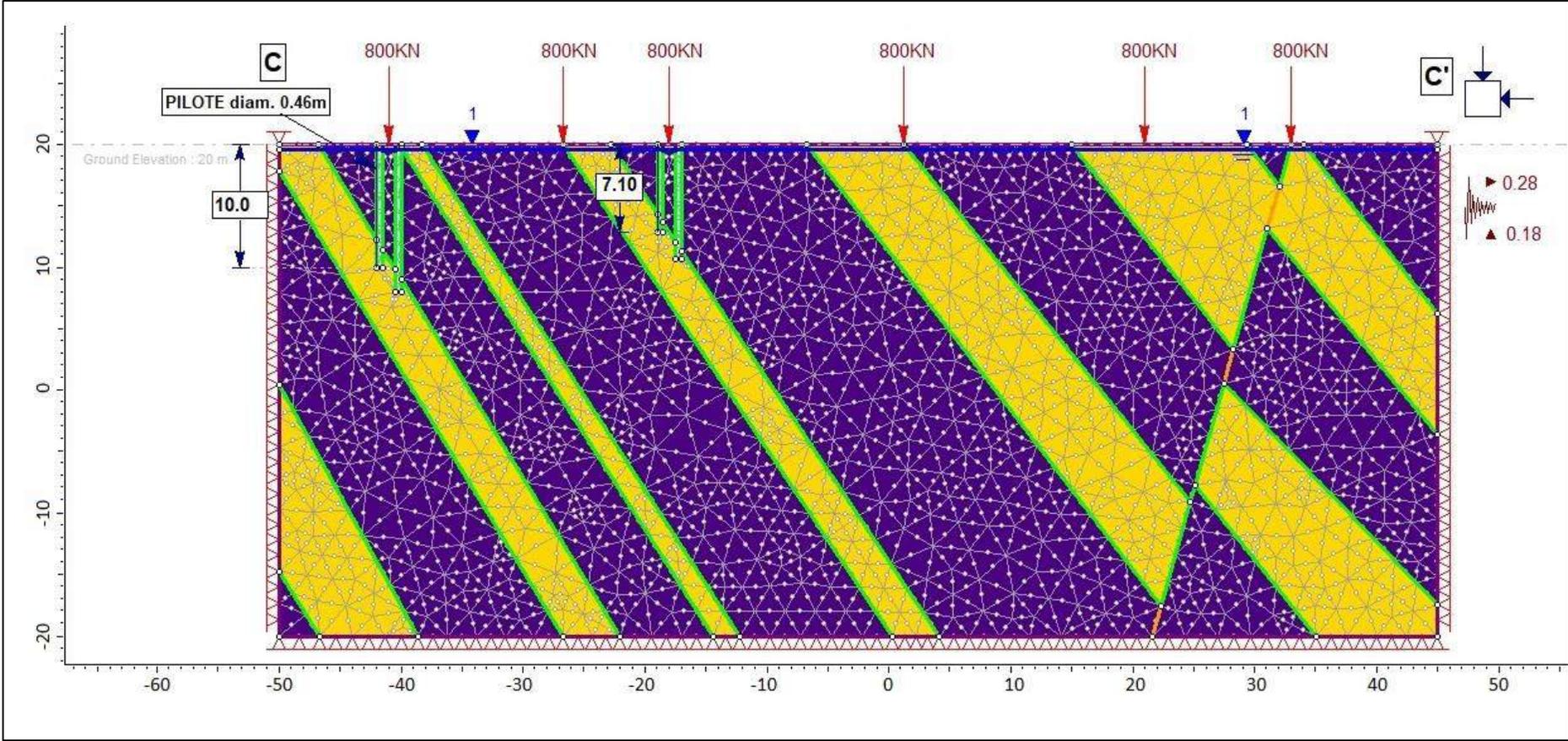


Figura 4. 4: Cimentación con pilotes.

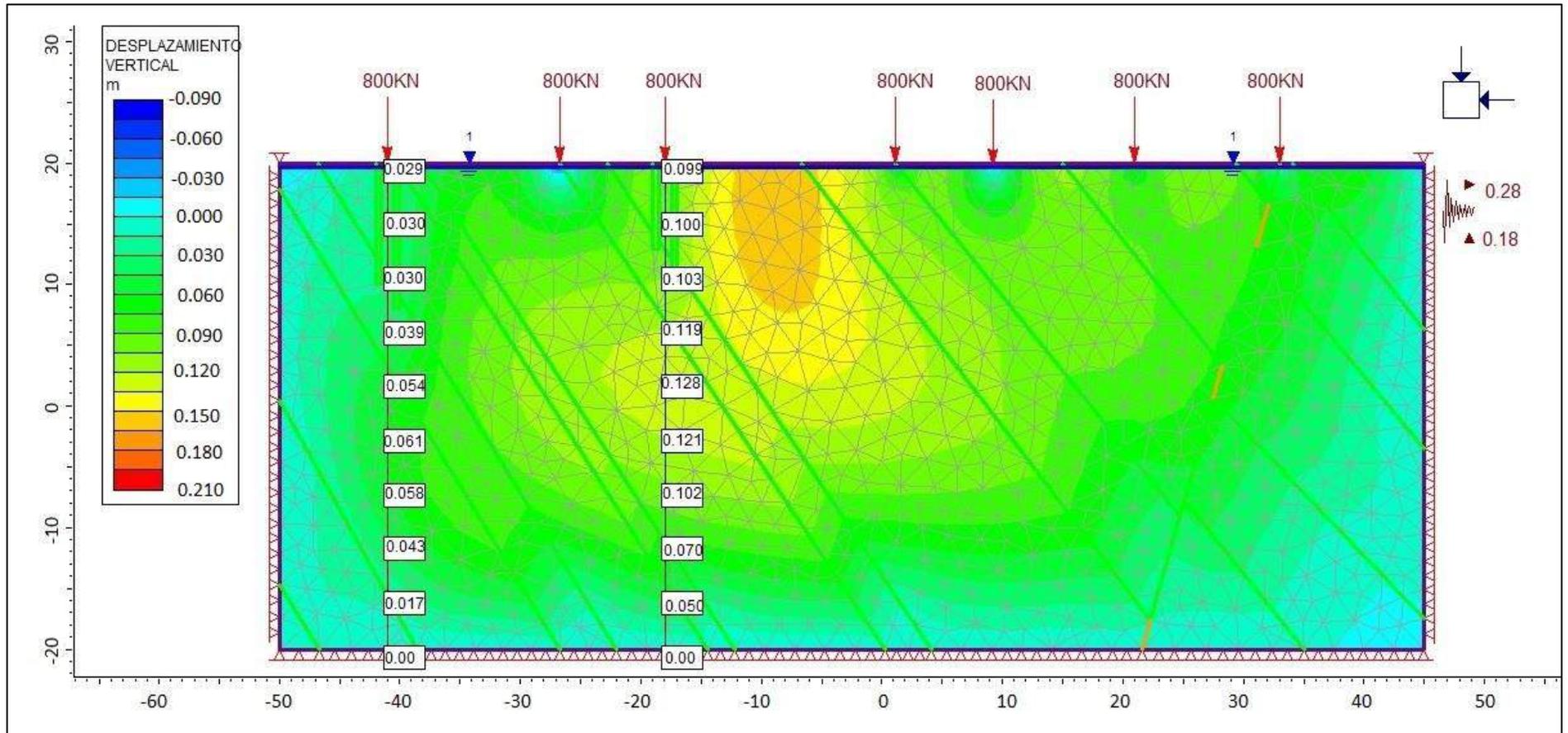


Figura 4. 5: Asentamientos de 0.0001m con diseño de pilotes de 0.46m de diámetro de concreto armado.

Análisis con el software Phase2 para cimentaciones por pozos de hormigón pobre de 3.0m.

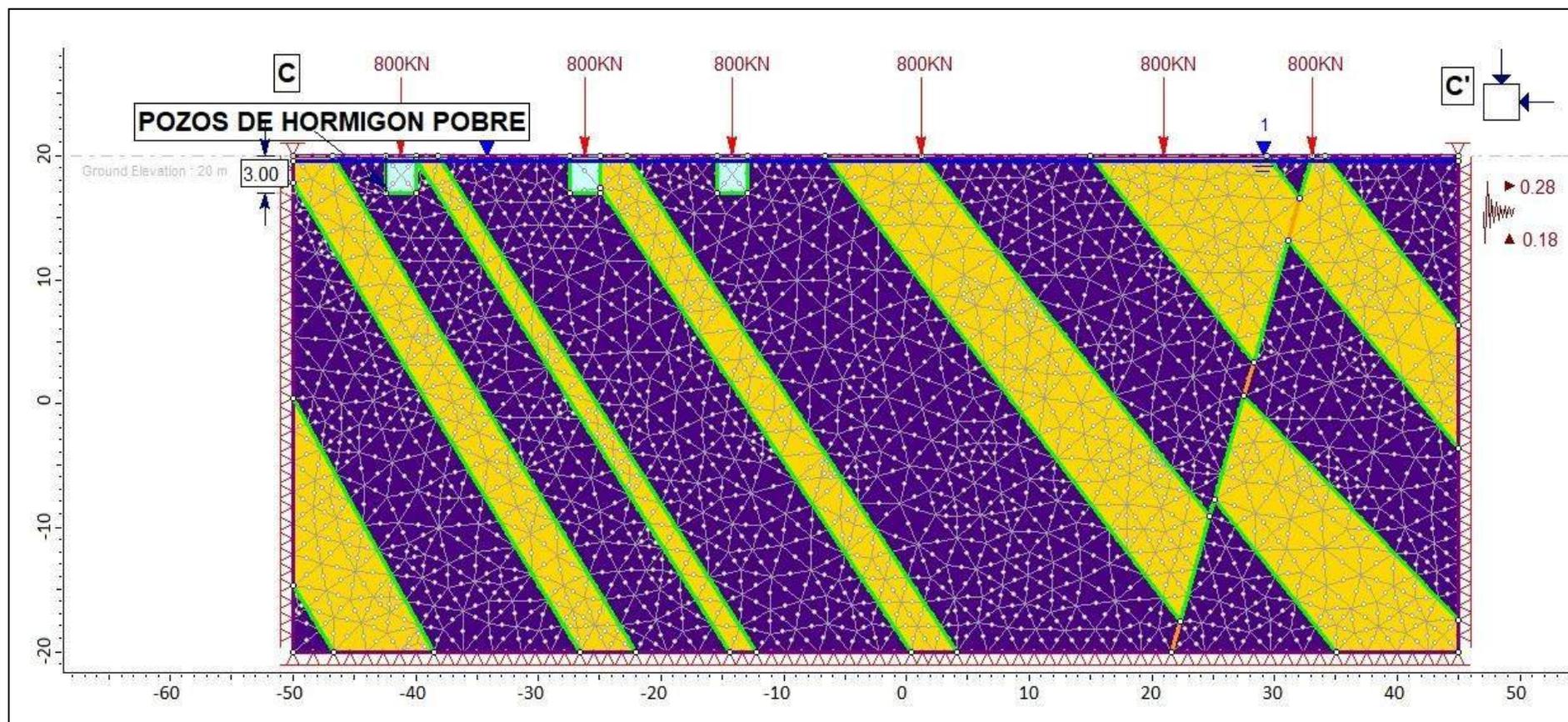


Figura 4. 6: Cimentación con pozos rellenos de hormigón pobre.

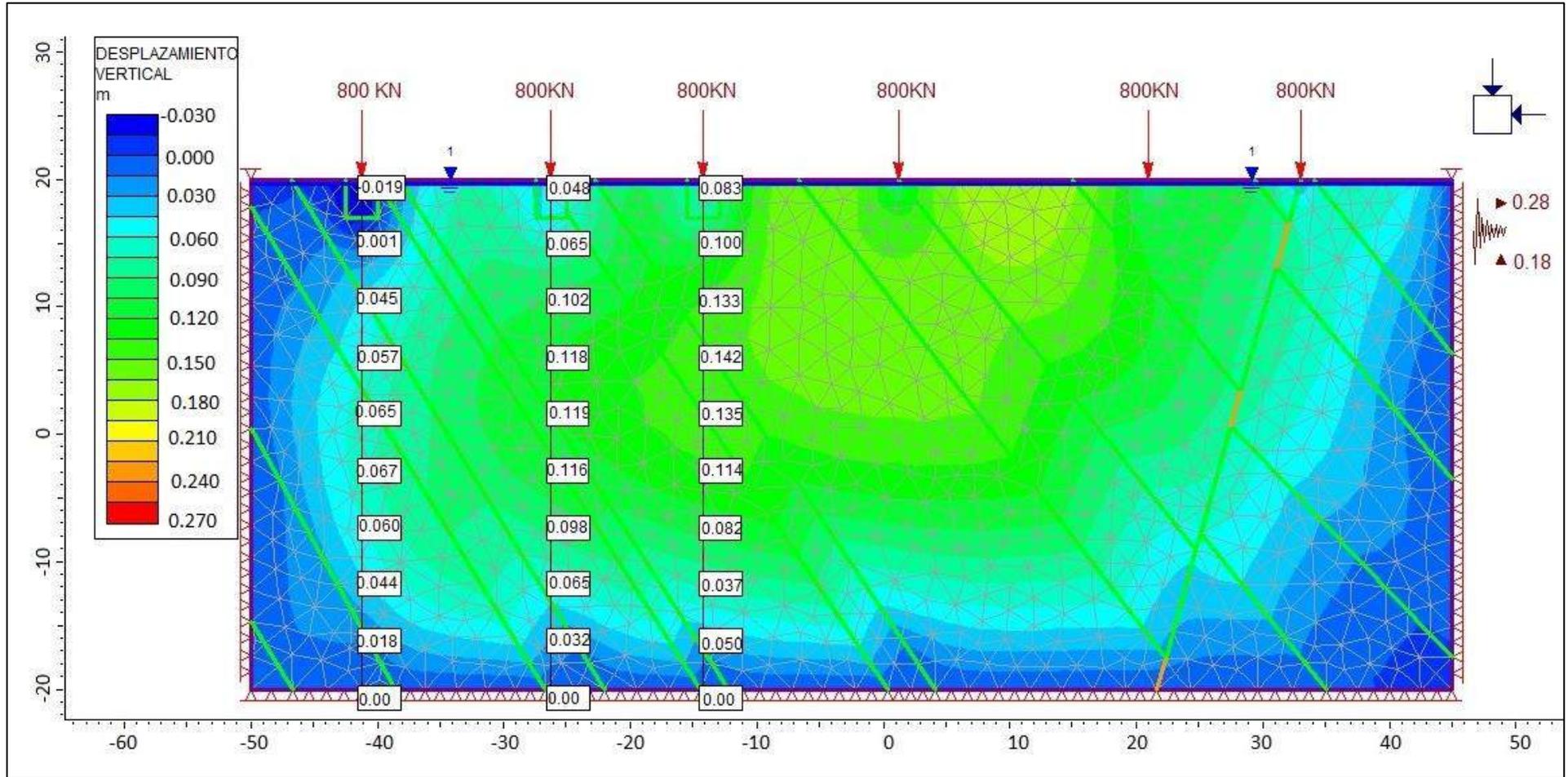


Figura 4. 7: Asentamiento de 0.019m con el diseño de cimentación de pozos de hormigón pobre de 3.0m

#### **4.2.3. Cimentación por pilotes**

Otra opción para cimentación después de haber realizado un perfil es realizarlo mediante grupos de pilotes de concreto armado de 8.0m a 12.0m de longitud. Generando un asentamiento de solo 0.0001m. como se observa en las figuras anteriores 4.4 y 4.5.

#### **4.2.4. Cimentación con pozos rellenos de hormigón pobre**

También se realizaría la cimentación realizando pozos de 3.0m de profundidad y relleno con hormigón pobre y compactando para luego en estos diseñara las zapatas de la estructura del colegio. Disminuyendo sus asentamientos de 0.124m a 0.019m, como se muestran en las figuras anteriores 4.6 y 4.7.

### **4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

Luego de realizar los ensayos geotécnicos, S.U.C.S lo clasifica como; suelo arena limoso, suelo limoso de baja plasticidad. Y, por la presencia de agua subterránea hace que estos suelos se comporten como suelos expansivos. Por lo tanto, se tendría que cimentar con: pozos rellenos de hormigón pobre, sustitución y compactación del terreno y por pilotes. Esto hace que la hipótesis planteada inicialmente ha sido contrastada favorablemente.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **CONCLUSIONES**

Las condiciones geológicas del área de cimentación del colegio San Carlos, determina que el suelo es: limo arcilloso con presencia de venillas de carbonatos y sulfatos, arena limosa con clastos. Estos suelos son producto de la meteorización in situ de la Formación Chota.

El agua subterránea aflora a la superficie por medio de las fallas geológica.

Los suelos están conformados geotécnicamente por arena limosa, limos arcillosos de baja y alta plasticidad, y además los limos arcillosos frente a un cambio de humedad se comportan como suelos expansivos.

Los taludes generados después del corte son muy inestables. Con un factor de seguridad según Bishop simplificado (0.586, 0.913 y 0.553).

El hundimiento o asentamiento vertical es de 0.001m para la arena limosa y de 0.089 a 0.124m para limos arcillosos.

Las cargas admisibles de los estratos analizados son de 834.339 KN/m<sup>2</sup>; para el limo de baja plasticidad de 126.920 KN/m<sup>2</sup> y limo de alta plasticidad arenoso 88.833 KN/m<sup>2</sup> disminuyendo en un 40% con la presencia de agua subterránea.

Geotécnicamente la cimentación se tiene que realizar por; sustitución del terreno de 3.0m, pozos de hormigón pobre de 3.5m o por pilotes de concreto armado de 7.10m a 12.0m.

## **RECOMENDACIONES**

A la ciudad de Bambamarca se recomienda mejorar en la aplicación del Reglamento Nacional de Edificaciones en lo que concierne a cimentaciones de estructuras, lo cual servirá para mejorar la calidad de las obras que se construyan en el futuro.

A la empresa ejecutora de la obra se recomienda hacer ensayos geotécnicos especiales adicionales como corte directo y comprensión uniaxial.

También se recomienda hacer ensayos de SPT y ensayos de Lefranc para tener datos más detallados en Hidrogeología.

Realizar un estudio de drenaje del agua subterránea antes de realizar la cimentación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVA, J. 2008. Estudio geotécnico con fines de cimentación del parque polideportivo y nuevo coliseo de Cajamarca. Cajamarca – Perú.
- BARRERA, M., GARNICA, P. Y MARTINEZ, F. 2006. Comportamiento de suelos parcialmente saturados. Instituto mexicano de transporte.
- BRAJA, M. 2001. Fundamentos de ingeniería geotécnica. Edit. Thomson. México.
- CASTILLA, A. 2008. Análisis de las características geológicas-geotécnicas del Barrio Azucaica -Toledo.
- DÁVILA, J. 2011. Diccionario geológico. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Lima – Perú.
- ESPADIN, L. (2013). proyecto adecuación mejoramiento y sustitución educativa de la infraestructura y equipamiento del colegio San Carlos Bambamarca.
- E.T.S.A. 2010. Mecánica de suelos y cimentaciones. Cimentaciones en suelos parcialmente saturados: expansivos y colapsables. Sevilla – España.
- GARCÍA, M Y FERNÁNDEZ A. 2009. Hidrogeología básica. Las aguas subterráneas y su flujo (3º edición). Ediciones FI EC. 97 - 117 p.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO, L. 2002. Ingeniería geológica. Cimentaciones. Pearson Educación, Madrid - España. 394 – 428 p.
- GUTIERREZ, W. 2011. Ingeniería Geotécnica en Edificaciones. Lima – Perú.
- MEZA, V. (2005) Influencia de la succión matricial en el comportamiento deformaciones de dos suelos colapsables. Medellín Colombia.

- MERINO, Y. 2017. Hidrogeología de la microcuenca del río chonta, en el distrito de Baños del Inca. Tesis para optar el título de ingeniero geólogo. Cajamarca – Perú.
- NIÑO, J. 2015. Estudio de suelos y análisis geotécnico del sector ubicado en el k4+180 de la vía puente Reyes-Gameza. universidad pedagógica y tecnológica de Colombia facultad de ingeniería geológica.
- PAZ, E. (2011). Estudio Geotécnico y recomendaciones para cimentación. Manizales – Colombia.
- PROYECTO: COP 20 / CMP10. 2 014. Estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación y pavimentación San Borja – Lima
- P Y P PROYECTOS LFO 13730-4A. 2016. Estudio de suelos y análisis de cimentaciones. Bogotá – Colombia.
- QUISPE, J. & MAMANI, F. 2017. Estudio de suelos para cimentaciones de edificaciones en la zona de Alto Locumba. Facultad de Ingeniería. Tacna – Perú.
- REDOLFI, E. 2009. Suelos Colapsables. Grupo geotécnico. Colombia.
- REYES, L. 1980. Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. INGEMMET. Sector Energía y Minas. Boletín N° 31, Serie A. Lima – Perú.
- RODRÍGUEZ Y GONZÁLEZ DE VALLEJO, L. 2001. Manual de ingeniería geológica. Noriega editores. Madrid – España. Pág. 70.
- RODRÍGUEZ, R. 2006, Estudio de los asentamientos y deslizamientos en la ciudad de Bambamarca.
- SANCHEZ, J. 2010. Problemas geotécnicos en suelos metaestables. Obras reales y recalces en arcillas expansivas y suelos colapsables. Jaén – Cajamarca.
- VILLALAZ, C. 2004. Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Limusa noriega editores. México.

ZABALA, B. Y BARRANTES, R. 2007. Riesgos geológicos en la región de Cajamarca. INGEMMET. Sector Energía y Minas. Lima – Perú.

ZAMBRANO, S. 2009. Cimentaciones superficiales. Facultad de ciencias. Escuela de Ingeniería Civil. Guayaquil - Ecuador.

ZAMORA, A. 2019. Riesgo Geotécnico de Deslizamiento en los Taludes del Terreno del Colegio San Carlos – Bambamarca. Para optar el Título Profesional de: Ingeniero Civil. Cajamarca – Perú.

# ANEXOS

ANEXO 001 ENSAYOS DE PERMEABILIDAD

ANEXO 002 RESULTADOS DE ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS

ANEXO 003 RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE CARGA ADMISIBLE  
USANDO EL SOFTWARE CSVIC

ANEXO 004 CÁLCULO DE DESPLAZAMIENTO DE FALLA

ANEXO 005 RESULTADOS OBTENIDOS POR ING. ANGEL ZAMORA 2019 EN  
LA MISMA AREA.

ANEXO 006 ALBUM DE FOTOS

**ANEXO 001 ENSAYOS DE PERMEABILIDAD**

FORMATO				
ENSAYO DE HIDROGEOLOGÍA			Código	TESIS
			Edición	N° 001
ENSAYO INSITU POR INFILTRACIÓN "CARGA VARIABLE"			Fecha	20/07/2019

TESIS: COMPORTAMIENTO GEOLOGICO, HIDROGEOLOGICO Y GEOTECNICO DEL ÁREA PARA EL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DEL COLEGIO SAN CARLOS - BAMBAMARCA			
TESISTA		BACH. EN ING. EDGAR OMAR HERRERA FIGUEROA	
COORDENADAS DONDE SE REALIZO EL ENSAYO		N: 9 261 912 E: 773 393 COTA: 2582	
PROFUNDIDAD DE CALICATA	N° 005 - 0.7m	PROFUNDIDAD DE HOYO	20 cm
SUELO	ARENA LIMOSA COLOR AMARILLO	IDENTIFICACION DE ENSAYO	E-001 - A1

AREA	INTERVALO DE TIEMPO (MIN)		PERDIDA DE CARGA HIDRAULICA (cm)	ALTURA PERDIDA			
LARGO (cm)	inicio	0	17.5		ALTURA PERDIDA	0.3	
11	0 a 10	10	16.8	0.7	AREA (A)	121.0	709.5
ANCHO (cm)	10 a 20	10	16.45	0.35	DISTANCIA (L)	17.5	
11	20 a 30	10	16.1	0.35	PERDIDA DE CARGA HIDRAULICA (H)	16.1	
121	30 a 40	10	15.9	0.2	VOLUMEN DRENADO (V)	36.3	
	40 a 50	10	15.8	0.1	TIEMPO (T) - (s)	600.0	
	50 a 60	10	15.7	0.1			
			96.75	1.8			
			ESPESOR DEL ESTRATO (cm)		680		
			COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (k)		7.9E-05	cm/s	
			TRANSMISIBILIDAD (t)		5.4E-02	cm <sup>2</sup> /s	

OBSERVACIONES

FORMATO			
ENSAYO DE HIDROGEOLOGÍA		Código	TESIS
		Edición	N° 001
ENSAYO INSITU POR INFILTRACIÓN "CARGA VARIABLE"		Fecha	20/07/2019

TESIS: COMPORTAMIENTO GEOLOGICO, HIDROGEOLOGICO Y GEOTECNICO DEL ÁREA PARA EL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DEL COLEGIO SAN CARLOS - BAMBAMARCA			
TESISTA		BACH. EN ING. EDGAR OMAR HERRERA FIGUEROA	
COORDENADAS DONDE SE REALIZO EL ENSAYO		N: 9 261 993 E: 773 425 COTA: 2590	
PROFUNDIDAD DE CALICATA	0.4m	PROFUNDIDAD DE HOYO	30 cm
SUELO	SUELO LIMO ARCILLOSO	IDENTIFICACION DE ENSAYO	E-001 - A1

AREA	INTERVALO DE TIEMPO (MIN)		PERDIDA DE CARGA HIDRAULICA (cm)	ALTURA PERDIDA			
LARGO (cm)	inicio	0	21.8		ALTURA PERDIDA	0.9	
10	0 a 2	2	18.6	3.2	AREA (A)	100.0	544.6
ANCHO (cm)	2 a 4	2	17.4	1.2	DISTANCIA (L)	21.8	
10	4 a 6	2	16.5	0.9	PERDIDA DE CARGA HIDRAULICA (H)	13.6	
100	6 a 8	2	15.6	0.9	VOLUMEN DRENADO (V)	92.3	
	8 a 10	2	14.85	0.75	TIEMPO (T) - (s)	120.0	
	10 a 12	2	14.1	0.75			
	12 a 14	2	13.2	0.9			
	14 a 16	2	12.5	0.7			
	16 a 18	2	11.9	0.6			
	18 a 20	2	11.4	0.5			
	20 a 22	2	10.85	0.55			
	22 a 24	2	10.3	0.55			
	24 a 26	2	9.8	0.5			
			177	12.0			
			ESPESOR DEL ESTRATO (cm)		1050		
			COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (k)		1.9E-03	cm/s	
			TRANSMISIBILIDAD (t)		2.0E+00	cm <sup>2</sup> /s	

OBSERVACIONES

**ANEXO 002 RESULTADOS DE ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS**

**Proyecto:** TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE INGENIERO GEÓLOGO: Comportamiento Geológico, Hidrogeológico y Geotécnico del área para el diseño de cimentación del colegio San Carlos - BAMBAMARCA.

**Localización:** Localidad: Barrio Maygasbamba-distrito de Bambamarca - Provincia de Hualgayoc - Departamento de Cajamarca.

**Muestra:** M1 - calicata 008 **Perforación:** cielo abierto

**Material:** Arena de coloraciones amarillentas **Profundidad de la Muestra:** 0.6m

**Para Uso:** Cimentacion del colegio San Carlos **Fecha:** julio del 2019

**HUMEDAD NATURAL : ASTM D - 2216**

LATA	A22	A05	A30
PESO DE LATA grs	27.90	26.45	26.25
PESO DEL SUELO HUMEDO + LATA grs	218.70	219.71	180.45
PESO DEL SUELO SECO + LATA grs	204.30	205.08	168.85
PESO DEL AGUA grs	14.40	14.63	11.60
PESO DEL SUELO SECO grs	176.40	178.63	142.60
% DE HUMEDAD	8.16	8.19	8.13
<b>PROMEDIO % DE HUMEDAD</b>	8.16		

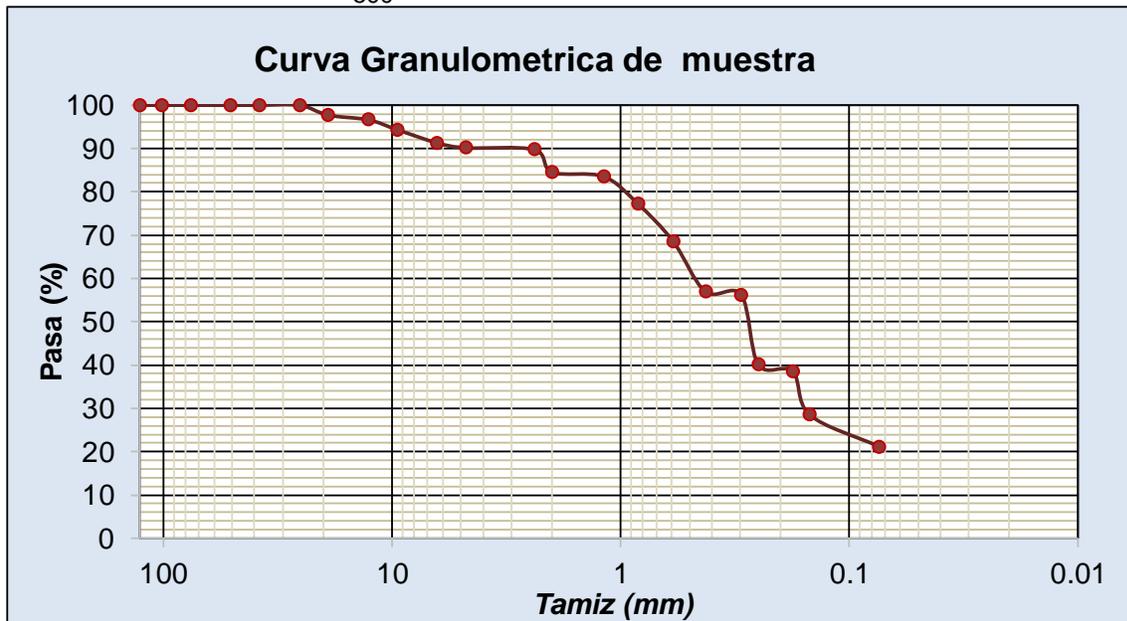
**DENSIDAD NATURAL**

CODIGO	D-001	D-002	D-003	
PESO DEL SUELO	1780.00	1650.00	1540.00	grs.
PESO FRASCO+AGUA	1620.00	1620.00	1620.00	grs.
PESO FRASCO+ SOBRANTE AGUA	750.00	813.00	866.00	grs.
PESO DE AGUA USADA	870.00	807.00	754.00	grs.
VOLUMEN	867.39	804.58	751.74	cm3
PESO ESPECIFICO	2.052	2.051	2.049	grs./cm3
<b>PROMEDIO</b>	2.050			<b>grs./cm3</b>

Tamices		Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulad	% Que pasa
Ø	(mm)				
5"	127.00	0.00	0.00	0.00	100.00
4"	101.60	0.00	0.00	0.00	100.00
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	11.50	2.30	2.30	97.70
1/2"	12.70	5.40	1.08	3.38	96.62
3/8"	9.53	11.30	2.26	5.64	94.36
1/4"	6.35	15.40	3.08	8.72	91.28
Nº 4	4.76	5.70	1.14	9.86	90.14
Nº 8	2.38	2.10	0.42	10.28	89.72
Nº 10	2.00	26.00	5.20	15.48	84.52
Nº 16	1.19	4.90	0.98	16.46	83.54
Nº 20	0.84	31.70	6.34	22.80	77.20
Nº 30	0.59	43.20	8.64	31.44	68.56
Nº 40	0.43	58.20	11.64	43.08	56.92
Nº 50	0.30	3.60	0.72	43.80	56.20
Nº 60	0.25	80.70	16.14	59.94	40.06
Nº 80	0.18	7.30	1.46	61.40	38.60
Nº 100	0.15	50.50	10.10	71.50	28.50
Nº 200	0.07	36.70	7.34	78.84	21.16
Fondo	0.01	105.80	21.16	100.00	0.00
PESO INICIAL		500	100.00		

Tamis (mm)	Pasa (%)
127	100
101.6	100
76.2	100
50.8	100
38.1	100
25.4	100
19.05	97.7
12.7	96.62
9.525	94.36
6.35	91.28
4.76	90.14
2.38	89.72
2	84.52
1.19	83.54
0.84	77.2
0.59	68.56
0.426	56.92
0.297	56.2
0.25	40.06
0.177	38.6
0.149	28.5
0.074	21.16
0.01	0

500



Pasa tamiz Nº 4 (5mm) %	90.14	D10 (Diámetro efectivo) (mm)	0.04
Pasa tamiz Nº 200 (0.080mm) %	21.16	Coefficiente de uniformidad (Cu)	11.66
D60 (mm)	0.47	Grado de curvatura (Cc)	1.24
D30 (mm)	0.153	CLASIFICACION	SW

**Proyecto:** TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE INGENIERO GEÓLOGO: Comportamiento Geológico, Hidrogeológico y Geotécnico del área para el diseño de cimentación del colegio San Carlos - BAMBAMARCA.

**Localización:** Localidad: Barrio Maygasbamba-distrito de Bambamarca - Provincia de Hualgayoc - Departamento de Cajamarca.

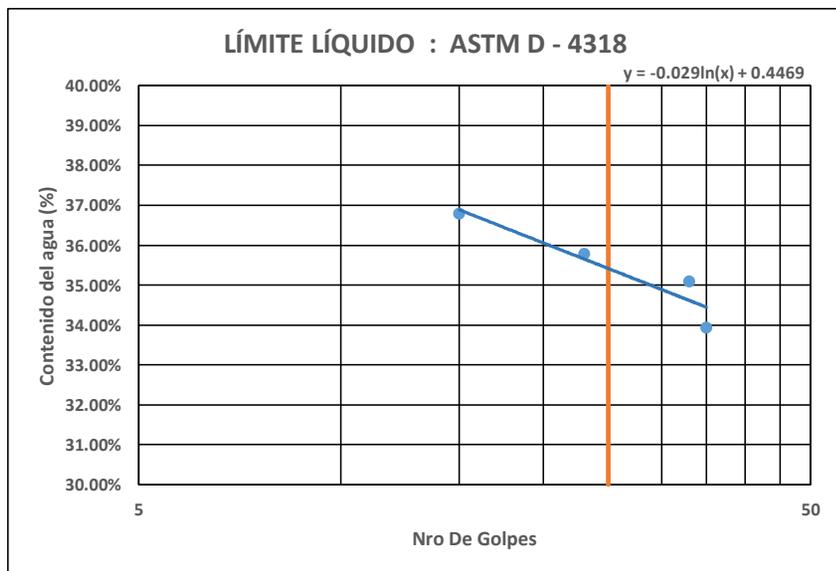
**Muestra:** M1 - calicata 008 **Perforación:** cielo abierto

**Material:** Arena de coloraciones amarillentas **Profundidad de la Muestra:** 0.6m

**Para Uso:** Cimentacion del colegio San Carlos **Fecha:** julio del 2019

**LÍMITE LÍQUIDO : ASTM D - 4318**

Nro De Golpes	Nro DE TARA	Wtara+ muestra humeda	Wtara+ muestra seca (g)	Masa de agua (g)	Tara (g)	Masa del suelo seco	Contenido del agua (%)
15	1	41.2	37.3	3.9	26.7	10.6	36.79%
23	M4	42.5	38.6	3.9	27.7	10.9	35.78%
33	28	42.7	38.7	4	27.3	11.4	35.09%
35	M3	41.3	37.6	3.7	26.7	10.9	33.94%



**LÍMITE PLÁSTICO : ASTM D - 4318**

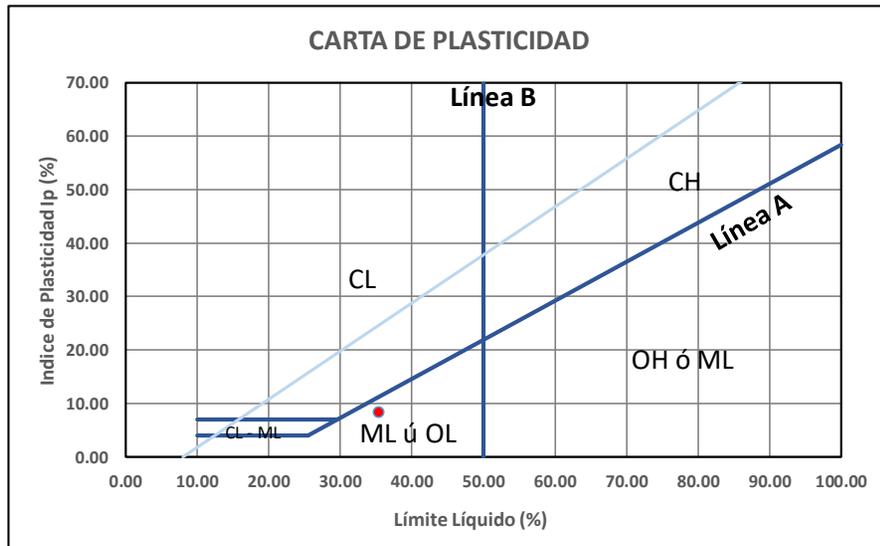
LATA	M3	M1	M5
PESO DE LATA grs	26.7	27.0	27.3
PESO DEL SUELO HUMEDO + LATA grs	41.2	32.8	33.6
PESO DEL SUELO SECO + LATA grs	38.2	31.6	32.2
PESO DEL AGUA grs	3.0	1.2	1.4
PESO DEL SUELO SECO grs	11.5	4.6	4.9
% DE HUMEDAD	26.1	26.1	28.6
% PROMEDIO	26.9		

LL	35.36%
LP	26.92%
IP	8.44%

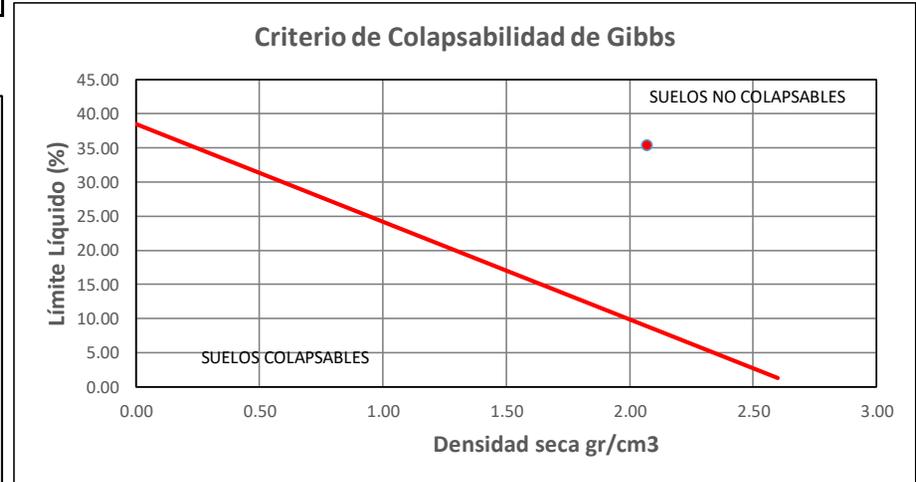
Humedad natural (%)	8.16
Contracción lineal (%)	3.96
Límite Líquido (%)	35.36
Límite Plástico (%)	26.92
Índice de Plasticidad $I_p$ (%)	8.44
Clasificación SUCS	ML ó OL
Densidad seca	2.07

Índice de consistencia $I_c$ (C.R.)	3.22
Índice de liquidez IL	-2.22
Índice de compresión Cc	0.23
Contracción lineal CL (%)	3.96

Clasificación SUCS	LIMOS INORGANICOS DE BAJA PLASTICIDAD
--------------------	---------------------------------------



ML  
 Plasticidad (arcillas) o compacidad (limos): Baja:  $LL < 30$ ; Media:  $30 < LL < 50$ ; Alta:  $LL > 50$



Colapsabilidad	1.35	Suelo no Colapsable
----------------	------	---------------------

**Proyecto:** TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE INGENIERO GEÓLOGO: Comportamiento Geológico, Hidrogeológico y Geotécnico del área para el diseño de cimentación del colegio San Carlos - BAMBAMARCA.

**Localización:** Localidad: Barrio Maygasbamba-distrito de Bambamarca - Provincia de Hualgayoc - Departamento de Cajamarca.

**Muestra:** M2 - calicata 002 **Perforación:** cielo abierto

**Material:** Limo arcilloso con coloraciones marrón rojizo **Profundidad de la Muestra:** 0.8m

**Para Uso:** Cimentacion del colegio San Carlos **Fecha:** julio del 2019

### **HUMEDAD NATURAL : ASTM D - 2216**

LATA	E-01	E-38	M24
PESO DE LATA grs	26.33	27.12	27.30
PESO DEL SUELO HUMEDO + LATA grs	178.64	240.06	219.70
PESO DEL SUELO SECO + LATA grs	161.89	216.78	198.60
PESO DEL AGUA grs	16.75	23.28	21.10
PESO DEL SUELO SECO grs	135.56	189.66	171.30
% DE HUMEDAD	12.36	12.27	12.32
<b>PROMEDIO % DE HUMEDAD</b>	12.32		

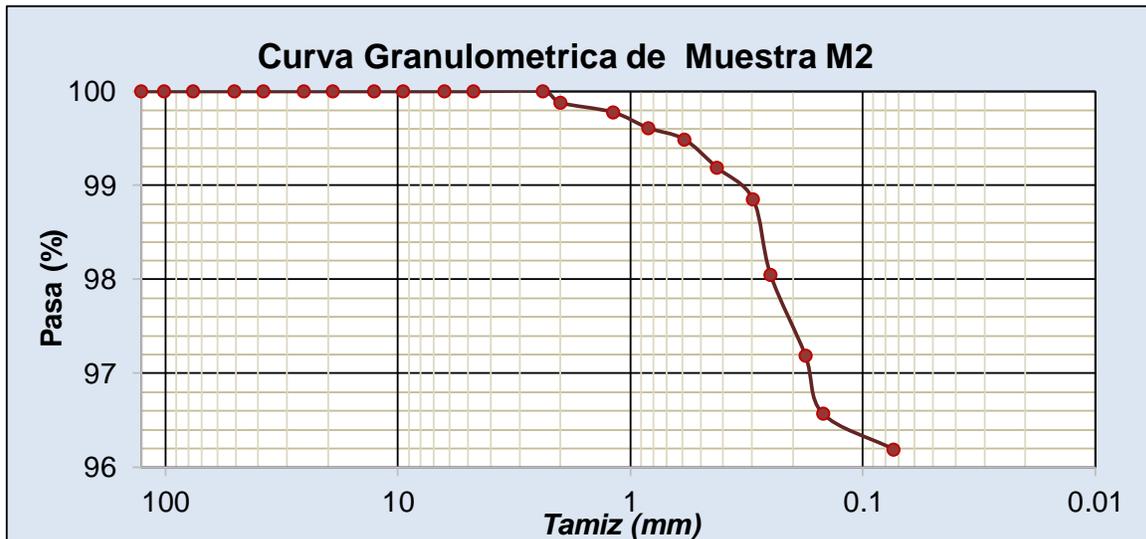
### **DENSIDAD NATURAL**

CODIGO	D-001	D-002	D-003	
PESO DEL SUELO	1806.02	1758.36	1480.21	grs.
PESO FRASCO+AGUA	1620.00	1620.00	1620.00	grs.
PESO FRASCO+ SOBRANTE AGUA	662.00	675.00	820.00	grs.
PESO DE AGUA USADA	958.00	945.00	800.00	grs.
VOLUMEN	955.13	942.17	797.60	cm3
PESO ESPECIFICO	1.891	1.866	1.856	grs./cm3
<b>PROMEDIO</b>	1.871			<b>grs./cm3</b>

Tamices		Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que pasa
Ø	(mm)				
5"	127	0.00	0.00	0.00	100
4"	101.6	0.00	0.00	0.00	100
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	0.00	100
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.7	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
1/4"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 8	2.38	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 10	2	0.60	0.12	0.12	99.88
Nº 16	1.19	0.50	0.10	0.22	99.78
Nº 20	0.84	0.84	0.17	0.39	99.61
Nº 30	0.59	0.59	0.12	0.51	99.49
Nº 40	0.426	1.50	0.30	0.81	99.19
Nº 50	0.297	1.70	0.34	1.15	98.85
Nº 60	0.25	4.00	0.80	1.95	98.05
Nº 80	0.177	4.30	0.86	2.81	97.19
Nº 100	0.149	3.10	0.62	3.43	96.57
Nº 200	0.074	1.90	0.38	3.81	96.19
Fondo	0.01	472.30	94.46	98.27	1.73
<b>PESO INICIAL</b>		500	98.27		

Tamis (mm)	Pasa (%)
127	100
101.6	100
76.2	100
50.8	100
38.1	100
25.4	100
19.05	100
12.7	100
9.525	100
6.35	100
4.76	100
2.38	100
2	99.88
1.19	99.78
0.84	99.612
0.59	99.494
0.426	99.194
0.297	98.854
0.25	98.054
0.177	97.194
0.149	96.574
0.074	96.194
0.01	1.734

491.33



Pasa tamiz Nº 4 (5mm) %	100.00	D10 (Diametro efectivo) (mm)	0.016
Pasa tamiz Nº 200 (0.080mm) %	96.19	Coeficiente de uniformidad (Cu)	3.17
D60 (mm)	0.049	Grado de curvatura (Cc)	1.10
D30 (mm)	0.029	CLASIFICACION	ML

**Proyecto:** TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE INGENIERO GEÓLOGO: Comportamiento Geológico, Hidrogeológico y Geotécnico del área para el diseño de cimentación del colegio San Carlos - BAMBAMARCA.

**Localización:** Localidad: Barrio Maygasbamba-distrito de Bambamarca - Provincia de Hualgayoc - Departamento de Cajamarca.

**Muestra:** M2 - calicata 002 **Perforación:** cielo abierto

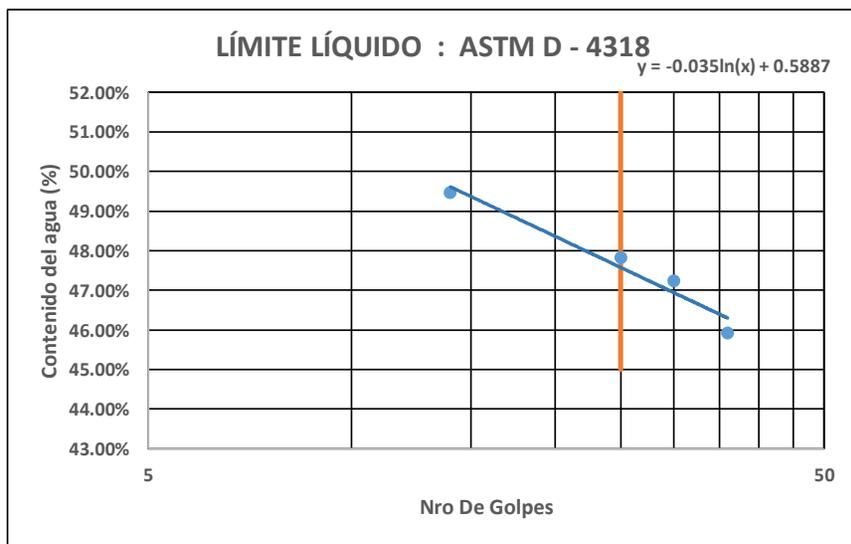
**Material:** Limo arcilloso con coloraciones marrón rojizo **Profundidad de la Muestra:** 0.8m

**Para Uso:** Cimentacion del colegio San Carlos **Fecha:** julio del 2019

**LÍMITE LÍQUIDO : ASTM D - 4318**

Nro De Golpes	Nro DE TARA	Wtara+ muestra humeda (g)	Wtara+ muestra seca (g)	Masa de agua (g)	Tara (g)	Masa del suelo seco	Contenido del agua (%)
14	10	43.4	38.8	4.6	29.5	9.3	49.46%
25	34	41.6	37.2	4.4	28	9.2	47.83%
30	M2	43	37.9	5.1	27.1	10.8	47.22%
36	LL1	42.1	37.6	4.5	27.8	9.8	45.92%

3	42.1	37.6	4.5	27.8
1	41.6	37.2	4.4	28.0
2	43.0	37.9	5.1	27.1



**LÍMITE PLÁSTICO : ASTM D - 4318**

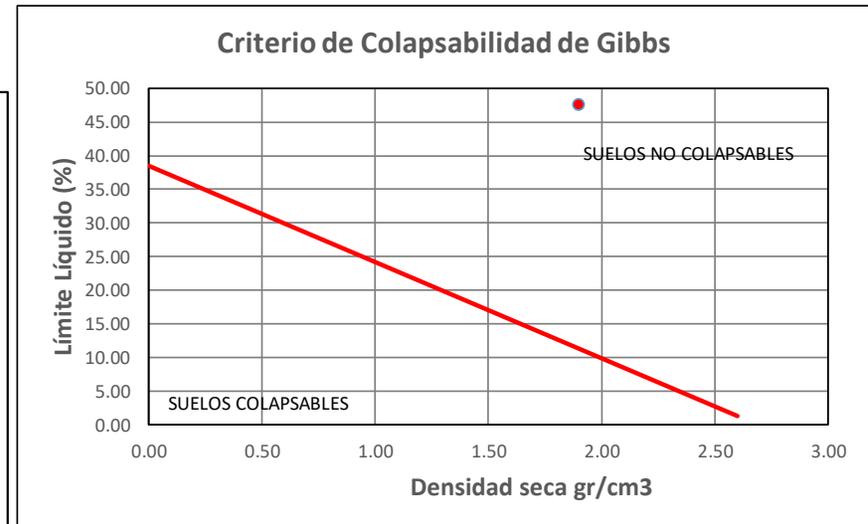
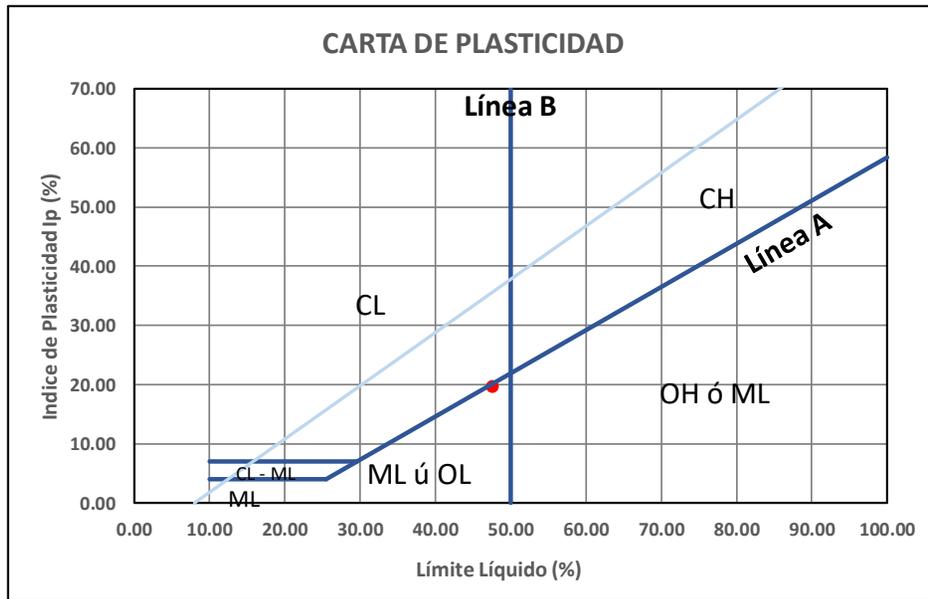
	LL2	M-02	CH5
LATA	27.1	27.1	27.6
PESO DE LATA grs	27.1	27.1	27.6
PESO DEL SUELO HUMEDO + LATA grs	43	33.2	33.3
PESO DEL SUELO SECO + LATA grs	39.6	31.9	32
PESO DEL AGUA grs	3.4	1.3	1.3
PESO DEL SUELO SECO grs	12.5	4.8	4.4
% DE HUMEDAD	27.20	27.08	29.55
% PROMEDIO	27.943		

LL	47.60%
LP	27.94%
IP	19.66%

Humedad natural (%)	12.32
Contracción lineal (%)	9.23
Límite Líquido (%)	47.60
Límite Plástico (%)	27.94
Índice de Plasticidad Ip (%)	19.66
Clasificación SUCS	ML ú OL
Densidad seca	1.90

Índice de consistencia Ic (C.R.)	1.79
Índice de liquidez IL	-0.79
Índice de compresión Cc	0.34
Contracción lineal CL (%)	9.23

Clasificación SUCS	LIMOS INORGANICOS ARCILLOSO
--------------------	-----------------------------



Colapsabilidad	1.16	Suelo no Colapsable
----------------	------	---------------------

Plasticidad (arcillas) o compacidad (limos): Baja: LL < 30; Media: 30 < LL < 50; Alta: LL > 50

**Proyecto:** TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE INGENIERO GEÓLOGO: Comportamiento Geológico, Hidrogeológico y Geotécnico del área para el diseño de cimentación del colegio San Carlos - BAMBAMARCA.

**Localización:** Localidad: Barrio Maygasbamba-districto de Bambamarca - Provincia de Hualgayoc - Departamento de Cajamarca.

**Muestra:** M3 - calicata 004 **Perforación:** cielo abierto

**Material:** Limo arcilloso de color gris y blanco **Profundidad de la Muestra:** 0.5m

**Para Uso:** Cimentacion del colegio San Carlos **Fecha:** julio del 2019

### **HUMEDAD NATURAL : ASTM D - 2216**

LATA	M11	M6	A30
PESO DE LATA grs	27.10	26.80	26.20
PESO DEL SUELO HUMEDO + LATA grs	195.65	175.22	167.40
PESO DEL SUELO SECO + LATA grs	160.71	144.40	138.10
PESO DEL AGUA grs	34.94	30.82	29.30
PESO DEL SUELO SECO grs	133.61	117.60	111.90
% DE HUMEDAD	26.15	26.21	26.18
<b>PROMEDIO % DE HUMEDAD</b>	26.18		

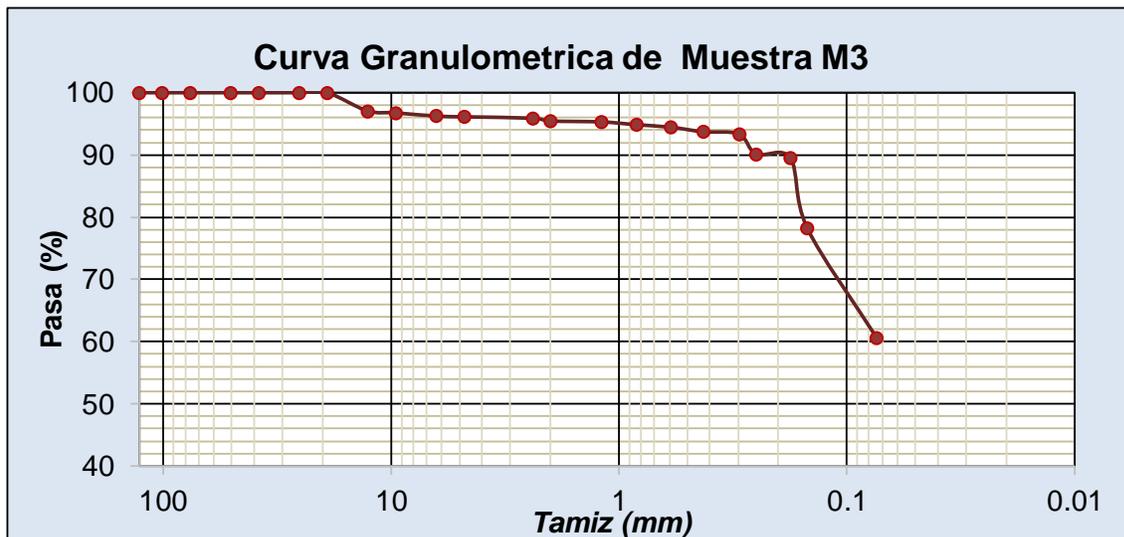
### **DENSIDAD NATURAL**

CODIGO	D-008	D-011	D-015	
PESO DEL SUELO	1218.61	1009.32	1054.62	grs.
PESO FRASCO+AGUA	1620.00	1620.00	1620.00	grs.
PESO FRASCO+ SOBRANTE AGUA	962.32	1080.65	1047.25	grs.
PESO DE AGUA USADA	657.68	539.35	572.75	grs.
VOLUMEN	655.71	537.73	571.03	cm3
PESO ESPECIFICO	1.858	1.877	1.847	grs./cm3
<b>PROMEDIO</b>	1.861			<b>grs./cm3</b>

Tamices		Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que pasa
Ø	(mm)				
5"	127	0.00	0.00	0.00	100
4"	101.6	0.00	0.00	0.00	100
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	0.00	100
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.7	14.60	2.92	2.92	97.08
3/8"	9.525	1.60	0.32	3.24	96.76
1/4"	6.35	2.60	0.52	3.76	96.24
Nº 4	4.76	0.60	0.12	3.88	96.12
Nº 8	2.38	1.10	0.22	4.10	95.90
Nº 10	2.00	2.20	0.44	4.54	95.46
Nº 16	1.19	0.80	0.16	4.70	95.30
Nº 20	0.84	2.20	0.44	5.14	94.86
Nº 30	0.59	2.10	0.42	5.56	94.44
Nº 40	0.426	3.60	0.72	6.28	93.72
Nº 50	0.297	1.90	0.38	6.66	93.34
Nº 60	0.25	16.10	3.22	9.88	90.12
Nº 80	0.177	3.10	0.62	10.50	89.50
Nº 100	0.149	56.50	11.30	21.80	78.20
Nº 200	0.074	87.90	17.58	39.38	60.62
Fondo	0.01	303.10	60.62	100.00	0.00
PESO INICIAL		500.00	100.00		

Tamis (mm)	Pasa (%)
127	100
101.6	100
76.2	100
50.8	100
38.1	100
25.4	100
19.05	100
12.7	97.08
9.525	96.76
6.35	96.24
4.76	96.12
2.38	95.9
2	95.46
1.19	95.3
0.84	94.86
0.59	94.44
0.426	93.72
0.297	93.34
0.25	90.12
0.177	89.5
0.149	78.2
0.074	60.62
0.01	0

500



Pasa tamiz Nº 4 (5mm) %	96.12	D10 (Diametro efectivo) (mm)	0.021
Pasa tamiz Nº 200 (0.080mm) %	60.62	Coefficiente de uniformidad (Cu)	3.57
D60 (mm)	0.073	Grado de curvatura (Cc)	1.15
D30 (mm)	0.042	CLASIFICACION	ML

**Proyecto:** TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE INGENIERO GEÓLOGO: Comportamiento Geológico, Hidrogeológico y Geotécnico del área para el diseño de cimentación del colegio San Carlos - BAMBAMARCA.

**Localización:** Localidad: Barrio Maygasbamba-distrito de Bambamarca - Provincia de Hualgayoc - Departamento de Cajamarca.

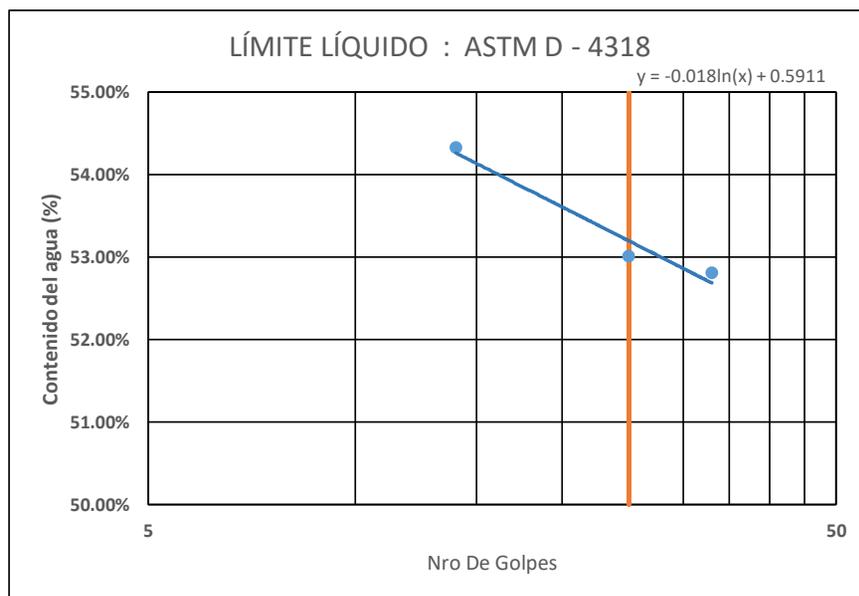
**Muestra:** M3 - calicata 004 **Perforación:** cielo abierto

**Material:** Limo arcillosa de color gris y blanco **Profundidad de la Muestra:** 0.5m

**Para Uso:** Cimentacion del colegio San Carlos **Fecha:** julio del 2019

**LÍMITE LÍQUIDO : ASTM D - 4318**

Nro De Golpes	Nro DE TARA	Wtara+ muestra humeda (g)	Wtara+ muestra seca (g)	Masa de agua (g)	Tara (g)	Masa del suelo seco	Contenido del agua (%)
14	60	40.2	35.8	4.4	27.7	8.1	54.32%
25	40	40.6	36.2	4.4	27.9	8.3	53.01%
33	27	41.2	36.5	4.7	27.6	8.9	52.81%



**LÍMITE PLÁSTICO : ASTM D - 4318**

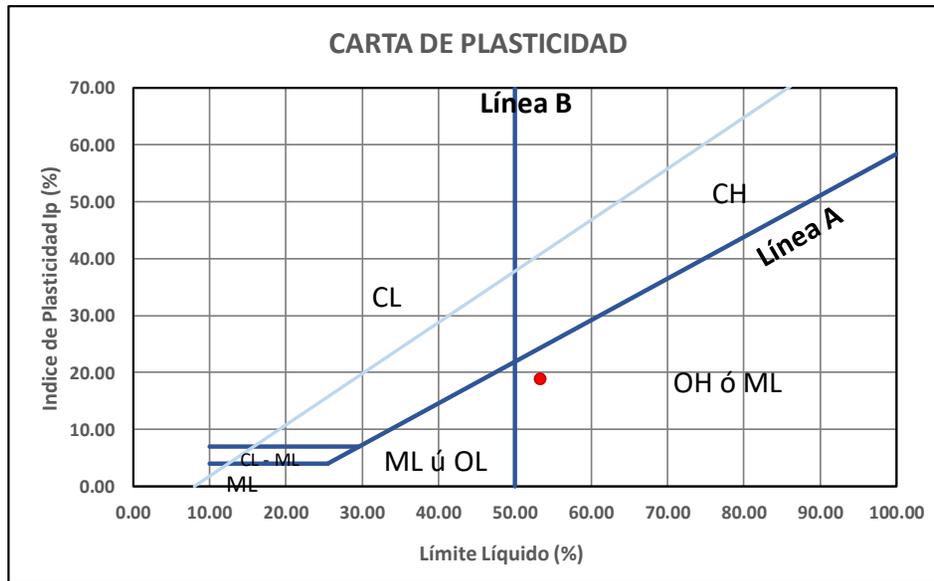
LATA	27	2	R5
PESO DE LATA grs	27.6	27.7	27.2
PESO DEL SUELO HUMEDO + LATA grs	41.2	32	33.3
PESO DEL SUELO SECO + LATA grs	37.8	30.9	31.7
PESO DEL AGUA grs	3.4	1.1	1.6
PESO DEL SUELO SECO grs	10.2	3.2	4.5
% DE HUMEDAD	33.33	34.38	35.56
% PROMEDIO	34.421		

LL	53.32%
LP	34.42%
IP	18.90%

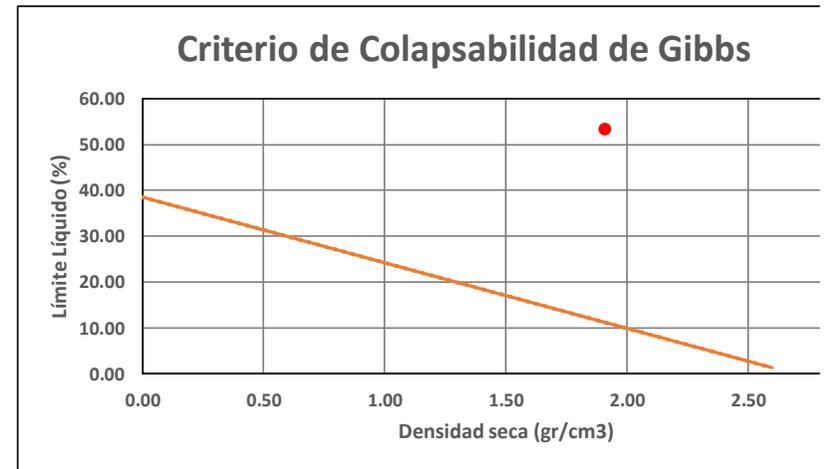
Humedad natural (%)	26.18
Contracción lineal (%)	8.87
Límite Líquido (%)	53.32
Límite Plástico (%)	34.42
Índice de Plasticidad $I_p$ (%)	18.90
Clasificación SUCS	OH ó ML
Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.91

Índice de consistencia $I_c$ (C.R.)	1.44
Índice de liquidez IL	-0.44
Índice de compresión $C_c$	0.39
Contracción lineal CL (%)	8.87

Clasificación SUCS	LIMOS INORGANICOS DE ALTA PLASTICIDAD
--------------------	---------------------------------------

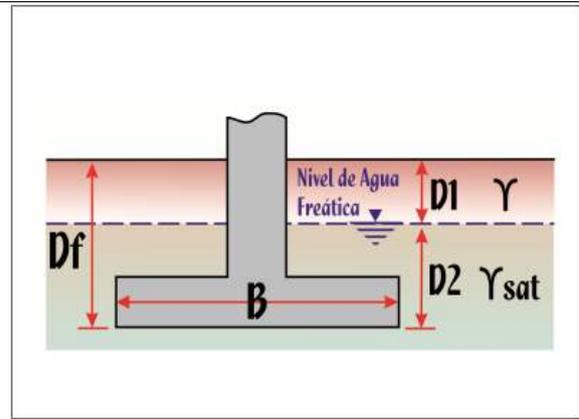
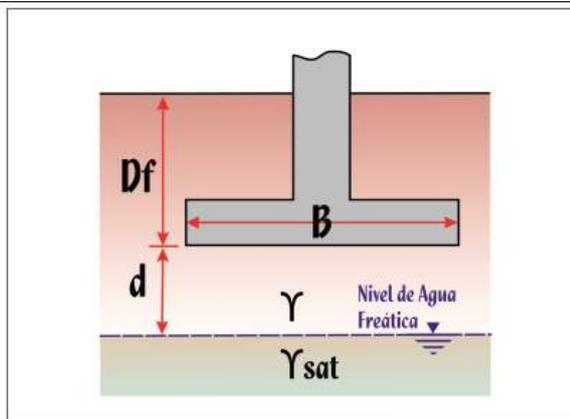


Plasticidad (arcillas) o compacidad (limos): Baja:  $LL < 30$ ; Media:  $30 < LL < 50$ ; Alta:  $LL > 50$



Colapsabilidad	1.09	Suelo no Colapsable
----------------	------	---------------------

## ANEXO 003 RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE CARGA ADMISIBLE USANDO EL SOFTWARE CSVIC



DATOS INICIALES: M1 SUCS = SM y compacidad = Media-Alta  
 Considerando una Cimentación Cuadrada y  $d > B$   
 Factor de seguridad FS: 3  
 Cohesión C: 18 KN/m<sup>2</sup>  
 Angulo de fricción  $\phi$ : 30 °  
 Angulo de inclinación  $\beta$ : 0 °  
 Densidad Y: 20.055. KN/m<sup>3</sup>  
 Ancho de Zapata B: 2 m  
 Largo de zapata L: 2 m  
 Profundidad de zapata Df: 1.6 m

**Factores de Carga**

\*  $Nq = (\tan(45 + \phi/2))^2 \cdot e^{(\pi \cdot \tan(\phi))}$   
 $Nq = 18.401$   
 \*  $NY = 2 \cdot (Nq + 1) \cdot \tan(\phi)$   
 $NY = 22.402$   
 \*  $Nc = (Nq - 1) \cdot \cot(\phi)$   
 $Nc = 30.139$

**Factores de Forma**

\*  $Fcs = 1 + (B/L) \cdot (Nq/Nc)$   
 $Fcs = 1.611$   
 \*  $Fqs = 1 + (B/L) \cdot \tan(\phi)$   
 $Fqs = 1.577$   
 \*  $FYs = Fds = 1 - (0.4) \cdot (B/L)$   
 $FYs = 0.600$

**Factores de Profundidad**

Como  $Df/B \leq 1$  y  $\phi > 0$ ; Entonces:  
 \*  $Fqd = 1 + 2 \cdot \tan(\phi) \cdot (1 - \sin(\phi))^2 \cdot (Df/B)$   
 $Fqd = 1.231$   
 \*  $Fcd = Fqd - (1 - Fqd)/(Nc \cdot \tan(\phi))$   
 $Fcd = 1.244$   
 \*  $FYd = 1$   
 $FYd = 1.000$

**Factores de Inclinación**

\*  $Fci = (1 - \beta/90)^2$   
 $Fci = 1.000$   
 \*  $Fqi = Fci$   
 $Fqi = 1.000$   
 \*  $FYi = (1 - \beta/\phi)$   
 $FYi = 1.000$

**Cálculo de Esfuerzo q**

\*  $q = Y \cdot Df$   
 $q = 32.088 \text{ KN/m}^2$

**Cálculo de Carga Última**

Ecuación General de Meyerhof:

\*  $qu = c \cdot Nc \cdot Fcs \cdot Fcd \cdot Fci + q \cdot Nq \cdot Fqs \cdot Fqd \cdot Fqi + (1/2) \cdot Y \cdot B \cdot NY \cdot FYs \cdot FYd \cdot FYi$   
 $qu = 2,503.018 \text{ KN/m}^2$

**Carga Admisible**

\*  $q(\text{adm}) = qu / FS$   
 $q(\text{adm}) = 834.339 \text{ KN/m}^2$

**Carga Total Bruta Admisible**

$q(\text{adm}) = 834.339 \text{ KN/m}^2$

Área de Sección = 4.000 m<sup>2</sup>

\*  $Q(\text{Amd}) = q(\text{adm}) \cdot \text{Area}$

$Q(\text{Amd}) = 3,337.358 \text{ KN}$

DATOS INICIALES:  
 Considerando una Cimentación Cuadrada y  $d > B$   
 Factor de seguridad FS: 3  
 Cohesión C: 18 KN/m<sup>2</sup>  
 Angulo de fricción  $\phi$ : 30 °  
 Angulo de inclinación  $\beta$ : 0 °  
 Densidad Y: 20.055 KN/m<sup>3</sup>  
 Ancho de Zapata B: 2 m  
 Largo de zapata L: 2 m  
 Profundidad de zapata Df: 1.6 m  
 Densidad saturada Ysat = 20.002 KN/m<sup>3</sup>  
 $D1 = 1.4 \text{ m}$   
 $D2 = 0.2 \text{ m}$

**Factores de Carga**

\*  $Nq = (\tan(45 + \phi/2))^2 \cdot e^{(\pi \cdot \tan(\phi))}$   
 $Nq = 18.401$   
 \*  $NY = 2 \cdot (Nq + 1) \cdot \tan(\phi)$   
 $NY = 22.402$   
 \*  $Nc = (Nq - 1) \cdot \cot(\phi)$   
 $Nc = 30.139$

**Factores de Forma**

\*  $Fcs = 1 + (B/L) \cdot (Nq/Nc)$   
 $Fcs = 1.611$   
 \*  $Fqs = 1 + (B/L) \cdot \tan(\phi)$   
 $Fqs = 1.577$   
 \*  $FYs = Fds = 1 - (0.4) \cdot (B/L)$   
 $FYs = 0.600$

**Factores de Profundidad**

Como  $Df/B \leq 1$  y  $\phi > 0$ ; Entonces:  
 \*  $Fqd = 1 + 2 \cdot \tan(\phi) \cdot (1 - \sin(\phi))^2 \cdot (Df/B)$   
 $Fqd = 1.231$   
 \*  $Fcd = Fqd - (1 - Fqd)/(Nc \cdot \tan(\phi))$   
 $Fcd = 1.244$   
 \*  $FYd = 1$   
 $FYd = 1.000$

**Factores de Inclinación**

\*  $Fci = (1 - \beta/90)^2$   
 $Fci = 1.000$   
 \*  $Fqi = Fci$   
 $Fqi = 1.000$   
 \*  $FYi = (1 - \beta/\phi)$   
 $FYi = 1.000$

**Cálculo de Sobrecarga Efectiva q**

\*  $Y' = Y_{\text{sat}} - \gamma_w$ ,  $\gamma_w = 9.81$   
 $Y' = 10.390 \text{ KN/m}^3$   
 \*  $q = D1 \cdot Y + D2 \cdot Y'$   
 $q = 30.155 \text{ KN/m}^2$

**Corrección por Nivel Freático**

\*  $Yf = Y'$   
 $Yf = 10.390 \text{ KN/m}^3$

**Cálculo de Carga Última**

Ecuación General de Meyerhof:

\*  $qu = c \cdot Nc \cdot Fcs \cdot Fcd \cdot Fci + q \cdot Nq \cdot Fqs \cdot Fqd \cdot Fqi + (1/2) \cdot Yf \cdot B \cdot NY \cdot FYs \cdot FYd \cdot FYi$   
 $qu = 2,304.059 \text{ KN/m}^2$

**Carga Admisible**

\*  $q(\text{adm}) = qu / FS$   
 $q(\text{adm}) = 768.020 \text{ KN/m}^2$

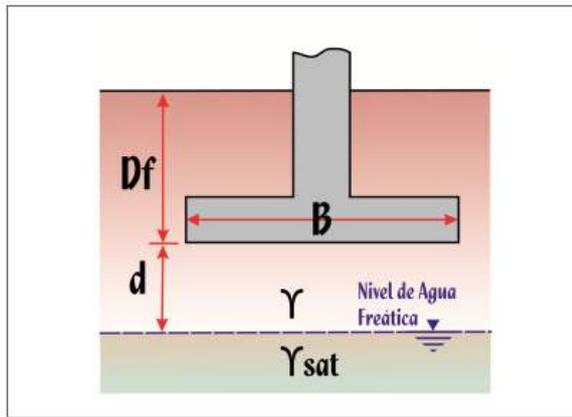
**Carga Total Bruta Admisible**

$q(\text{adm}) = 768.020 \text{ KN/m}^2$

Área de Sección = 4.000 m<sup>2</sup>

\*  $Q(\text{Amd}) = q(\text{adm}) \cdot \text{Area}$

$Q(\text{Amd}) = 3,072.079 \text{ KN}$



DATOS INICIALES: M2 SUCS = ML y compacidad = Media-baja  
Considerando una Cimentación cuadrada  $d > B$

Factor de seguridad FS: 3  
Cohesión C: 0 KN/m<sup>2</sup>  
Angulo de fricción  $\phi$ : 20 °  
Angulo de inclinación  $\beta$ : 0 °  
Densidad  $\gamma$ : 18.368 KN/m<sup>3</sup>  
Ancho de Zapata B: 2 m  
Largo de zapata L: 2 m  
Profundidad de zapata Df: 1.6 m

**Factores de Carga**

\*  $N_q = (\tan(45 + \phi/2))^2 \cdot e^{(\pi \cdot \tan(\phi))}$   
Nq = 6.399  
\*  $N_Y = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan(\phi)$   
NY = 5.386  
\*  $N_c = (N_q - 1) \cdot \cot(\phi)$   
Nc = 14.834

**Factores de Forma**

\*  $F_{cs} = 1 + (B/L) \cdot (N_q/N_c)$   
Fcs = 1.431  
\*  $F_{qs} = 1 + (B/L) \cdot \tan(\phi)$   
Fqs = 1.364  
\*  $F_{ys} = F_{ds} = 1 - (0.4) \cdot (B/L)$   
Fys = 0.600

**Factores de Profundidad**

Como  $Df/B \leq 1$  y  $\phi > 0$ ; Entonces:  
\*  $F_{qd} = 1 + 2 \cdot \tan(\phi) \cdot (1 - \sin(\phi))^2 \cdot (Df/B)$   
Fqd = 1.252  
\*  $F_{cd} = F_{qd} - (1 - F_{qd}) / (N_c \cdot \tan(\phi))$   
Fcd = 1.299  
\*  $F_{Yd} = 1$   
FYd = 1.000

**Factores de Inclinación**

\*  $F_{ci} = (1 - \beta/90)^2$   
Fci = 1.000  
\*  $F_{qi} = F_{ci}$   
Fqi = 1.000  
\*  $F_{Yi} = (1 - \beta/\phi)$   
FYi = 1.000

**Cálculo de Esfuerzo q**

\*  $q = \gamma \cdot Df$   
q = 29.408 KN/m<sup>2</sup>

**Cálculo de Carga Última**

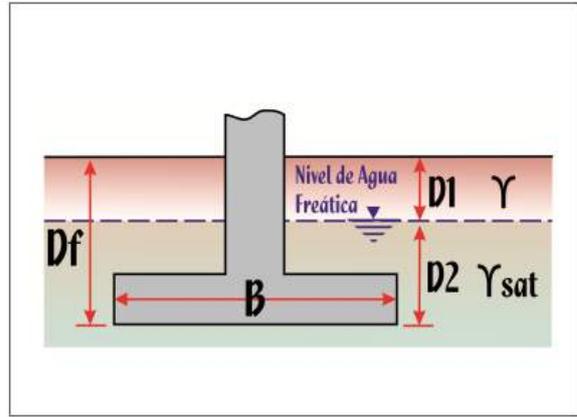
Ecuación General de Meyerhof:  
\*  $q_u = c \cdot N_c \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} + q \cdot N_q \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} + (1/2) \cdot \gamma \cdot B \cdot N_Y \cdot F_{ys} \cdot F_{Yd} \cdot F_{Yi}$   
qu = 380.760 KN/m<sup>2</sup>

**Carga Admisible**

\*  $q_{(adm)} = q_u / FS$   
q(adm) = 126.920 KN/m<sup>2</sup>

**Carga Total Bruta Admisible**

q(adm) = 126.920 KN/m<sup>2</sup>  
Área de Sección = 4.000 m<sup>2</sup>  
\*  $Q(Amd) = q_{(adm)} \cdot \text{Area}$   
Q(Amd) = 507.680 KN



DATOS INICIALES: M2 SUCS = ML y compacidad = Media-baja  
Considerando una Cimentación cuadrada  $d > B$

Factor de seguridad FS: 3  
Cohesión C: 0 KN/m<sup>2</sup>  
Angulo de fricción  $\phi$ : 20 °  
Angulo de inclinación  $\beta$ : 0 °  
Densidad  $\gamma$ : 18.368 KN/m<sup>3</sup>  
Ancho de Zapata B: 2 m  
Largo de zapata L: 2 m  
Profundidad de zapata Df: 1.6 m  
Densidad saturada  $\gamma_{sat}$  = 17.5 KN/m<sup>3</sup>  
D1 = 1.0 m  
D2 = 0.6 m

**Factores de Carga**

\*  $N_q = (\tan(45 + \phi/2))^2 \cdot e^{(\pi \cdot \tan(\phi))}$   
Nq = 6.399  
\*  $N_Y = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan(\phi)$   
NY = 5.386  
\*  $N_c = (N_q - 1) \cdot \cot(\phi)$   
Nc = 14.834

**Factores de Forma**

\*  $F_{cs} = 1 + (B/L) \cdot (N_q/N_c)$   
Fcs = 1.431  
\*  $F_{qs} = 1 + (B/L) \cdot \tan(\phi)$   
Fqs = 1.364  
\*  $F_{ys} = F_{ds} = 1 - (0.4) \cdot (B/L)$   
Fys = 0.600

**Factores de Profundidad**

Como  $Df/B \leq 1$  y  $\phi > 0$ ; Entonces:  
\*  $F_{qd} = 1 + 2 \cdot \tan(\phi) \cdot (1 - \sin(\phi))^2 \cdot (Df/B)$   
Fqd = 1.252  
\*  $F_{cd} = F_{qd} - (1 - F_{qd}) / (N_c \cdot \tan(\phi))$   
Fcd = 1.299  
\*  $F_{Yd} = 1$   
FYd = 1.000

**Factores de Inclinación**

\*  $F_{ci} = (1 - \beta/90)^2$   
Fci = 1.000  
\*  $F_{qi} = F_{ci}$   
Fqi = 1.000  
\*  $F_{Yi} = (1 - \beta/\phi)$   
FYi = 1.000

**Cálculo de Sobrecarga Efectiva q**

\*  $Y' = \gamma_{sat} - \gamma_w$ ,  $\gamma_w = 9.81$   
Y' = 7.690 KN/m<sup>3</sup>  
\*  $q = D1 \cdot Y + D2 \cdot Y'$   
q = 20.856 KN/m<sup>2</sup>

**Corrección por Nivel Freático**

\*  $Y_f = Y'$   
Yf = 7.690 KN/m<sup>3</sup>

**Cálculo de Carga Última**

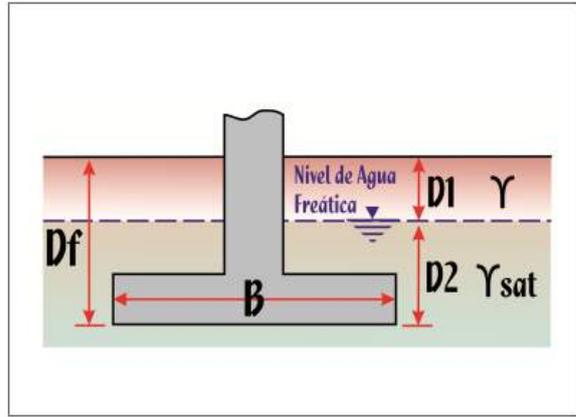
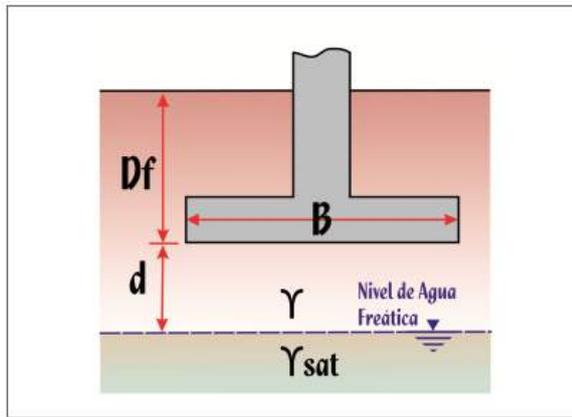
Ecuación General de Meyerhof:  
\*  $q_u = c \cdot N_c \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} + q \cdot N_q \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} + (1/2) \cdot Y_f \cdot B \cdot N_Y \cdot F_{ys} \cdot F_{Yd} \cdot F_{Yi}$   
qu = 252.760 KN/m<sup>2</sup>

**Carga Admisible**

\*  $q_{(adm)} = q_u / FS$   
q(adm) = 84.253 KN/m<sup>2</sup>

**Carga Total Bruta Admisible**

q(adm) = 84.253 KN/m<sup>2</sup>  
Área de Sección = 4.000 m<sup>2</sup>  
\*  $Q(Amd) = q_{(adm)} \cdot \text{Area}$   
Q(Amd) = 337.014 KN



DATOS INICIALES: M3 SUCS = MH y compacidad = Media-baja  
Considerando una Cimentación cuadrada  $d > B$

- Factor de seguridad FS: 3
- Cohesión C: 0 KN/m<sup>2</sup>
- Angulo de fricción  $\phi$ : 18 °
- Angulo de inclinación  $\beta$ : 0 °
- Densidad  $\gamma$ : 16.298 KN/m<sup>3</sup>
- Ancho de Zapata B: 2 m
- Largo de zapata L: 2 m
- Profundidad de zapata Df: 1.6 m

- Factores de Carga**
- \*  $N_q = (\tan(45 + \phi/2))^2 \cdot e^{(\pi \cdot \tan(\phi))}$   
Nq = 5.258
  - \*  $N_Y = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan(\phi)$   
NY = 4.067
  - \*  $N_c = (N_q - 1) \cdot \cot(\phi)$   
Nc = 13.105

- Factores de Forma**
- \*  $F_{cs} = 1 + (B/L) \cdot (N_q / N_c)$   
Fcs = 1.401
  - \*  $F_{qs} = 1 + (B/L) \cdot \tan(\phi)$   
Fqs = 1.325
  - \*  $F_{Ys} = F_{ds} = 1 - (0.4) \cdot (B/L)$   
FYs = 0.600

- Factores de Profundidad**  
Como  $Df/B \leq 1$  y  $\phi > 0$ ; Entonces:
- \*  $F_{qd} = 1 + 2 \cdot \tan(\phi) \cdot (1 - \sin(\phi))^2 \cdot (Df/B)$   
Fqd = 1.248
  - \*  $F_{cd} = F_{qd} - (1 - F_{qd}) / (N_c \cdot \tan(\phi))$   
Fcd = 1.306
  - \*  $F_{Yd} = 1$   
FYd = 1.000

- Factores de Inclinación**
- \*  $F_{ci} = (1 - \beta/90)^2$   
Fci = 1.000
  - \*  $F_{qi} = F_{ci}$   
Fqi = 1.000
  - \*  $F_{Yi} = (1 - \beta/\phi)$   
FYi = 1.000

**Cálculo de Esfuerzo q**  
\*  $q = \gamma \cdot Df$   
q = 26.077 KN/m<sup>2</sup>

**Cálculo de Carga Última**  
Ecuación General de Meyerhof:  
\*  $q_u = c \cdot N_c \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} + q \cdot N_q \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} + (1/2) \cdot \gamma \cdot B \cdot N_Y \cdot F_{Ys} \cdot F_{Yd} \cdot F_{Yi}$   
qu = 266.498 KN/m<sup>2</sup>

**Carga Admisible**  
\*  $q_{adm} = q_u / FS$   
q(adm) = 88.833 KN/m<sup>2</sup>

**Carga Total Bruta Admisible**  
q(adm) = 88.833 KN/m<sup>2</sup>  
Área de Sección = 4.000 m<sup>2</sup>  
\*  $Q(Amd) = q(adm) \cdot \text{Area}$   
Q(Amd) = 355.331 KN

DATOS INICIALES: M3 SUCS = MH y compacidad = Media-baja  
Considerando una Cimentación cuadrada  $d > B$

- Factor de seguridad FS: 3
- Cohesión C: 0 KN/m<sup>2</sup>
- Angulo de fricción  $\phi$ : 18 °
- Angulo de inclinación  $\beta$ : 0 °
- Densidad  $\gamma$ : 16.298 KN/m<sup>3</sup>
- Ancho de Zapata B: 2 m
- Largo de zapata L: 2 m
- Profundidad de zapata Df: 1.6 m
- Densidad saturada  $\gamma_{sat}$  = 15.7 KN/m<sup>3</sup>
- D1 = 0.8 m
- D2 = 0.8 m

- Factores de Carga**
- \*  $N_q = (\tan(45 + \phi/2))^2 \cdot e^{(\pi \cdot \tan(\phi))}$   
Nq = 5.258
  - \*  $N_Y = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan(\phi)$   
NY = 4.067
  - \*  $N_c = (N_q - 1) \cdot \cot(\phi)$   
Nc = 13.105

- Factores de Forma**
- \*  $F_{cs} = 1 + (B/L) \cdot (N_q / N_c)$   
Fcs = 1.401
  - \*  $F_{qs} = 1 + (B/L) \cdot \tan(\phi)$   
Fqs = 1.325
  - \*  $F_{Ys} = F_{ds} = 1 - (0.4) \cdot (B/L)$   
FYs = 0.600

- Factores de Profundidad**  
Como  $Df/B \leq 1$  y  $\phi > 0$ ; Entonces:
- \*  $F_{qd} = 1 + 2 \cdot \tan(\phi) \cdot (1 - \sin(\phi))^2 \cdot (Df/B)$   
Fqd = 1.248
  - \*  $F_{cd} = F_{qd} - (1 - F_{qd}) / (N_c \cdot \tan(\phi))$   
Fcd = 1.306
  - \*  $F_{Yd} = 1$   
FYd = 1.000

- Factores de Inclinación**
- \*  $F_{ci} = (1 - \beta/90)^2$   
Fci = 1.000
  - \*  $F_{qi} = F_{ci}$   
Fqi = 1.000
  - \*  $F_{Yi} = (1 - \beta/\phi)$   
FYi = 1.000

**Cálculo de Sobrecarga Efectiva q**  
\*  $Y' = \gamma_{sat} - \gamma_w$ ,  $\gamma_w = 9.81$   
Y' = 5.890 KN/m<sup>2</sup>  
\*  $q = D1 \cdot Y + D2 \cdot Y'$   
q = 17.750 KN/m<sup>2</sup>

**Corrección por Nivel Freático**  
\*  $Y_f = Y'$   
Yf = 5.890 KN/m<sup>2</sup>

**Cálculo de Carga Última**  
Ecuación General de Meyerhof:  
\*  $q_u = c \cdot N_c \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} + q \cdot N_q \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} + (1/2) \cdot Y_f \cdot B \cdot N_Y \cdot F_{Ys} \cdot F_{Yd} \cdot F_{Yi}$   
qu = 168.706 KN/m<sup>2</sup>

**Carga Admisible**  
\*  $q_{adm} = q_u / FS$   
q(adm) = 56.235 KN/m<sup>2</sup>  
**Carga Total Bruta Admisible**  
q(adm) = 56.235 KN/m<sup>2</sup>  
Área de Sección = 4.000 m<sup>2</sup>  
\*  $Q(Amd) = q(adm) \cdot \text{Area}$   
Q(Amd) = 224.941 KN

## ANEXO 004 CÁLCULO DE DESPLAZAMIENTO DE FALLA

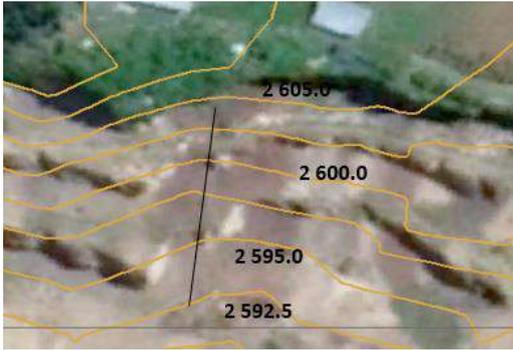
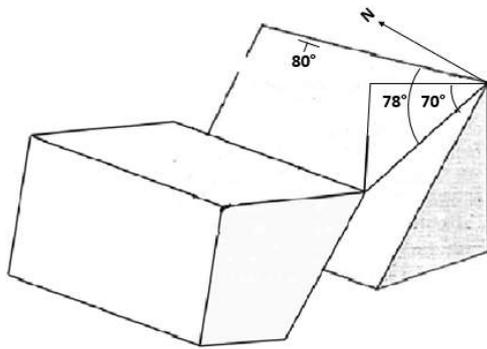


Imagen en planta del desplazamiento de falla

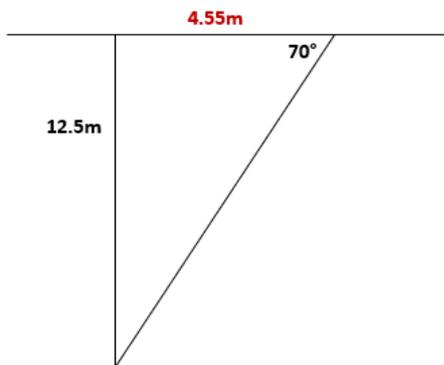


Fotografía donde se observa el desplazamiento de falla.

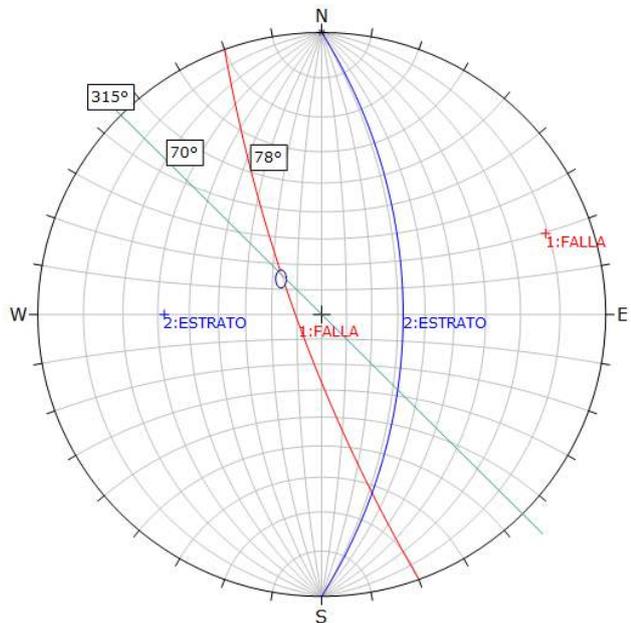


Block-diagrama de la falla.

DATOS  
 FALLA DIP  $80^\circ$  DD  $250^\circ$   
 STRIAS DE LA FALLA: PITCH  $78^\circ$   
 PLUNGE  $70^\circ$



Desplazamiento vertical: 12.5m  
 Desplazamiento horizontal 4.55m  
 Dirección de desplazamiento N  $315^\circ$



**ANEXO 005 RESULTADOS OBTENIDOS POR ING. ANGEL ZAMORA 2019 EN LA MISMA ÁREA.**

Tabla 6. 1: Límites de Atterberg, clasificación de suelos, coeficiente de permeabilidad y corte directo calculados en otro estudio con fines de estabilidad de taludes de la misma área.

**3.5. LÍMITES DE ATTERBERG.**

**3.5.1. ESTRATO AMARILLO**

Tabla 0.1. Límites de Atterberg de estrato amarillo

Límite Líquido (LL)	36.75
Límite Plástico (LP)	25.13
Índice Plástico (IP)	11.62

**3.5.2. ESTRATO PURPURA.**

Tabla 0.2. Límites de Atterberg de estrato purpura

Límite Líquido (LL)	45.31
Límite Plástico (LP)	27.88
Índice Plástico (IP)	17.43

**3.6. CLASIFICACIÓN DE SUELOS.**

Tabla 0.3. Clasificación de suelos

Estrato amarillo	SM Arena Limosa
Estrato purpura	OL Arenoso Limo Orgánico Arenoso

**3.8. COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD.**

Tabla 0.4. Coeficiente de permeabilidad (K)

Estrato Púrpura	0.0093cm/s
Estrato Amarillo	0.0088cm/s

**3.9. CORTE DIRECTO.**

Tabla 0.5. Corte directo

Parámetro	Cohesión	Ángulo de fricción interna	Ecuación
Estrato Púrpura	0 Kg/cm <sup>2</sup>	20.862°	$\tau = 0.5742 \sigma - 0.1843$
Estrato Amarillo	0.0184 Kg/cm <sup>2</sup>	29.832°	$\tau = 0.3811 \sigma + 0.0184$



Fotografía 6. 1: Contacto entre la Formación Chota y Volcánico Bambamarca.



Fotografía 6. 2: Afloramiento de agua subterránea.



Fotografía 6. 3: Remoción de masas de taludes generados por el corte hecho para la cimentación.



Fotografía 6. 4: Estructuras de sedimentación de los estratos.



Fotografía 6. 5: Falla inversa en el área de cimentación.



Fotografía 6. 6: Afloramiento de agua subterránea en calicata N° 02.



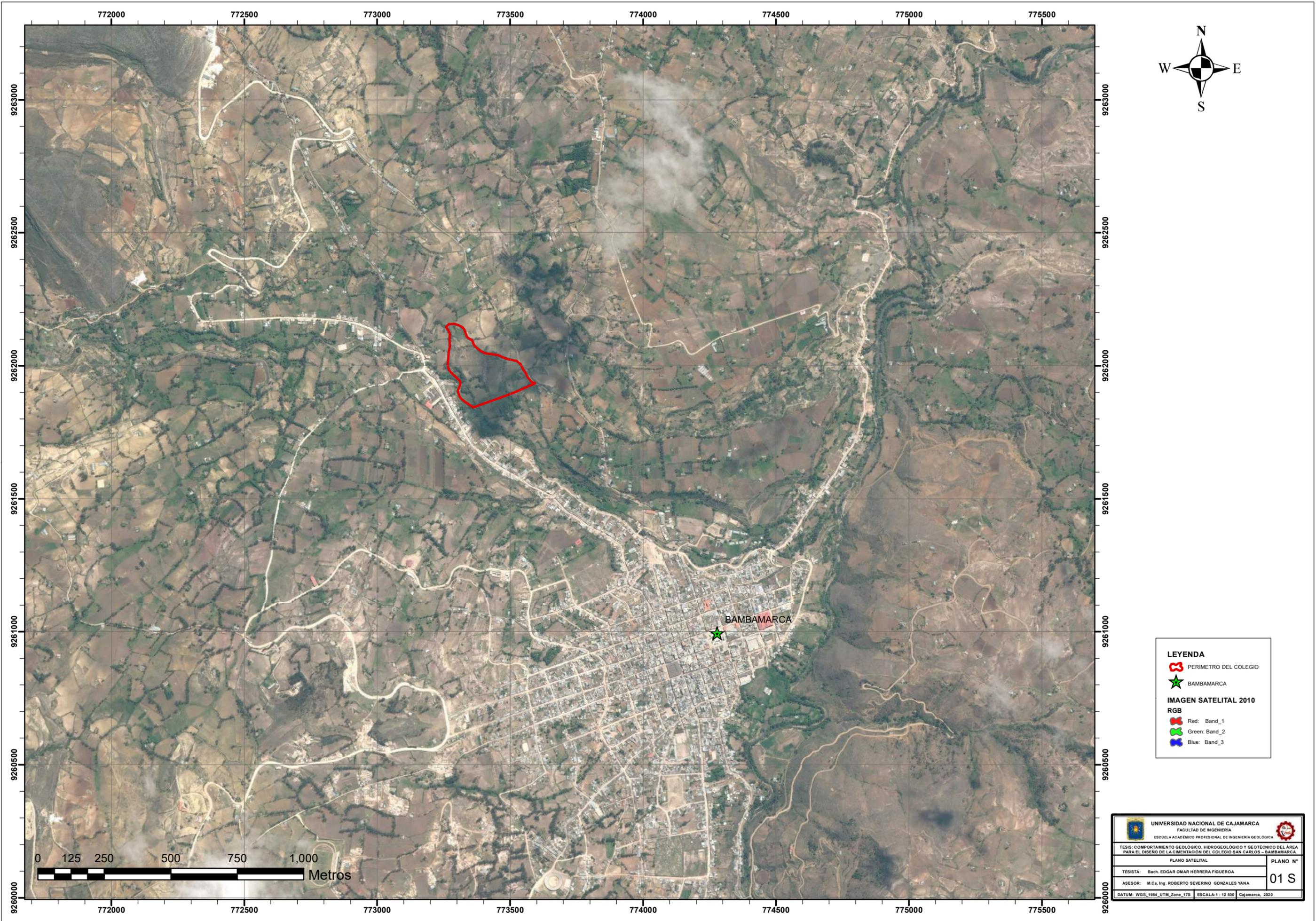
Fotografía 6. 7: Corte del área de cimentación donde aflora los estratos de la Formación Chota.



Fotografía 6. 8: Formación Chota y depósitos fluviales.

# PLANOS

- 01 PLANO SATELITAL
- 02 PLANO SATELITAL LOCAL
- 03 PLANO DE UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD
- 04 PLANO DE MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES
- 05 PLANO GEOLÓGICO REGIONAL
- 06 PLANO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL REGIONAL
- 07 PERFILES GEOLÓGICOS REGIONALES
- 08 PLANO TOPOGRÁFICO LOCAL
- 09 PLANO DE PERFILES TOPOGRÁFICOS
- 10 PLANO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL
- 11 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA
- 12 PLANO HIDROGEOLÓGICO
- 13 PLANO DE UBICACIÓN DE CALICATAS
- 14 PLANO DE ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA
- 15 PLANO DE ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICOS
- 16 PLANO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES
- 17 PLANO DE ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS
- 18 PLANO DE ANÁLISIS DE TIPOS DE CIMENTACIONES



**LEYENDA**

-  PERIMETRO DEL COLEGIO
-  BAMBAMARCA

**IMAGEN SATELITAL 2010**

**RGB**

-  Red: Band\_1
-  Green: Band\_2
-  Blue: Band\_3

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA		
TESIS: COMPORTAMIENTO GEOLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DEL ÁREA PARA EL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DEL COLEGIO SAN CARLOS - BAMBAMARCA		
PLANO SATELITAL		PLANO N°
TESISTA: Bach. EDGAR OMAR HERRERA FIGUEROA		01 S
ASESOR: M.Cs. Ing. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA		
DATUM: WGS_1984_UTM_Zone_17S	ESCALA: 1 : 12 500	Cajamarca, 2020



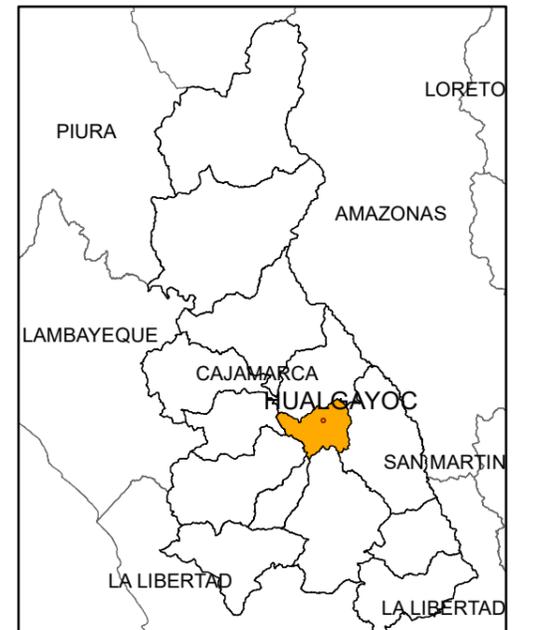
**IMAGEN SUPERIOR**  
 PERIMETRO DEL COLEGIO  
**IMAGEN SATELITAL 2010**  
**RGB**  
 Red: Band\_1  
 Green: Band\_2  
 Blue: Band\_3

**IMAGEN INFERIOR**  
 PERIMETRO DEL COLEGIO  
**IMAGEN SATELITAL 2018**  
**RGB**  
 Red: Band\_1  
 Green: Band\_2  
 Blue: Band\_3

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
TESIS: COMPORTAMIENTO GEOLOGICO, HIDROGEOLOGICO Y GEOTECNICO DEL AREA PARA EL DISEÑO DE LA CIMENTACION DEL COLEGIO SAN CARLOS - BAMBAMARCA		
PLANO SATELITAL LOCAL		PLANO N°
TESISTA: Bach. EDGAR OMAR HERRERA FIGUEROA		02-SL
ASESOR: M.Cs. Ing. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA		
DATUM: WGS_1984_UTM_Zone_17S    ESCALA: 1:2,000    Cajamarca, 2020		



DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA



ESCALA 1: 4 000 000

PROVINCIA DE HUALGAYOC

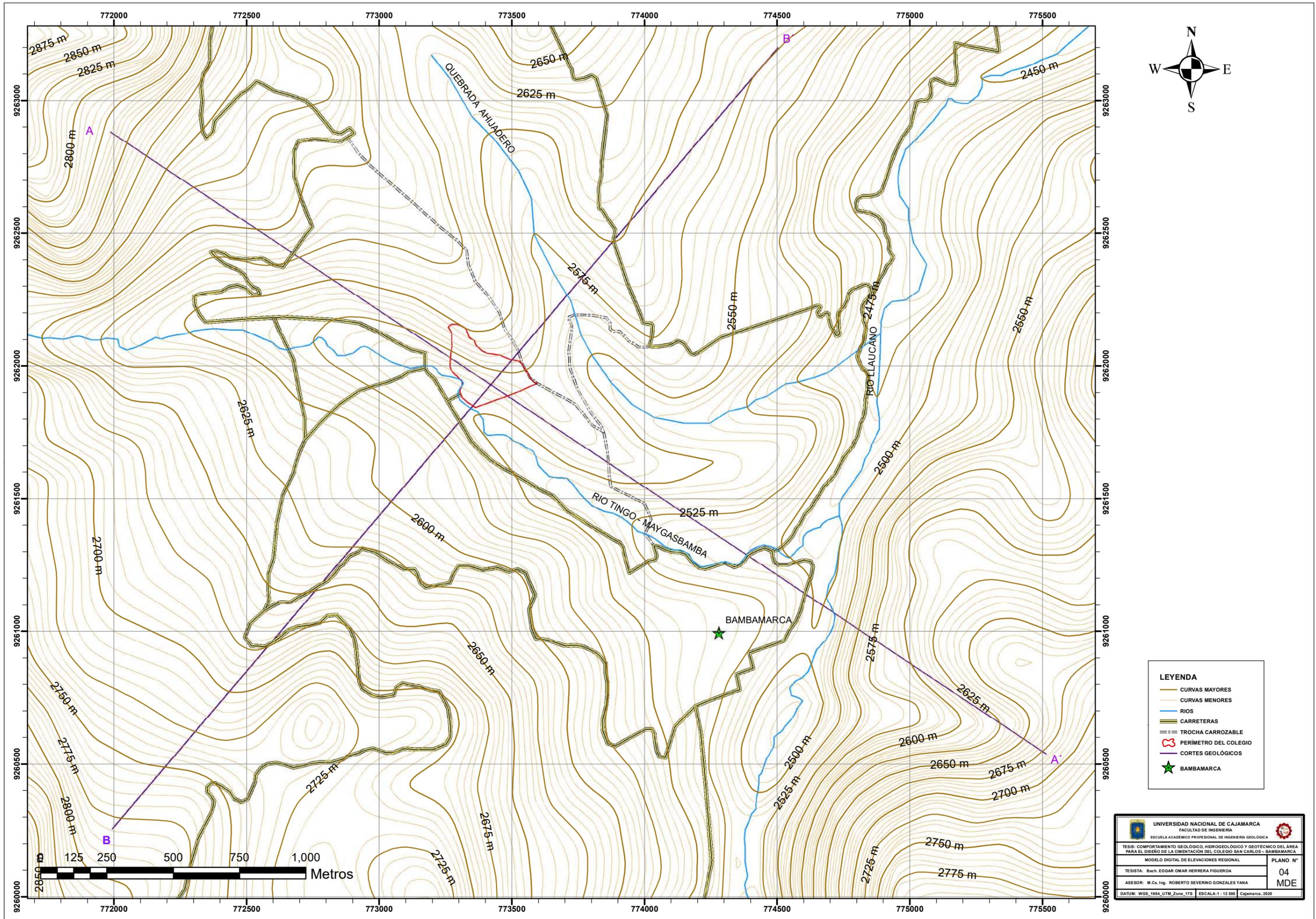


ESCALA 1: 500 000

LEYENDA

- PERÍMETRO DEL COLEGIO
- BAMBAMARCA
- CARRETERAS
- TROCHA CARROZABLE
- IMAGEN SATELITAL 2010
- RGB
- Red: Band\_1
- Green: Band\_2
- Blue: Band\_3

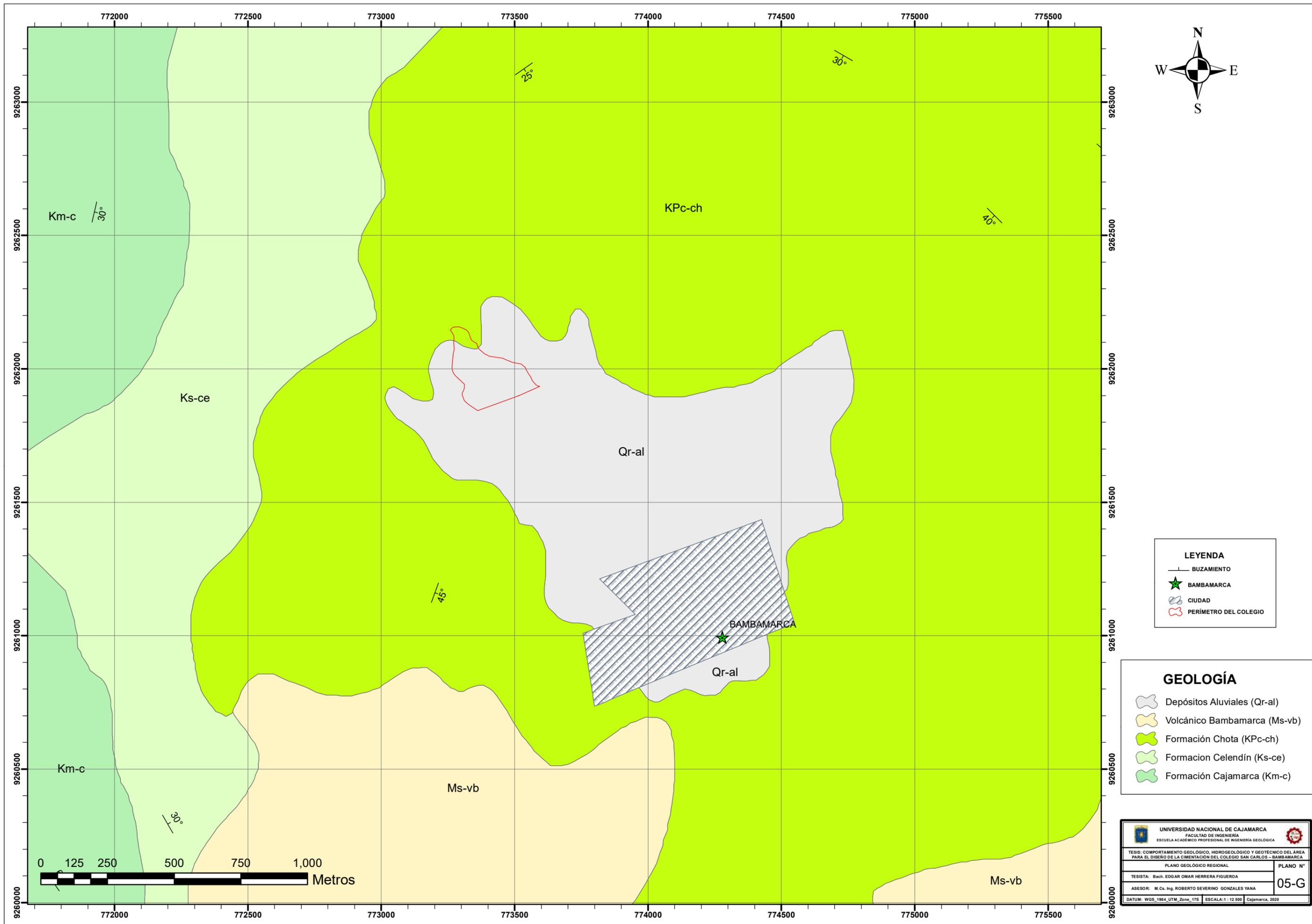
<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
TESIS: COMPORTAMIENTO GEOLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DEL ÁREA PARA EL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DEL COLEGIO SAN CARLOS - BAMBAMARCA		
PLANO DE UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD		PLANO N°
TESISISTA: Bach. EDGAR OMAR HERRERA FIGUEROA		<b>03-UA</b>
ASESOR: M.Cs. Ing. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA		
DATUM: WGS_1984_UTM_Zone_17S   ESCALA: 1 : 12 500   Cajamarca, 2020		



**LEYENDA**

- CURVAS MAYORES
- - - CURVAS MENORES
- RIOS
- CARRETERAS
- - - TROCHA CARROZABLE
- PERÍMETRO DEL COLEGIO
- CORTES GEOLÓGICOS
- ★ BAMBAMARCA

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
TESIS: COMPORTAMIENTO GEOLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DEL ÁREA PARA EL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DEL COLEGIO SAN CARLOS - BAMBAMARCA		
MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES REGIONAL		PLANO N°
TESISISTA: Bach. EDGAR OMAR HERRERA FIGUEROA		04
ASESOR: M.Cs. Ing. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA		MDE
DATUM: WGS_1984_UTM_Zone_17S		ESCALA: 1:12 500 <small>Cajamarca, 2020</small>



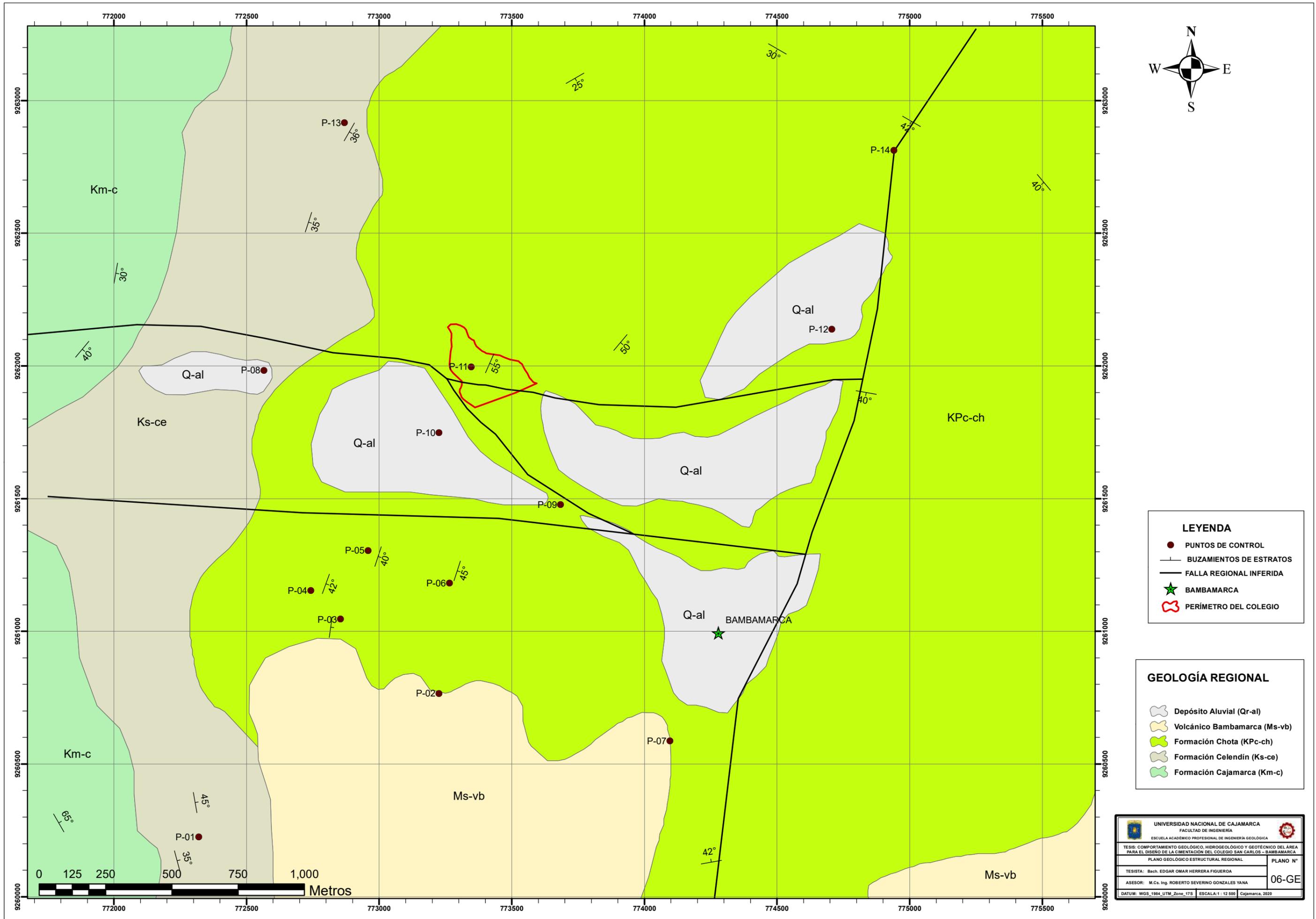
**LEYENDA**

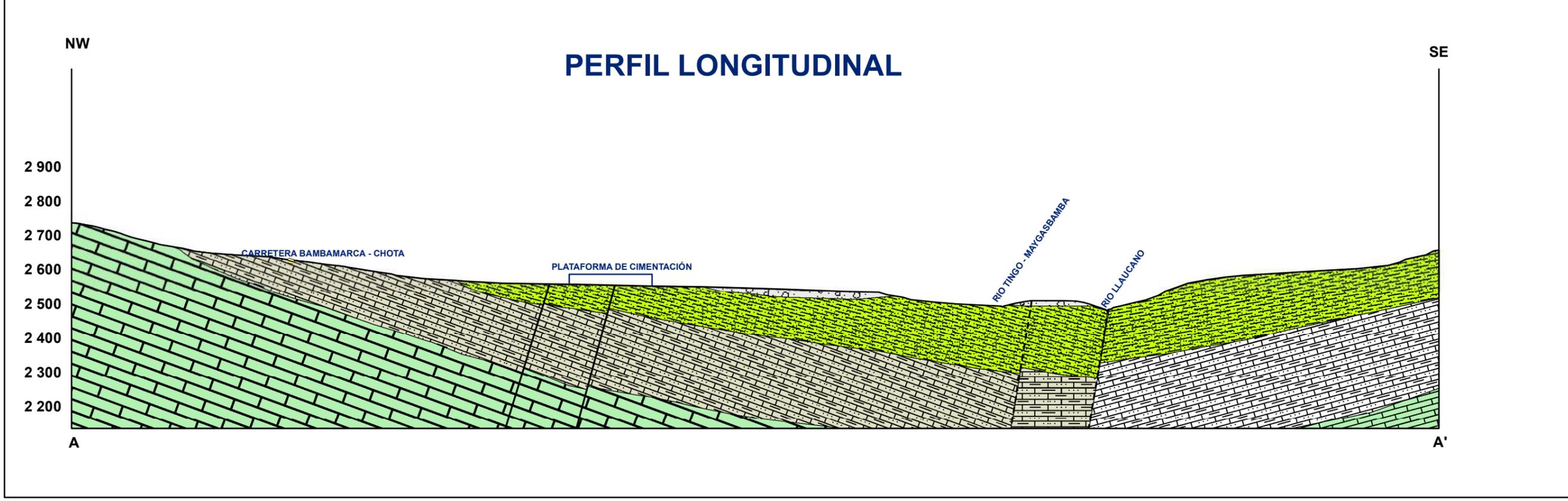
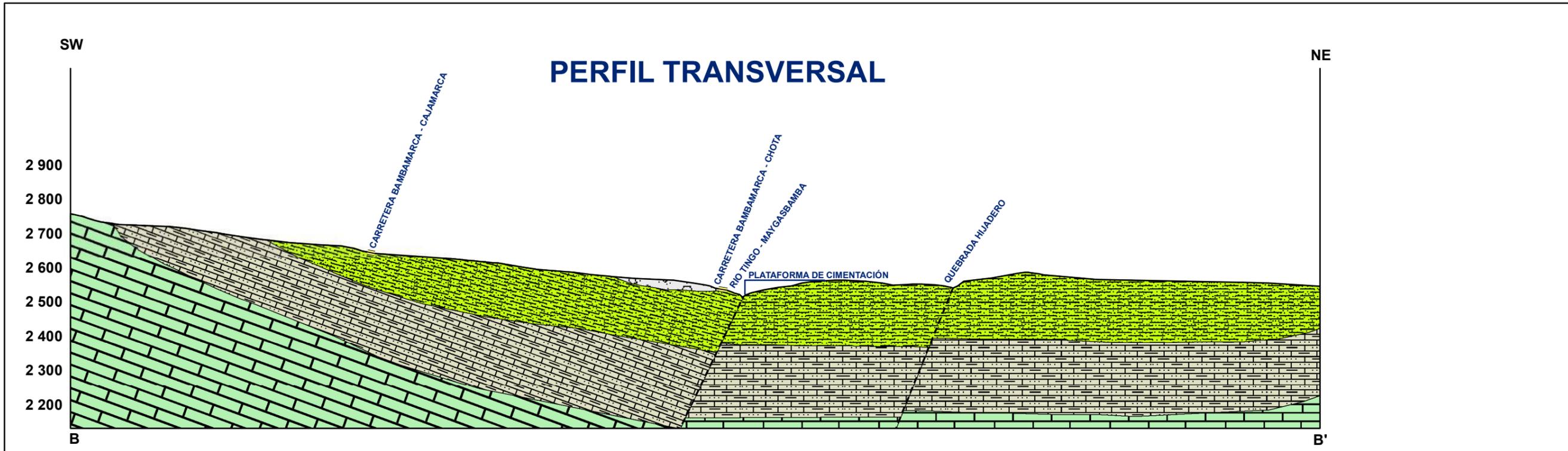
- BUZAMIENTO
- BAMBAMARCA
- CIUDAD
- PERÍMETRO DEL COLEGIO

**GEOLOGÍA**

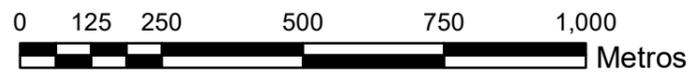
- Depósitos Aluviales (Qr-al)
- Volcánico Bambamarca (Ms-vb)
- Formación Chota (KPC-ch)
- Formación Celendín (Ks-ce)
- Formación Cajamarca (Km-c)

<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA</p>	
<p>TESIS: COMPORTAMIENTO GEOLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DEL ÁREA PARA EL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DEL COLEGIO SAN CARLOS - BAMBAMARCA</p>	
<p>PLANO GEOLÓGICO REGIONAL</p>	<p>PLANO N°</p>
<p>TESISTA: Bach. EDGAR OMAR HERRERA FIGUEROA</p>	<p>05-G</p>
<p>ASESOR: M.Cs. Ing. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA</p>	
<p>DATUM: WGS_1984_UTM_Zone_17S</p>	<p>ESCALA: 1:12 500 Cajamarca, 2020</p>





ESCALA HORIZONTAL Y VETICAL 1 : 12 500

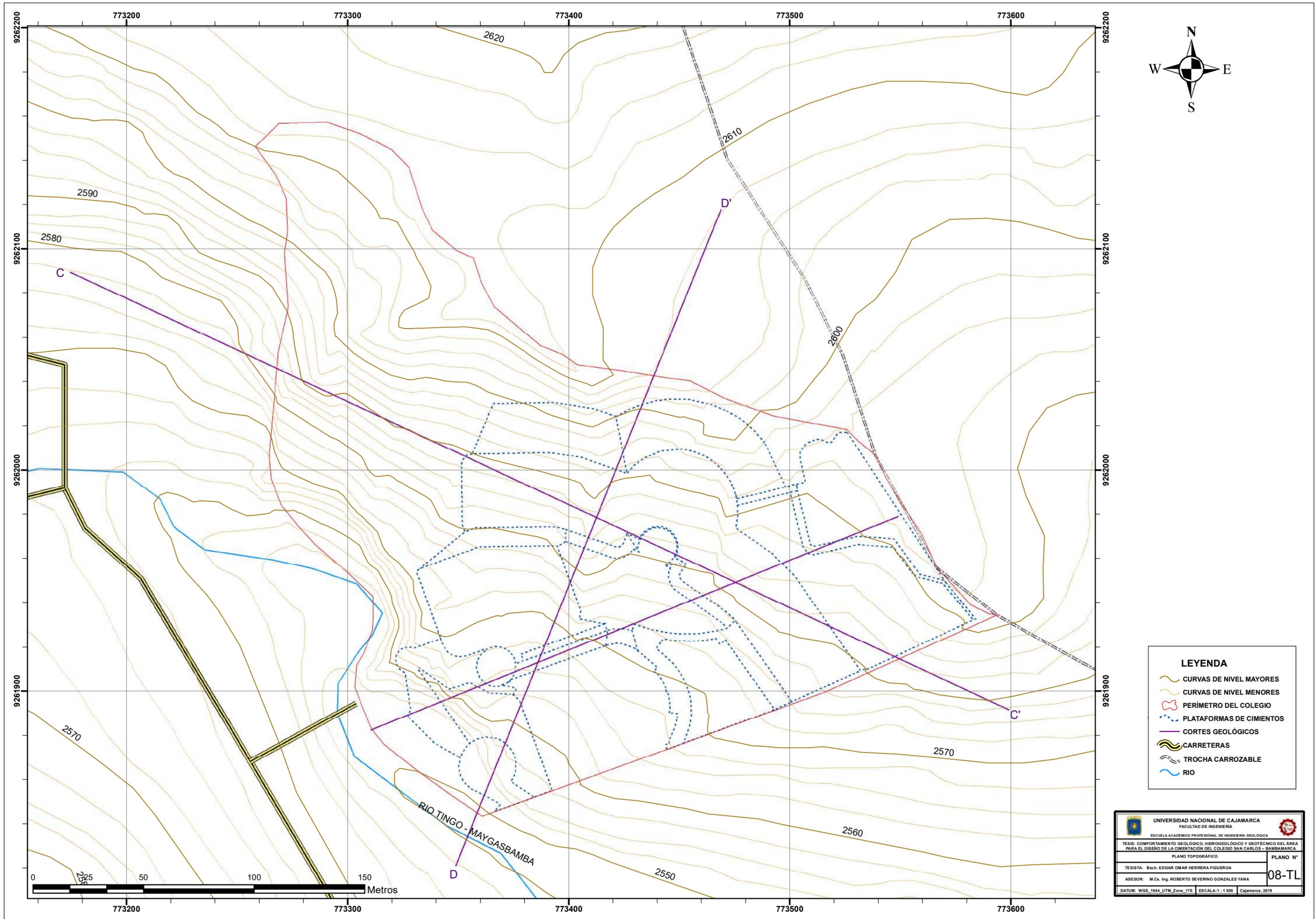


SIMBOLOGÍA	
	CLASTOS
	CALIZA
	ARCILLA
	ARENA

LEYENDA	
	VIAS
	FALLA REGIONAL INFERIDA
	FALLA REGIONAL

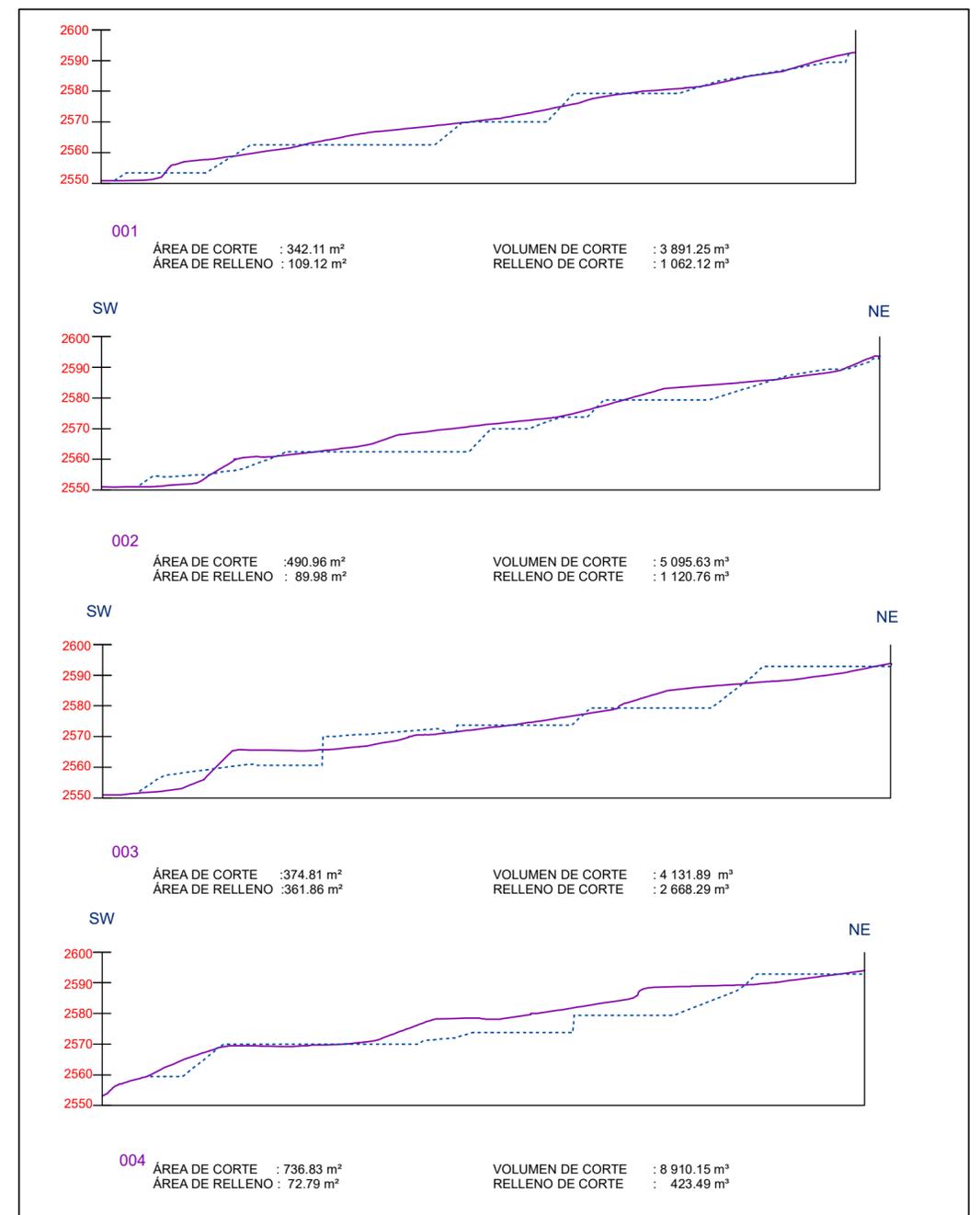
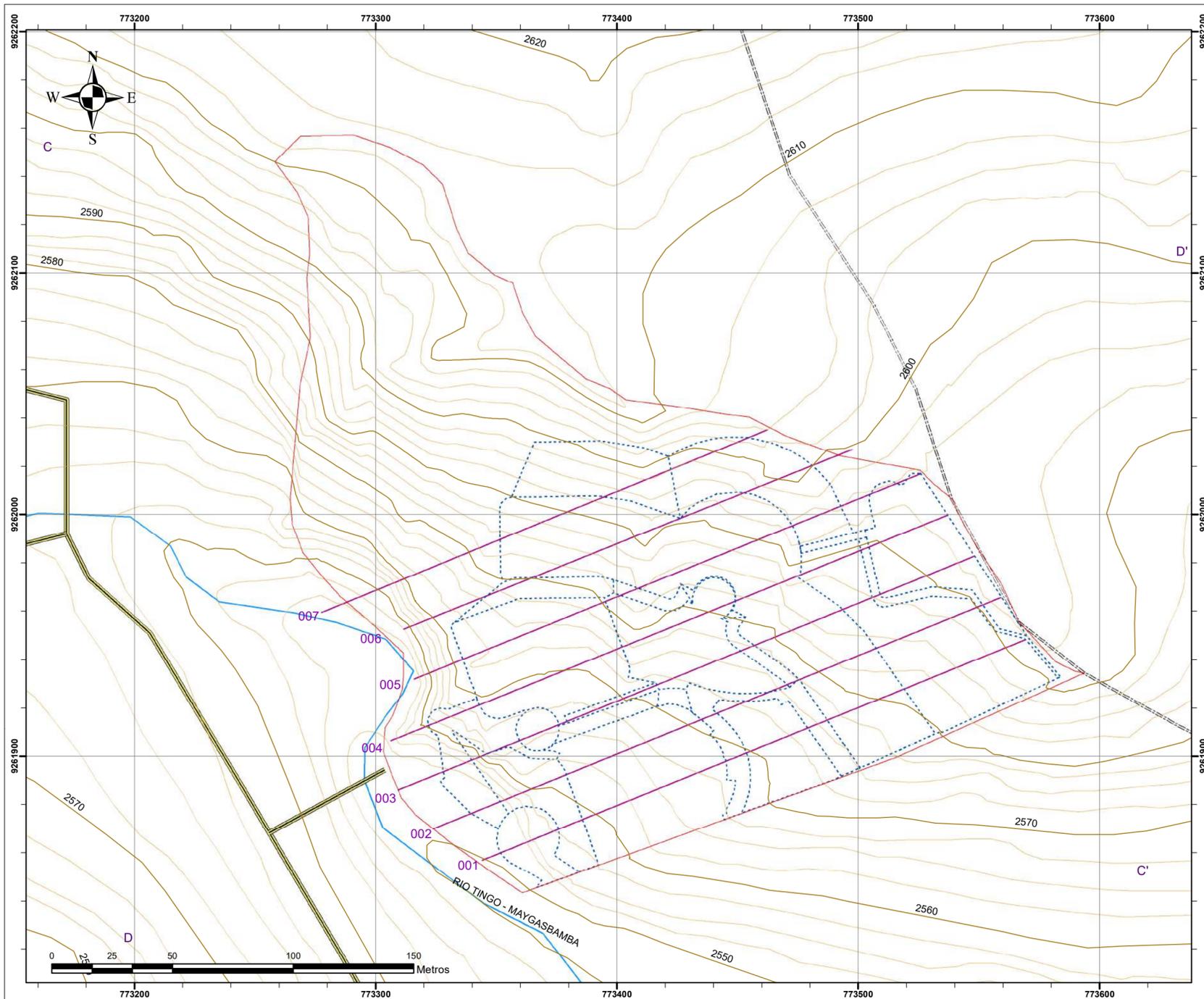
GEOLOGÍA REGIONAL	
	Depósito Aluvial (Qr-al)
	Volcánico Bamamarca (Ms-vb)
	Formación Chota (Kpc-ch)
	Formación Celendin (Ks-ce)
	Formación Cajamarca (Km-c)

<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA</p> <p style="font-size: small;">ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA</p>	
<p style="font-size: x-small;">TESIS: COMPORTAMIENTO GEOLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DEL ÁREA PARA EL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DEL COLEGIO SAN CARLOS - BAMBAMARCA</p>	
<p style="font-size: x-small;">PERFILES GEOLÓGICOS REGIONALES</p>	<p>PLANO N°</p> <p style="font-size: large; font-weight: bold;">07-P</p>
<p style="font-size: x-small;">TESISTA: Bach. EDGAR OMAR HERRERA FIGUEROA</p> <p style="font-size: x-small;">ASESOR: M.Cs. Ing. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA</p>	
DATUM: WGS_1984_UTM_Zone_17S	ESCALA: 1 : 12 500
Cajamarca, 2020	

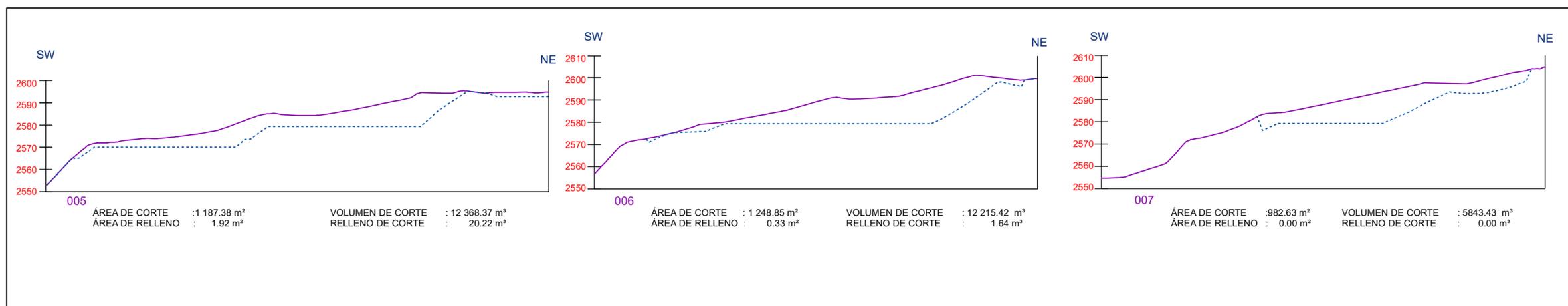


- LEYENDA**
- CURVAS DE NIVEL MAYORES
  - CURVAS DE NIVEL MENORES
  - PERIMETRO DEL COLEGIO
  - PLATAFORMAS DE CIMENTOS
  - CORTES GEOLÓGICOS
  - CARRETERAS
  - TROCHA CARROZABLE
  - RIO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA	
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA TESIS: COMPORTAMIENTO GEOLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DEL ÁREA PARA EL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DEL COLEGIO SAN CARLOS - BAMBAMARCA	
PLANO TOPOGRÁFICO	PLANO N°
TESIS: Bach. EDGAR OMAR HERRERA FIGUEROA	08-TL
ASESOR: M. Ca. Ing. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA	
DATUM: WGS_1984_UTM_Zone_17S	ESCALA: 1 : 1 500
Cajamarca, 2019	



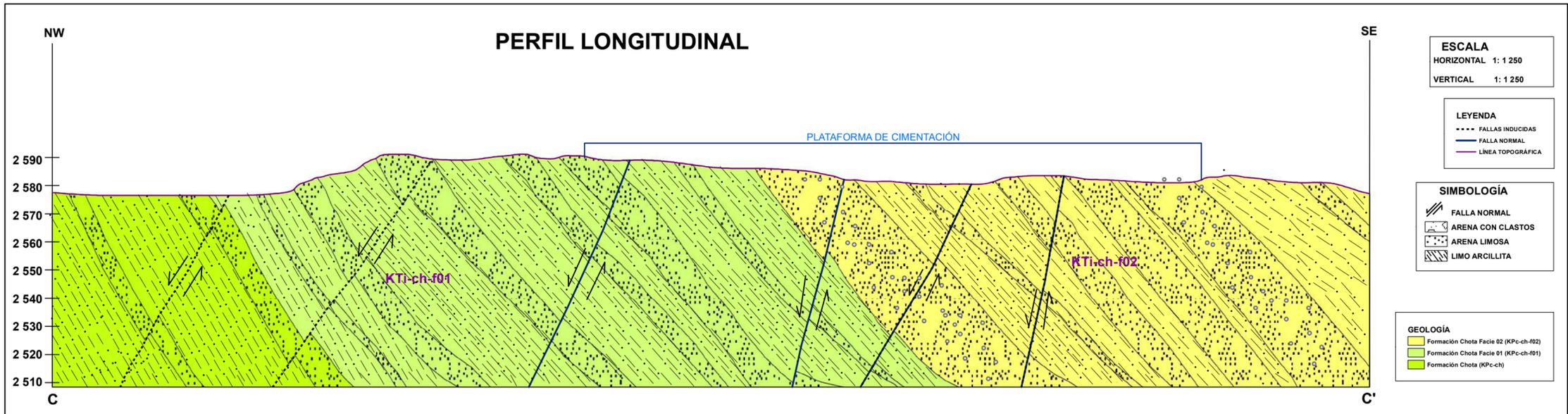
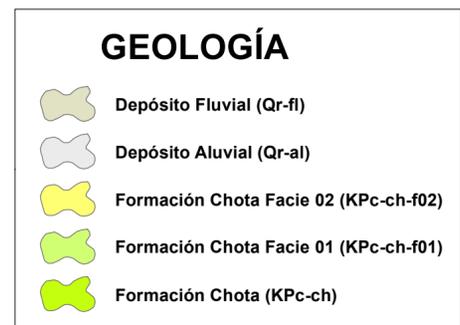
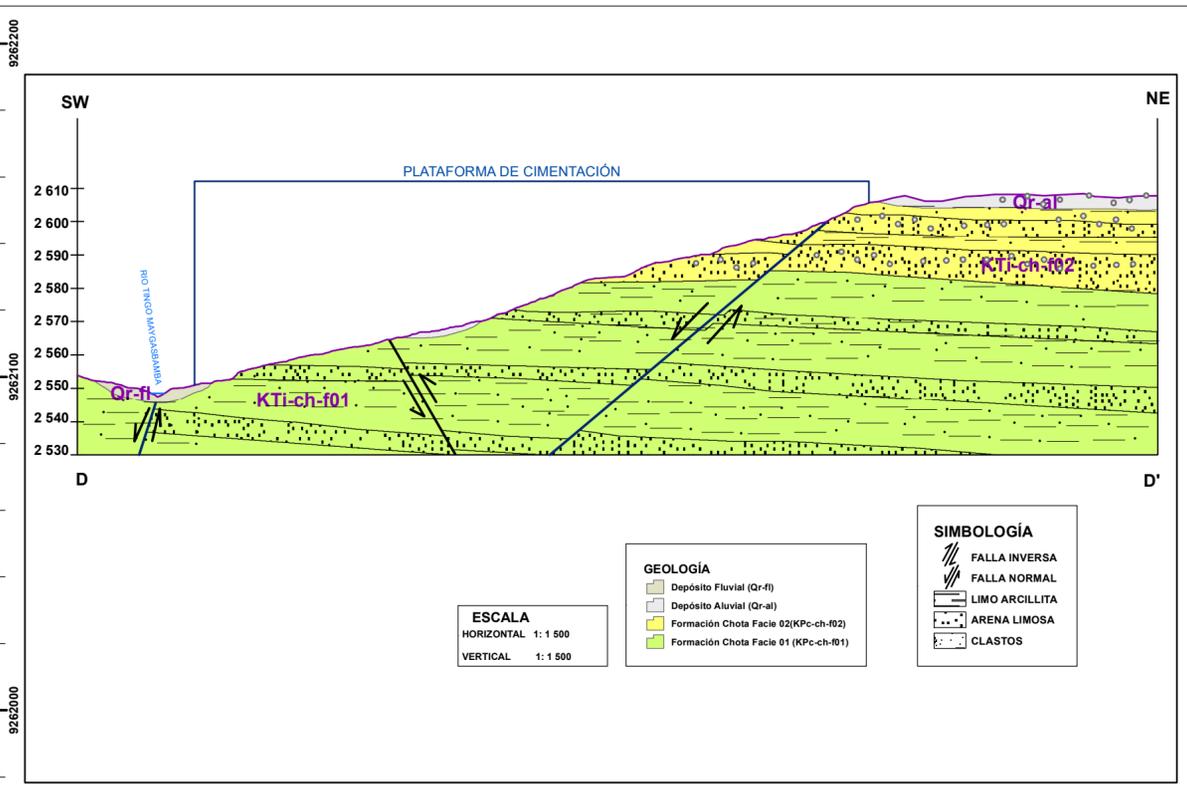
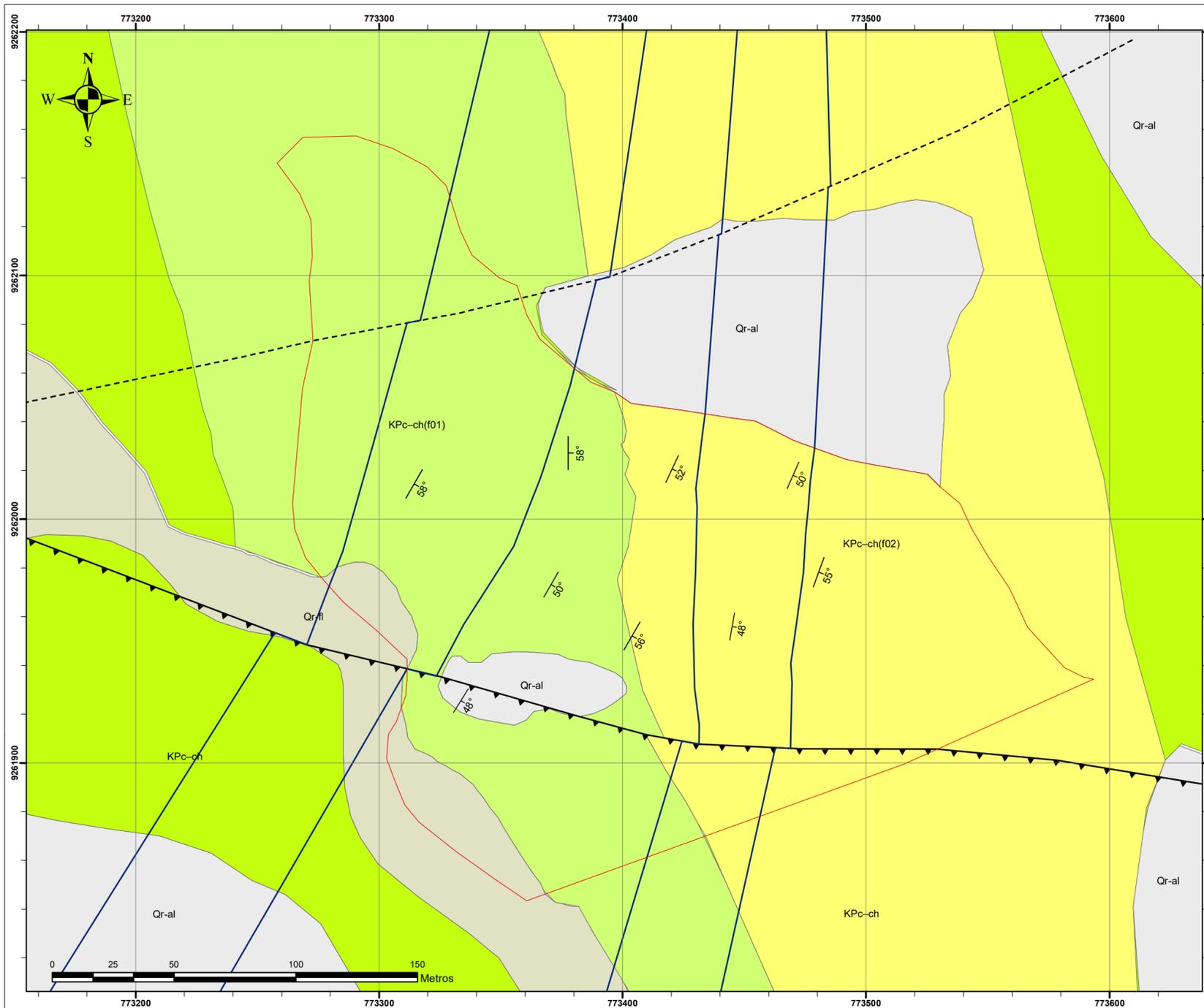
ESCALA 1 : 1 500



ESCALA 1 : 1 500

- LEYENDA**
- CURVAS DE NIVEL MAYORES
  - CURVAS DE NIVEL MENORES
  - PERÍMETRO DEL COLEGIO
  - PLATAFORMAS DE CIMENTOS
  - CARRETERAS
  - TROCHA CARROZABLE
  - RIO
  - LÍNEA TOPOGRÁFICA

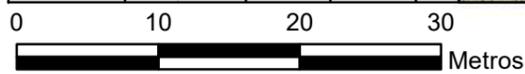
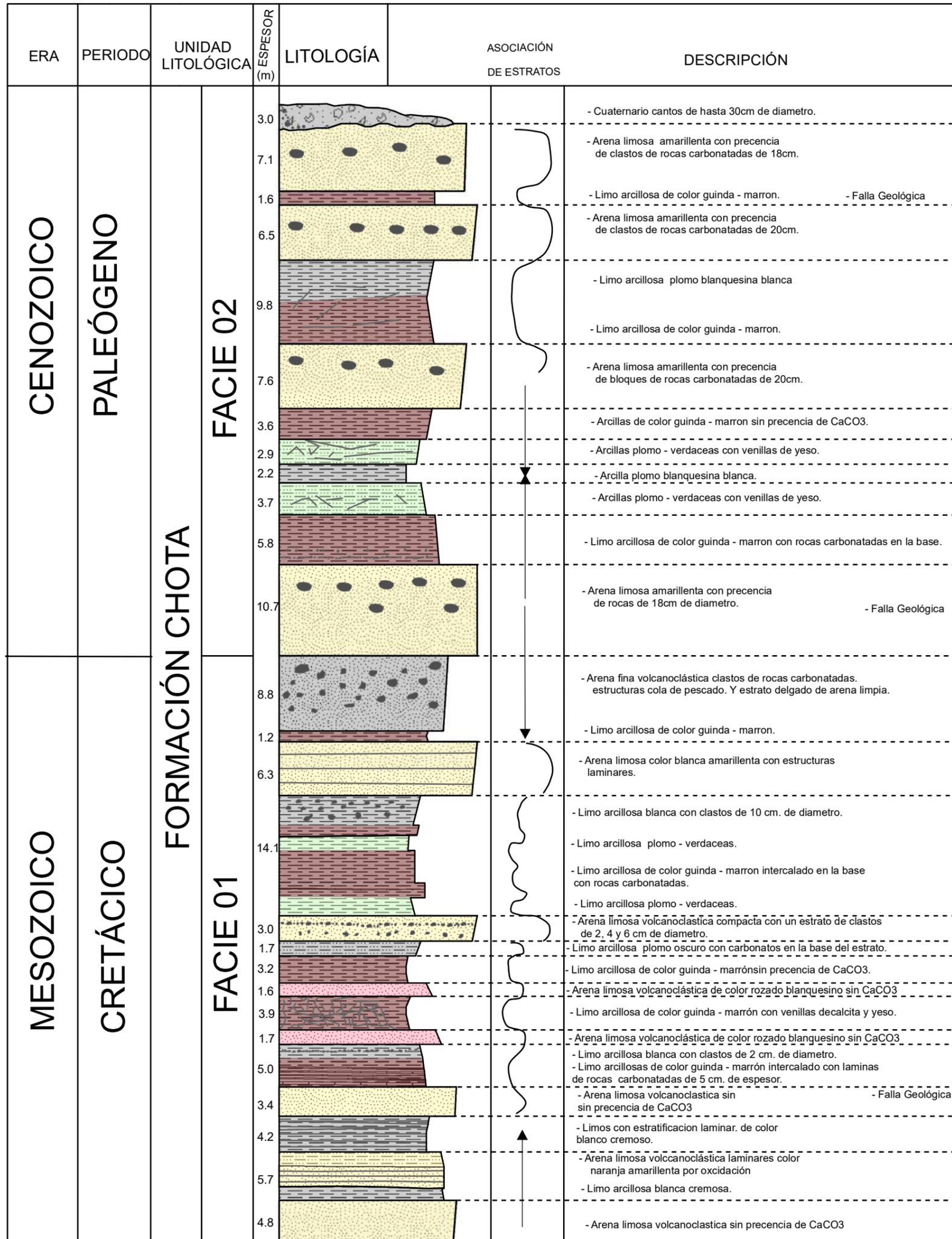
<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA</p>	
<p>ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA</p>	
<p>TESIS: COMPORTAMIENTO GEOLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DEL ÁREA PARA EL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DEL COLEGIO SAN CARLOS - BAMBAMARCA</p>	
<p>PLANO DE PERFILES TOPOGRÁFICO</p>	<p>PLANO N°</p>
<p>TESISTA: Bach. EDGAR OMAR HERRERA FIGUEROA</p>	<p>09-PT</p>
<p>ASESOR: M.Cs. Ing. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA</p>	
<p>DATUM: WGS_1984_UTM_Zone_17S ESCALA: 1 : 1 500 Cajamarca, 2020</p>	



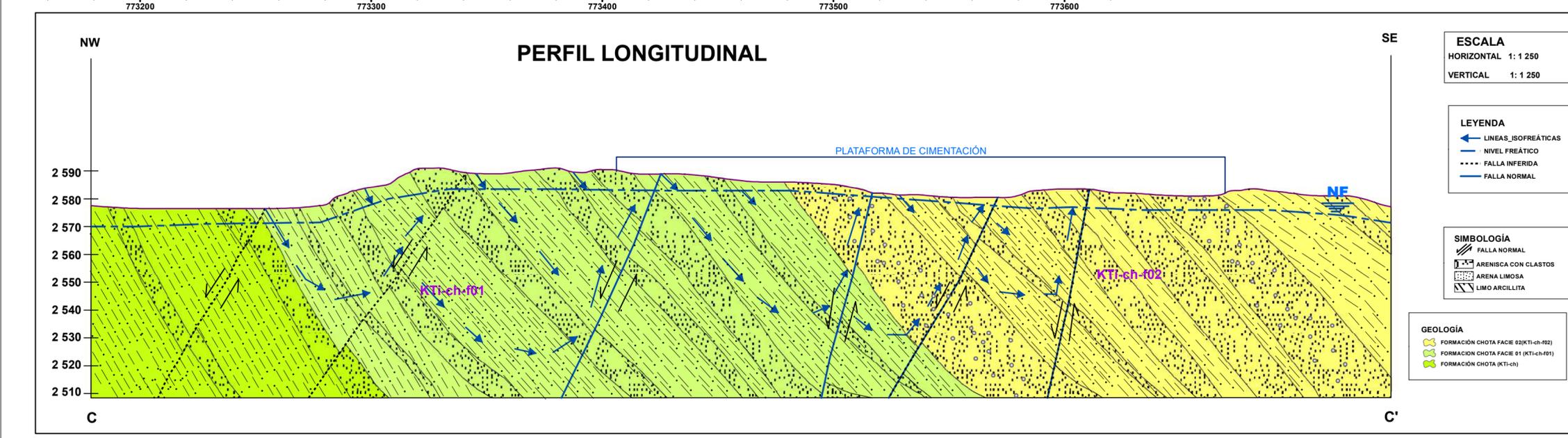
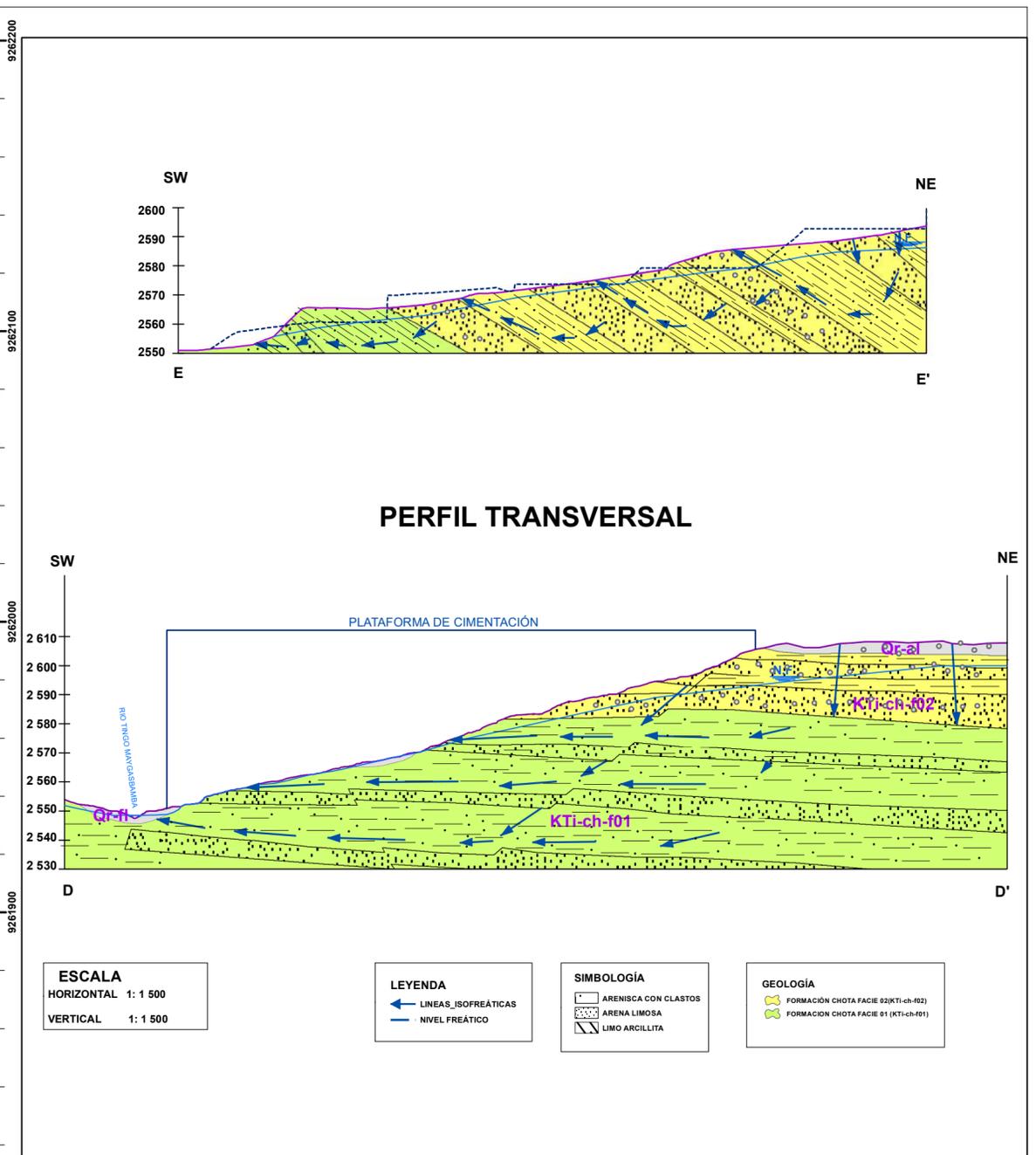
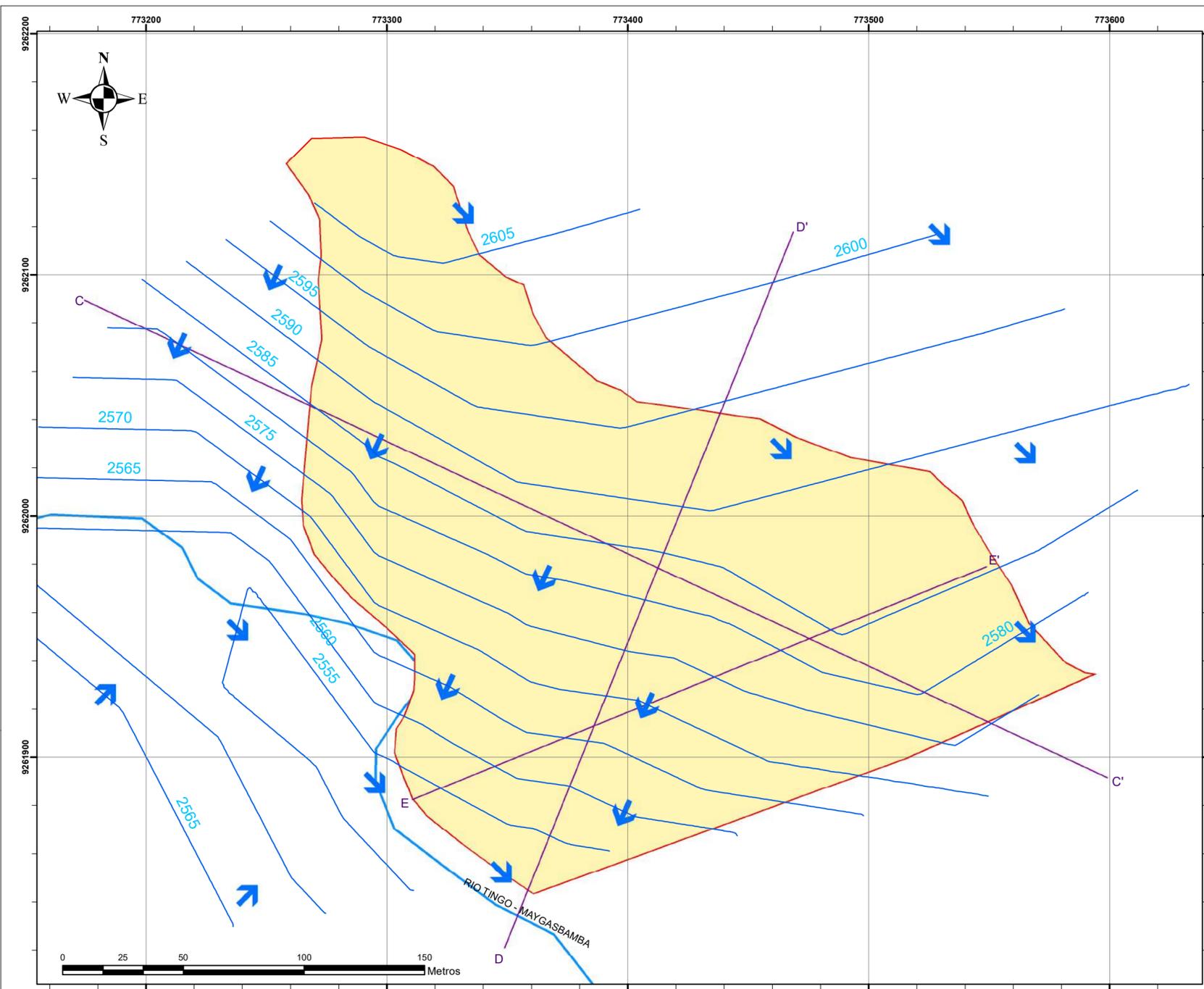
<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
TESIS: COMPORTAMIENTO GEOLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DEL ÁREA PARA EL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DEL COLEGIO SAN CARLOS - BAMBAMARCA	
PLANO GEOLOGICO - ESTRUCTURAL	
TESISTA: Bach. EDGAR OMAR HERRERA FIGUEROA	
ASESOR: M.Cs. Ing. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA	
DATUM: WGS_1984_UTM_Zone_17S   ESCALA: 1:1500   Cajamarca, 2020	

PLANO N°  
**10-GE**

# COLUMNA ESTRATIGRÁFICA



 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
TESIS: COMPORTAMIENTO GEOLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DEL ÁREA PARA EL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DEL COLEGIO SAN CARLOS - BAMBAMARCA	
COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	PLANO N°
TESISTA: Bach. EDGAR OMAR HERRERA FIGUEROA	11-Col.
ASESOR: M.Cs. Ing. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA	
DATUM: WGS_1984_UTM_Zone_17S	ESCALA: 1 : 500
Cajamarca, 2020	



**LEYENDA**  
 ← LINEAS ISOFREÁTICAS  
**DIRECCIÓN DE FLUJO**  
 CATEGORÍA  
 ↗ SW-NE  
 ↘ NW-SE  
 ↙ NE-SW  
 ⬭ PERÍMETRO DEL COLEGIO  
 — RIO

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

**TESIS: COMPORTAMIENTO GEOLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DEL ÁREA PARA EL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DEL COLEGIO SAN CARLOS - BAMBAMARCA**

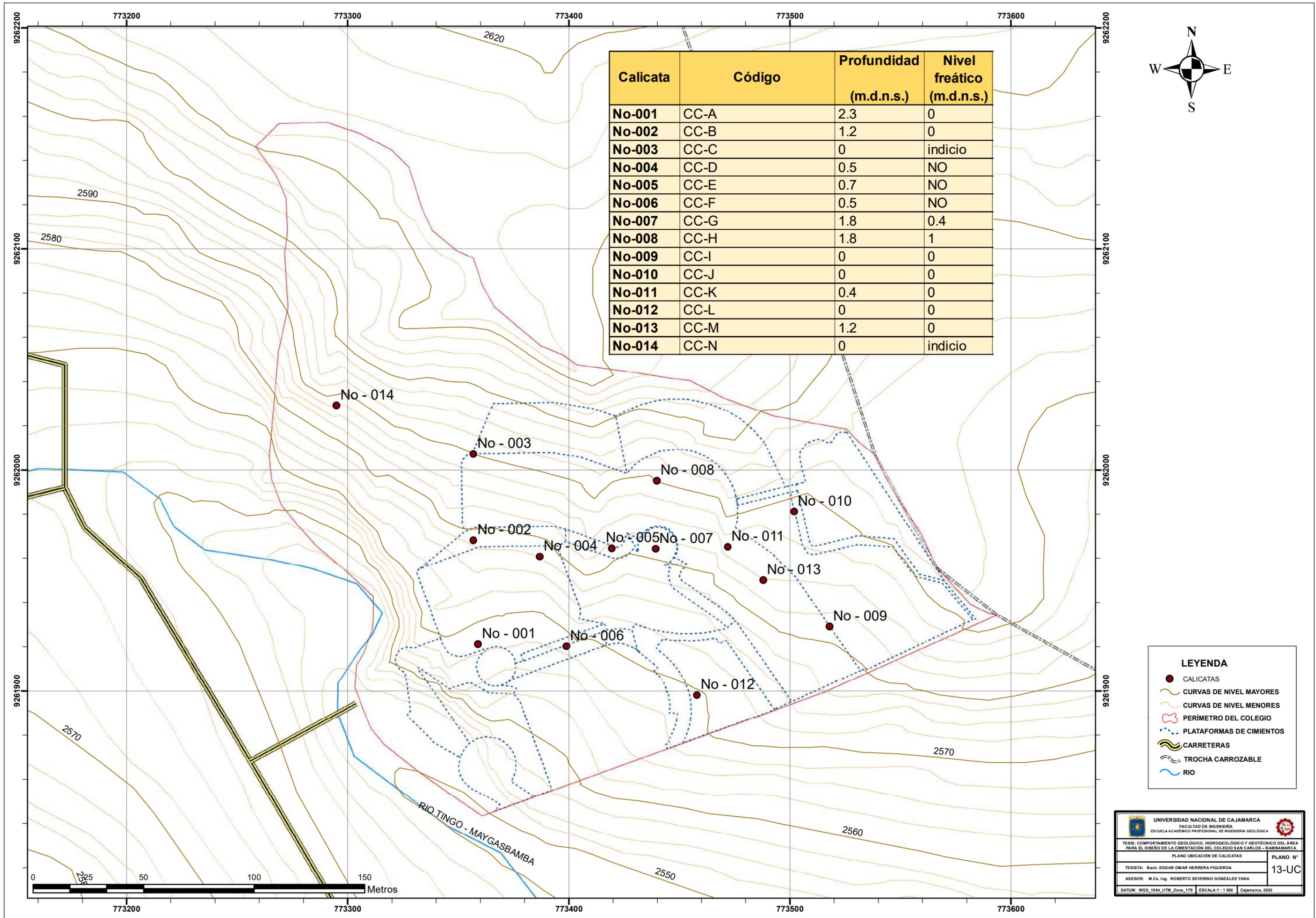
**PLANO HIDROGEOLÓGICO**

TESISTA: Bach. EDGAR OMAR HERRERA FIGUEROA

ASESOR: M.Cs. Ing. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA

**PLANO N° 12-H**

DATUM: WGS\_1984\_UTM\_Zone\_17S | ESCALA: 1 : 1 500 | Cajamarca, 2020

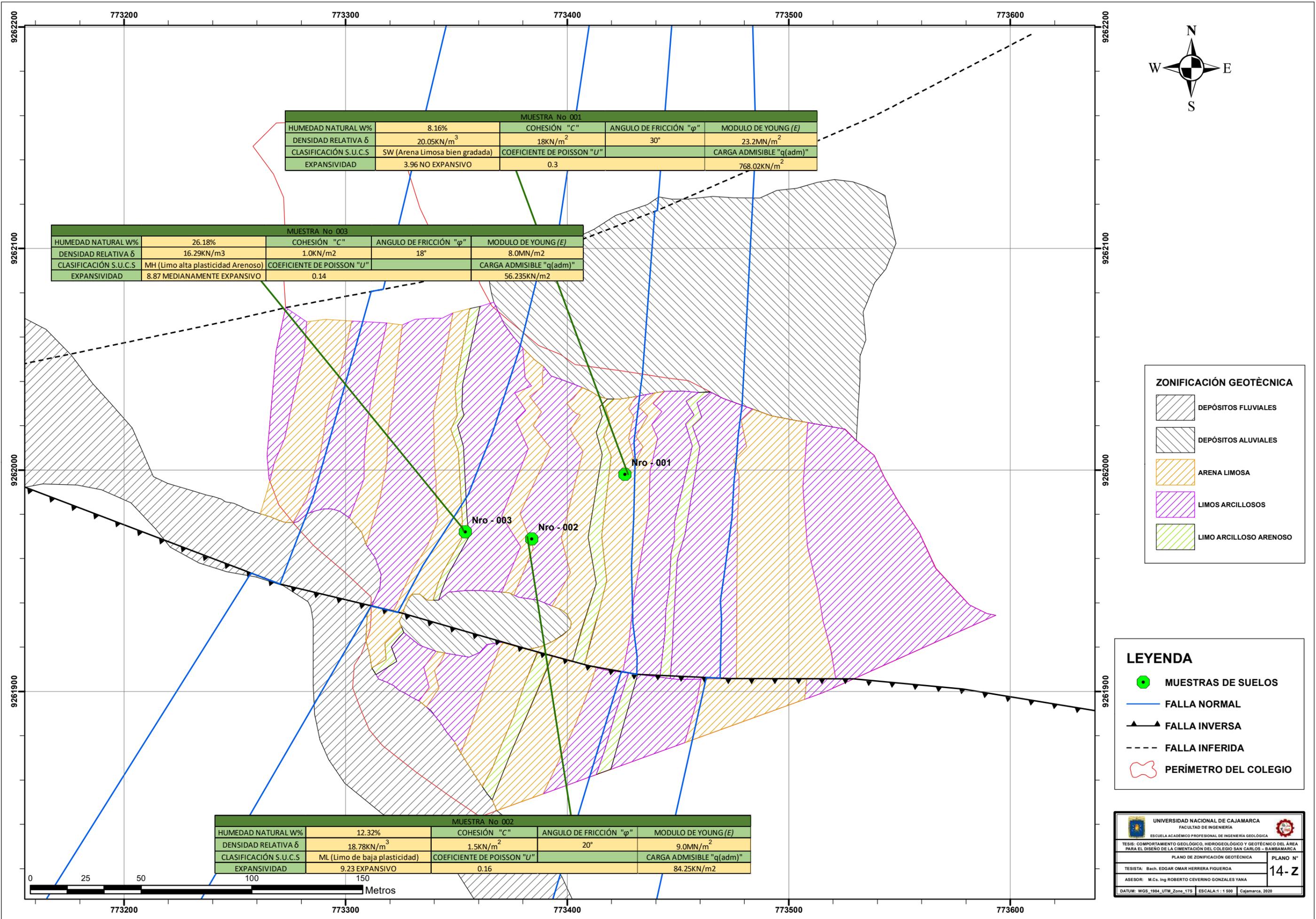


Calicata	Código	Profundidad (m.d.n.s.)	Nivel freático (m.d.n.s.)
No-001	CC-A	2.3	0
No-002	CC-B	1.2	0
No-003	CC-C	0	indicio
No-004	CC-D	0.5	NO
No-005	CC-E	0.7	NO
No-006	CC-F	0.5	NO
No-007	CC-G	1.8	0.4
No-008	CC-H	1.8	1
No-009	CC-I	0	0
No-010	CC-J	0	0
No-011	CC-K	0.4	0
No-012	CC-L	0	0
No-013	CC-M	1.2	0
No-014	CC-N	0	indicio



LEYENDA	
	CALICATAS
	CURVAS DE NIVEL MAYORES
	CURVAS DE NIVEL MENORES
	PERÍMETRO DEL COLEGIO
	PLATAFORMAS DE CIMENTOS
	CARRETERAS
	TROCHA CARROZABLE
	RIO

TESIS: COMPORTAMIENTO GEOLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DEL ÁREA PARA EL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DEL COLEGIO SAN CARLOS - BAMBAMARCA	
PLANO UBICACIÓN DE CALICATAS	PLANO N°
TESISISTA: Bach. EDGAR OMAR HERRERA FIGUEROA	13-UC
ASESOR: M. Ca. Ing. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA	
DATUM: WGS_1984_UTM_Zone_17S ESCALA: 1:1500 Cajamarca, 2020	



MUESTRA No 001				
HUMEDAD NATURAL W%	8.16%	COHESIÓN "C"	ANGULO DE FRICCIÓN "φ"	MODULO DE YOUNG (E)
DENSIDAD RELATIVA δ	20.05KN/m <sup>3</sup>	18KN/m <sup>2</sup>	30°	23.2MN/m <sup>2</sup>
CLASIFICACIÓN S.U.C.S	SW (Arena Limosa bien gradada)	COEFICIENTE DE POISSON "U"		CARGA ADMISIBLE "q(adm)"
EXPANSIVIDAD	3.96 NO EXPANSIVO	0.3		768.02KN/m <sup>2</sup>

MUESTRA No 003				
HUMEDAD NATURAL W%	26.18%	COHESIÓN "C"	ANGULO DE FRICCIÓN "φ"	MODULO DE YOUNG (E)
DENSIDAD RELATIVA δ	16.29KN/m <sup>3</sup>	1.0KN/m <sup>2</sup>	18°	8.0MN/m <sup>2</sup>
CLASIFICACIÓN S.U.C.S	MH (Limo alta plasticidad Arenoso)	COEFICIENTE DE POISSON "U"		CARGA ADMISIBLE "q(adm)"
EXPANSIVIDAD	8.87 MEDIANAMENTE EXPANSIVO	0.14		56.235KN/m <sup>2</sup>

MUESTRA No 002				
HUMEDAD NATURAL W%	12.32%	COHESIÓN "C"	ANGULO DE FRICCIÓN "φ"	MODULO DE YOUNG (E)
DENSIDAD RELATIVA δ	18.78KN/m <sup>3</sup>	1.5KN/m <sup>2</sup>	20°	9.0MN/m <sup>2</sup>
CLASIFICACIÓN S.U.C.S	ML (Limo de baja plasticidad)	COEFICIENTE DE POISSON "U"		CARGA ADMISIBLE "q(adm)"
EXPANSIVIDAD	9.23 EXPANSIVO	0.16		84.25KN/m <sup>2</sup>

**ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA**

- DEPÓSITOS FLUVIALES
- DEPÓSITOS ALUVIALES
- ARENA LIMOSA
- LIMOS ARCILLOSOS
- LIMO ARCILLOSO ARENOSO

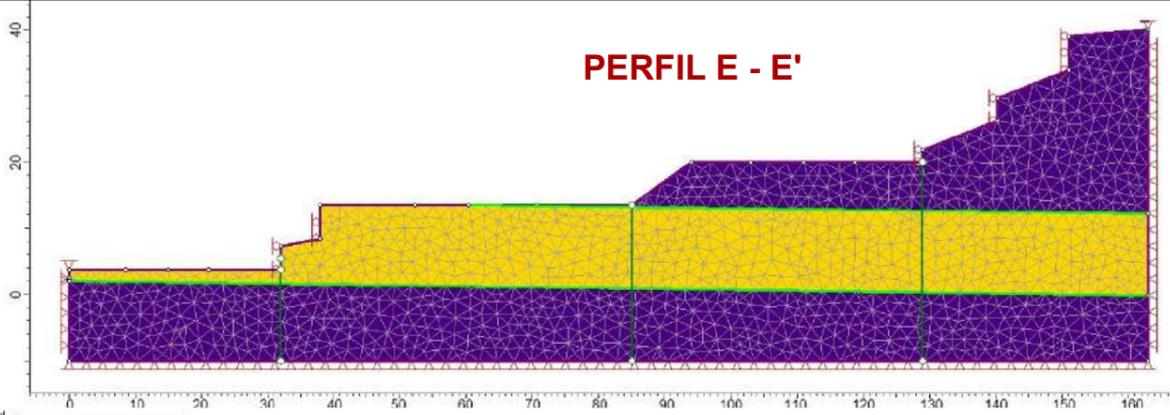
**LEYENDA**

- MUESTRAS DE SUELOS
- FALLA NORMAL
- FALLA INVERSA
- FALLA INFERIDA
- PERÍMETRO DEL COLEGIO

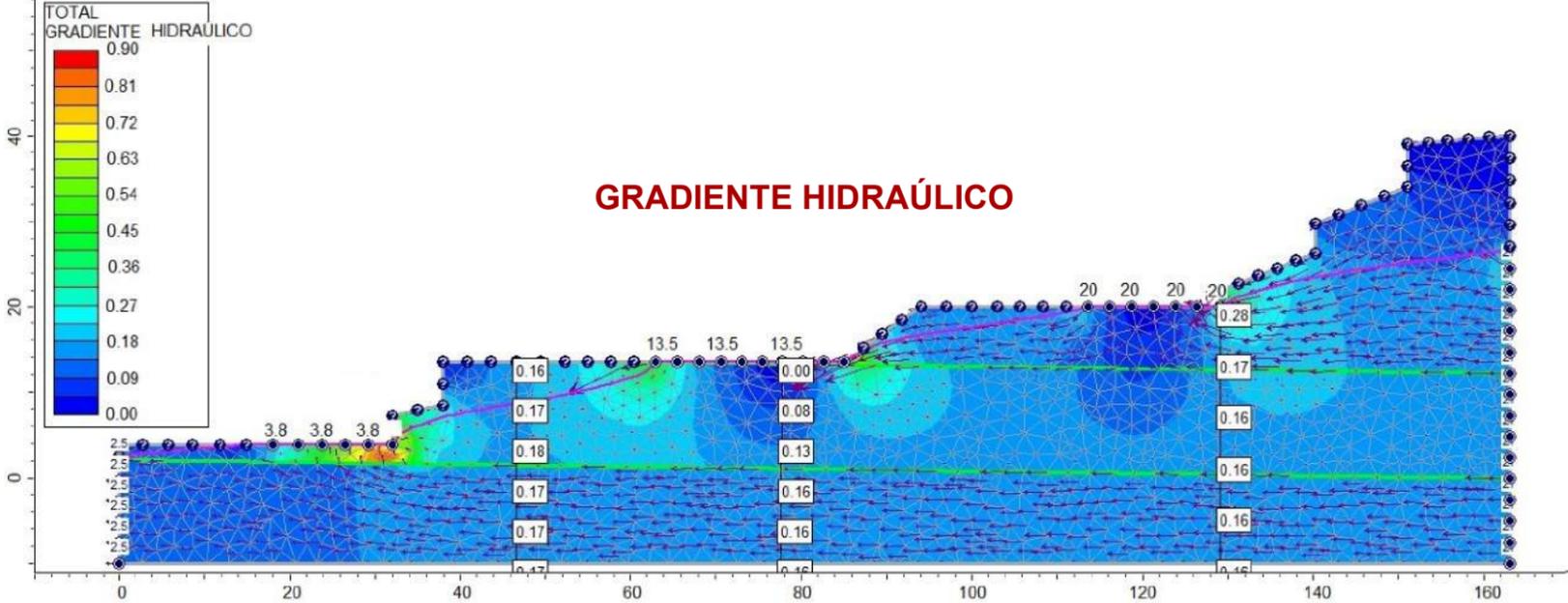
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA  
 TESIS: COMPORTAMIENTO GEOLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DEL ÁREA PARA EL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DEL COLEGIO SAN CARLOS - BAMBAMARCA  
 PLANO DE ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA  
 TESISISTA: Bach. EDGAR OMAR HERRERA FIGUEROA  
 ASESOR: M.Cs. Ing ROBERTO CEVERINO GONZALES YANA  
 DATUM: WGS\_1984\_UTM\_Zone\_17S ESCALA:1:1 500 Cajamarca, 2020

PLANO N°  
**14 - Z**

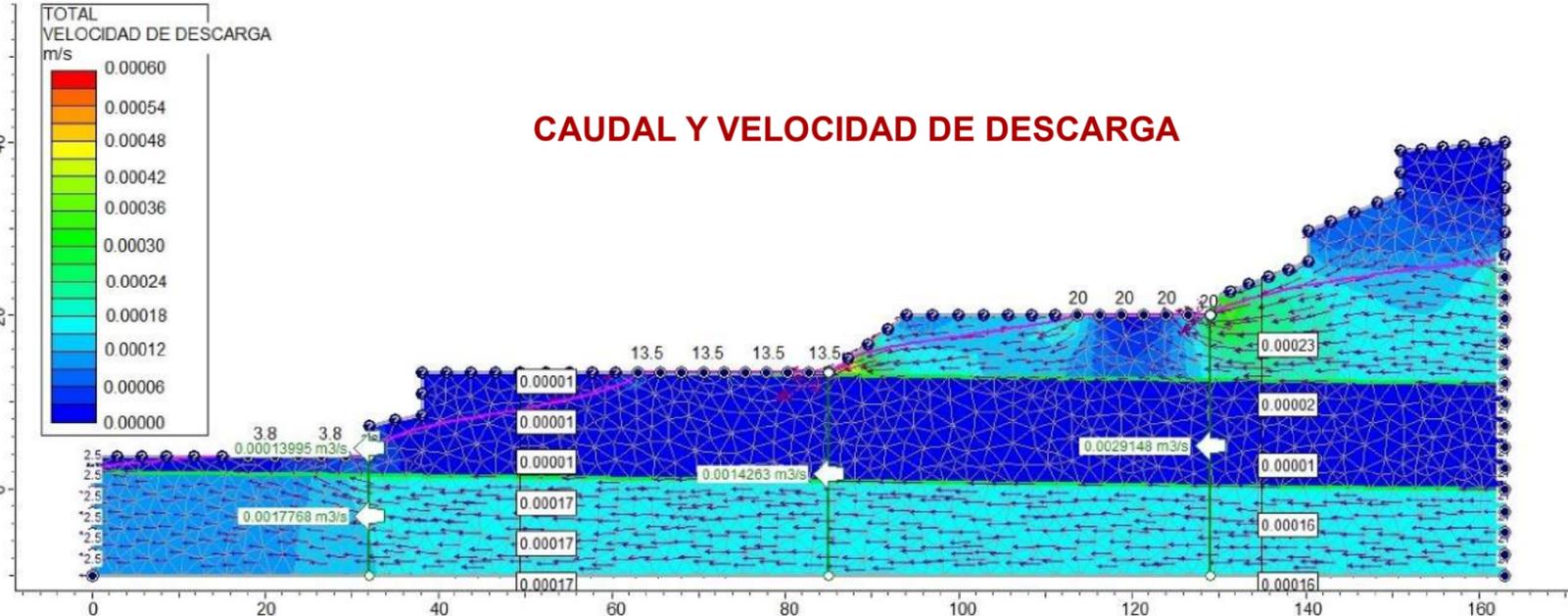
### PERFIL E - E'



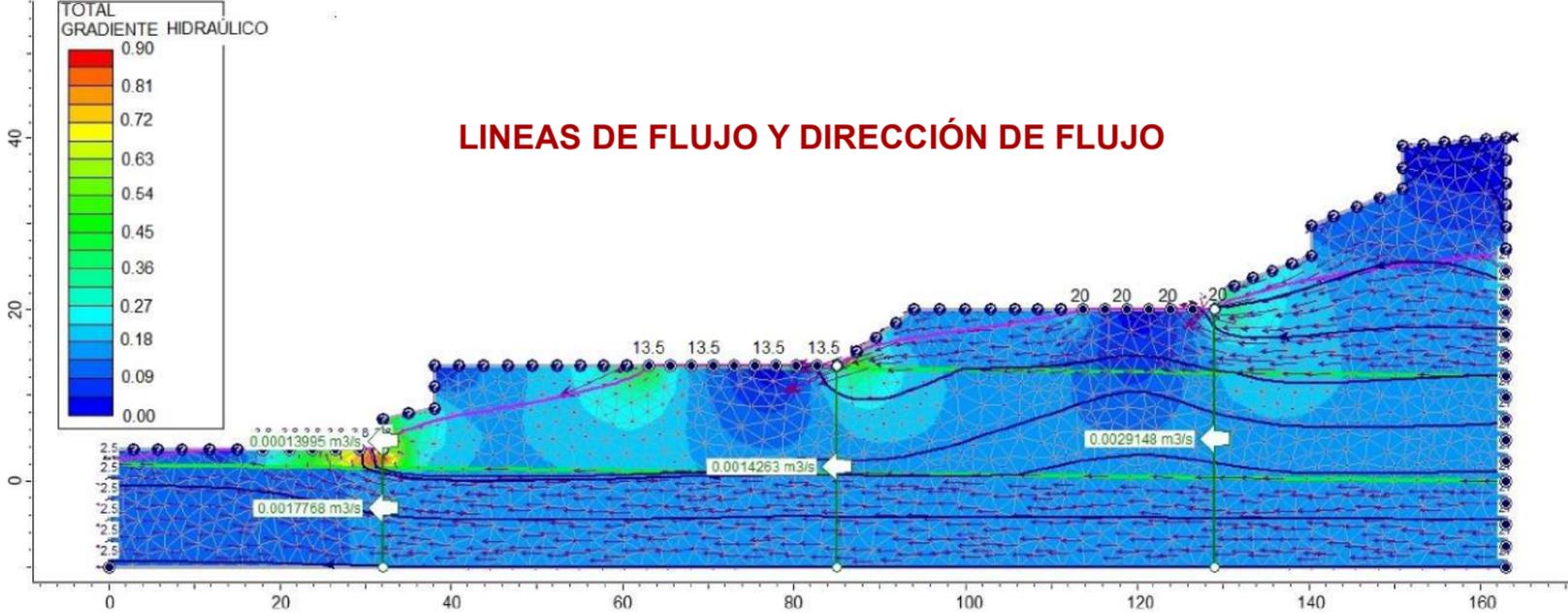
### GRADIENTE HIDRAÚLICO



### CAUDAL Y VELOCIDAD DE DESCARGA



### LINEAS DE FLUJO Y DIRECCIÓN DE FLUJO



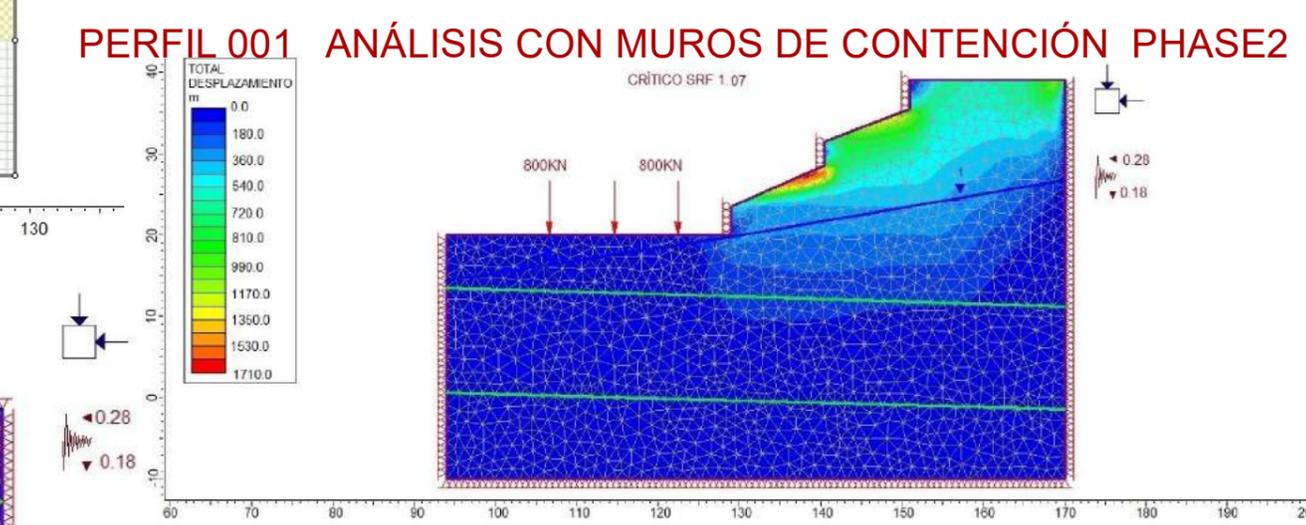
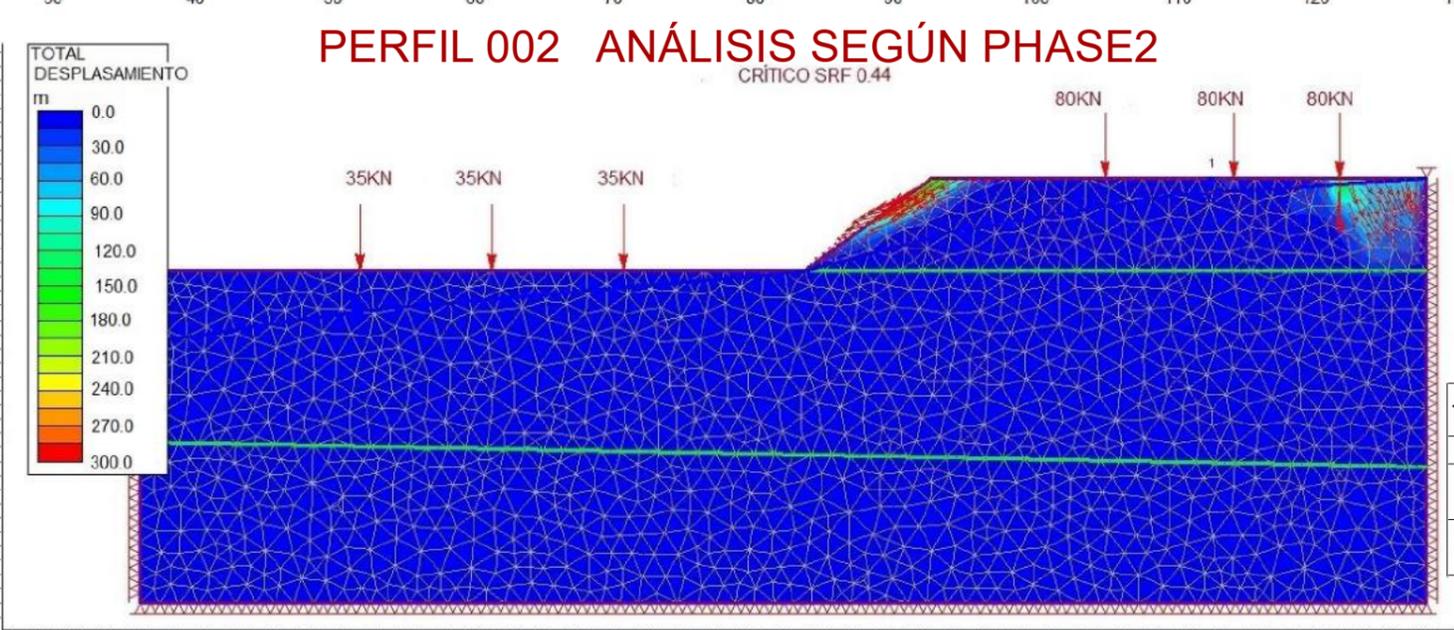
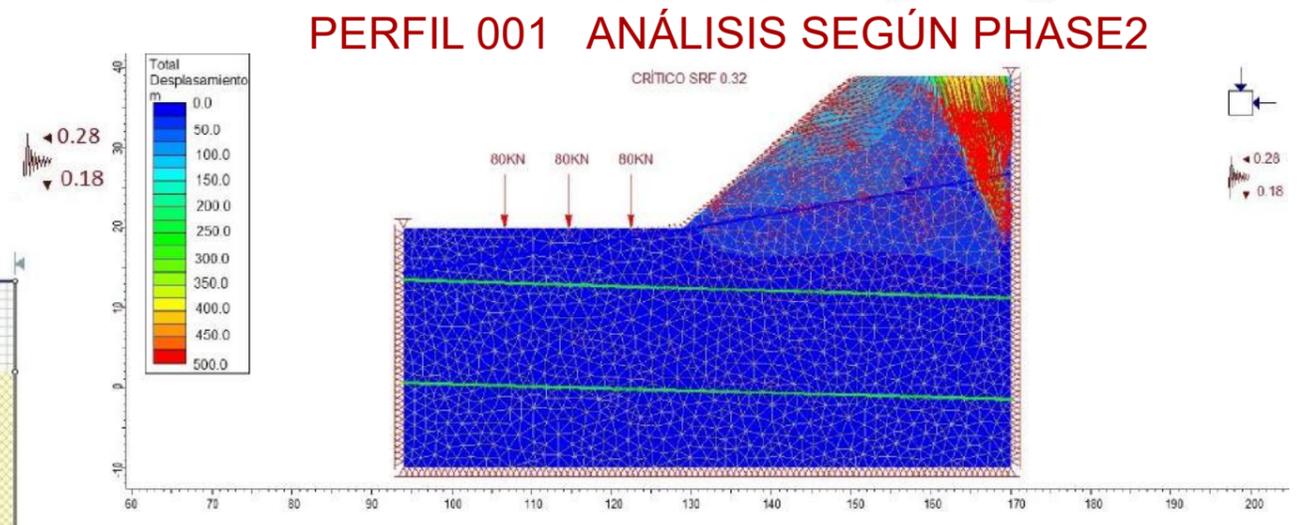
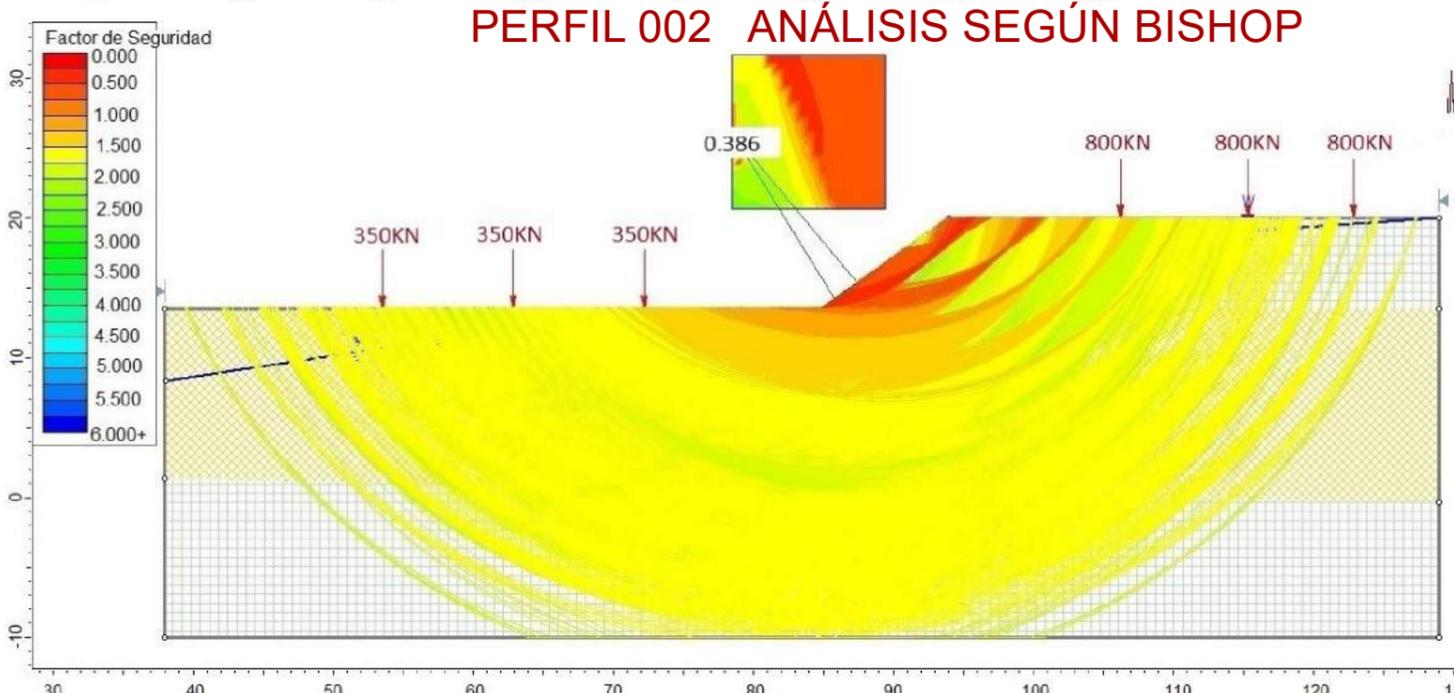
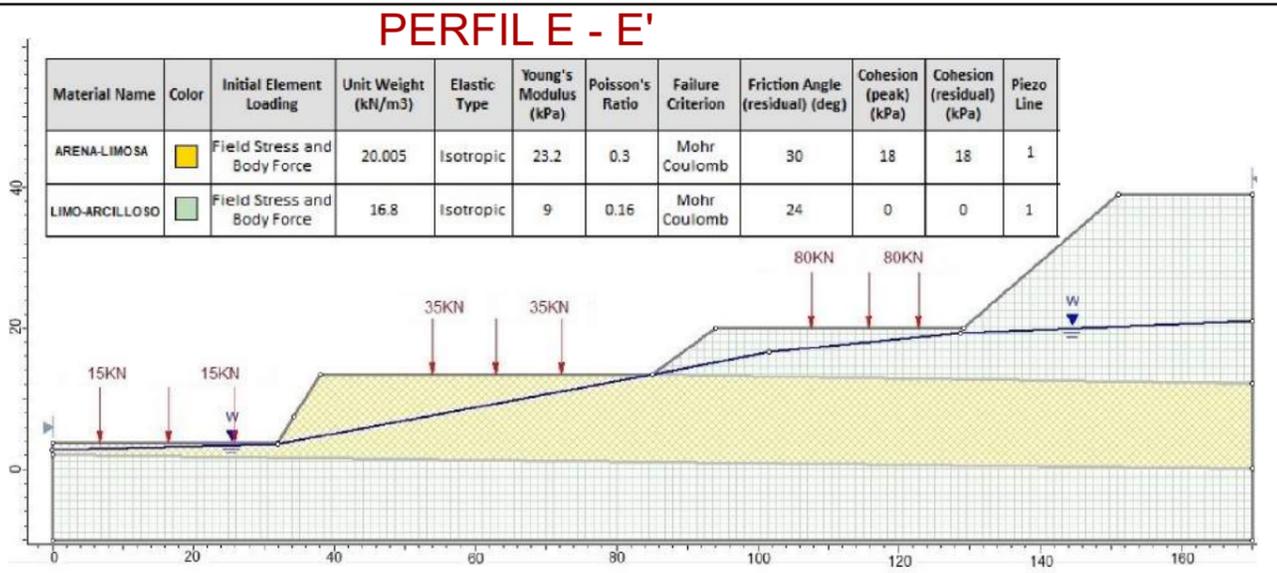
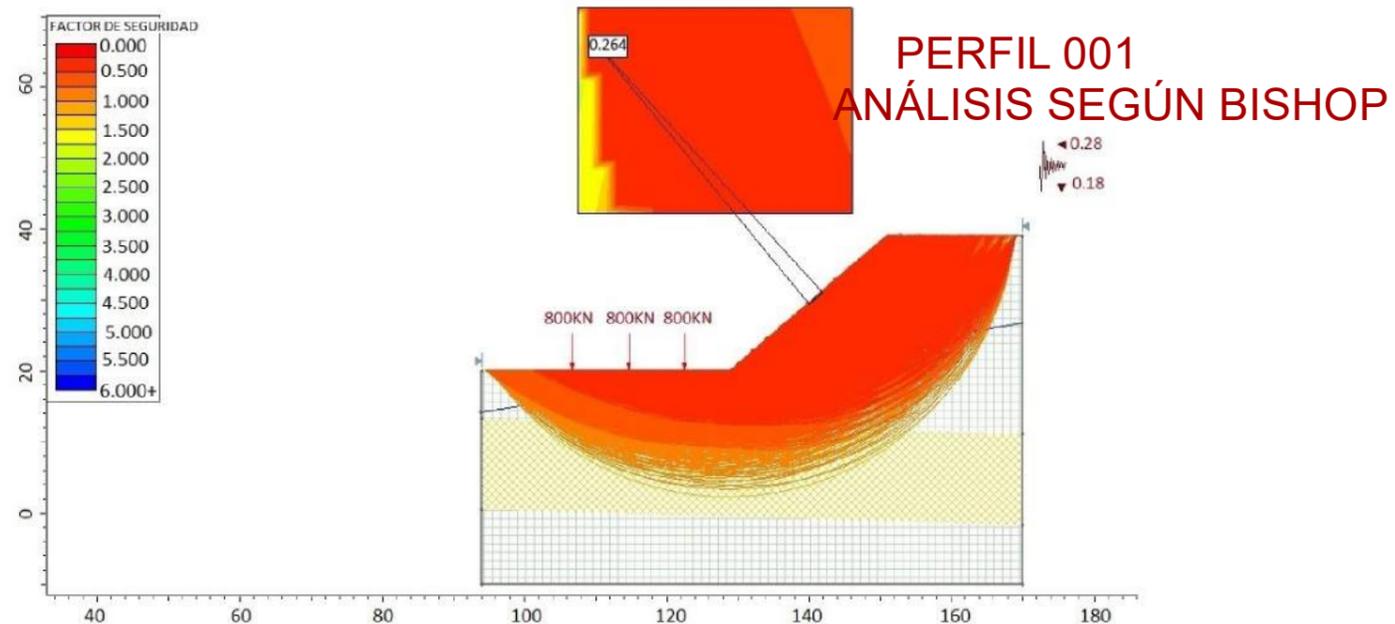
Material	Color	Initial Element Loading	Unit Weight (MN/m <sup>3</sup> )	Elastic Type	Young's Modulus (MPa)	Poisson's Ratio	Failure Criterion	Material Type	Tensile Strength (MPa)	Friction Angle (peak) (deg)	Cohesion (peak) (MPa)	Phi b	Air Entry (MPa)	Permeability Function	Soil Type	Hydraulic Properties Staged	Ks (m/s)	K2 / K1	K1 Angle
LIMO-ARCILLOSA	■	Field Stress and Body Force	0.0168	Isotropic	9	0.16	Mohr Coulomb	Elastic	0	20	0	0	0	Simple	Clay	Yes	0.001	1	0
ARENA-LIMOSA	■	Field Stress and Body Force	0.02	Isotropic	23.2	0.3	Mohr Coulomb	Elastic	0	30	0.018	0	0	Simple	Sand		8e-005	1	0



**LEYENDA**

- SECCIÓN DE DESCARGA
- LÍNEAS DE FLUJO
- NIVEL FREÁTICO
- DIRECCIÓN DE FLUJO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA  
 TESIS: COMPORTAMIENTO GEOLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DEL ÁREA PARA EL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DEL COLEGIO SAN CARLOS - BAMBAMARCA  
 PLANO DE ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO CON "Phase2 V8.0" PLANO N°  
 TESISISTA: Bach. EDGAR OMAR HERRERA FIGUEROA  
 15-AH  
 ASESOR: M.Cs. Ing. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA  
 DATUM: WGS\_1984\_UTM\_Zone\_17S ESCALA: 1 : 800 Cajamarca, 2020



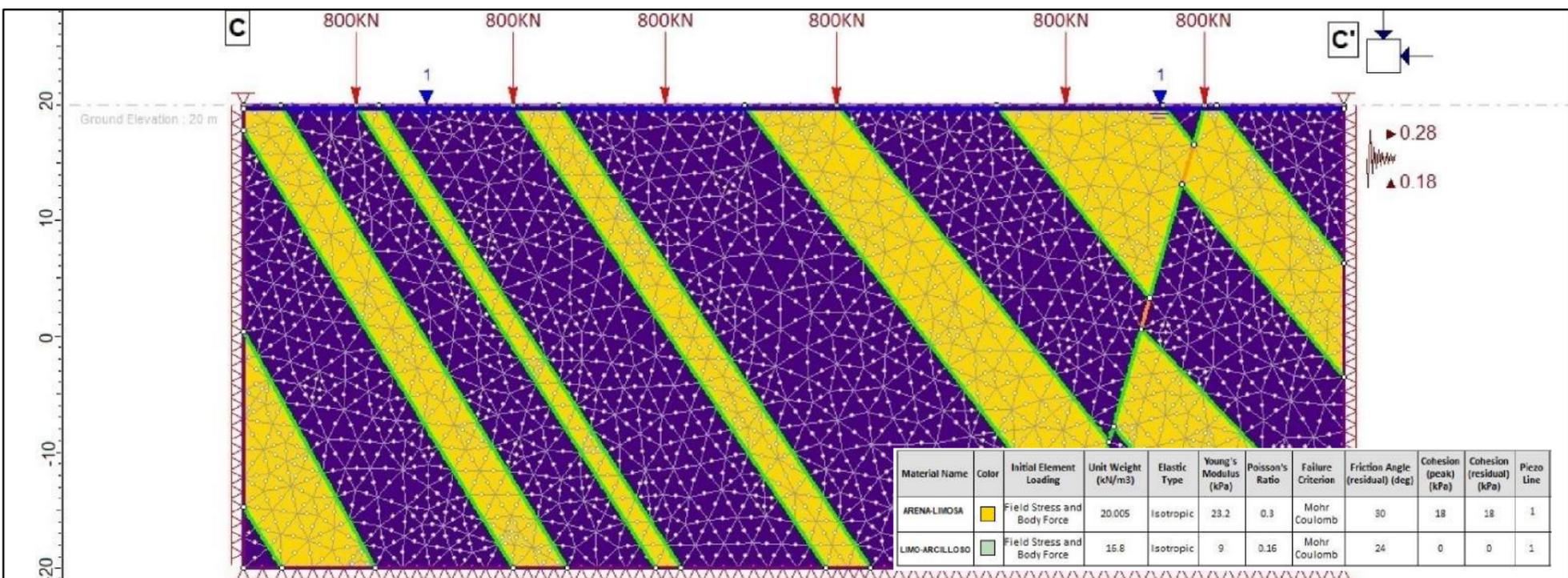
TALUD	PESO	SLIDE (BISHOP)	PHASE 2	PHASE 2 (CON SOSTENIMIENTO)	SISMICIDAD
P01	800 KN	0.264	0.32	1.07	H = 0.28; V = 0.18
P02	800KN 35KN	0.386	0.44	1.25	H = 0.28; V = 0.18
P03	35KN 15KN	0.693	0.76	1.52	H = 0.28; V = 0.18

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
FACULTAD DE INGENIERÍA

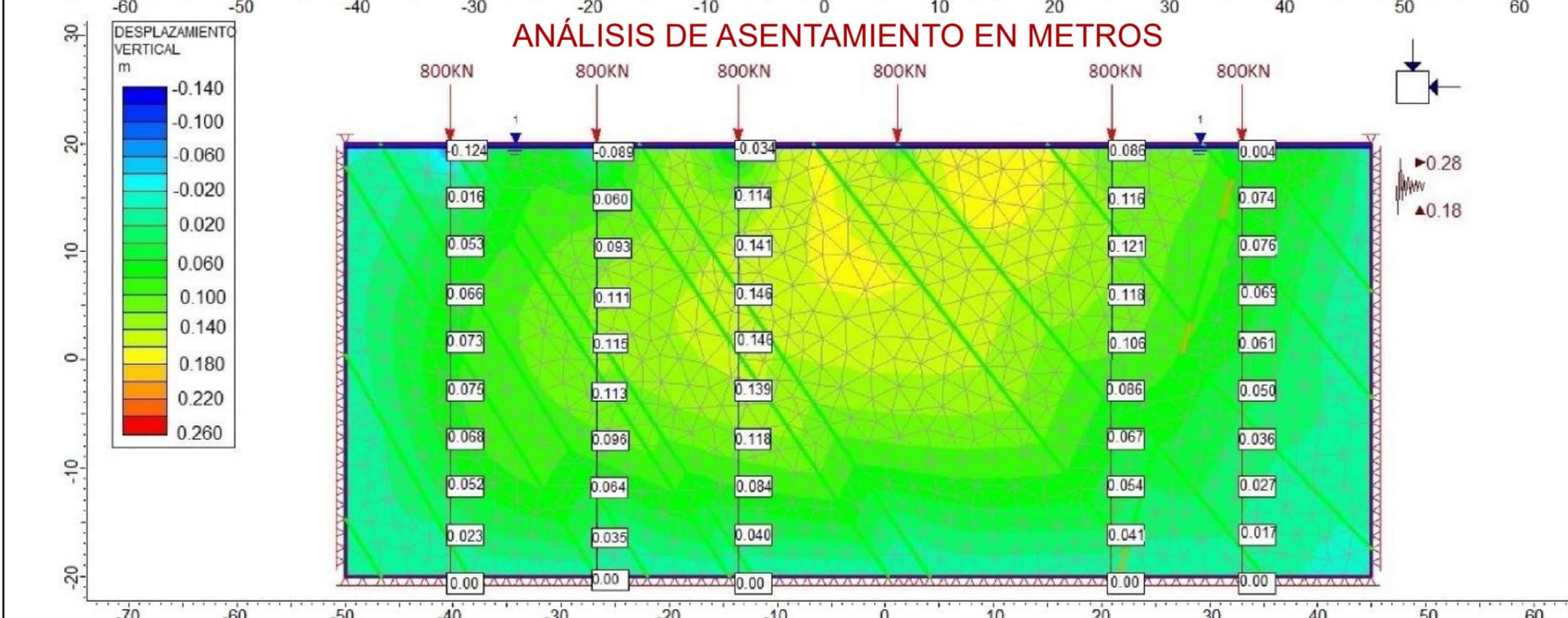
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS: COMPORTAMIENTO GEOLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DEL ÁREA PARA EL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DEL COLEGIO SAN CARLOS - BAMBAMARCA

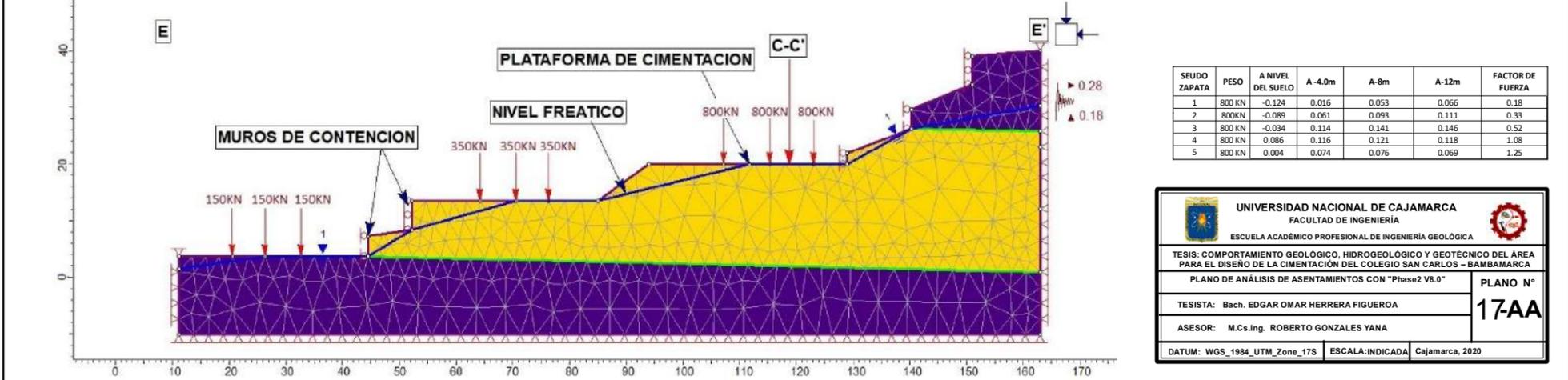
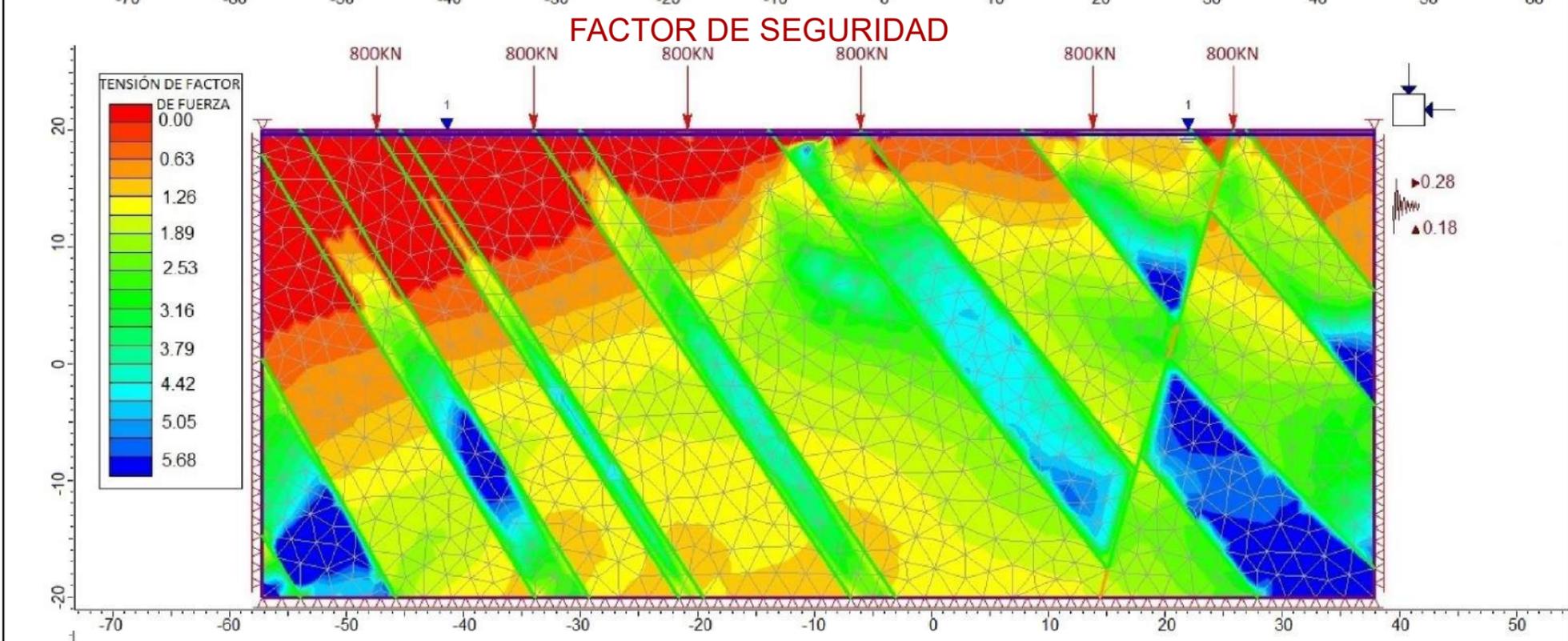
PLANO DE ANÁLISIS DE TALUDES CON "Slide V6.005" y "Phase2 V8.0" TESISTA: Bach. EDGAR OMAR HERRERA FIGUEROA ASESOR: M.Cs. Ing. ROBERTO GONZALES YANA	PLANO N°  16-AT
DATUM: WGS_1984_UTM_Zone_17S    ESCALA: INDICADA    Cajamarca, 2020	



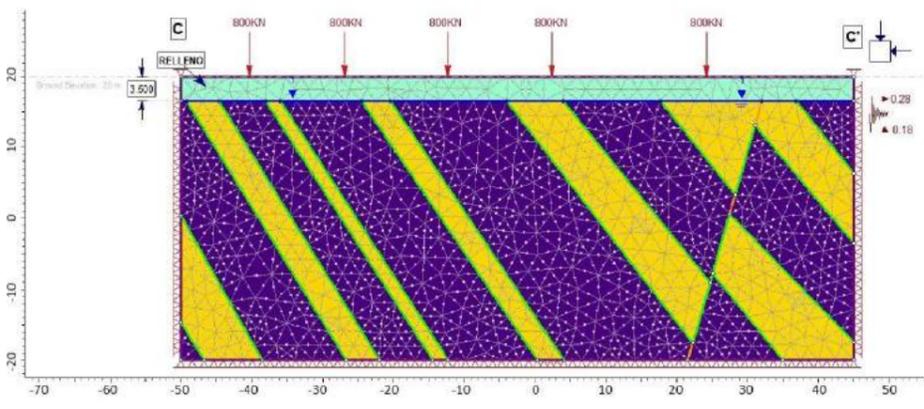
### ANÁLISIS DE ASENTAMIENTO EN METROS



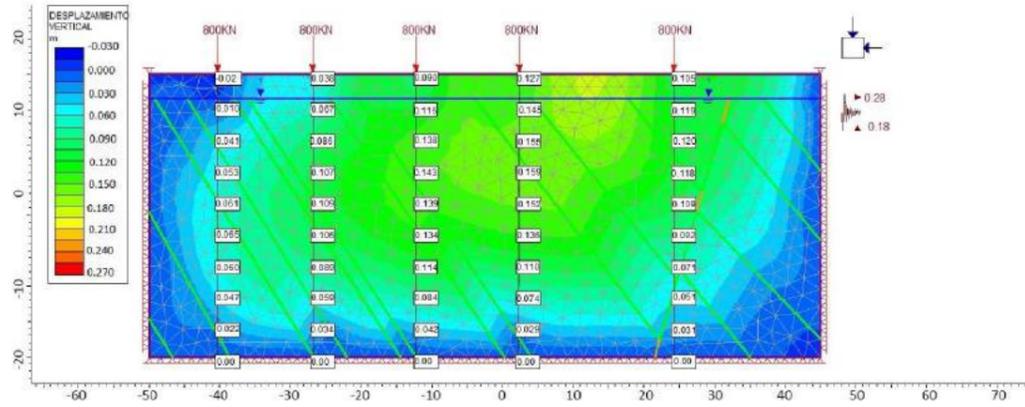
### FACTOR DE SEGURIDAD



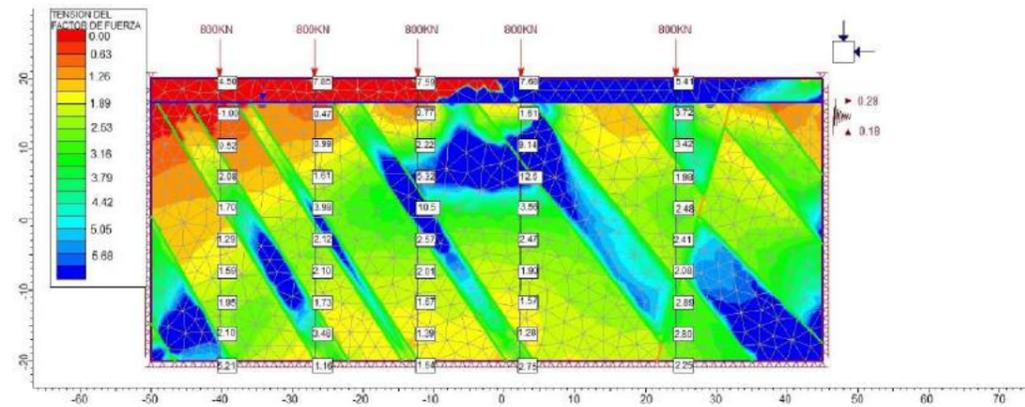
### CIMENTACIÓN MEDIANTE REEMPLAZO DE MATERIAL



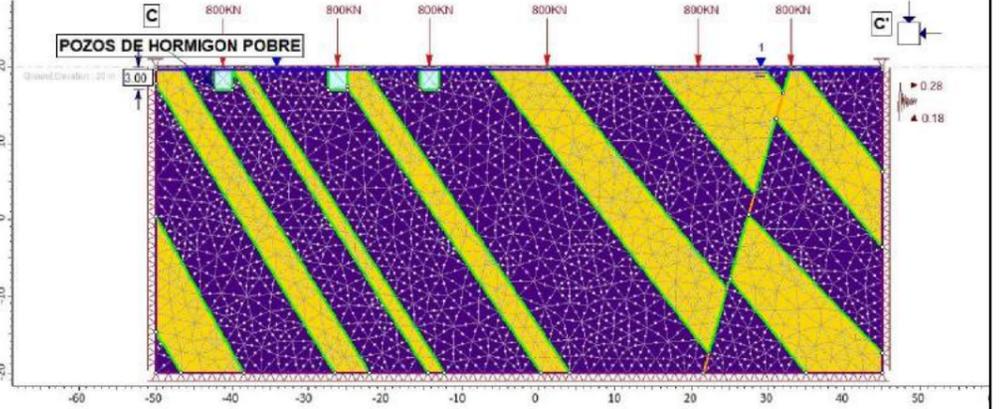
ANÁLISIS DE ASENTAMIENTO EN METROS



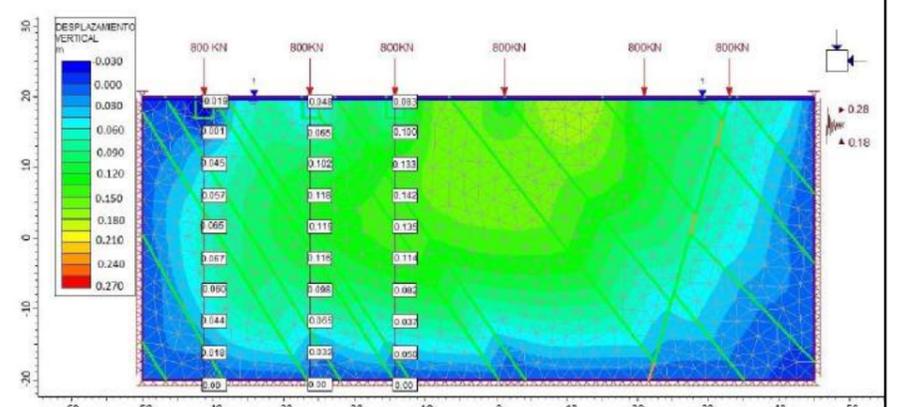
FACTOR DE SEGURIDAD



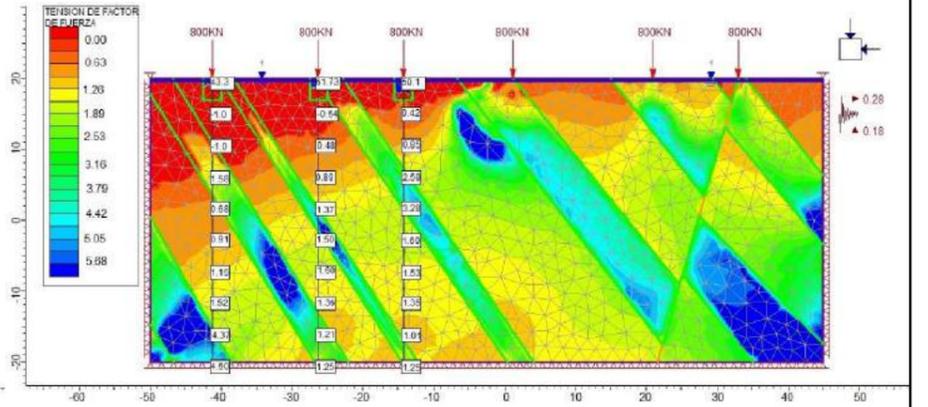
### CIMENTACIÓN MEDIANTE POZOS DE HORMIGÓN POBRE



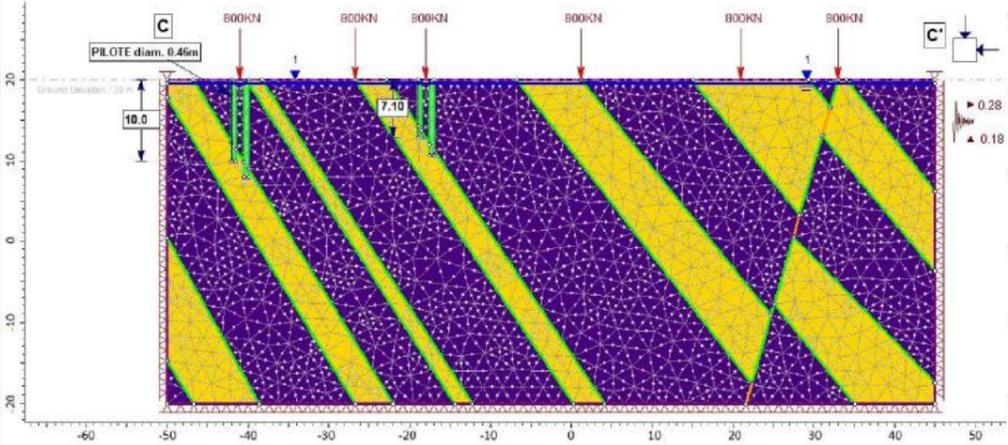
ANÁLISIS DE ASENTAMIENTO EN METROS



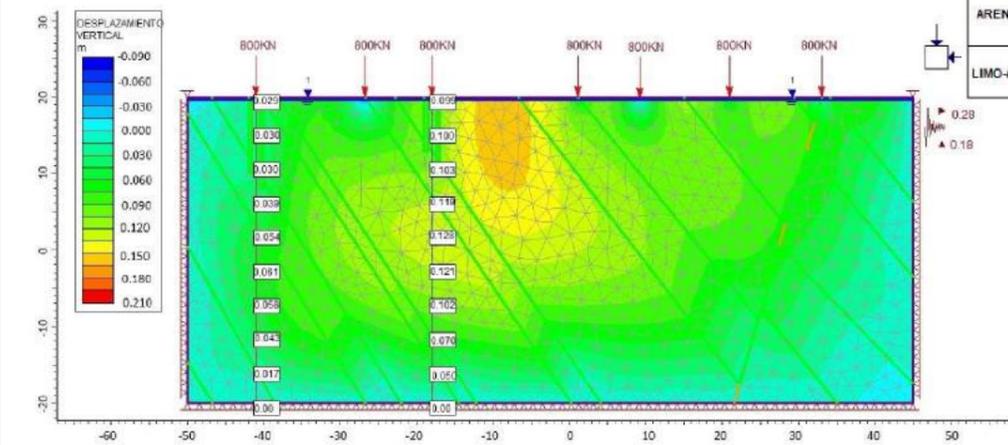
FACTOR DE SEGURIDAD



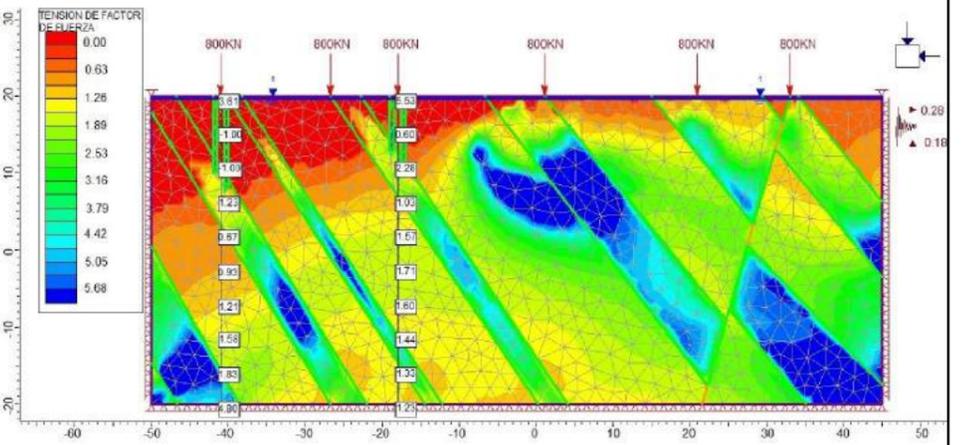
### CIMENTACIÓN MEDIANTE PILOTES



FACTOR DE SEGURIDAD



### ANÁLISIS DE ASENTAMIENTO EN METROS



Material Name	Color	Initial Element Loading	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Elastic Type	Young's Modulus (kPa)	Poisson's Ratio	Failure Criterion	Friction Angle (residual) (deg)	Cohesion (peak) (kPa)	Cohesion (residual) (kPa)	Piezo Line
ARENA-LIMOSA	Yellow	Field Stress and Body Force	20.005	Isotropic	23.2	0.3	Mohr Coulomb	30	18	18	1
LIMO-ARCILLOSO	Green	Field Stress and Body Force	16.8	Isotropic	9	0.16	Mohr Coulomb	24	0	0	1