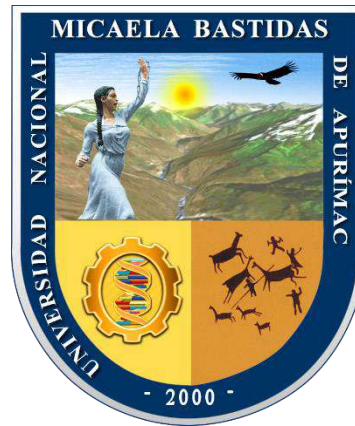


UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis

Variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas identificados en la
ciudad de Abancay – 2024

Presentado por:

Kilmer Andrew Alvarez Abarca

Para optar el título de Ingeniero Civil

Abancay, Perú

2026



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

Variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas identificados en la ciudad de Abancay – 2024

Presentado por **Kilmer Andrew Alvarez Abarca**, para optar el título de Ingeniero Civil


Sustentado y aprobado el 27 de enero del 2026 ante el jurado evaluador:

Presidente:



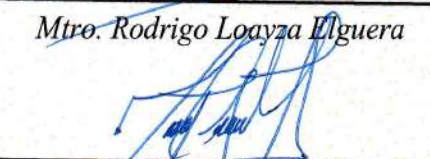
Mtro. Diomedes Napoleón Ferrel Sarmiento

Primer miembro:



Mtro. Rodrigo Loayza Elguera

Segundo miembro:



Mtro. Michel Palma Vargas

Asesor:



Dr. Calixto Cañari Otero



Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 035-2026

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la tesis titulada: **Variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas identificados en la ciudad de Abancay – 2024**, presentado por el Bach: **KILMER ANDREW ALVAREZ ABARCA**, para optar el título de **Ingeniero Civil**; ha sido sometido a un mecanismo de evaluación y verificación de similitud, a través del Software Turnitin, siendo el índice de similitud **ACEPTABLE de (13%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos por la Universidad.

Abancay, 23 de enero del 2026

Atentamente,

C. c.
Archivo
REG. N° 114

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
Hesmeralda Rojas Enriquez
Dra. Hesmeralda Rojas Enriquez
DIRECTORA DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA



Agradecimientos

A Dios, fuente infinita de amor y bondad, por ser mi guía en cada paso de este camino. En tus manos he encontrado la fortaleza para alcanzar mis metas y la certeza de que siempre buscas lo mejor para mí. No tengo palabras suficientes para expresar mi gratitud, pero sé que todo lo que soy y logro es gracias a tu presencia en mi vida.

A la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, por brindarme una formación integral y valores que forjan profesionales comprometidos con el bien común. Esta tesis fue seleccionada y financiada por el vicerrectorado de investigación de la UNAMBA, mediante el concurso de subvención de proyecto de tesis 2024.

Finalmente, a mi familia, pilar fundamental en mi vida. A mis padres, cuyo amor, sabiduría y ejemplo han forjado en mí los valores que hoy me definen como persona y profesional. Su apoyo incondicional ha sido mi mayor motivación en los momentos más desafiantes. A mis hermanos y seres queridos, gracias por estar siempre presentes y por creer en mí.

Kilmer Andrew Alvarez Abarca



Dedicatoria

A Dios, guía eterno en mi camino, cuya gracia ilumina cada paso y cuyo tiempo perfecto nos enseña a confiar.

A mis padres, pilares inquebrantables, por creer en mí incluso cuando yo dudaba, y por ser el reflejo del amor incondicional.

A mis hermanos y familiares, cuyas lecciones de compañerismo y gratitud han dejado una huella imborrable en mi vida.

Kilmer Andrew Alvarez Abarca



Variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas identificados en la
ciudad de Abancay – 2024

Línea de investigación: Ingeniería de la construcción

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons.



ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	4
ABSTRACT	5
CAPÍTULO I	6
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
1.1 Descripción del problema	6
1.2 Enunciado del problema	9
1.2.1 Problema general	9
1.2.2 Problemas específicos	9
1.3 Justificación de la investigación	9
1.4 Delimitación	11
CAPÍTULO II	13
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	13
2.1 Objetivos de la investigación	13
2.1.1 Objetivo general	13
2.1.2 Objetivos específicos	13
2.2 Hipótesis de la investigación	13
2.2.1 Hipótesis general	13
2.2.2 Hipótesis específicas	13
2.3 Operacionalización de variables	15
CAPÍTULO III	16
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	16
3.1 Antecedentes	16
3.1.1 Antecedentes internacionales	16
3.1.2 Antecedentes a nivel nacional	20
3.1.3 Antecedentes a nivel local	23
3.2 Marco teórico	24
3.2.1 Suelos	24
3.2.2 Clasificación de los suelos	25
3.2.3 Características físicas del suelo	29
3.2.4 Características mecánicas	30



3.2.5	Características mineralógicas	31
3.2.6	Identificación de arcillas expansivas	35
3.2.7	Determinación el grado de expansión de los suelos	42
3.2.8	Resistencia al esfuerzo cortante en suelos expansivos	46
3.2.9	Metodología para la predicción de la expansión	47
3.2.10	Método de expansión mediante California bearing ratio (CBR)	49
3.3	Marco conceptual	52
CAPÍTULO IV		55
METODOLOGÍA		55
4.1	Tipo y nivel de investigación	55
4.1.1	Tipo de investigación	55
4.1.2	Nivel de investigación	56
4.2	Diseño de la investigación	56
4.3	Descripción ética de la investigación	58
4.3.1	Internacional	58
4.3.2	Nacional	59
4.3.3	Local	59
4.4	Población y muestra	60
4.4.1	Población	60
4.4.2	Muestra	61
4.5	Procedimiento	62
4.5.1	Muestreo y recopilación de datos	62
4.6	Técnica e instrumentos	71
4.6.1	Técnica	71
4.6.2	Instrumentos	71
4.7	Análisis estadístico	73
CAPÍTULO V		79
RESULTADOS Y DISCUSIONES		79
5.1	Análisis de resultados	79
5.1.1	Evaluación de resultados del objetivo general	79
5.1.2	Determinación de los resultados del objetivo específico 01	98
5.1.3	Determinación de los resultados del objetivo específico 02	115
5.1.4	Desarrollo de los resultados del objetivo específico 03	124
5.2	Análisis estadístico inferencial	128
5.2.1	Análisis de correlación estadística	128
5.3	Contrastación de hipótesis	138
5.4	Discusión	143
CAPÍTULO VI		145

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	145
6.1 Conclusiones	145
6.2 Recomendaciones	148
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	150
ANEXOS	155



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 — Operacionalización de variables	15
Tabla 2 — Presentación de las condiciones para las variables del índice de grupo	26
Tabla 3 — Prefijos de tipo de suelo	27
Tabla 4 — Ensayos para la caracterización física y sus aplicaciones	30
Tabla 5 — Ensayo para la caracterización mecánica y sus aplicaciones	31
Tabla 6 — Potencial de expansión de suelos expansivos	40
Tabla 7 — Clasificaciones por grado de expansión (potencial de hinchamiento)	41
Tabla 8 — Datos para estimar el cambio volumétrico probable en materiales expansivos	42
Tabla 9 — Categoría de la subrasante según el valor del CBR	50
Tabla 10 — Grupos de control	57
Tabla 11 — Grupos de verificación	58
Tabla 12 — Grupo experimental	61
Tabla 13 — Población finita/conocida	67
Tabla 14 — Muestras arcillosas	68
Tabla 15 — Tipos de análisis estadísticos	74
Tabla 16 — Correlación lineal	76
Tabla 17 — Determinación del límite líquido, límite plástico y índice de plasticidad	80
Tabla 18 — Distribución de los puntos de investigación	82
Tabla 19 — Perfil estratigráfico	83
Tabla 20 — Resumen de la humedad natural del suelo	84
Tabla 21 — Resumen de los límites de consistencia, humedades y clasificación	86
Tabla 22 — Análisis granulométrico	89
Tabla 23 — Resumen de las propiedades físicas y mecánicas del suelo	92
Tabla 24 — Resumen general de laboratorio	95
Tabla 25 — Resumen de las propiedades físicas y mecánicas del suelo	96
Tabla 26 — Resumen general de laboratorio	96
Tabla 27 — Resultados finales de expansión	114
Tabla 28 — CBR de la calicata 01	116
Tabla 29 — CBR de la calicata 02	117



Tabla 30 — CBR de la calicata 03	118
Tabla 31 — CBR de la calicata 04	119
Tabla 32 — CBR de la calicata 05	120
Tabla 33 — CBR de la calicata 06	121
Tabla 34 — CBR de la calicata 07	122
Tabla 35 — CBR de la calicata 08	123
Tabla 36 — Predicciones Ridge, Randon Forest y XGBoost	127
Tabla 37 — Resultados finales de expansión a los 12 golpes	129
Tabla 38 — Análisis de regresión 12 golpes	131
Tabla 39 — Resultados finales de expansión a los 25 golpes	132
Tabla 40 — Análisis de regresión 25 golpes	134
Tabla 41 — Resultados finales de expansión a los 56 golpes	135
Tabla 42 — Análisis de regresión 56 golpes	137
Tabla 43 — Prueba de normalidad	139
Tabla 44 — Análisis de la correlación de Pearson en la expansión	140
Tabla 45 — Análisis de la correlación de Pearson en la expansión	142
Tabla 46 — Matriz de consistencia	155
Tabla 47 — Descripción de suelos	161



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 — La carta de plasticidad	28
Figura 2 — Estructuras illitas	32
Figura 3 — Estructuras montmorillonita	33
Figura 4 — Estructuras de las caolinitas	33
Figura 5 — Estructuras de (a) caolinita; (b) illita; (c) montmorillonita	34
Figura 6 — Carta de plasticidad	35
Figura 7 — Cuadro de potencial expansivo del suelo	38
Figura 8 — Clasificación de potencial de expansión	39
Figura 9 — Gráfica de expansividad modificada Merwe	40
Figura 10 — Ensayo de expansión libre	44
Figura 11 — Ensayo de expansión controlada	45
Figura 12 — Resistencia al esfuerzo cortante vs humedad de un suelo	46
Figura 13 — Relación entre resistencia al esfuerzo cortante y humedad de un suelo	47
Figura 14 — Pruebas de deformación vertical en función del tiempo de saturación	47
Figura 15 — Comportamiento lineal de suelos con carga a diferente contenido de agua	48
Figura 16 — Resultados de expansión en función de la relación de vacíos de un suelo	48
Figura 17 — Ensayo (ASTM D1883)	50
Figura 18 — Curva de expansión (ASTM D1883)	50
Figura 19 — Mapa tipos de suelo de Abancay	63
Figura 20 — Mapa de extrapolación de datos	65
Figura 21 — Mapa probabilístico por racimos	66
Figura 22 — Muestreo poblacional por racimos	68
Figura 23 — Flujograma del procedimiento de ejecución	70
Figura 24 — Grado de correlación	76
Figura 25 — Muestreo de tipos de suelo	80
Figura 26 — Mapa de ubicación de las muestras	82
Figura 27 — Curva granulométrica de las C1, C2, C03, C04, C05, C06, C07, C08	88
Figura 28 — Grafica de la curva proctor modificado	91
Figura 29 — Curva CBR (Capacidad de cargas estáticas)	94

Figura 30 — Expansión a los 12,25 y 56 golpes, Av. Panamericana	99
Figura 31 — Expansión a los 12,25 y 56 golpes Urbanizacion San Luis	101
Figura 32 — Expansión a los 12,25 y 56 golpes sector Puca Puca	103
Figura 33 — Expansión a los 12,25 y 56 golpes sector Colcaque	105
Figura 34 — Expansión a los 12,25 y 56 golpes carretera Panamericana (km773+206)	107
Figura 35 — Expansión a los 12,25 y 56 golpes Urbanización Fonavi	109
Figura 36 — Expansión a los 12,25 y 56 golpes avenida Maucacalle	111
Figura 37 — Expansión a los 12,25 y 56 golpes Vía Evitamiento	113
Figura 38 — CBR vs golpes C-01	116
Figura 39 — CBR vs golpes C-02	117
Figura 40 — CBR vs golpes C-03	118
Figura 41 — CBR vs golpes C-04	119
Figura 42 — CBR vs golpes C-05	120
Figura 43 — CBR vs golpes C-06	121
Figura 44 — CBR vs golpes C-07	122
Figura 45 — CBR vs golpes C-08	123
Figura 46 — Procesamiento de datos	125
Figura 47 — Entrenamiento Ridge, Random Forest y XGBoost	125
Figura 48 — Correlación Ridge, Random Forest y XGBoost	126
Figura 49 — Comparación real, Ridge, Random Forest y XGBoost	126
Figura 50 — Boxplot de errores Ridge, Random Forest y XGBoost	127
Figura 51 — Evidencia expansiva 12 golpes	129
Figura 52 — Correlación inversa fuerte	130
Figura 53 — Evidencia expansiva 25 golpes	132
Figura 54 — Correlación baja	133
Figura 55 — Evidencia expansiva 56 golpes	135
Figura 56 — Correlación inversa fuerte	136
Figura 57 — Mapa geológico del cuadrangular de Abancay	156
Figura 58 — Delimitación del estrato de muestra	157
Figura 59 — Extrapolación de resultados	157
Figura 60 — Selección por racimos	158
Figura 61 — Muestreo aleatorio	159
Figura 62 — Identificación de suelos arcillosos	160
Figura 63 — Perfil estratigráfico C-1	162

Figura 64 — Perfil estratigráfico C-2	163
Figura 65 — Perfil estratigráfico C-3	164
Figura 66 — Perfil estratigráfico C-4	165
Figura 67 — Perfil estratigráfico C-5	166
Figura 68 — Perfil estratigráfico C-6	167
Figura 69 — Perfil estratigráfico C-7	168
Figura 70 — Perfil estratigráfico C-8	169
Figura 71 — Índice de plasticidad	170
Figura 72 — Contenido de humedad C-1	171
Figura 73 — Contenido de humedad C-2	172
Figura 74 — Contenido de humedad C-3	173
Figura 75 — Contenido de humedad C-4	174
Figura 76 — Contenido de humedad C-5	175
Figura 77 — Contenido de humedad C-6	176
Figura 78 — Contenido de humedad C-7	177
Figura 79 — Contenido de humedad C-8	178
Figura 80 — Proctor C-1	179
Figura 81 — Proctor C-2	180
Figura 82 — Proctor C-3	181
Figura 83 — Proctor C-4	182
Figura 84 — Proctor C-5	183
Figura 85 — Proctor C-6	184
Figura 86 — Proctor C-7	185
Figura 87 — Proctor C-8	186
Figura 88 — Análisis granulométrico C-1	187
Figura 89 — Análisis granulométrico C-2	188
Figura 90 — Análisis granulométrico C-3	189
Figura 91 — Análisis granulométrico C-4	190
Figura 92 — Análisis granulométrico C-5	191
Figura 93 — Análisis granulométrico C-6	192
Figura 94 — Análisis granulométrico C-7	193
Figura 95 — Análisis granulométrico C-8	194
Figura 96 — CBR C-1	195
Figura 97 — Penetración C-1	196

Figura 98 — CBR C-2	197
Figura 99 — Penetración C-2	198
Figura 100 — CBR C-3	199
Figura 101 — Penetración C-3	200
Figura 102 — CBR C-4	201
Figura 103 — Penetración C-4	202
Figura 104 — CBR C-5	203
Figura 105 — Penetración C-5	204
Figura 106 — CBR C-6	205
Figura 107 — Penetración C-6	206
Figura 108 — CBR C-7	207
Figura 109 — Penetración C-7	208
Figura 110 — CBR C-8	209
Figura 111 — Penetración C-8	210
Figura 112 — Validación por expertos 01	211
Figura 113 — Validación por expertos 02	212
Figura 114 — Validación por expertos 03	213
Figura 115 — Validación por expertos 04	214
Figura 116 — Validación por expertos 05	215
Figura 117 — Imagen trabajo de campo 01	216
Figura 118 — Imagen trabajo de campo 02	216
Figura 119 — Imagen trabajo de campo 03	217
Figura 120 — Imagen trabajo de campo 04	217
Figura 121 — Imagen trabajo de campo 05	218
Figura 122 — Imagen trabajo de campo 06	218
Figura 123 — Imagen trabajo de campo 07	219
Figura 124 — Imagen trabajo de campo 08	219



INTRODUCCIÓN

La expansión edométrica de los vertisoles es un fenómeno problemático para la ingeniería geotécnica, en particular en regiones donde predominan las formaciones arcillosas con mineralogía activa de esmectitas e illitas; este comportamiento hidromecánico acoplado, caracteriza por cambios volumétricos de hasta un 300% según indicaciones de Puppala et al. (2019), lo que produce tensiones de hinchamiento superiores a los 150 KPa en consecuencia, los vertisoles generan serios problemas en cimentaciones y estructuras, tales como grietas, asentamientos diferenciales y fallas estructurales, con implicancias técnicas y económicas en construcción de pavimentos. En el contexto climático de la ciudad de Abancay, el problema se ve acentuado debido a las condiciones ambientales determinadas principalmente por un régimen pluviométrico bimodal de lluvias y variaciones de la humedad del 40% al 80% anuales, según SENAMHI (2023). Asimismo, la composición mineralógica muestra un predominio de arcillas en proporciones de 2:1 en perfiles residuales provenientes de la meteorización de rocas volcánicas, conforme a Curo y Vargas (2018). En consecuencia, existen vacíos de conocimiento en el estudio de la variación expansiva de los suelos, así como la falta de modelos constitutivos validados para suelos expansivos, y la escasa disponibilidad de modelos predictivos, lo que evidencia la necesidad de profundizar en su análisis.

La presente investigación tuvo como objetivo general evaluar la influencia de la variabilidad de la expansión del suelo bajo cargas estáticas en el comportamiento y la resistencia de los suelos de la ciudad de Abancay. Este estudio buscó caracterizar el comportamiento expansivo de los suelos, considerando la influencia de las cargas estáticas y el factor tiempo, aspectos fundamentales para el diseño de cimentaciones y estructuras adaptadas a las condiciones geotécnicas de la ciudad de Abancay.

Para alcanzar este propósito, se establecieron tres objetivos específicos: El primero fue determinar la influencia de la expansión del suelo bajo cargas estáticas en el Índice de Soporte California (CBR) de los suelos en la ciudad de Abancay, 2024. El segundo fue determinar la variabilidad de la expansión del suelo bajo cargas estáticas en diferentes periodos de tiempo de los distintos suelos de la ciudad de Abancay, 2024. Y el tercero fue desarrollar un modelo predictivo utilizando parámetros geotécnicos para estimar la expansión del suelo bajo cargas

estáticas en la ciudad de Abancay, 2024. Estos objetivos permitieron obtener datos cuantitativos sobre la capacidad expansiva y la resistencia de suelos, los cuales fueron fundamentales para predecir su comportamiento bajo condiciones de carga y humedad, durante el inicio de la investigación se hallaron valores del Índice de Plasticidad (IP) en un rango de 20 a 40, lo que indica una plasticidad elevada y, por ende, una mayor capacidad de expansión.

La justificación de esta investigación radica en la necesidad de comprender el comportamiento de estos suelos, y su impacto en los pavimentos generando información técnica específica sobre los suelos expansivos de la ciudad de Abancay, dado que la falta de estudios detallados en la urbe puede derivar en diseños inadecuados y, en consecuencia, en fallas estructurales. Los resultados de este trabajo contribuirán al conocimiento geotécnico local y proporcionarán herramientas valiosas para ingenieros y constructores, permitiendo optimizar diseños de cimentaciones y reducir los riesgos asociados a la expansión del suelo.

En consecuencia, los terrenos con suelos expansivos en la ciudad de Abancay suponen un reto considerable para la infraestructura de pavimentos, debido a su tendencia a expandirse en función del nivel contenido de humedad. Este fenómeno, característico en terrenos arcillosos, **compromete** la estabilidad de vías y carreteras, generando fisuras y deformaciones por lo que incrementan los gastos de conservación y restauración. Investigaciones realizadas en el área destacan la relevancia de identificar estos terrenos y aplicar métodos de construcción apropiados para minimizar sus impactos negativos (Pérez et al. 2020).

Por consiguiente, estudios locales ha registrado que la capacidad de expansión puede oscilar entre el 2% y el 6%, en función de su nivel de humedad y la composición mineralógica Huamán y Chávez (2019). Este espectro de expansión puede producir presiones superiores a los 100 kPa, lo que representa un riesgo significativo para construcciones y pavimentos (Huamán et al. 2021).

Por ende, la investigación proporcionó datos cuantificables y modelos predictivos que permiten aproximar el comportamiento expansivo de los suelos a lo largo de la ciudad de Abancay, para el uso y aplicación en el diseño de pavimentos de las distintas calles y avenidas de la ciudad de Abancay.



La investigación se estructura en 06 capítulos. En el capítulo I se describe el planteamiento del problema, incluyendo el problema general y los problemas específicos, culminado con la justificación de la investigación y la delimitación del estudio. El capítulo II aborda los objetivos y las hipótesis de la investigación sean generales como específicos. El capítulo III presenta el marco teórico, donde se revisan los conceptos fundamentales sobre la expansión del suelo y los métodos de análisis geotécnico. El capítulo IV describe la metodología empleada en la investigación, detallando las pruebas realizadas y los procedimientos seguidos. El capítulo V se presenta los resultados obtenidos y sus discusiones. Finalmente, con el capítulo VI se expone las conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación.



RESUMEN

La expansión del suelo es un problema geotécnico significativo en zonas con presencia de suelos arcillosos expansivos, como ocurre en la ciudad de Abancay, donde los cambios de humedad generan variaciones volumétricas que afectan el comportamiento de los pavimentos; en este contexto, la presente investigación tiene como objetivo analizar la asociación entre la variabilidad de la expansión del suelo bajo cargas estáticas y el comportamiento y la resistencia de los suelos de la ciudad de Abancay, durante el año 2024. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un tipo de investigación aplicada, nivel descriptivo correlacional y diseño experimental. La metodología se desarrolló en la realización de ensayos de laboratorio en muestras representativas de suelos arcillosos, evaluando la expansión del suelo en diferentes periodos de tiempo (24, 48, 72 y 96 horas), así como la determinación del Índice de Soporte California (CBR) como parámetro de resistencia. Los resultados evidenciaron que la expansión del suelo presenta variaciones significativas en función del tiempo de exposición y del grado de compactación, registrándose valores de expansión comprendidos entre 1.2 % y 2.5 %; asimismo, se identificó una asociación inversa entre el grado de compactación y la magnitud de la expansión del suelo. En conclusión, la investigación demuestra que la variabilidad de la expansión del suelo bajo cargas estáticas se encuentra asociada al comportamiento mecánico de los suelos, lo que permite aportar información técnica relevante para el diseño y la optimización de pavimentos en la ciudad de Abancay.

Palabras clave: *Expansión del suelo, suelos arcillosos, cargas estáticas, índice de soporte California (CBR).*



ABSTRACT

Soil expansion represents a significant geotechnical problem in areas with the presence of expansive clay soils, such as the city of Abancay, where changes in humidity generate volumetric variations that affect the behavior of this context, the objective of this research was to analyze the association between the variability of soil expansion under static loads and the behavior and strength of soils in the city of Abancay during 2024. The study was conducted under a quantitative approach, with an applied type of research, descriptive level, and experimental design. The methodology involved laboratory testing on representative samples of clayey soils, evaluating soil expansion at different time intervals (24, 48, 72, and 96 hours), as well as determining the California Bearing Ratio (CBR) as a strength parameter. The results showed that soil expansion varies significantly depending on the exposure time and degree of compaction, with expansion values ranging between 1.2% and 2.5%. In addition, an inverse association was identified between the degree of compaction and the magnitude of soil expansion. In conclusion, the findings demonstrate that the variability of soil expansion under static loads is associated with the mechanical behavior of soils, providing relevant technical information for pavement design and optimization in the city of Abancay.

Keywords: *Soil expansion, clayey soils, static loads, California bearing ratio (CBR).*



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

La expansión del suelo constituye una problemática geotécnica relevante a nivel mundial especialmente en regiones donde predomina los suelos arcillosos sometidos a variaciones significativas de humedad. Este fenómeno genera cambios volumétricos que inciden en asentamientos diferenciales los cuales provocan tensiones estructurales que derivan en grietas y depresiones en el pavimento que incrementan los costos de mantenimiento y rehabilitación. En muchos países se han reportado pérdidas económicas considerables asociados a este fenómeno expansivo lo que evidencia la magnitud técnica y financiera del problema.

Los daños ocasionados por el hinchamiento y contracción de estos suelos se muestran a nivel mundial donde fueron reportados en muchos países como Australia, Reino Unido, China, Estados Unidos, India y Sudáfrica. Los estudios internacionales identifican que el riesgo geotécnico por suelos expansivos se intensifica en regiones con variaciones extremas de humedad. En un estudio realizado en la ciudad de Tabuk en Arabia Saudita en el año 2018, debido a la saturación de los suelos arcillosos, estos se expanden al absorber agua, lo que genera el potencial de ejercer fuerzas significativas sobre edificaciones u otras estructuras dando lugar a presiones de hinchamiento elevadas.

Asimismo, Jones y Jefferson (2023), la presencia de suelo expansivo tiene un impacto significativo en la construcción de muchas zonas en el suroeste de EE. UU. Estas tierras están caracterizadas por una gran cantidad de minerales arcillosos donde reduce la vida útil hasta en un 40% por fisuras y humectación diferencial en pavimentos. las pérdidas económicas causadas por los fenómenos expansivos del suelo superan los más de 15 mil millones de dólares cada año superando el doble de daños que causan los fenómenos naturales.

Del mismo modo, British Geological Survey (2021), precisa que, en el Reino Unido los efectos de la expansión e hinchamiento de suelos expansivos fueron reconocidos por



geotécnicos especialistas locales después del verano árido del año de 1947, a partir del cual los costos asociados a daños producidos han incrementado drásticamente. Según ABI (2023), el porcentaje del costo promedio de la subsidencia relacionada con la expansión de los suelos arcillosos para la industria de seguros asciende a más de 4 billones de dólares al año. Esto se debe a la presencia generalizada de suelos arcillosos en el Reino Unido, cuya capacidad de expansión varía de moderada y severa.

En este sentido, en Sudamérica se registró distintos eventos asociados a la expansión en las principales ciudades del continente, los más relevantes se situaron en Colombia donde tuvo una pérdida de más de 120 millones de dólares al año debido a deformaciones en la sub rasante de la vía en el Valle del Cauca; en Argentina en la región Pampeana, en Brasil en su área central y en Ecuador en la provincia de Manabí donde se registraron eventos expansivos del suelo de gran magnitud que generaron pérdidas materiales y económicas en proyectos viales y edificaciones reportados por INGEOMINAS (2021). Estos daños afectan las cimentaciones, cuyo origen radica en la naturaleza de estos suelos por su elevada plasticidad y sus cambios volumétricos que al expandirse ocasionan inestabilidad y poca portabilidad.

Los suelos expansivos exhiben variaciones volumétricas considerables de hasta un 30% según Puppala et al. (2022), lo que genera tensiones estructurales que comprometen la integridad de los pavimentos. La expansión de los suelos arcillosos activos debido a su comportamiento hidromecánico adverso resultando en daños a las estructuras. El deterioro se origina debido a los cambios de volumen de estos minerales al exponerse al agua provocando sedimentos irregulares, lo que contribuye a la manifestación de grietas en los principales elementos estructurales de los pavimentos rígidos como flexibles, en consecuencia el fenómeno compromete la estabilidad del sistema estructural generando deformaciones diferenciales no uniformes. Las arcillas expansivas constituyen un riesgo geotécnico a nivel continental, con daños anuales estimados en 23 mil millones de dólares en infraestructura (Puppala et al. 2022).

Así mismo en nuestro país (Perú), el fenómeno de la expansión de suelos se registró por primera vez cuando se inició la construcción del Canal de Quiroz en Piura en el año 1956 que se realizó con una inversión de 28 millones de soles, una obra que beneficiaría a más de 40,434 familias. Se registra la ocurrencia de daños asociados a este fenómeno



en diversas localidades, como San Lorenzo, Paita, Talara y Chiclayo. Actualmente se registró grietas estructurales ($>5\text{cm}$) en el 30% de viviendas en Catacaos Piura CISMID-UNI (2022). Del mismo modo se idéntico la presencia de arcillas expansivas en zonas como Tumbes y Bayóvar, lo cual representa un factor relevante para el análisis de riesgos y la planificación territorial en estas áreas. Estos suelos se distribuyen principalmente en la región región norte y nororiente del territorio peruano, abarcando grandes áreas en regiones como, Tumbes, Piura, Lambayeque, La Libertad, Cajamarca, Amazonas, San Martín y Loreto.

De igual manera en la ciudad de Abancay se visualiza notablemente la deformación en los pavimento rígidos y flexibles que entorpecen la fluidez vehículos y peatones, reportándose deformaciones longitudinales ($\geq 10\text{ cm}$) en la Av. Panamericana según INDECI (2021). Coincidentemente en las edificaciones en el barrio de San Luis reportaron fisuras diagonales de 45° en muros de albañilería IP=35% GORE Apurímac (2022). Estos antecedentes constituyen la base para el análisis de la expansión de suelos arcillosos como base en la presente investigación.

Por lo tanto, la variabilidad de la expansión del suelo se manifiesta en diferentes zonas de Abancay, pero su impacto específico en el Índice de Soporte California (CBR) frente a cargas estáticas no ha sido plenamente comprendida. Esta falta de análisis exhaustivo genera incertidumbre en el diseño de pavimentos, lo que podría derivar a infraestructuras viales ineficientes y costosas intervenciones de mantenimiento.

En consecuencia, los daños estructurales en edificaciones y vías a lo largo de la Av. Panamericana y otras calles de la ciudad son visiblemente identificables. Según los estudios realizados por el INDECI en el año 2007 en la ciudad de Abancay, se han realizado 80 calicatas con un reporte de un 25% de suelos arcillosos. Estos estudios se centran en el análisis de daños asociados a un fenómeno específico, así como en la identificación de arcillas expansivas en diversas áreas de la ciudad, como Colcaqe, cementerio Puca Puca, barrio San Luis, Av. Panamericana y la urb. Bellavista. Justificando la necesidad de la presente investigación.



1.2 Enunciado del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo se manifiesta la variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas identificados en la ciudad de Abancay durante el año 2024?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo varía la expansión de los suelos arcillosos bajo cargas estáticas en función del tiempo de exposición experimental?
- ¿Qué grado de asociación existe entre la expansión de los suelos arcillosos bajo cargas estáticas y el Índice de Soporte California (CBR)?
- ¿De qué manera los parámetros geotécnicos pueden ser utilizados para estimar el CBR al 95% del suelo bajo cargas estáticas en la ciudad de Abancay?

1.3 Justificación de la investigación

La presente investigación se justifica desde los enfoques teórico, práctico, metodológico, social y técnico. Abordando un problema geotécnico, basado en el comportamiento de los suelos arcillosos expansivos débilmente estudiados en el diseño de la infraestructura vial.

• Justificación teórica

Desde el punto de vista teórico, el presente estudio contribuye al análisis del comportamiento expansivo de los suelos arcillosos bajo cargas estáticas, enfocándose en la variabilidad de la expansión del suelo en función del tiempo y su relación con parámetros de resistencia (CBR). La originalidad del estudio radica en la necesidad de comprender y abordar un conjunto específico de desafíos geotécnicos asociados a los procesos de expansión y contracción del suelo, asimismo el estudio se orienta al desarrollo y análisis de estrategias de mitigación específicas para suelos expansivos. Estos métodos semicuantitativos generan resultados numéricos que en muchos casos se interpreta como índices de expansividad que como propiedades físicas fundamentales del suelo.



- **Justificación práctica**

La justificación práctica del estudio se sustenta en la utilidad directa de los resultados para el diseño, evaluación y mantenimiento de pavimentos. En la ciudad de Abancay, las propiedades expansivas de los suelos arcillosos no son consideradas de manera adecuada como parámetro de diseño, lo que ha generado elevados costos de reparación y mantenimiento de la infraestructura vial. De acuerdo con reportes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2023).

Según Registro del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC (2023), el 85% de estudios geotécnicos realizados en proyectos viales del 2015 al 2023 omiten evaluar la cinética expansiva bajo cargas estáticas, pese a que el 72% de total de muestras evaluadas muestran un $IP > 30\%$. La cuantificación de este fenómeno expansivo no definido y poco evaluado en las investigaciones y proyectos nos generan resultados con datos no confiables y con poca veracidad que afecta directamente al diseño geotécnico en pavimentos, tomando como punto de partida esta deficiencia, la investigación busca aportar datos cuantitativos confiables que sean de provecho para el diseño y estudio de los suelos de la ciudad de Abancay.

- **Justificación metodológica**

Desde el enfoque metodológico, presenta un valor significativo al aplicar un diseño experimental y un análisis estadístico asociativo, La integración de ensayos geotécnicos de laboratorio con técnicas de análisis de correlación permite evaluar de manera objetiva la variabilidad de la expansión del suelo y su asociación con el CBR, El ensayo más común es “prueba de expansión si bien miden directamente las características deseadas del suelo y son relativamente fáciles de realizar, presentan limitación de no contar con una metodología de prueba universalmente aceptada, lo que dificulta que sus resultados no siempre sean comparables” (Ballinas, 2006, pp.55).

Este estudio superara enfoques empíricos tradicionales que consideran estos fenómenos de forma aislada y estandarizar los ensayos de expansión de suelos en la ciudad de Abancay.



- **Justificación social y técnica**

La investigación responde a la necesidad de contar con una infraestructura vial durable y sostenible sin generar gastos adicionales en refacciones y reparaciones en las vías principales de la ciudad de Abancay. Ya que vienen realizándose masivas restauraciones y proyectos que se vienen ejecutando en calles y vías principales en la ciudad sin darle un enfoque mayor al estudio de suelos considerando a las propiedades expansivas del suelo como daños menores, sin considerar que la variación interanual de humedad está variando en $\pm 25\%$ entre 1990 y 2000 y una variación del $\pm 38\%$ entre el 2010 y 2022 según indica SENAMHI (2023). De igual forma el 40% de los pavimentos construidos entre 2018 y 2022 muestran deformaciones mayores a 5 cm en las temporadas húmedas según monitoreo (LIDAR, 2023).

La necesidad de una infraestructura vial robusta y sostenible en Abancay es imperativa para el desarrollo económico y social de la región. La variabilidad en la expansión del suelo se ha identificado como un factor clave que puede comprometer la calidad y durabilidad de los pavimentos. La comprensión de su relación con el Índice de Soporte California (CBR) bajo cargas estáticas es esencial para diseñar pavimentos que se adapten a las condiciones geotécnicas locales, garantizando así la seguridad y eficiencia a largo plazo de la red vial.

1.4 Delimitación

- **Descripción**

La investigación se ubicó en la ciudad de Abancay, provincia de Abancay, departamento de Apurímac. Con coordenadas UTM 13°38'2" Sur 72°52'53" Oeste con una superficie total de 3447,13 km² y una altitud media de 2,377 m.s.n.m con una población de 72,277 que emplean el idioma quechua y español en su gran mayoría, Abancay presenta suelos con características geotécnicas variadas, influenciadas por su ubicación en los Andes peruanos y su clima subtropical.

- **Contextualización**

Abancay, ubicado en la región de Apurímac presenta un desarrollo continuo que se reflejado tanto en su crecimiento poblacional como en las infraestructuras construidas. Producto de este crecimiento se da la ocupación de nuevas áreas sin



considerar las características geodinámicas y climáticas de Abancay. Las constantes lluvias (sobre todo, entre los meses de diciembre y marzo) generan la ocurrencia de fenómenos como los movimientos en masa que afectan a la ciudad y poblados aledaños. Los suelos de la región presentan una variedad de características que afectan directamente su comportamiento geotécnico y su interacción con las estructuras construidas.

Abancay presenta alta susceptibilidad a los movimientos masivos están influenciados principalmente por varios factores, como la alta intemperie, la vegetación, la pendiente, la hidrología, la geomorfología y la topografía. Estos factores desempeñan un papel importante en la formación de suelos residuales y arcillosos que afectan en la estabilidad de las bases y cimientos de las infraestructuras en la ciudad de Abancay. La mayoría de los problemas surgen dentro de la capa del suelo como resultado del movimiento de los flujos subterráneos y filtraciones, lo que provoca un aumento de la presión de los poros. Este aumento de la presión de los poros es particularmente prominente durante los períodos de lluvia. el hinchamiento y contracción de las arcillas generan vacíos y con la actividad dinámica de vehículos y otros factores dan por resultado fallas estructurales en vías y edificaciones.

El producto obtenido de esta investigación es necesaria e imprescindible para la creación de medidas técnicas destinadas al diseño de pavimentos en los suelos de la ciudad y disminuir la susceptibilidad de la comunidad abanquina.



CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1 Objetivo general

Analizar la variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas identificados en la ciudad de Abancay durante el año 2024.

2.1.2 Objetivos específicos

- Determinar la variabilidad de la expansión de los suelos arcillosos bajo cargas estáticas en función del tiempo de exposición experimental.
- Determinar el grado de asociación entre la expansión de los suelos arcillosos bajo cargas estáticas y el Índice de Soporte California (CBR).
- Estimar el CBR del suelo mediante el uso de la regresión Ridge a partir de parámetros geotécnicos en la ciudad de Abancay.

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.1 Hipótesis general

La expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas presenta una variabilidad significativa en la ciudad de Abancay durante el año 2024.

2.2.2 Hipótesis específicas

- La expansión de los suelos arcillosos bajo cargas estáticas presenta variaciones significativas en función del tiempo de exposición experimental.
- Existe una asociación significativa entre la expansión de los suelos arcillosos bajo cargas estáticas y el Índice de Soporte California (CBR).



- El uso de la regresión Ridge aplicado a los parámetros geotécnicos permitirá estimar con un nivel de error aceptable el CBR del suelo de la ciudad de Abancay.

2.3 Operacionalización de variables

Tabla 1 — Operacionalización de variables

Variables / parámetro	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems/ unidades
Variable de estudio: Variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas	Se refiere a las distintas características geotécnicas que influyen en la expansión de los suelos arcillosos frente a variaciones de humedad que generan deformaciones en diversas áreas geográficas. Incluye cambios en composición mineralógica, compactación y retención de agua (Gonzales y Chavéz, 2021)	Implica muestreo, ensayos de laboratorio y el desarrollo de un modelo predictivo para cuantificar estas variaciones y comprender su impacto en el comportamiento geotécnico del suelo en diferentes ubicaciones (ROSALES, 2014)	<ul style="list-style-type: none"> • Características geotécnicas 	Contenido de humedad	porcentaje (%)
				Límites de Atterberg	Valores numéricos del LL, LP, e IP
				Granulometría (gravas, limos y arcillas)	porcentaje (%)
			<ul style="list-style-type: none"> • Cambio volumétrico 	Expansión	porcentaje (%)
<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de exposición experimental 	Tiempo de exposición del ensayo	Horas (24,48,72,96 horas)			
Parámetro de comportamiento y resistencia: Índice de Soporte California (CBR)	El Índice de Soporte California (CBR) es una medida geotécnica que evalúa la resistencia del suelo al soportar cargas bajo condiciones específicas (Juárez y Rico, 2005)	La medición del CBR se realiza mediante ensayos de laboratorio que simulan condiciones de carga estática, con el propósito de evaluar la resistencia del suelo y analizar su asociación estadística con la variabilidad de la expansión del suelo (MTC, 2016)	<ul style="list-style-type: none"> • Comportamiento o bajo cargas estática (Proctor) 	Densidad máxima seca	(g/cm ³)
				Contenido óptimo de humedad	porcentaje (%)
			<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia del suelo 	Valor CBR	porcentaje (%)



CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

3.1.1 Antecedentes internacionales

- a) De acuerdo con SI et al. (2023), en su artículo de investigación "Tecnología PS-InSAR y UAV utilizada en el estudio de estabilidad del aeropuerto de suelo expansivo de Ankang", tuvo como objetivo obtener el modelo digital de elevación del terreno (DEM) del área de llenado del aeropuerto utilizando UAV, y luego analizar la tasa de deformación y las series de tiempo de deformación del aeropuerto de suelo expansivo utilizando tecnología PS-InSAR. En la base teórica detalla la expansión de materiales geológicos naturales, caracterizado por su capacidad de experimentar procesos de expansión y contracción. La tecnología de radar interferométrico de apertura sintética (InSAR) se empleó para el monitoreo de peligros geológicos debido a su amplia cobertura, de alta precisión y capacidad de operación en todo tipo de condición climática. Asimismo, se utilizó la tecnología UAV para obtener el modelo de elevación digital del terreno (DEM) del aeropuerto de suelo expansivo de Ankang. A partir de esta información se extrajeron y analizaron las series temporales de deformación en los puntos característicos integrándolos con los datos de precipitación regional para analizar la relación entre la deformación periódica de la pendiente expansiva de los suelos del aeropuerto y las precipitaciones.

Los resultados del monitoreo de la tecnología InSAR permite el análisis de series temporales basada en la corrección de la elevación mostraron que la ley de la deformación del área del aeropuerto es altamente consistente con las características de expansión y contracción del suelo expansivo

El análisis concluyó que la ley de deformación del aeropuerto de los suelos expansivos de Ankang es muy consistente con las características de expansión y contracción del suelo expansivo.

- b) Abd El-Samea et al. (2022), en su artículo de investigación "Análisis numérico de cimentaciones superficiales sobre suelos expansivos", El objetivo fue analizar los daños causados por los suelos expansivos y su impacto en las estructuras asimismo comprender las propiedades de ingeniería de los suelos expansivos y las técnicas para elaborar cimientos en suelos expansivos.

El análisis se sustenta en el comportamiento de los suelos expansivo, los cuales experimentan cambios volumétricos debido a pequeñas fluctuaciones en el contenido de agua, lo que provoca deterioro de las estructuras. Los efectos asociados a estos fenómenos son relevantes asociados con una pérdida anual promedio estimada que excede los daños causados por inundaciones, huracanes, terremotos y tornados. La metodología consistió en la simulación un modelo numérico utilizando el software PLAXIS 3D Foundation V20 con la finalidad de evaluar el efecto del uso de suelo de arena de reemplazo y el tratamiento del suelo expansivo sobre el levantamiento del suelo. Sin aplicar el suelo de reemplazo, el suelo expansivo generó un aumento en el momento de la zapata, el momento de la viga del suelo y el momento de la base de la losa en un 100%, 300% y 122% respectivamente, proporcionando resultados como el uso del suelo arenoso de reemplazo con un espesor de 2,25 m bajo el momento de la zapata en un 75 %, el momento de la viga del suelo en un 100 % y el momento de la base de la losa en un 55,33 % en comparación con no usar suelo de reemplazo. En conclusión, la dosificación del suelo expansivo con 2 % de nanosílice y un espesor de 2,25 m disminuyó el momento de la zapata en un 70 %, el momento de la viga del suelo en un 83 % y el momento de la base de la losa en un 52% y así no utilizar suelo de reemplazo.

- c) Muhammad (2021), en su artículo de investigación "Estudio experimental sobre el comportamiento geotécnico, mineralógico y de hinchamiento de los suelos expansivos de KPK", se tuvo como objetivo determinar el comportamiento expansivo de los suelos mediante ensayos geotécnicos de laboratorio, con el fin de evaluar su impacto en las propiedades como



contenido de humedad, clasificación de suelos, índice de hinchamiento libre o diferencial y ensayos de consolidación unidimensionales. El estudio se sustentó en el comportamiento de suelos expansivos los cuales se hinchan y contraen rápidamente debido a cambios en el contenido de humedad, lo que generan daños en las infraestructuras y pérdidas económicas. La metodología incluyó el uso de técnicas de difracción de rayos X (DRX) y fluorescencia de rayos X (XRF) para determinar la composición mineralógica y elemental de las muestras de suelo. De igual manera se utilizó microscopía electrónica de barrido (SEM) junto con análisis de espectroscopía de dispersión de energía (EDS) para evaluar los tejidos internos de las muestras de suelo a un nivel micro. constructivo para la estabilización y protección de suelos de dichas muestras,

Los resultados evidenciaron que los suelos de Jalala, Mardan y Pakistán, tienen un potencial de hinchamiento de moderado a alto, atribuido a la presencia de minerales arcillosos expansivos como montmorillonita, esméctica y caolinita.

Finalmente, concluyó que la presencia de minerales arcillosos expansivos en el suelo debe considerarse explícita en el diseño de infraestructuras geotécnicas para mitigar los posibles daños causados por el comportamiento de hinchamiento del suelo.

- d) Miret-Roig (2022), en su estudio "Modelización del comportamiento de suelos expansivos en un marco elastoplástico", el objetivo del estudio fue desarrollar y analizar un modelo de marco elastoplástico, que a su vez permita describir el comportamiento claro de los suelos expansivos. El estudio se fundamenta en el marco teórico del comportamiento elastoplástico de los suelos arcillosos integrando el comportamiento hidráulico mediante el uso de un modelo sólido poroso. la metodología del estudio inicia en el estudio amplio del marco elastoplástico, el comportamiento volumétrico de los suelos y el comportamiento hidráulico de los suelos simulando el modelo solido poroso. Respecto a la población y muestra utilizó los datos de suelos solidos porosos en su investigación sobre

su expansión, dando resultados que la estructura elastoplástica desarrollada es capaz de simular el comportamiento de suelos expansivos bajo diferentes trayectorias de tensión, como se muestra a través de comparaciones experimentales numéricas. Finalmente se concluye que el índice de expansión en la estructura depende de la densidad del suelo, el estado de las tensiones y la dirección del incremento de la tensión efectiva con respecto a las superficies de fluencia en el plano de la tensión media efectiva contra la succión.

El modelo proporciona una comprensión integral del comportamiento volumétrico de suelos expansivos y puede usarse para analizar su respuesta a diferentes condiciones de carga.

- e) Ordoñez (2022), en su tesis titulada "Estudio de las características físicas y mecánicas de los suelos expansivos en la parroquia Nulti, Cuenca", su objetivo fue determinar las características del suelo mediante ensayos de laboratorio con la finalidad de establecer su grado de expansibilidad. Para ello, se basó en la teoría de Buitron y Enriquez (2018), quien señala que los suelos expansivos corresponden a suelos arcillosos que presentan inestabilidad cuando hay presencia de humedad, debido a que su principal característica experimenta cambios volumétricos y se contraen en ausencia de esta. El área de estudio corresponde directamente a la parroquia de Nulti, la cual está constituida por suelos arcillosos expansivos, dicha zona se ha visto afectada por los movimientos del terreno, causando problemas geotécnicos por lo que seleccionó esta zona para poder realizar los ensayos de la muestra de suelos. En ese sentido debido a la afección por los deslizamientos y hundimientos, limitado el desarrollo de infraestructura y la expansión de servicios básicos, ya que el área dispone de escasos terrenos aptos y presenta un proceso creciente de erosión del suelo. La parroquia Nulti cuenta con una población de 4324 personas; los resultados obtenidos a partir de la extracción de muestras del suelo en la coordenada E730636; N9683091, evidenció una disminución de pérdidas en el ensayo de humedecimiento y secado, siendo más notable este efecto en los suelos arcillosos, en 1% y un 3,5% por cada 0.02 gr/cm³ de aumento en la densidad; también que los



ensayos realizados en suelos arenosos y limosos la resistencia a la compresión va tener un valor máximo para una humedad más o menos menor que la óptima. Con base en los resultados, se concluye que la caracterización mecánica se realizó mediante el ensayo Proctor estándar, sin embargo los resultados no fueron satisfactorios, debido a que no se pudo controlar la expansividad del suelo.

3.1.2 Antecedentes a nivel nacional

- a) Conde Catacora (2019), en su tesis "Cálculo de la capacidad portante en suelos con propiedades expansivas en el C.P. San Antonio - Moquegua", el objetivo fue calcular la capacidad portante en los suelos con propiedades expansivas para mejorar su diseño en las construcciones de ingeniería civil en el C.P. San Antonio del departamento de Moquegua; la base teórica consideró los principios del suelo como la base física sobre la cual se proyectan las obras, el interés de esta radica en las propiedades físicas y mecánicas que implicó las cargas impuestas al suelo desde el enfoque de sus propiedades expansivas. La metodología de investigación se enfocó en dos direcciones primero, la investigación en campo y los ensayos de laboratorio. Respecto a la población de estudio, esta correspondió al centro poblado de San Antonio en el distrito de Moquegua ya que la variabilidad de propiedades físicas y mecánicas del suelo variaron en diferentes zonas.

Después de realizar su trabajo de investigación, se determinó los siguientes resultados como la expansividad en grados, se aplicó la carta de Williams del método cualitativo, se obtuvo un porcentaje de finos expansivos de las arcillas de menor plasticidad. Como resultados analizados del ensayo de expansión libre de la muestra saturada durante siete días, se dio un porcentaje de expansión de 4,7 %. Con los datos del porcentaje de expansión libre se hizo el ensayo del potencial de expansión determinando la presión de expansión de la muestra del suelo de 0,3 kg/cm².

Por lo tanto, se concluyó que, para el diseño de estructuras de cimentación en los suelos expansivos se debe considerar criterio profesional de un especialista en geotecnia. Por lo tanto, la carga última del suelo tipo arena



arcillosa de baja plasticidad fue de 10,84 kg/cm²; en función de este valor, se adoptó una carga admisible de 3,61 kg/cm².

- b) Peralta Tingal et al. (2021), en su trabajo de investigación "Arcillas expansivas: Caracterización, riesgos y alternativas de mitigación", tuvieron como principal objetivo la caracterización en las arcillas expansivas en diferentes suelos así como el análisis de riesgos asociados y alternativas para mitigarlos; la base teórica respecto sobre suelos expansivos y los daños derivados de su presencia ha sido documentado en mas 40 países como se cita en Jones y Jefferson, (2012). Estos daños se elevan a muchos millones de dólares a nivel del mundo anualmente según Firoozi et al. (2017). En el Perú, debido a la existencia de suelos arcillosos expansivos y climas lluviosos en la mayoría de las zonas, es necesario un plan de mitigación para evitar daños estructurales. Respecto a la metodología se desarrolló en una investigación documental, definida como la búsqueda de la respuesta específica partiendo de la indagación en documentos de Baena (2014). Además, esta forma de investigación nos permite describir, analizar, explicar, comparar y observar las fuentes de información, según Ávila (2006). La población se basa en la mitigación a nivel nacional de estos tipos de suelos, en el Perú los resultados de los suelos expansivos se pudieron identificar con una inspección visual, ya que suelen presentar grietas visibles a causa de la expansión y contracción que experimenta, varían dependiendo del contenido de humedad. En ese sentido la norma E.050 de suelos y cimentaciones MVCS (2018), establece la realización de ensayos específicos tales como la determinación de plasticidad del suelo según NTP 339.129, el ensayo de granulometría por sedimentación según NTP 339 y el ensayo de determinación de hinchamiento unidimensional de suelos arcillosos expansivos según NTP 339.170. A partir de estos ensayos se dan el nivel de potencial de expansión del suelo que llegan a ser bajo, medio, alto o muy alto. En conclusión, se establece que, para mitigar los efectos negativos a causa de la presencia de arcillas expansivas, es prioritario mejorar la cimentación; tratar el suelo en caso de expansión baja y evitar construir en las zonas con alto potencial de expansión.



- c) Gutiérrez y Salas (2021), desarrollaron la investigación titulada “Evaluación del potencial expansivo y su influencia en el CBR de suelos arcillosos en proyectos viales de la costa peruana”. El objetivo principal fue determinar el potencial de expansión y analizar su incidencia en el CBR en suelos utilizados como subrasante. La metodología correspondió a una investigación aplicada de nivel explicativo, para ello se realizaron ensayos de límites de Atterberg (NTP 339.129), granulometría (NTP 339.128), Proctor Modificado (NTP 339.141), CBR (NTP 339.145) y hinchamiento unidimensional (NTP 339.170), conforme a la Norma E.050 – Suelos y Cimentaciones (MVCS, 2018). Los resultados evidenciaron índices de plasticidad entre 30% y 46%, valores de expansión entre 3.2% y 8.1%, CBR natural entre 2.5% y 6%, y CBR compactado al 95% entre 5% y 11%. Se concluyó que suelos con expansión mayor al 6% presentan CBR inferiores al 5%, lo cual afecta la estabilidad estructural de pavimentos flexibles.
- d) Quispe Mamani (2022), en la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, desarrolló el estudio “Comportamiento volumétrico y resistencia de suelos arcillosos expansivos en la región sur del Perú”, cuyo objetivo fue evaluar la variación volumétrica bajo cargas estáticas y su influencia en la resistencia del suelo. La investigación fue de tipo experimental y se realizaron ensayos de Proctor Estándar, CBR sumergido, ensayo edométrico de expansión y determinación de límites de consistencia. Los resultados mostraron contenidos óptimos de humedad entre 19% y 23%, densidades secas máximas entre 1.60 y 1.74 g/cm³, expansión entre 4% y 9%, y valores de CBR sumergido entre 1.5% y 4.2%. Se determinó que un incremento de 4% en el contenido de humedad generó un aumento aproximado de 1.8% en la expansión y una disminución promedio del 35% en el CBR, evidenciando la pérdida de capacidad portante en presencia de alta plasticidad.
- e) Flores y Ccahuana (2023), en la Universidad Nacional del Altiplano, realizaron la investigación titulada “Influencia del índice de plasticidad en la expansión y capacidad de soporte de suelos arcillosos del altiplano peruano”. Cuyo objetivo fue determinar la influencia del índice de plasticidad en la expansión y CBR, El estudio fue de tipo aplicado con diseño no experimental transversal. Se efectuaron ensayos de granulometría,

límites de Atterberg, Proctor Modificado, CBR e hinchamiento controlado. Los resultados indicaron un índice de plasticidad promedio de 37%, fracción fina superior al 60%, expansión promedio de 6.5%, CBR natural de 3% y CBR compactado de 8%. Los autores concluyeron que suelos con fracción fina mayor al 60% presentan expansiones superiores al 5% y CBR menores al 6%, lo que se clasifican como subrasantes de baja calidad estructural.

3.1.3 Antecedentes a nivel local

- a) Huaracca (2022), en la Universidad Tecnológica de los Andes, desarrolló la investigación titulada “Efecto mecánico de suelos arcillosos con adición de polvo de caucho para el mejoramiento de la subrasante en la Av. Santo Domingo – Abancay – Apurímac”, el objetivo fue evaluar el mejoramiento del índice de soporte California (CBR) mediante la incorporación de polvo de caucho reciclado en suelos arcillosos locales. La investigación fue de tipo experimental para ello se realizaron ensayos de Proctor Modificado y CBR conforme a la Norma E.050 – Suelos y Cimentaciones MVCS (2018). Los resultados indicaron que el suelo natural presentaba un CBR promedio de 5.2%, clasificándose como subrasante de baja capacidad estructural. Con la adición del 7% de polvo de caucho, el CBR se incrementó hasta 11.6%, evidenciando mejora significativa en la resistencia mecánica. Este estudio demuestra que los suelos arcillosos de Abancay presentan baja capacidad portante en estado natural, lo que respalda la necesidad de evaluar factores como la expansión y variación volumétrica que influyen directamente en su comportamiento estructural.

- b) Huillcas (2023), en su artículo de investigación “Caracterización de la geohidrología en el movimiento en masa de suelos en Urbanización Bellavista – Abancay” publicado sobre la geohidrología y movimientos en masa en la Urbanización Bellavista de Abancay, en el cual analizó la influencia de la infiltración de aguas pluviales en depósitos limo-arcillosos locales. La investigación determinó que la presencia de materiales arcillosos combinada con variaciones de contenido de humedad incrementó la inestabilidad del terreno, favoreciendo deformaciones y asentamientos diferenciales. Si bien el estudio se enfoca en procesos geodinámicos, aporta evidencia sobre la susceptibilidad volumétrica de los suelos arcillosos de



Abancay frente a cambios de contenido de agua, aspecto directamente relacionado con el fenómeno de expansión.

3.2 Marco teórico

3.2.1 Suelos

El suelo es una capa superficial de la corteza terrestre dándose origen por la desintegración de las rocas y los desechos generados por las actividades rutinarias de los organismos vivos que residen y subsisten en él Crespo (1998). Desde el punto de vista de la ingeniería, el suelo constituye la base física sobre la cual se llevan a cabo diversas construcciones ya sean de transporte, vivienda etc. La importancia de esta base radica en las propiedades físicas y mecánicas, las cuales permiten soportar las cargas ejercidas sobre el suelo Braja (2010). En concordancia por Budhu, definiendo a los suelos como sustancias que resultan de la erosión de las rocas Budhu et al. (2010). En consecuencia, su formación está directamente relacionado con los procesos de descomposición de las rocas y sus características dependen de los minerales presentes en las distintas rocas.

3.2.1.1 Tipos de suelo

En el campo de la geotecnia, los suelos se pueden clasificar en dos tipos principales: suelos granulares y suelos cohesivos. Los primeros se pueden dividir a su vez en gravas y arenas, mientras que los segundos se pueden clasificar en limos y arcillas. A lo largo del tiempo, se han desarrollado varios sistemas de clasificación. La clasificación más utilizada en todo el mundo, y la que se emplea en este artículo, es la clasificación SUCS, que fue establecida por la Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales (ASTM). De acuerdo con esta clasificación, los suelos finos son aquellos que contienen partículas que atraviesan más del 50% de la malla #200 (0,075 mm), mientras que los suelos granulares son aquellos que retienen más del 50% de la malla #200 (Braja, 2010).

Todos los suelos se originan directa o indirectamente a partir de rocas sólidas, que incluyen rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. Como afirma Crespo (1976), el proceso de formación de partículas en el suelo implica la desintegración y descomposición de las rocas provocada por



la acción de diversos factores, como el agua, la atmósfera, el clima y el tiempo. Según la clasificación de Crespo (1976), las partículas del suelo se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **Gravas:** Son fragmentos de roca con tamaños que van desde 3 pulgadas a 2 mm, que se encuentran comúnmente en lechos y riberas de los ríos.
- **Arena:** Partículas más pequeñas con diámetros que oscilan entre 0,0002 mm y 0,0005 mm, que normalmente se encuentran en los mismos lugares que la grava.
- **Limo:** Compuesto de partículas de arcilla, barro y arena, este tipo de suelo retiene el agua durante períodos más prolongados y tiene una textura más suave en comparación con el suelo arenoso. El tamaño de las partículas de limo oscila entre 0,05 mm y 0,005 mm.
- **Arcilla:** La división más pequeña de las partículas del suelo, con un diámetro inferior a 0,005 mm. Las partículas de arcilla poseen la propiedad de la plasticidad cuando se mezclan con agua.

3.2.2 Clasificación de los suelos

La clasificación de los suelos es un proceso fundamental en la ingeniería civil y geotécnica, ya que permite entender sus propiedades y comportamiento para diseñar cimentaciones, pavimentos y otras estructuras de manera segura y eficiente. Existen varios sistemas de clasificación de suelos, pero los más utilizados son los Sistemas Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y el sistema AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials).

3.2.2.1 Clasificación de suelos sistema AASHTO

El sistema AASHTO (American Asociación of State Highway and Transportation Officials), desarrollado por Karl Von Terzaghi y Hogentogler, se considera una de las clasificaciones de suelos más utilizadas en el campo de la construcción de carreteras. En este sistema



de clasificación AASHTO, hay siete grupos fundamentales de suelos designados con las etiquetas desde la A-1 a A-7. En este contexto, los materiales granulares se clasifican en los grupos A-1, A-2 y A-3 si menos del 35% del material pasa por el tamiz #200. Por otro lado, los materiales finos que superan el umbral del 35% se clasifican en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. Es importante señalar que están constituidos por limos y arcillas según Das (2022). La clasificación AASHTO se basa únicamente en el análisis granulométrico y los límites de Atterberg como métodos de prueba. Además, la determinación del índice de grupo (IG) implica evaluar el porcentaje (%) de material que pasa por el tamiz #200 Del siguiente modo.

$$IG=0,2 (a) + 0,005 (a) (c) + 0,01 (b) (d) \quad (01)$$

Donde

IG Índice de grupo (%)

- a F-35 (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200 - 74 micras). Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.
- b F-15 (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200 - 74 micras). Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.
- c LL - 40 (LL = límite líquido). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20.
- d IP-10 (IP = índice plástico). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20 o más.

Tabla 2 — Presentación de las condiciones para las variables del índice de grupo

35%(min)	a	75%(max)
0		40
15%(min)	b	35%(max)
0		40
Límite líquido (LL)		
40%(min)	c	60%(max)



0		20
Índice plástico (IP)		
10%(min)	d	30%(max)
0		20
FUENTE: AASHTO, 2020		

3.2.2.2 Clasificación de los suelos sistema SUCS

La clasificación del sistema denominada SUCS explica la composición y las dimensiones de las partículas del suelo. Según Das (2022), presenta una elucidación de la taxonomía de los suelos donde los suelos de grano grueso (G y S) consisten en grava y arena con un contenido fino inferior al 50%. Este sistema establece una clasificación de suelos lo que rige la granulometría, la configuración y la rigidez de la partícula.

Los suelos de grano fino (M y C) incluyen aquellos en los que más del 50% del material pasa por la malla N° 200 que corresponden a limos y arcillas. Las partículas no entran en contacto entre sí, lo que modula la capacidad de asimilar el agua. Asimismo los suelos orgánicos (O y Pt) están compuestos principalmente de materia orgánica, lo que limita su uso como material de soporte para cimentaciones.

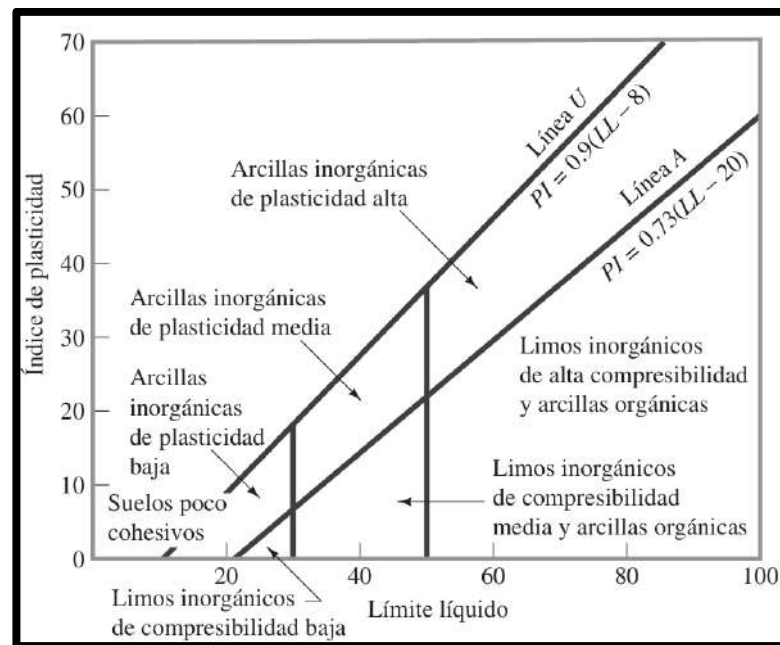
La categorización de las clasificaciones de suelos se aplica mediante la utilización de símbolos de agrupación, que incluyen un prefijo que significa la composición del suelo y un sufijo que indica sus propiedades inherentes. Según la clasificación SUCS podemos ver los tipos de suelos y sus subgrupos en la siguiente tabla.

Tabla 3 — Prefijos de tipo de suelo

Tipos de suelo	Prefijo	Subgrupo	Sufijo
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobremente	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcillosos	C
Orgánico (>50)	O	Limite líquido alto	L
Turba (<50)	Pt	Limite líquido bajo	H
FUENTE: Das, 2019			



Tras realizar una investigación empírica sobre los especímenes de suelos de textura fina, Casagrande pudo identificar con éxito sus posiciones en una representación gráfica que establece una correlación entre el límite líquido (LL) y el índice de plasticidad (IP). En este gráfico, comúnmente denominado diagrama de Casagrande para suelos cohesivos, hay dos líneas prominentes que delimitan los límites de manera de límites.



FUENTE: Das, 2019

Figura 1 — La carta de plasticidad

En el gráfico (figura 2) la plasticidad se refiere directamente al límite líquido y al índice de plasticidad en la clasificación de los suelos finos.

Se compone de la siguiente manera:

- **La línea A:** Se verifica la separación de los tipos de suelos entre limos (M) y arcillas (C)
- **La línea B:** Realiza la separación si el suelo es de baja plasticidad (L) o de alta plasticidad (H)

Las arcillas se caracterizan como sedimentos que comprenden cristales extremadamente finos ($<2 \mu\text{m}$) que consisten en filosilicatos, estos se



originan a partir de proceso de hidratación del aluminio. Estos sedimentos también pueden contener impurezas como limonita o cuarzo. Cuando entran en contacto con el agua, las arcillas exhiben propiedades plásticas y al secarse, conservan su forma original. La clasificación de las arcillas se basa en los minerales predominantes presentes en su composición, a saber, ilitas, caolinitas, montmorillonitas y esmécticas. Dentro de este último grupo las bentonitas, que consisten principalmente en esmécticas, y el caolín, que está compuesto predominantemente de caolinita. Otras arcillas incluyen ilitas y otros minerales arcillosos en su composición. Estudios recientes han confirmado la presencia de estos tres grupos mineralógicos en diversas regiones del Perú (INGEMMET, 2023).

Según Wray (2019), los suelos arcillosos son suelos que presentan cambios en su volumen con respecto a las fluctuaciones en la cantidad de agua y en casos de alteración significativa, se consideran suelos arcillosos expansivos. Estos suelos muestran un comportamiento caracterizado por la hinchazón y la contracción, lo que puede atribuirse a la existencia de minerales arcillosos, como la esmectita, en su composición, Zhang et al. (2021), indican que la esmectita, un término colectivo que abarca las montmorillonitas, representa un grupo de arcillas altamente expansivas que generan desafíos considerables en el rubro de las construcciones. Con el fin de obtener una comprensión más minuciosa del comportamiento de las arcillas expansivas, resulta necesario analizar las características físicas y químicas.

3.2.3 Características físicas del suelo

La identificación de los suelos se basa en el análisis de sus propiedades físicas, los cuales permiten asignar nombres a los suelos y establecer conexiones con sus características aplicadas a la geotecnia. Las propiedades índices se determinan mediante exámenes de laboratorio, entre los cuales destacan la categorización visual, el contenido de humedad, la gravedad específica, la granulometría, la plasticidad y la densidad máxima y mínima según (Holtz, Kovacs y Sheahan, 2021).



Según Das (2019), la inclusión del agua, la plasticidad, la estructura del suelo y la densidad seca se encuentran entre las propiedades físicas cruciales relevantes para las arcillas expansivas. La importancia de estos atributos se debe al papel fundamental que desempeña el agua en la expansión que presentan las arcillas expansivas.

Tabla 4 — Ensayos para la caracterización física y sus aplicaciones

Ensayo		Aplicación
Clasificación visual		Primer paso antes de la programación de los ensayos de laboratorio
Contenido de humedad		Se usa en muchos ensayos
Peso específico de los sólidos		Usado en la determinación de las características de un suelo
Granulometría	Tamizado	Clasificación de suelos. Estimación de la susceptibilidad de un suelo a la acción de la helada
	Sedimentación	Se emplea para la selección de materiales para la estabilización de carreteras, diseño de represas, etc.
Plasticidad	Límite líquido	Clasificación de suelos. Proporcionan una rápida estimación de algunas propiedades de los suelos arcillosos
	Límite plástico	
	Límite de contracción	Estimación de los efectos sobre la cimentación de una estructura cuando el contenido de humedad puede variar luego de la construcción.
Densidad máxima y mínima		Determinación de la densidad relativa de suelos granulares, para comparar resultados de ensayos con los estados naturales del suelo
NOTA Datos extraídos del libro principios de Ingeniería Geotécnica. FUENTE: Das, 2019		

3.2.4 Características mecánicas

Desde el punto de vista mecánico de los suelos podemos tomarlos como propiedades geotécnicas que incluyen la resistencia al corte y la compresibilidad dado que en las arcillas no solo dependen de su tamaño y forma sino de las características mineralógicas que podemos observar en la siguiente tabla.



Tabla 5 — Ensayo para la caracterización mecánica y sus aplicaciones

Ensayo		Aplicación
Comprensibilidad	Consolidación unidimensional	Permite evaluar los asentamientos que se producirán al aplicar una carga al suelo. Determinación de la permeabilidad.
	Consolidación triaxial	
Resistencia al corte	Compresión no confinada	Suelo de presiones admisibles de cimentaciones, diseño de taludes, cálculo de presiones de suelo, etc.
	Compresión triaxial	
	Corte triaxial	Determinación rápida de la resistencia al corte de un suelo
	Veleta	
<p>NOTA Datos extraídos del libro principios de Ingeniería Geotécnica. FUENTE: Das, 2019</p>		

3.2.5 Características mineralógicas

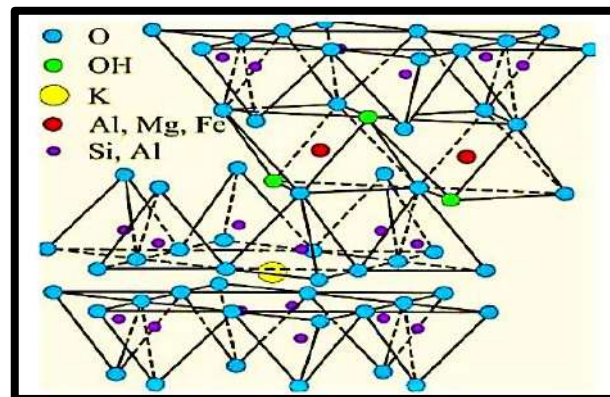
La composición mineralógica se da como el atributo más significativo en relación con los granos finos, como señala Terzaghi (1948). La clasificación de los minerales arcillosos se sostiene en la distribución de sus átomos y su capacidad para absorber o intercambiar cationes. Los principales grupos de esta clasificación abarcan las caolinitas, las illitas y las montmorillonitas, tal como lo describe Das (2019). Las montmorillonitas, en particular, asumen la función de ser una fuente preeminente de hinchazón en suelos expansivos y, además, son la variedad mineral más extendida.

- **Illitas**

Según Zhang et al. (2019) este mineral lo denomina arcilla micácea donde se compone de una lámina de gibsita unida a una lámina de sílice en la parte superior y otra en la inferior unidas por iones de potasio, se percibe que la superficie específica es de 80 m²/g aproximadamente. Por otro lado, Puppala et al. (2021), destacan que, aunque las illitas no son tan expansivas como otros



minerales arcillosos, su presencia puede afectar la estabilidad de los suelos en proyectos de ingeniería civil.

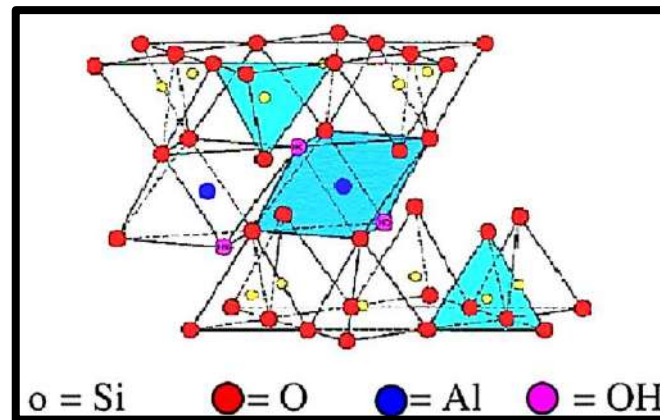


FUENTE: Zhang et al, 2019

Figura 2 — Estructuras illitas

- **Montmorillonitas**

Este mineral presenta una semejanza estructural con la illita, lo que significa que consiste en una lámina de gibbsita unida a una lámina de sílice superior e inferior que se fusionan debido a la ausencia de iones de potasio, el espacio entre las láminas posee una fuerte afinidad por el agua. La superficie específica de este mineral se estima en aproximadamente 800 m²/g según Braja (2019). La montmorillonita, que pertenece al grupo de las esmécticas, tiene la mayor capacidad de intercambio iónico de la mayoría de los minerales arcillosos, con una capacidad diez veces mayor que la de la caolinita Zhang et al. (2019). Este aumento del intercambio iónico, que se produce en las superficies cargadas negativamente del mineral arcilloso y entre sus capas, influye significativamente en la posibilidad de que se hinche como nos indica Das (2022) menciona que esta capacidad confiere a las arcillas una cualidad expansiva lo que resulta en la expansión de todos los minerales arcillosos hasta cierto punto (Das, 2022).

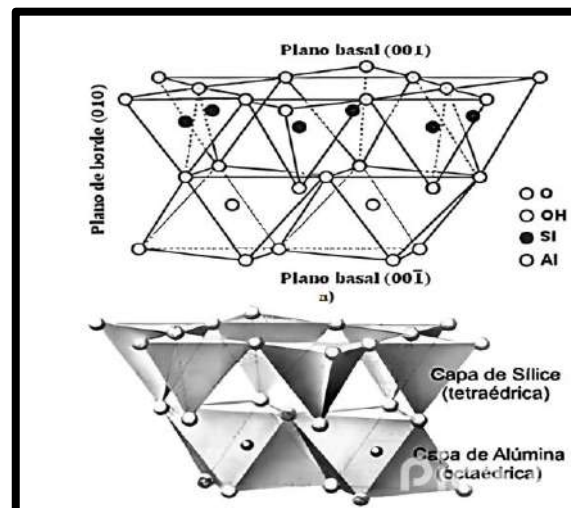


FUENTE: Zhang et al, 2019

Figura 3 — Estructuras montmorillonita

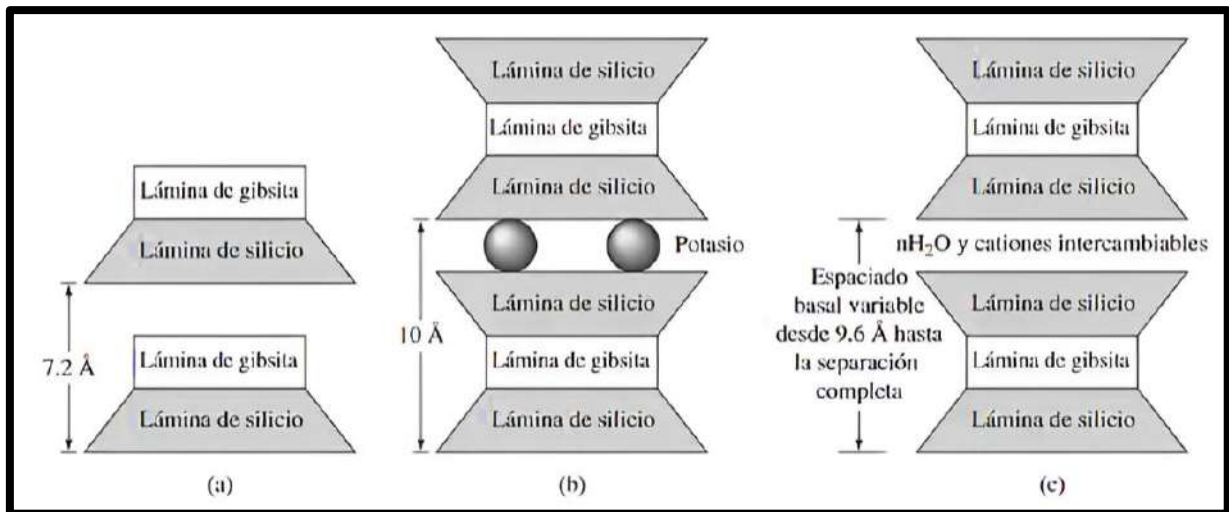
- **Caolinitas**

Este mineral principalmente está compuesto por estratos sucesivos de láminas de sílice-gabita, que tienen una distancia de separación de $7,2 \text{ \AA}$, interconectadas por medio de enlaces de hidrógeno, como se muestra visualmente en la (Figura 4). La formación de este mineral se hace en forma de pequeñas placas, y su área de superficie diferenciada o, más específicamente, la superficie cuantificada por unidad de masa sube a aproximadamente $15 \text{ m}^2/\text{g}$ (Braja, 2019).



FUENTE: Zhang et al, 2019

Figura 4 — Estructuras de las caolinitas



FUENTE: Das, 2019

Figura 5 — Estructuras de (a) caolinita; (b) illita; (c) montmorillonita

- **Suelos arcillosos expansivos**

Los suelos arcillosos expansivos se definen como aquellos materiales geotécnicos que experimentan cambios volumétricos significativos ante variaciones en su contenido de humedad, esta característica se asocia principalmente a la presencia de minerales arcillosos del grupo de las esmécticas como podemos mencionar a la montmorillonita cualquier suelo que muestre sensibilidad a los cambios de volumen inducidos por la humedad se clasifica comúnmente como suelo expansivo (Das, 2019).

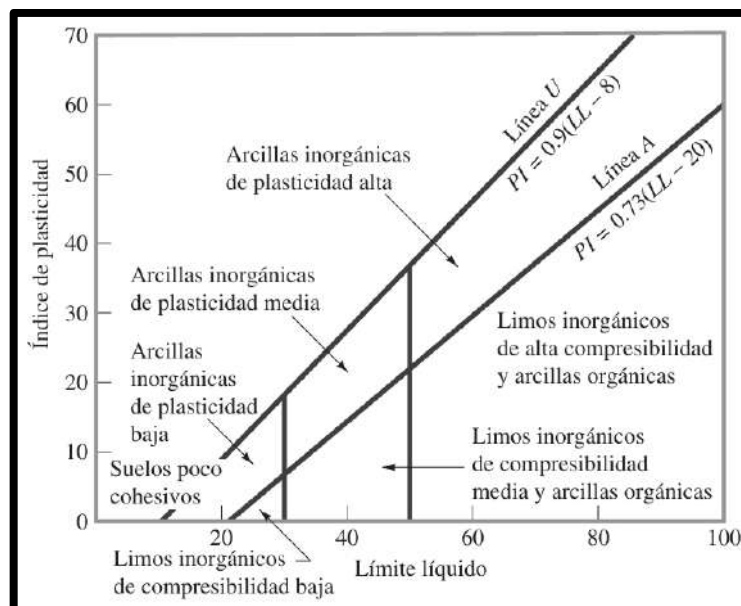
Según Juárez & Rico (2005), estas arcillas están compuestas de partículas menores a la malla #200 y poseen un índice de plasticidad de 11 a más. Estos suelos resultan altamente desfavorables para la construcción de carreteras vecinales debido a su saturación, lo que conduce a una reducción significativa de su capacidad de carga y a una rápida erosión causada por el paso de vehículos.

Las arcillas expansivas desde el punto de vista plástico demuestran propiedades cruciales para los suelos cohesivos, ya que representa la facilidad para moldear el suelo con un contenido de humedad específico. Según Atterberg, los suelos cohesivos pueden presentar una consistencia que va desde la de un ladrillo hasta la de un lodo semilíquido, según su contenido de



agua según Das. (2019). Dentro de este rango, un suelo se encuentra en estado plástico y se puede moldear fácilmente.

Atterberg también presenta un método para cuantificar esta plasticidad, conocido como índice de plasticidad. Este índice se calcula como la diferencia entre el límite líquido y el límite de plástico del suelo. El límite líquido se refiere al contenido de humedad en el que el suelo pasa de un estado semilíquido a un estado plástico, mientras que el límite plástico representa el contenido de humedad en el que el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido (Juárez & Rico, 2014).



FUENTE: Das, 2019

Figura 6 — Carta de plasticidad

3.2.6 Identificación de arcillas expansivas

En general, los materiales arcillosos de naturaleza plástica tienden a expandirse al entrar en contacto con el agua. Por el contrario, estos materiales experimentan una contracción cuando sufren una pérdida de contenido de humedad. En consecuencia, los pisos que se construyen sobre tales composiciones de suelo son susceptibles a diversas fuerzas, incluidas las que provocan la elevación y el agrietamiento de los pavimentos debido al fenómeno de la expansión. Las arcillas expansivas se distinguen en el campo por la presencia de grietas, lados cortados o roturas, que surgen del fenómeno de hinchamiento y contracción



como resultado de las variaciones en el contenido de humedad (Alva Hurtado, 2018).

3.2.6.1 Identificación mineralógica

Según Bergaya y Lagaly (2019), la constitución mineralógica impacta en la propensión a hincharse, lo que permite examinar los atributos fundamentales de las arcillas a través de la presencia de estos minerales, aunque con frecuencia son complejos y costosos. Entre las metodologías que se emplean con frecuencia se encuentran:

- **Difracción de rayos X**

Los rayos X, son una forma de radiación electromagnética imperceptible, poseen la capacidad de atravesar entidades de forma opaca e imprimir películas fotográficas. Su longitud de onda mide entre 10-8 y 10-12 metros, lo que corresponde a frecuencias que oscilan entre 1016 y 1020 hercios. Esta radiación se distingue por su energía sustancial y su naturaleza penetrante. Sorprendentemente, los rayos X no se dejan influir por la influencia de los campos magnéticos o eléctricos y se propagan perpetuamente de forma rectilínea. Su interacción con la materia genera varios fenómenos, incluida la dispersión. La dispersión de los rayos X es inducida por los átomos que ocupan posiciones ordenadas, un fenómeno llamado acertadamente difracción. Un aparato rudimentario de difracción de rayos X junto con componentes como el foco, el colimador, el selector y el filtro que sirven para configurar la radiación con el fin de interpretar las señales obtenidas de una muestra. Además, el aparato comprende un porta muestras en última instancia, un detector, que recibe la información de difracción. Es importante tener en cuenta que cada sustancia presenta un patrón de difracción distinto, lo que contribuye a su singularidad (Moore & Reynolds, 2020).

- **Absorción de colorantes**

El procedimiento consiste en reconocer las arcillas por su absorción de colorantes y reactivos, lo que resulta en la manifestación de un tono



distintivo. Cuando se somete a un pretratamiento con ácido, el color de una arcilla varía debido a la capacidad de adsorción e intercambio de bases de los minerales arcillosos que están presentes según Moore y Reynolds (2020). Este enfoque se emplea ampliamente debido a su simplicidad y conveniencia comparativas en comparación con los métodos antes mencionados (Moore & Reynolds, 2020).

- **Análisis térmico diferencial**

Cuando se emplea junto con la difracción de rayos X y el análisis químico, la identificación de materiales se vuelve significativamente más factible en comparación con las metodologías alternativas según Mitchell y Soga (2021). Esta técnica en particular nos permite regular los materiales que sufren alteraciones térmicas distintivas. Sin embargo, la utilización de esta técnica de forma aislada para detectar suelos expansivos no siempre produce los resultados deseados (Mitchell & Soga, 2021).

- **Resolución de microscopio electrónico**

Según Williams & Carter (2020) dos arcillas pueden presentar patrones de rayos X y curvas térmicas diferenciales idénticos; sin embargo, cuando se examinan con un microscopio electrónico, se pueden discernir los distintos atributos morfológicos de las arcillas. El objetivo principal de esta metodología es determinar la composición mineralógica, la textura y la configuración interna de la sustancia.

- **Método indirecto**

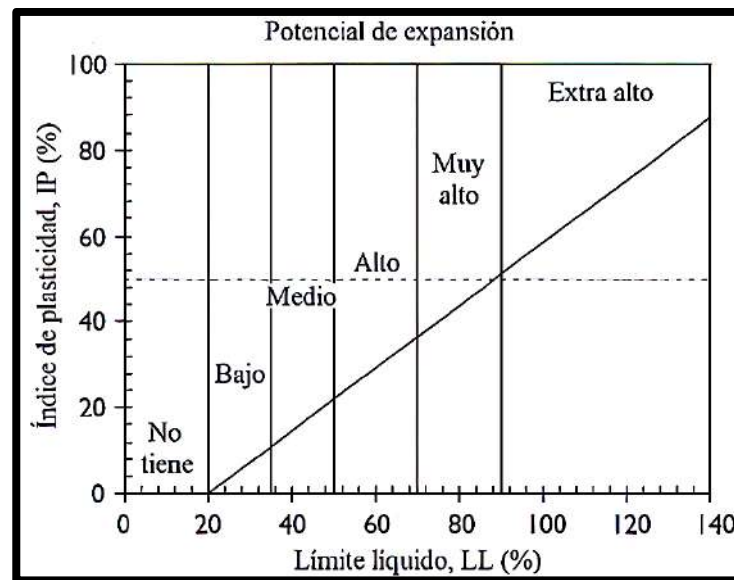
Este conjunto se compone de las propiedades del índice, el método de cambio potencial de volumen (PVC) y el método de actividad, todos los cuales nos permiten evaluar la capacidad de hinchamiento del suelo. La característica principal de estas metodologías es su interdependencia, lo que hace que el uso de metodologías directas sea esencial para la complementación (Ortega et al. 2022).



También observamos el análisis del método indirecto en suelos expansivos donde indican el potencial expansivo de las arcillas (Ortega et al. 2022).

- **Criterio de Dakshanamurthy y Raman.**

Esta técnica determina la presencia de arcilla expansiva mediante el examen de los límites del líquido y el índice de plasticidad. Al considerar estos valores, se puede determinar el potencial de expansión, que se clasifica en seis niveles: sin potencial, bajo, medio, alto, muy alto y extra alto.



FUENTE: Sridharan y Prakash, 2020

Figura 7 — Cuadro de potencial expansivo del suelo

- **Criterio de Seed, Woodward y Lungren (1962)**

Esta metodología se basa en la actividad de la sustancia arcillosa. En el contexto de los suelos naturales, la determinación de esta actividad arcillosa y su potencial de expansión depende del índice de plasticidad (IP) y del porcentaje (C) de partículas de arcilla que miden menos de 2 µm. Los valores de actividad (A) y el potencial de expansión (E) se pueden calcular empleando las siguientes expresiones:

$$A(\%) = \frac{IP}{C-5} \quad (03)$$

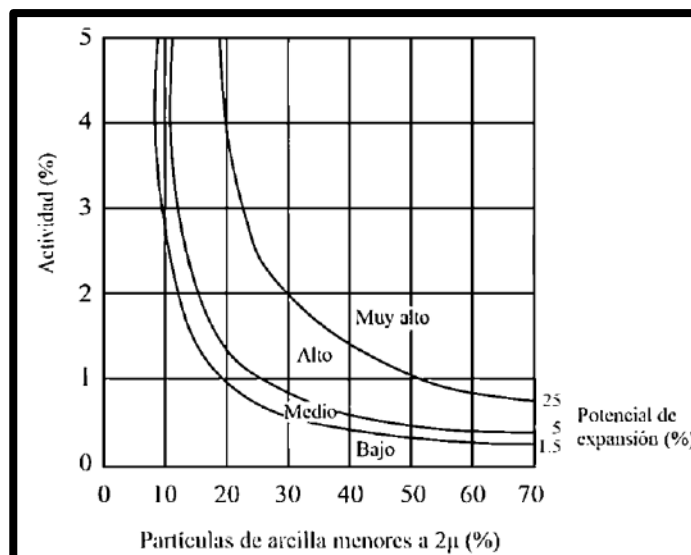


$$E(\%) = (3.6) * (10^{-5}) * (A^{2.44}) * (C^{3.44}) \quad (04)$$

Donde

- A actividad de la arcilla (%)
- IP actividad de la arcilla (%)
- C partículas de arcilla menores a 2 μ (%)
- E potencial de expansión (%)

Finalmente, la Figura 8 muestra la ubicación de los porcentajes de arcilla que miden menos de 2 μm, así como los porcentajes de actividad y potencial de expansión. Esta cifra se utiliza para determinar si el suelo tiene un potencial bajo, medio, alto o muy alto.



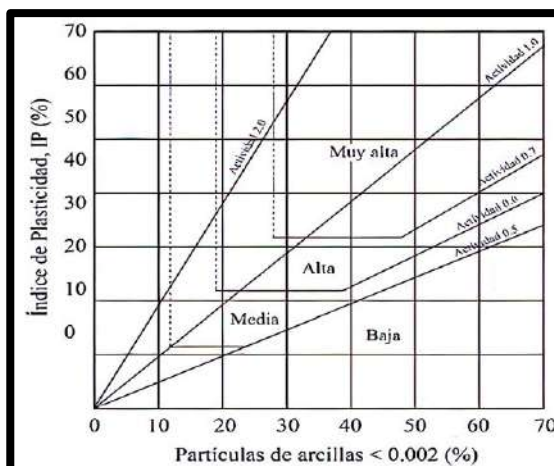
FUENTE: Sridharan y Prakash, 2020

Figura 8 — Clasificación de potencial de expansión

- **Criterio de Merwe (1964 y 1975)**

Este enfoque se basa en el comportamiento de las partículas sólidas, el índice de plasticidad en porcentaje y la proporción de partículas que tienen un tamaño inferior a 2 μm. Este parámetro establece la categorización del suelo como de potencial bajo, moderado, sustancial o extremadamente considerable.





FUENTE: Puppala et al, 2022

Figura 9 — Gráfica de expansividad modificada Merwe

En términos generales en este tipo de arcillas poseen límites líquido y niveles de plasticidad altos, superando los valores de 50 y 20, respectivamente. A continuación, en la siguiente tabla podemos clasificar los suelos expansivos según la norma técnica peruana E.050-suelos y cimentaciones.

Tabla 6 — Potencial de expansión de suelos expansivos

Potencial de expansión	Expansión en consolidómetro	Índice de plasticidad	Porcentaje de partículas menores que dos micras
%	%	%	%
Muy alto	>30	>32	>37
Alto	20-30	23-45	18-37
Medio	10-20	12-34	12-27
Bajo	<10	<20	<17

NOTA
 Datos de suelos y cimentaciones del instituto de la construcción y gerencia.
 FUENTE: NTP E.0.50, 2018

- **Métodos directos**

Puppala et al. (2022), discuten las técnicas directas empleadas en la identificación de suelos expansivos, que requieren cumplir con las



condiciones de carga y sobrecarga para replicar el estrés y la deformación en circunstancias naturales. Entre los exámenes directos figuran la consolidación-expansión, para determinar los distintos niveles de humedad y el examen dual del consolidó metro.

Puppala et al. (2022) indica que, para clasificar las arcillas expansivas, se clasifican según la proporción del contenido de arcilla, los límites de contracción tanto volumétricos como lineales, el índice de plasticidad, el límite de líquido y el índice de contracción.

Tabla 7 — Clasificaciones por grado de expansión (potencial de hinchamiento)

Grado de expansión	Chen (1983)	Seed et al. (1962)	Dakshanamurthy and Raman (1973)	USMR (Holtz and Gibbs, 1956)
Muy alto	$LL > 60$	$IP > 35$	$LL > 70$	$CC > 28$
Alto	$40 < LL \leq 60$	$20 < IP \leq 35$	$50 < LL \leq 70$	$20 < CC < 31$
Medio	$30 \leq LL \leq 40$	$10 \leq IP \leq 20$	$35 < LL \leq 50$	$13 \leq CC \leq 23$
Bajo	$LL < 30$	$IP < 10$	$20 \leq LL \leq 35$	$CC < 13$

FUENTE: ASTM D4829-21, 2021

Por último, de acuerdo con la investigación realizada por Sridharan y Prakash (2020), la identificación de las arcillas expansivas y la cuantificación de su grado de expansión se basan en la evaluación de varios factores. Estos factores incluyen el contenido coloidal, que está determinado por el porcentaje de partículas que miden menos de 0,001 mm, así como el índice de plasticidad y el límite de contracción, tal como sugirieron (Juárez y Rico, 2005)



Tabla 8 — Datos para estimar el cambio volumétrico probable en materiales expansivos

Datos de pruebas de identificación			Expansión probable. Cambio volumétrico en % (seco o saturado)	Grado de expansión
Contenido coloidal (% < 0.001 mm)	Índice de plasticidad	Límite de contracción		
>28	>35	<11	>30	Muy alto
28-31	25-41	7-12	20-30	Alto
13-23	15-28	10-12	10-30	Medio
<15	<18	>15	<10	Baja
FUENTE: ASTM D4829-21, 2021				

3.2.7 Determinación del grado de expansión de los suelos

- **Método cualitativo**

Estas técnicas clasifican la expansividad del suelo utilizando términos como baja, media o alta. Esta categorización sirve de base para las medidas preventivas empíricas. Se establece estableciendo correlaciones entre el potencial de expansión del suelo y las pruebas más utilizadas, como los límites de Atterberg o el porcentaje de coloides se observan como las clasificaciones anteriores.

- **Método semicuantitativo**

Estos métodos semicuantitativos tienen la capacidad de generar resultados numéricos. En lugar de reconocerse como atributos físicos esenciales del suelo, estos resultados tienden a percibirse con más frecuencia como indicadores de la expansividad. En consecuencia, el desarrollo de estos métodos también se basa en fundamentos empíricos. Entre las diferentes pruebas que se realizan, la más frecuente es la denominada pruebas de expansión.

A pesar de que estos ensayos permiten medir directamente las características deseadas del suelo y son relativamente sencillas de ejecutar, tienen el inconveniente de no contar con una metodología de prueba universalmente aceptada. Esta falta de consenso implica que es posible que los resultados

obtenidos en estas pruebas no siempre sean comparables (Puppala et al. 2022).

3.2.7.1 Expansión libre

La medición representa la proporción del mayor peso que se puede levantar sin ejercer presión, en comparación con la dimensión original de la muestra de CBR. Esta medición ofrecerá información sobre el grado de expansión del suelo que se va a evaluar (ASTM D4829-21).

$$FSI (\%) = \frac{Vd - V_k}{V_k} X 100 \quad (05)$$

$$IEL (\%) = \frac{Va - Vt}{Vt} X 100 \quad (06)$$

Donde

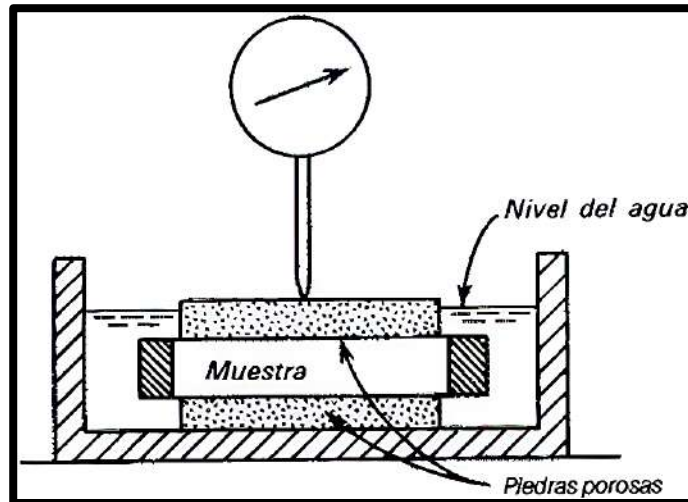
Va volumen de la muestra leído de la probeta que contiene agua.

Vt volumen de la muestra leído de la probeta que contiene kerosene.

- a) Las dimensiones del anillo se utilizan para moldear el suelo.
- b) Se extraen tres muestras de suelo con sus pesos correspondientes, que luego se transfieren al horno durante 24 horas para obtener el contenido inicial de humedad del suelo.
- c) El anillo se monta en el medidor de sólidos junto con la muestra correspondiente, donde se introduce el agua de manera adecuada para iniciar el proceso de expansión.
- d) En este examen en particular, se permite que la muestra se expanda de forma natural sin la aplicación de ninguna carga externa.
- e) Se realizan mediciones periódicas con el deformímetro.



- f) Una vez iniciada la prueba, si el deformímetro permanece inalterado durante aproximadamente 24 horas, se registra la lectura, se desmonta el aparato y se extraen tres muestras para determinar el nivel de humedad final.



FUENTE: MTC, 2018

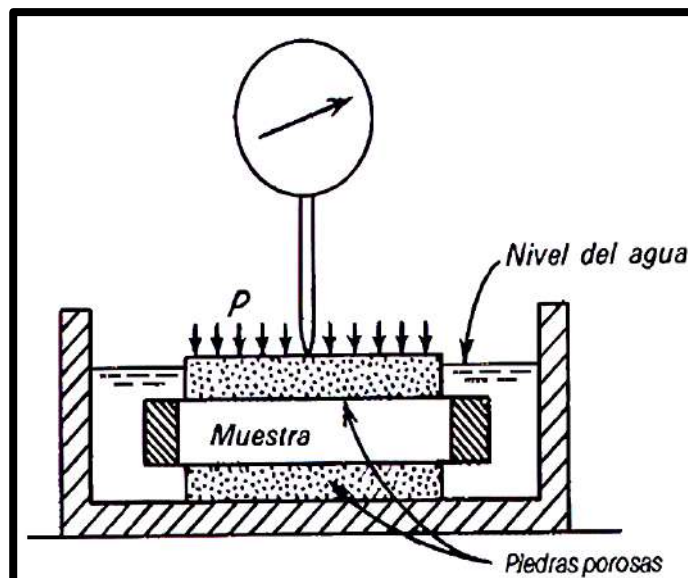
Figura 10 — Ensayo de expansión libre

3.2.7.2 Expansión controlada

El concepto de presión expansiva del suelo se establece cuando una probeta, una vez expuesta al agua, es capaz de mantener un volumen inicial constante, lo que resulta en una variación de volumen cero (ASTM D4829-21).

- a) Se forma el suelo con la superficie del anillo.
- b) La extracción de tres tipos de suelo, junto con sus respectivos pesos, se lleva a cabo y posteriormente se somete a un tratamiento en horno de 24 horas para determinar el contenido de humedad inicial.
- c) La estimación del anillo se realiza junto con la muestra correspondiente dentro del consolidómetro, donde se introduce agua para iniciar el proceso de expansión.

- d) Para evitar la transmisión de la muestra de suelo, es necesario colocar pesas en el consolidómetro.
- e) Las lecturas del deformómetro deben registrarse cuidadosamente y mantenerse a cero hasta que permanezcan constantes durante un período de tiempo significativo.
- f) Transcurridas 24 horas desde el inicio del ensayo, se capturan las mediciones pertinentes y se obtienen muestras para determinar el contenido final de humedad del suelo.



FUENTE: MTC, 2018

Figura 11 — Ensayo de expansión controlada

3.2.7.3

3.2.7.4 3Medición de expansión mediante pruebas de edómetro

Las pruebas de consolidación unidimensional, que se emplean comúnmente para cuantificar la expansión del suelo, se ejecutan mediante la utilización de un odómetro. Sin embargo, vale la pena mencionar que la naturaleza inherente de estas pruebas puede arrojar valores de expansión que superen los observados en el campo. En sus respectivos estudios, Brackley (1973) y Balu (2009) realizaron pruebas de expansión libre en suelos con un límite de líquido que oscilaba entre

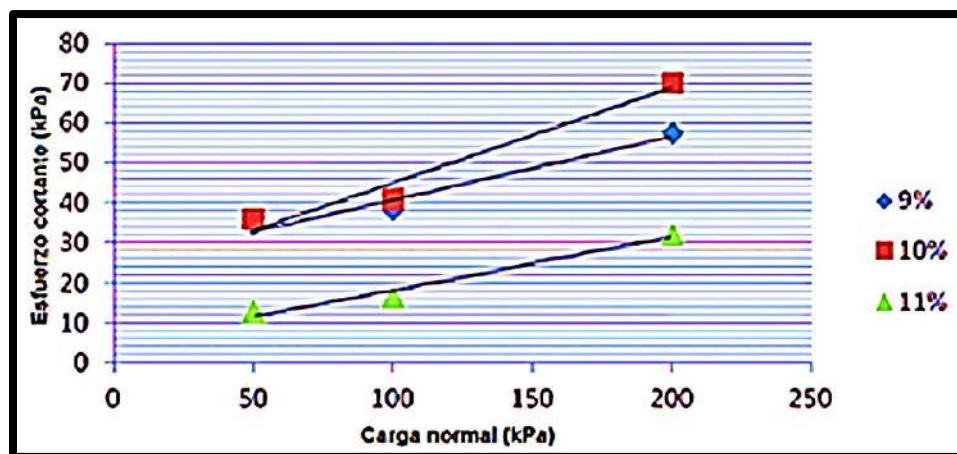


el 70 y el 105%. Posteriormente, llegaron a la conclusión de que las deformaciones definitivas dependían tanto del contenido de agua como de la proporción inicial de huecos. Además, comprobaron que la expansión disminuía considerablemente cuando el suelo se compactaba con un exceso de un 4% por encima de su contenido óptimo de humedad.

3.2.8 Resistencia al esfuerzo cortante en suelos expansivos

La resistencia al esfuerzo cortante en suelos arcillosos expansivos, esta influenciada por el contenido de humedad, debido a su efecto directo sobre las fuerzas de interacción entre partículas y la succión matricial. En este sentido Fredlund y Rahardjo (2019), establecen que los suelos no saturados, la resistencia la corte disminuye a medida que aun su contenido de agua, esto debido a la reducción de la succión lo que contribuye la resistencia al suelo.

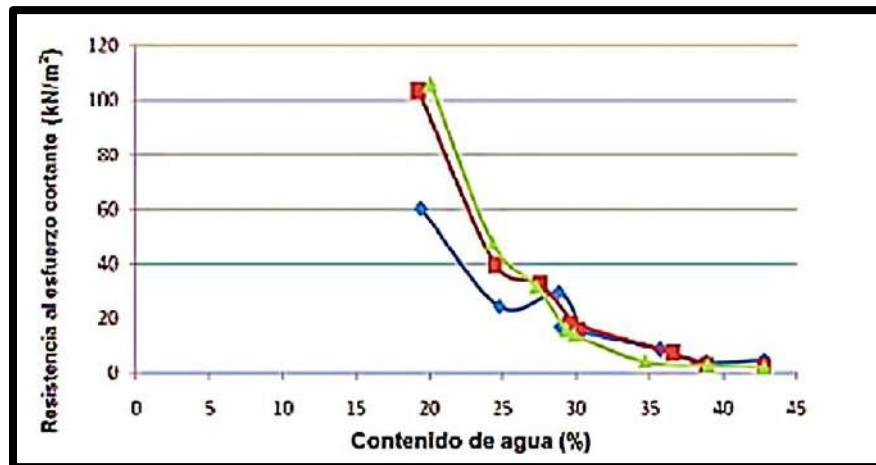
En la Figura 1, se observa un contenido de agua de 10 % donde se encuentra la mayor resistencia al esfuerzo cortante. Por otra parte, Puppala et al. (2023) señala que la resistencia al esfuerzo cortante del suelo depende de su contenido de agua y de sus propiedades mineralógicas. En la Figura 2 se observa que, con bajos contenidos de agua, la resistencia a la cortante es mayor y en la medida que se incrementa la humedad la resistencia al esfuerzo cortante se reduce.



FUENTE: Gonzáles y Chávez, 2021

Figura 12 — Resistencia al esfuerzo cortante vs humedad de un suelo



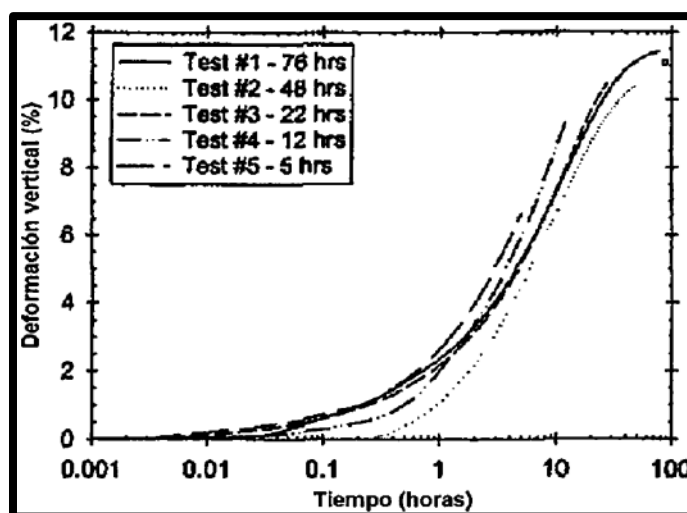


FUENTE: Gonzáles y Chávez, 2021

Figura 13 — Relación entre resistencia al esfuerzo cortante y humedad de un suelo

3.2.9 Metodología para la predicción de la expansión

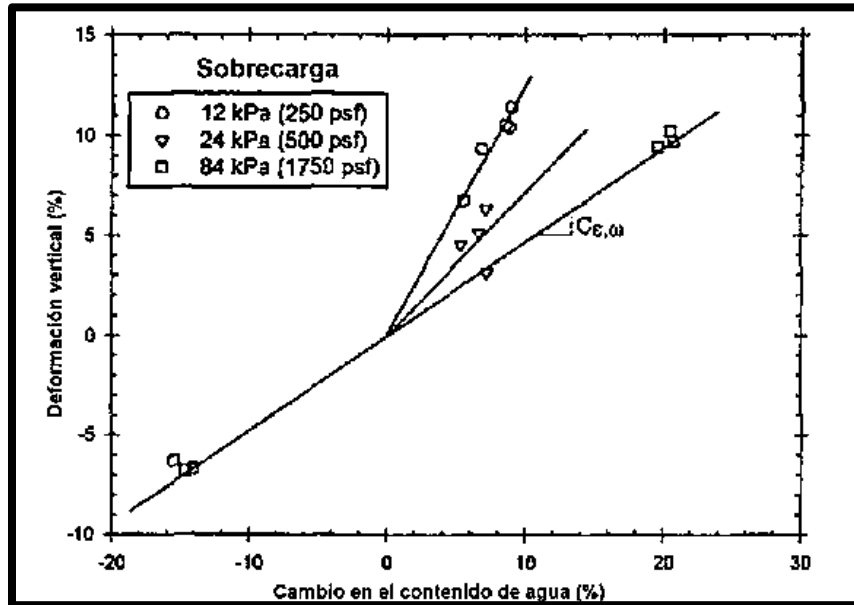
Marr et al. (2004), propusieron una técnica que se basa en las pruebas realizadas con los aparatos habituales y en la fluctuación del contenido de humedad del suelo. Las pruebas de expansión con el edómetro arrojan datos de deformación en una dimensión, lo que permite pronosticar la deformación vertical en función de la alteración del contenido de humedad, ya sea por expansión sin restricciones o por sobrecarga. Al determinar la deformación vertical del suelo en varios momentos y el contenido de agua, se puede comprender el comportamiento del suelo.



FUENTE: Gonzáles y Chávez, 2021

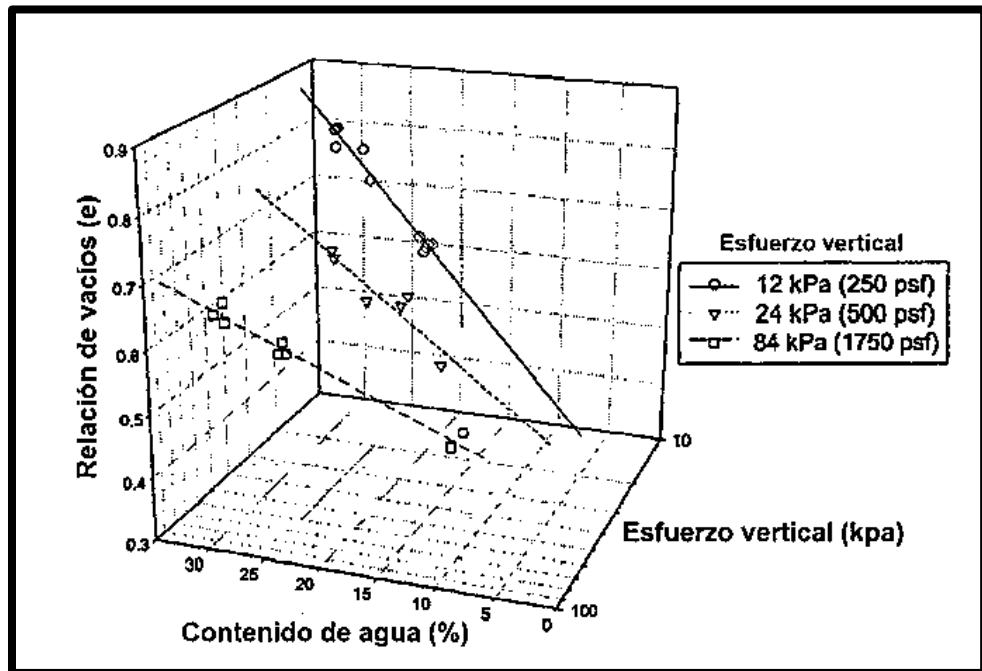
Figura 14 — Pruebas de deformación vertical en función del tiempo de saturación





FUENTE: Gonzáles y Chávez, 2021

Figura 15 — Comportamiento lineal de suelos con sobrecarga a diferentes contenidos de agua



FUENTE: Gonzáles y Chávez, 2021

Figura 16 — Resultados de expansión en función de la relación de vacíos de un suelo

$$\Delta H = H \Delta w * C_{\epsilon, w} / 100 \tag{07}$$



Donde

ΔH	Deformación vertical
H	Espesor de capa de suelo
$C_{\varepsilon, \omega}$	Pendiente de la línea de Hinchado
ΔW	Diferencial de humedad

3.2.10 Método de expansión mediante California Bearing Ratio (CBR)

La variabilidad en la expansión del suelo, influenciada por factores geológicos y climáticos específicos de la ciudad, podría resultar en comportamientos impredecibles, afectando la capacidad portante del suelo y, por ende, la resistencia y estabilidad de los pavimentos. La ausencia de datos específicos y modelos precisos que aborden esta variabilidad limita la capacidad de los ingenieros para realizar un diseño geotécnico efectivo que asegure la longevidad y la eficiencia de los pavimentos en la región.

Por lo tanto, el estudio se abordará por pruebas del (CBR): es esencial abordar esta brecha de conocimiento mediante un análisis exhaustivo de la relación entre la variabilidad en la expansión del suelo y el CBR bajo cargas estáticas, con el propósito de proporcionar una base científica y técnica sólida para el diseño de pavimentos en Abancay en el año 2023.

La medición de la capacidad de carga del suelo compactado se realiza mediante el valor CBR, que constituye una medida de resistencia en comparación con la de la piedra de California, y se expresa como un porcentaje proporcional. Este valor concreto puede observarse en el 95% o el 100% de la densidad seca máxima del suelo, dependiendo de la capa específica que se esté examinando. En el contexto de los pavimentos, el valor CBR se emplea como una herramienta de evaluación para evaluar la calidad del suelo que se está analizando. Según el manual de suelos del MTC, la subcapa se puede clasificar en función de sus respectivos valores de CBR.



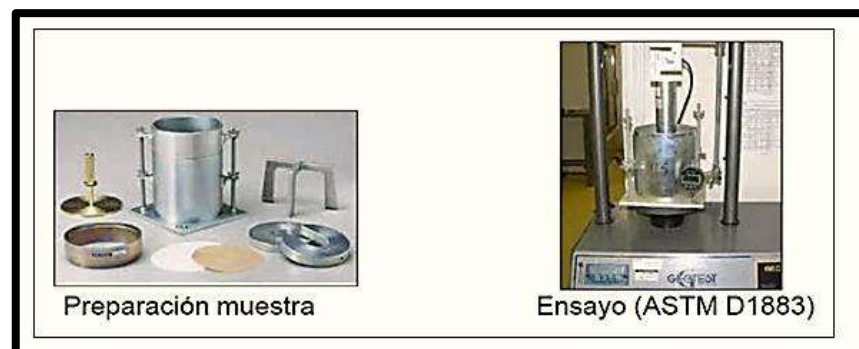
Tabla 9 — Categoría de la subrasante según el valor del CBR

Categorías de Subrasante	CBR
S ₀ : Subrasante inadecuada	CBR < 3%
S ₁ : Subrasante pobre	De CBR ≥3% A CBR < 6%
S ₂ : Subrasante regular	De CBR ≥6% A CBR < 10%
S ₃ : Subrasante buena	De CBR ≥10% A CBR < 20%
S ₄ : Subrasante buena	De CBR ≥20% A CBR < 30%
S ₅ : Subrasante buena	CBR ≥30%

FUENTE: MTC, 2018

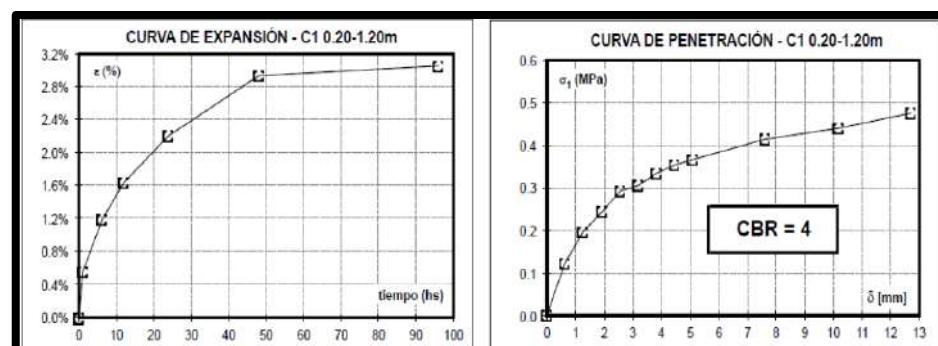
- **Caracterización de expansibilidad: California Bearing Ratio (CBR)**

Se realiza la medición de la expansión durante 96 horas bajo la sobre carga del diseño. Se realiza un ensayo de penetración con un pistón normalizado hasta llegar a alcanzar 12.7 mm de recorrido.



FUENTE: MTC, 2018

Figura 17 — Ensayo (ASTM D1883)



FUENTE: MTC, 2018

Figura 18 — Curva de expansión (ASTM D1883)



El índice CBR (California Bearing Ratio) resulta particularmente útil para medir la capacidad de soporte y, por extensión, la expansión de los suelos, debido a varias razones claves:

$$CBR = \left(\frac{\sigma_{2.54mm}}{6.9MPa} \right) \cdot 100 \quad (08)$$

$$CBR = \left(\frac{\sigma_{5.08mm}}{10.3MPa} \right) \cdot 100 \quad (09)$$

- a) **Medida directa de la capacidad de soporte:** El CBR: evalúa la resistencia de un suelo al ser penetrado bajo carga, lo cual está directamente relacionado con su capacidad de soporte para pavimentos y estructuras. En suelos expansivos, que tienden a hincharse y perder soporte al absorber agua, un bajo valor de CBR indica un riesgo potencial de inestabilidad, mientras que un valor más alto sugiere un suelo más estable.
- b) **Simplicidad y adaptabilidad:** La prueba de CBR es relativamente simple y puede realizarse tanto en laboratorio como en campo. Esto permite realizar evaluaciones rápidas y comparativas de distintos suelos expansivos, lo que es práctico y eficaz para proyectos en áreas donde se sospecha la presencia de suelos de baja calidad.
- c) **Correlación con la expansión:** Holtz y Kovacs (1981), indican que existe una relación inversa entre el índice de expansión y el CBR, es decir, a mayor expansión del suelo, menor es su CBR. Por lo tanto, el CBR no solo refleja la resistencia, sino también la susceptibilidad a la expansión de suelos arcillosos.
- d) **Aplicabilidad al diseño de pavimentos:** En ingeniería vial, el CBR es fundamental para el diseño de pavimentos, pues ayuda a determinar los espesores necesarios de las capas de base y subbase para evitar problemas estructurales. En suelos expansivos, el uso del CBR permite predecir el



desempeño a largo plazo y diseñar para contrarrestar los efectos de la expansión y contracción.

3.3 Marco conceptual

- **Suelos expansivos**

Los suelos expansivos se refieren a tipos específicos de suelos arcillosos que poseen la capacidad de aumentar su volumen mediante la absorción de agua y, posteriormente, contraerse al perder la humedad. Este comportamiento se atribuye principalmente a la presencia de arcillosos caracterizados por una estructura cristalina de 2:1, ejemplificada por las esmécticas según Chen (1988). Dado su papel como sustratos fundamentales para los pavimentos, las fluctuaciones volumétricas asociadas con estos suelos tienen el potencial de inducir deformaciones y provocar fallas estructurales.

- **Expansión del suelo**

La expansión del suelo se caracteriza por el aumento del volumen del suelo que se experimenta debido a la absorción de agua por las partículas de arcilla, este fenómeno induce presiones internas con el potencial de alterar su composición estructural y sus propiedades mecánicas Holtz, Kovacs y Sheahan (2011). La evaluación de la expansión del suelo se lleva a cabo en condiciones de laboratorio controladas, teniendo en cuenta la aplicación de cargas estáticas y la variación de la duración del tiempo de ensayo con el fin de determinar el comportamiento volumétrico.

- **Variabilidad de la expansión del suelo**

Según Puppala et al. (2019), la variabilidad asociada con la expansión del suelo se refiere a los cambios en el grado de alteración volumétrica que presenta los suelos expansivos cuando se somete a diversas condiciones de contenido de humedad, densidad, duración y estado de carga. En consecuencia, es importante enfatizar que la expansión del suelo constituye un fenómeno dinámico más que estático, por ello este comportamiento debe ser considerado en las evaluaciones geotécnicas y el diseño de pavimentos en regiones caracterizadas por condiciones climáticas fluctuantes.



- **Cargas estáticas**

Las cargas estáticas son aquellas cargas aplicadas de manera constante y permanente sobre el suelo, sin considerar efectos dinámicos o cíclicos. En ingeniería civil, estas cargas corresponden principalmente al peso propio de las estructuras y pavimentos, influyendo directamente en el estado de esfuerzos y deformaciones del suelo (Das y Sobhan, 2018).

- **Periodo de tiempo**

La duración temporal se refiere al intervalo durante el cual el suelo está sometido a condiciones ambientales que facilitan su aumento volumétrico, particularmente la presencia de humedad. Desde una perspectiva geotécnica, la expansión del suelo es un fenómeno intrínsecamente dependiente del tiempo, ya que los procesos de absorción de agua y de reconfiguración de la estructura interna del suelo no se producen de forma instantánea según Nelson y Miller (1992). Al examinar estos suelos, es pertinente definirlos y conceptualizarlos como una dimensión de análisis que se evalúa mediante metodologías experimentales.

- **Índice de Soporte California (CBR)**

El Índice de Soporte California (CBR) es un parámetro geotécnico utilizado para evaluar la capacidad portante del suelo, especialmente en el diseño de pavimentos. El CBR representa la resistencia del suelo frente a la penetración de un pistón estándar y se expresa como un porcentaje (AASHTO, 2017). Para la aplicación en suelos arcillosos expansivos el CBR puede verse afectado por fenómenos volumétricos que modifican la estructura del suelo, y en esta investigación se emplea como indicador del comportamiento y la resistencia del suelo.

- **Comportamiento mecánico del suelo**

El comportamiento mecánico del suelo se define como la respuesta del suelo frente a la aplicación de cargas, la cual depende de sus propiedades físicas, contenido de humedad, densidad y estructura interna según Mitchell y Soga (2020). En suelos expansivos, los cambios volumétricos asociados a la expansión pueden modificar el comportamiento mecánico, reduciendo su capacidad portante y afectando su desempeño como material de soporte.

- **Asociación estadística**

La asociación estadística se define como la relación entre dos o más variables, sin que implique una relación causal evidente. Por ejemplo, en la ingeniería geotécnica los ingenieros pueden utilizar análisis de asociación para observar comportamientos o relatos entre comportamientos de las variables geotécnicas a través de un coeficiente de correlación, como ejemplo se puede desarrollar una asociación entre expansión y CBR. (Montgomery et al., 2021; James et al., 2024). Este concepto sociológico resulta acorde al procedimiento metodológico del estudio indicado.

- **Capacidad portante del suelo**

La capacidad portante del suelo se define como la cualidad del suelo para soportar cargas aplicadas sin fallas o deformaciones excesivas, constituyendo un criterio fundamental en el diseño de pavimentos y cimentaciones según Yoder y Witczak (2021), En la práctica geotécnica, parámetros como el CBR permiten estimar la capacidad portante del suelo de forma indirecta.

CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

4.1.1 Tipo de investigación

La investigación fue aplicada, según Arias (1999), nos indica que es un procedimiento que implica exponer un elemento o un conjunto de personas a condiciones, estímulos o tratamientos específicos (considerados como variable), con el propósito de observar las consecuencias o respuestas generadas.

En este sentido, debido a la falta de comprensión completa sobre cómo la variabilidad en la expansión del suelo afecta al Índice de Soporte California (CBR) en condiciones estáticas, una investigación experimental proporciona la plataforma adecuada para abordar este problema, ofreciendo datos específicos y rigurosos. Los resultados obtenidos permiten aportar información técnica útil para la ingeniería geotécnica, específicamente en el análisis de la variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas, contribuyendo a la evaluación de su comportamiento geotécnico y a la toma de decisiones en proyectos de infraestructura.

Así mismo, según Hernández (2014, pág. 72), en su libro Metodología de la Investigación, menciona que existen múltiples razones por las cuales una investigación puede ser considerada apropiada: puede contribuir a abordar una problemática social, desarrollar una teoría o provocar nuevas áreas de indagación. Lo que algunos individuos ven como significativo para investigar, podría no serlo para otros, ya que las opiniones suelen variar entre las personas. No obstante, es factible establecer criterios para evaluar la relevancia de un estudio propuesto, si bien estos criterios son flexibles y de ninguna manera abarcan todas las posibilidades.



4.1.2 Nivel de investigación

El enfoque de esta investigación se orientó hacia una metodología descriptiva correlacional, debido a que describió la variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas y analiza la asociación existente entre dicha expansión y el Índice de Soporte California (CBR), sin establecer relaciones de causalidad. La cual tiene como propósito principal determinar y analizar las posibles asociaciones o relaciones existentes entre la variable y el indicador de resistencia dentro de un contexto particular.

Arias (1999, pág. 24), menciona que investigación descriptiva se enfoca en detallar y definir las características de un evento, fenómeno, persona o conjunto, con el propósito de analizar su estructura o modo de actuación. Los hallazgos obtenidos mediante esta forma de investigación se sitúan en un nivel intermedio en términos de la amplitud del entendimiento que proporcionan. Así mismo Monje (2011, pág. 102), afirma que la investigación correlacional tiene como objetivo primordial establecer el nivel en el cual las alteraciones en uno o más elementos están asociadas con los cambios en otros elementos. Por lo general, la dirección y la intensidad de esta relación se evalúan estadísticamente mediante el uso de coeficientes de correlación.

4.2 Diseño de la investigación

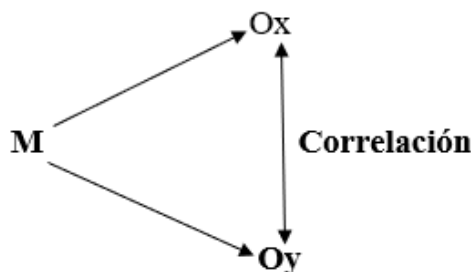
El diseño de la investigación fue experimental, según Arias (1999) en su libro “El proyecto de investigación: guía para su elaboración” plantea que la investigación experimental, es la acción de exponer a un objeto o a un conjunto de individuos a ciertas condiciones o estímulos, con el fin de observar y registrar los resultados o efectos generados por estas condiciones.

En este sentido se realizaron ensayos de laboratorio en muestras de suelos arcillosos bajo condiciones controladas de carga estática y tiempo de exposición experimental, con el propósito de analizar la variabilidad de la expansión del suelo y su comportamiento asociado al Índice de Soporte California (CBR).

Según Monje (2011), en su libro “Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa Guía didáctica” menciona que el propósito principal de la investigación



experimental es identificar con alta fiabilidad las relaciones de causa y efecto. Para lograr esto, se aplican estímulos experimentales a uno o más conjuntos designados como grupos experimentales, y posteriormente se comparan los comportamientos resultantes con aquellos de un grupo de control, que no recibe dicho tratamiento o estímulo experimental, o con otros grupos de referencia.



Donde

- M Muestra: 08 muestras de múltiples puntos estratégicamente seleccionados dentro de la ciudad de Abancay.
- Ox Variable x: Variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas.
- OY Indicador de Resistencia: Índice de Soporte California (CBR).
- r Coeficiente de correlación.

Tabla 10 — Grupos de control

Grupos experimentales, Ciudad Abancay	Áreas de control (Has)	Coordenadas referenciales de grupos de control	Grupo de control CBR	Verificación de la variabilidad de la expansión
Vía Panamericana, Abancay	2.00 kilómetros	13°38'28.75"S 72°54'15.30"O	GC 01	GV 01
				GV 02
Urb. San Luis Baja, Abancay	28.27 Has	13°38'5.71"S 72°53'52.84"O	GC 02	GV 03
				GV 04
Urb. Ciudad de Dios, Abancay	20.27 Has	13°39'1.18"S 72°54'2.36"O	GC 03	GV 05
				GV 06
Sector Colcaque, Tamburco	18.27 Has	13°36'49.11"S 72°51'32.57"O	GC 04	GV 07
				GV 08

NOTA

Los datos fueron obtenidos del plan de desarrollo urbano de la ciudad de Abancay.



Tabla 11 — Grupos de verificación

Verificación de la variabilidad de la expansión	Factor de carga CBR (Golpes)	Factor expansión (horas)
GV 01	12, 25, 56	24,48,72,96
GV 02	12, 25, 56	24,48,72,96
GV 03	12, 25, 56	24,48,72,96
GV 04	12, 25, 56	24,48,72,96
GV 05	12, 25, 56	24,48,72,96
GV 06	12, 25, 56	24,48,72,96
GV 07	12, 25, 56	24,48,72,96
GV 08	12, 25, 56	24,48,72,96
<p>NOTA</p> <p>Los factores de carga y factores de expansión están fijados y normados en los ensayos de CBR, los grados de expansión se verificarán a las 24,48,72 y 96 horas datos que serán relevantes para evaluar el comportamiento expansivo de estos suelos.</p>		

4.3 Descripción ética de la investigación

4.3.1 Internacional

- a) **Consentimiento informado:** Las áreas a estudiar deben otorgar su consentimiento informado de los propietarios para la aplicación en la investigación después de recibir una explicación clara y comprensible sobre el propósito, procedimientos, riesgos y beneficios involucrados en el estudio (Ramiro Avilés, 2017).
- b) **Beneficencia y no maleficencia:** Los investigadores deben evitar un impacto negativo en las propiedades de los colaboradores y evitar daños innecesarios. Deben equilibrar los posibles beneficios de la investigación con los riesgos involucrados (Caballero García & Bianchini, 2023).
- c) **Confidencialidad y privacidad:** La información recopilada de las calicatas debe mantenerse confidencial y protegida para su correcto estudio y no alteración. Los datos deben ser manejados de forma segura y solo deben ser

accesibles para el equipo de investigación autorizado (Pérez Espigares, 2018).

4.3.2 Nacional

La ética de la investigación en el Perú, al igual que en otros países, se refiere a los principios y normas morales que guían para poder llegar a realizar buenas investigaciones siempre beneficiando a la sociedad que es uno de los primeros principios de cualquier investigador (Fuentes & Revilla, 2007).

4.3.3 Local

La ética de la investigación es un tema fundamental en cualquier lugar del mundo, incluyendo en Apurímac y su capital Abancay. La ética de la investigación se refiere a los principios y normas morales que deben guiar la realización de investigaciones científicas y académicas, asegurando el respeto, la protección y el bienestar de los participantes y la integridad del proceso de investigación (Montero Vega, 2020).

- **Vida**

Se puede evitar la pérdida humana, comprobando periódicamente el estado de seguridad, sobre todo después de mal tiempo. Para ello se instalará barandillas, rodapiés y redes para evitar la caída de personas y objetos. Instalar protecciones colectivas contra caídas en todos los lugares que sean necesarios como barandillas, cobertura de huecos, redes de seguridad. (Santi, 2015).

- **Salud**

- a) Valorar la zona al efecto de disminuir en la medida de lo posible las emisiones de polvo y otros contaminantes a la atmósfera.
- b) Planificar la obra para minimizar, en la medida de lo posible, la población expuesta.



- c) Iniciar la obra en contra del viento dominante en la zona y si fuera posible construir una barrera de protección que evite la dispersión del polvo generado.
- d) Ubicar la carga y descarga de material en una zona protegida del viento.
- e) Riesgo se puede evitar el riesgo en la obra haciendo uso de carteles, reuniones de seguridad, adiestramiento especial de seguridad a los trabajadores y sistemas de sugerencias.

Es importante que los investigadores y las instituciones académicas de la universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac y científicas se comprometan a cumplir con estos principios éticos para asegurar la validez y la integridad de la investigación y para proteger los derechos y el bienestar de los bienes de la población Abanquina, sin generar mayores daños.

4.4 Población y muestra

4.4.1 Población

Según Arias y Gómez et al. (2016), la población de estudio es un conjunto de casos, definido, limitado y accesible, que constituye el referente para la elección de la muestra, y que cumple con una serie de criterios previamente predeterminados.

De esta forma la investigación se enfoca en explorar la relación entre la variabilidad de y la capacidad de cargas estáticas en la sub base de los pavimentos ubicados en múltiples puntos clave dentro de la ciudad de Abancay, los cuales presentan características geotécnicas variables. Los grupos experimentales y de control, como URB. San Luis Baja, Vía Panamericana, Urb. Ciudad de Dios y el sector Colcaque, han sido meticulosamente identificados mediante los métodos descritos en el inciso (4.5.1) de la metodología de investigación, sometidos a pruebas específicas para evaluar las expansiones en condiciones controladas. Estos grupos, cada uno con su conjunto de mediciones y coordenadas, brindan la oportunidad de examinar cómo la variabilidad del



suelo afecta la durabilidad de los pavimentos en distintas áreas de la ciudad de Abancay.

La (Tabla 12) detalla los grupos de control y verificación, con puntos designados para la medición y verificación de la variabilidad de la expansión del suelo, mediante los ensayos CBR. La ubicación de estos grupos proporciona una visión holística de las variaciones del terreno y su impacto en la capacidad de los pavimentos y cimientos para soportar cargas.

Esta investigación analizó sistemáticamente una perspectiva completa sobre cómo las características expansivas del suelo influyen en la integridad de los pavimentos y cimientos en la ciudad de Abancay a través de una caracterización geotécnica integral, incluyendo ensayos de laboratorio (ASTM D4546, ASTM D4318), lo que permitirá mejorar el diseño y mantenimiento de las infraestructuras, garantizando su seguridad y durabilidad a largo plazo.

4.4.2 Muestra

Según Hernández et al. (2014), la muestra es un subgrupo de elementos que van a tener que estar sujetos a una parte fundamental de la población es decir es un subgrupo de la población con características iguales que cumplen dichas especificaciones.

Tabla 12 — Grupo experimental

Grupo Experimental	Cantidad de muestras	Factor expansión (horas)
(G1)	2	24,48,72,96
(G2)	2	24,48,72,96
(G3)	2	24,48,72,96
(G4)	2	24,48,72,96
<p>NOTA</p> <p>La selección de cantidad de muestras se determinó mediante la extrapolación de datos gubernamentales recolectados y pruebas empíricas de plasticidad del suelo evaluados mediante el ensayo de Casagrande.</p>		



La muestra para esta investigación se compuso de 08 muestras de múltiples puntos estratégicamente seleccionados y verificados mediante los ensayos de plasticidad, dentro de la ciudad de Abancay. Cada uno de estos puntos de muestra como en la Urb. San Luis baja, Carretera Panamericana km 771 y km 773, sector de Puca puca, Urb. Fonavi, Av. Maucacalle, vía evitamiento y el sector de Colcaque, representa diferentes condiciones geográficas y geotécnicas. Estos grupos fueron elegidos específicamente para reflejar la diversidad del terreno y las variaciones en la expansión del suelo.

Cada punto seleccionado actuó como un sitio de estudio independiente dentro de la muestra. En ellos se realizaron mediciones y pruebas de verificación de la variabilidad de la expansión del suelo, así como pruebas de carga bajo condiciones específicas. La muestra abarcó estos puntos específicos, permitiendo una exploración detallada de cómo la variabilidad del suelo impacta la capacidad de los pavimentos para soportar cargas en distintas áreas de la ciudad.

La diversidad y representatividad de estos puntos dentro de la muestra aseguraron que la investigación pueda capturar una gama completa de condiciones geotécnicas presentes en Abancay, proporcionando datos significativos y comprensivos sobre la relación entre el suelo y la resistencia de los pavimentos en la región.

4.5 Procedimiento

El procedimiento para llevar a cabo la investigación y ejecutar la tesis " Variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas identificados en la ciudad de Abancay – 2024" incluyó los siguientes pasos:

4.5.1 Muestreo y recopilación de datos

- **Selección de puntos de muestreo**

Identificar áreas representativas para la toma de muestras de suelo. Determinar puntos estratégicos que abarquen diferentes condiciones geográficas o de uso.



- **Extracción de muestras**

Se recolectaron muestras del suelo en los puntos seleccionados, considerando la profundidad de muestreo y la variabilidad geotécnica del suelo.

Etiquetar y registrar cada muestra con su ubicación específica y profundidad.

- **Identificación de puntos de investigación**

Para la identificación y selección de estos 08 puntos de estudio, se tuvo que realizar una serie de ensayos y estudio de los distintos suelos en la ciudad de Abancay con el propósito de evaluar sus propiedades mecánicas y físicas. Este proceso incluyó diversos métodos de observación, extrapolaciones y ensayos de laboratorio. la (Figura 19) nos indican la selección de los suelos arcillosos según el índice de plasticidad ($IP > 20\%$).

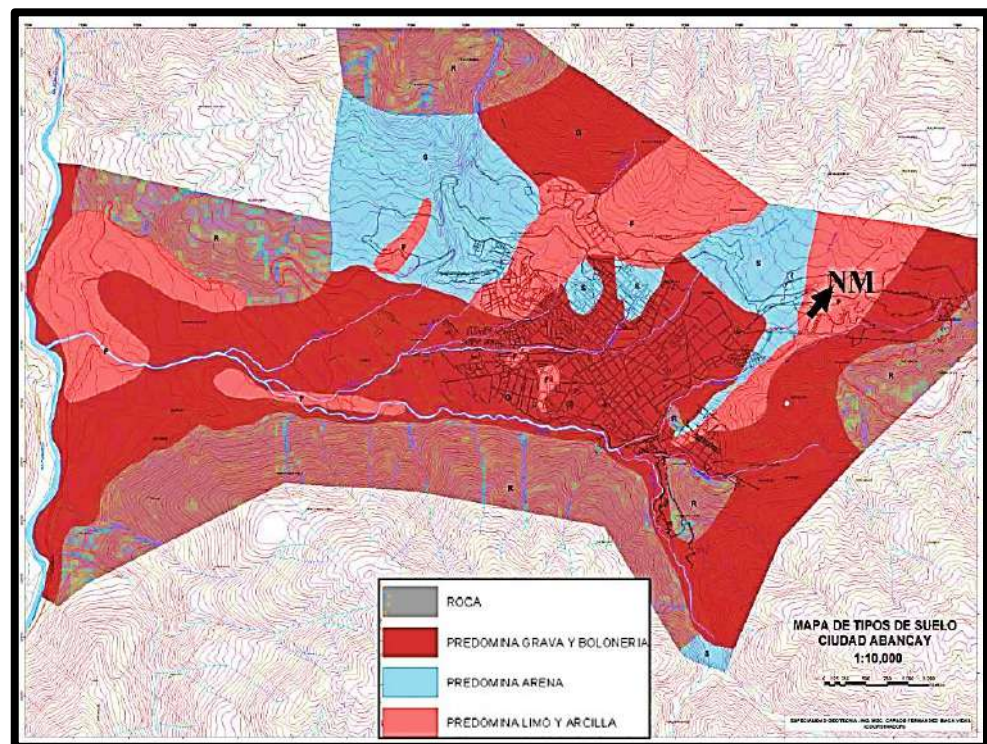


Figura 19 — Mapa tipos de suelo de Abancay

La delimitación de la tipología de los suelos en la ciudad de Abancay (Figura 19) nos da una pre visualización de las áreas predominantes de limos y arcillas generadoras de deformaciones en los suelos al contacto con la humedad identificados en mayor proporción en la microcuenca de Sahuanay, Colcaque, sector Pucapuca, sector de Moyocorral y Av. Panamericana. lugares estratégicos para su evaluación expansiva (INDECI, 2007).



En cuanto a la investigación de Aguirre et al. (2023), en su investigación “Infiltración en el movimiento en masa de suelos en urbanización Bellavista – Abancay”, rescatamos las prospecciones de suelo que hizo a través de la excavación de 3 calicatas, donde determinó el tipo de suelo. De manera similar López y Ortiz (2018) en su investigación “Estabilización de suelos arcillosos con cal para el tratamiento de la subrasante en las calles de la urbanización San Luis de la ciudad de Abancay”, realizó 02 calicatas, donde también determinaron el tipo de suelo. De igual forma, Tacca (2021), en su investigación Estabilización de suelo arcilloso con adición de cal para el mejoramiento de la subrasante, Vía de evitamiento, Abancay – Apurímac, realizó la excavación de 2 calicatas con fines de caracterización geotécnica.

Por su parte Chipana (2023), en su investigación “Análisis comparativo de la influencia de adición de cal y cemento en la capacidad portante del suelo de cimentación de las viviendas autoconstruidas del sector de Moyocorral – Abancay – Apurímac – 2022.” realizó 05 excavaciones de calicatas, las muestras demuestran suelos altamente expansivos por las cualidades arcillosas que presentan de estos resultados nos aportan información esencial para realizar extrapolaciones y comparaciones para la determinación de los suelos.

Los datos mencionados anteriormente, fueron procesados y presentados mediante el software arcGIS, con la finalidad de realizar extrapolaciones y comparaciones, para determinar los sectores de muestreo para la investigación (Figura 20).

Asimismo en un sondeo visual de las áreas identificadas compuestas de arcilla y limo mostramos los datos cartográficos (Figura 22), permitiendo la zonificando ubicamos los puntos arcillosos para su estudio. Esta identificación se realizó siguiendo criterios en la norma técnica peruana NTP 339.150.

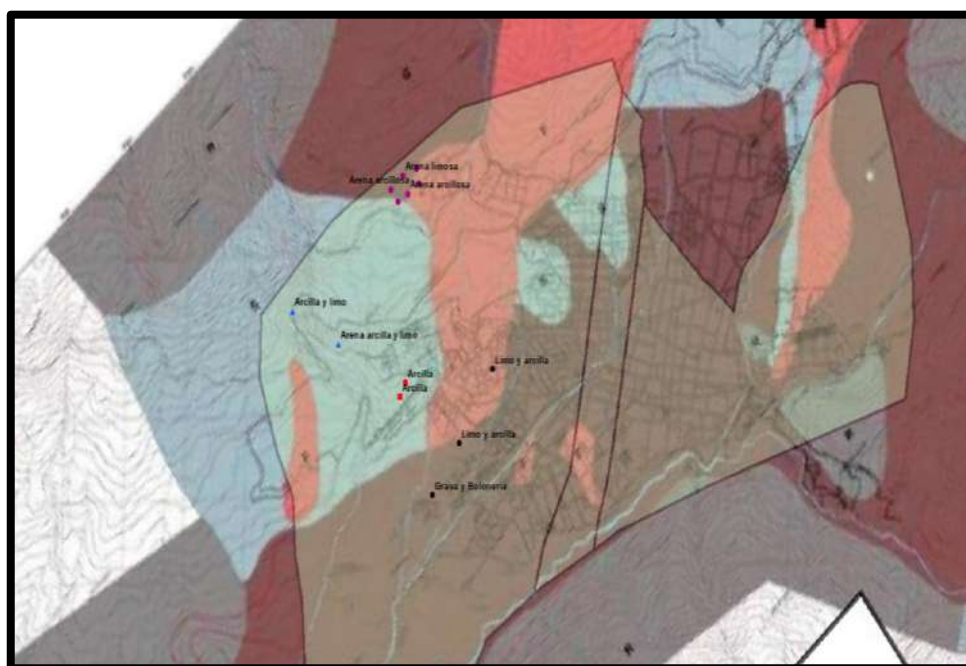


- **Muestreo probabilístico estratificado.**

En primer lugar, se utilizó esta técnica para delimitar la zona de muestreo, de esta forma se estratifico al distrito de Abancay en la zona que tiene presencia de viviendas y construcciones, y aquella zona que aún no se evidencian construcciones. De esta manera se delimito la zona con presencia de viviendas y construcciones, con ayuda del software ArcGIS.

Seguidamente se buscó estratificar aún más la zona de muestreo, para así disminuir los puntos de muestreo, la metodología fue interpolar los resultados de las investigaciones encontradas para determinar zonas con tipos de suelos similares y así estratificar aún más la zona a muestrear.

En primer lugar, se extrapoló los resultados de la investigación de INDECI (2007), tal como se muestra en la siguiente figura:



NOTA

En la extrapolación de los datos recolectados observamos una aproximación en la determinación de suelos con alto contenido de arcilla, las ubicaciones no son compatibles, pero si aproximados en los sectores de Pucapuca y la av. Panamericana.

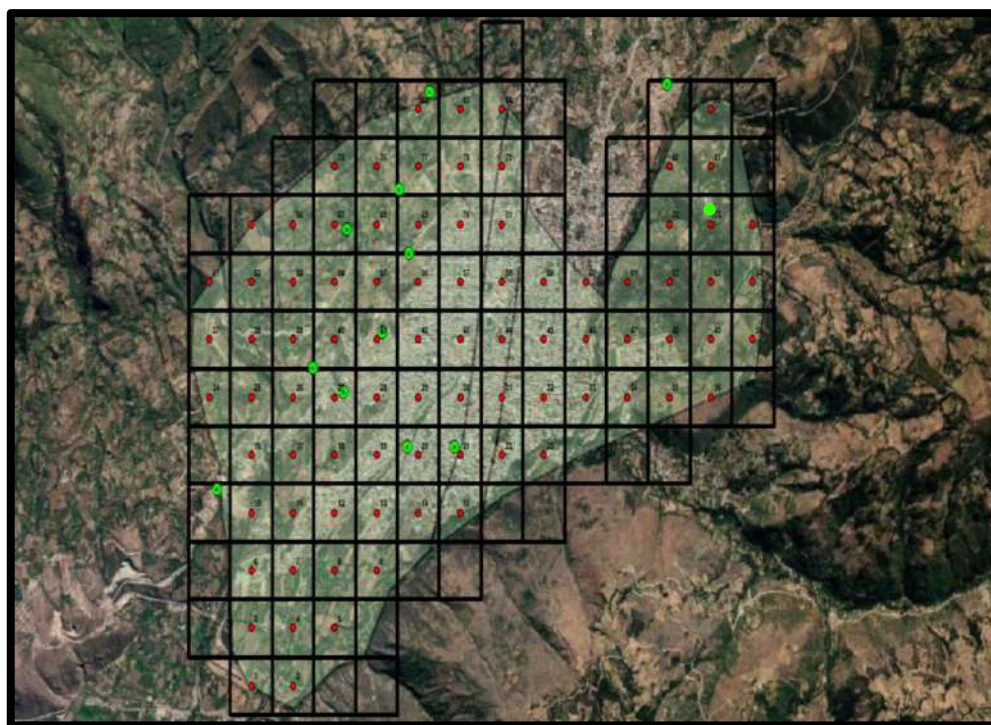
Figura 20 — Mapa de extrapolación de datos

Tabla 13 — Población finita/conocida

Población finita/conocida	
Nivel de confianza	95%
Z	1,96
p	50%
q	50%
E	10%
N	85
n	46
NOTA	
En la tabla se determinó que el tamaño de muestra es de 46 puntos. Ahora bien, para determinar qué punto serian parte de esta muestra, se utilizó el software SPSS, que nos permitió realizar el muestreo de tipo aleatorio. Después de programar el software para el muestreo.	

Los puntos escogidos mediante el muestreo aleatorio, que son los que presentan un valor de 1, son 46 puntos.

Si bien es cierto ya se tiene determinado el número de puntos de muestreo, sin embargo, aún no se identifica con precisión los suelos arcillosos, ya que se realizará una prospección mediante una excavación, toma de muestras y realización de ensayos. Por tal motivo, se realizó un sondeo superficial, para la Identificación visual de probables suelos arcillosos, esto se realizó de acuerdo con la E 102, de la norma de ensayo de materiales para carreteras (INVIAS, 2012).



NOTA

Puntos de ubicación de las 12 muestras de ensayo de los suelos arcillosos demarcados en las áreas de la ciudad de Abancay (figura 22).

Figura 22 — Muestreo poblacional por racimos

Tabla 14 — Muestras arcillosas

N°	Puntos de muestreo	Coordenadas	
		Este	Norte
1	16	727688,78	8491505,59
2	20	726472,51	8490835,64
3	30	728062,58	8491920,98
4	27	727720,6	8492632,36
5	39	727397,95	8491675,76
6	41	728315	8492470
7	67	728219	8492913
8	69	728514	8493585
9	77	730784	8493640
10	80	731381,61	8494700,38
11	82	728757,3	8491129,48
12	84	728303,79	8491129,94



NOTA

Tal como se observa de los 46 puntos solo 12 se han identificado como suelos arcillosos expansivos mediante la inspección visual, reportes de documentos gubernamentales, investigaciones, métodos de tacto empírico y tabulación (Tabla 14), por tal motivo, la muestra se reduce a estos 12 puntos, los cuales serán sometido a estudios más profundos sobre la determinación de arcillas expansivas en la ciudad de Abancay.

- **Flujograma**

Conforme a la norma ISO 5807:1985 "Procesamiento de la información" para evaluar el procedimiento de evaluación de la expansión del suelo se establecerá en función de las etapas de identificación, análisis y valoración de la expansión (Figura 23).

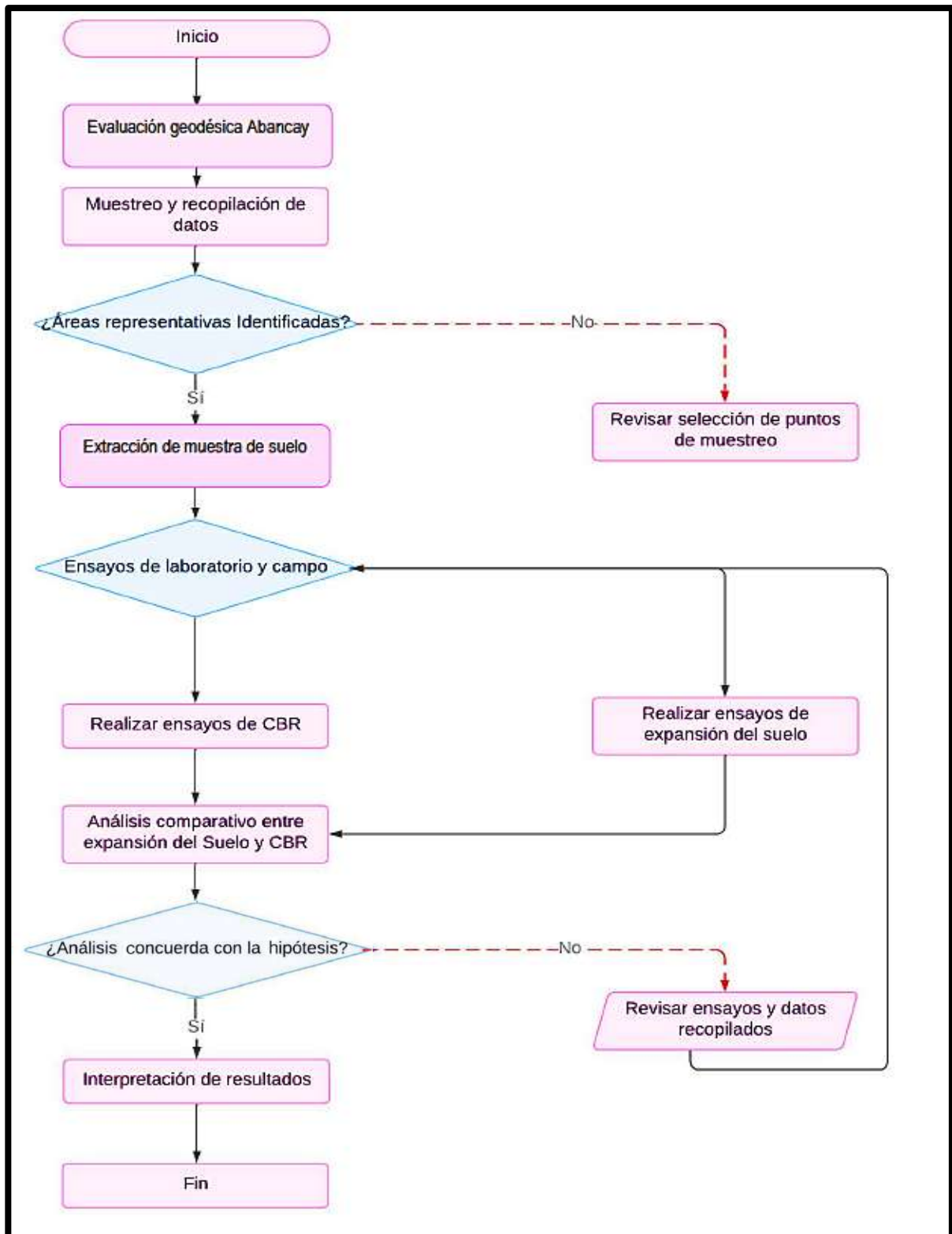


Figura 23 — Flujograma del procedimiento de ejecución

4.6 Técnica e instrumentos

4.6.1 Técnica

Según Hernández Sampieri et al. (2013), los estudios correlacionales asocian los conceptos o variables que permiten predicciones y cuantifican asociaciones entre conceptos o variables; pretendiendo responder preguntas de investigación, la finalidad de este tipo de estudio es conocer la relación o grado de asociación que debe existir entre dos o más conceptos en un contexto en particular.

Para la elaboración de la presente investigación se aplicó la técnica de ensayos de laboratorio mediante el cual evaluamos la expansión de los suelos arcillosos identificados para determinar la relación que existe entre la variable independiente y el indicador de resistencia de la tesis. La presente investigación realizó recolección de datos basados en la información geotécnica (muestreo de suelos, ensayos de laboratorio, ensayos de campo).

4.6.2 Instrumentos

Según Hernández Sampieri et al. (2013), un instrumento de medición debe cumplir con tres requisitos que es la confiabilidad, grado en que un instrumento produce resultados consistentes y coherentes, la validez el grado en que un instrumento mide la variable y la objetividad, grado en que le instrumento es permeable a los sesgos y tendencias del investigador califica e interpreta.

Los instrumentos utilizados en la presente investigación fueron los equipos de laboratorio y formatos de registro, empleados para la ejecución de los ensayos de expansión del suelo bajo cargas estáticas y la determinación del Índice de Soporte California (CBR), permitiendo la obtención sistemática y confiable de los datos experimentales.

- **SPSS:**

SPSS es un software estadístico ampliamente utilizado en el ámbito académico y de investigación. Proporciona una interfaz gráfica fácil de usar para análisis estadísticos descriptivos, pruebas de hipótesis, modelos predictivos, entre otros.



- **Python:**

Para el procesamiento y análisis predictivo de los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio, se utilizó el lenguaje de programación Python, empleando librerías especializadas para el análisis numérico y la modelación predictiva, sin que ello forme parte de la técnica de recolección de datos, Instrumentos utilizados según los objetivos de la investigación.

- **Equipo de registro de muestreo de suelos:**

- Ubicación del punto de muestreo.
- Profundidad de la muestra.
- Fecha y hora de recolección.
- Descripción visual del suelo (textura, color, presencia de capas, etc.).

- **Equipo de análisis granulométrico:**

- Identificación de la muestra.
- Peso de las fracciones retenidas en cada tamiz.
- Cálculo de porcentajes retenidos y pasantes en cada fracción.

- **Equipo de ensayo de compactación proctor:**

- Identificación de la muestra.
- Peso del suelo húmedo.
- Peso del suelo seco.
- Contenido de humedad.
- Datos de compactación (número de capas, número de golpes, etc.).

- **Equipo de ensayo de CBR:**

- Identificación de la muestra.
- Datos de compactación y preparación de la muestra.
- Lecturas de penetración en función de la carga aplicada.

- **Equipo de ensayo de expansión:**

- Identificación de la muestra.
- Variación de la humedad aplicada.
- Registro de la expansión del suelo en intervalos específicos de tiempo.

4.7 Análisis estadístico

- **Análisis estadístico descriptivo**

El análisis estadístico descriptivo permitió transformar datos de campo en información estructural y esencial que permite comprender la heterogeneidad del comportamiento expansivo de los suelos expansivos en Abancay, sirviéndonos como base científica para decisiones de diseño geotécnico y planificación urbana en los pavimentos de la ciudad de Abancay.

- **Análisis estadístico inferencial**

La estadística inferencial permitirá realizar generalizaciones, predicciones y comparaciones respecto a la población, identificada como los suelos expansivos en la ciudad de Abancay, a partir de los resultados obtenidos de las 08 muestras. Dentro de nuestro análisis compararemos las variables cuantitativas, verificando su normalidad y siguiendo su asociación aplicando modelos de correlación entre las variables.

Vinuesa (2016), afirma que la correlación se define como una medida estandarizada que evalúa la relación o conexión lineal entre dos variables. Este índice de correlación se encuentra en un rango que va desde -1 hasta +1. Los extremos de este rango indican correlaciones perfectas, ya sean negativas o positivas. Si el valor es $r=0$, esto señala que no existe una relación lineal entre las dos variables. Cuando la correlación es positiva, implica que ambas variables tienden a cambiar en la misma dirección.

- a) Método de selección:** Elegir la prueba estadística apropiada para el estudio requiere evaluar distintos factores, como el objetivo de la investigación, el tipo de datos y las características de las variables. Desarrollaremos la selección para el proyecto sobre la relación entre expansión del suelo, contenido de humedad, y el CBR.
- b) Definiremos el objetivo del análisis:** definiremos con las siguientes preguntas para la relación, ¿Cómo afecta la expansión del suelo al CBR? Y en la comparación diremos que ¿El CBR es diferente entre zonas con distinta



expansión de suelos arcillosos bajo cargas estáticas? Y para la predicción diremos ¿Cuánto se puede predecir el CBR a partir del contenido de humedad y la expansión?

- c) **Identificación de las variables:** Clasificamos las variables que intervienen en el estudio como Variable única a la variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas y al indicador de resistencia al Índice de soporte California (CBR).
- d) **Definimos del tipo de análisis:** Definiremos la selección del objetivo el tipo de análisis y las pruebas mediante la siguiente relación (tabla 15)

Tabla 15 — Tipos de análisis estadísticos

Objetivo del análisis	Tipo de análisis	Pruebas sugeridas
Relación entre dos variables cuantitativas	Análisis de correlación	Correlación de Pearson (normalidad) o Spearman
Evaluar el efecto de una variable sobre otra	Análisis de regresión	Regresión lineal simple o múltiple
Comparar el CBR entre grupos	Comparación de medias	t-Student (2 grupos) o ANOVA (3+ grupos)
Verificar diferencias entre mediciones repetidas	Comparaciones pareadas	t-Student pareado o Wilcoxon

- e) **Distribución:** Determinamos si nuestras variables son normales usando pruebas de normalidad como. Shapiro-Wilk (muestra pequeña) y Kolmogorov-Smirnov (muestra grande). Al ser una muestra de 08 calicatas se eligió para la prueba de normalidad Shapiro-Wilk (muestra pequeña). Cabe recalcar que si los datos no son normales usaremos pruebas no paramétricas.
- f) **Escala de medición:** Variables cuantitativas continuas (CBR, contenido de humedad, expansión del suelo) Permiten correlación, regresión y comparación de medidas y las variables categóricas (zonas, tipos de suelo): Útiles para

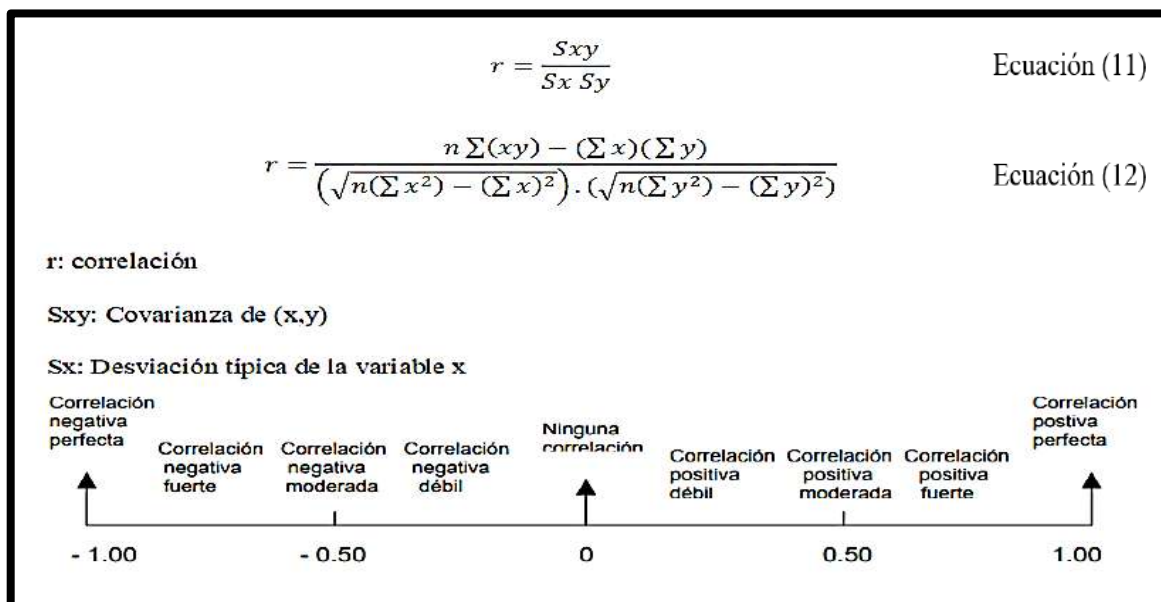


clasificar y comparar herramientas necesarias para la relación entre estos dos factores.

- g) Tamaño de muestra:** Si tenemos una muestra pequeña ($n < 50$) prefiere pruebas no paramétricas porque no requieren normalidad. Selección de pruebas estadísticas según el caso.
- h) Correlación entre variable y el indicador de resistencia:** Se utilizó correlación de Pearson para las variables (expansión y CBR) tienen distribución normal y la relación es lineal. Se utilizó correlación de Spearman si los datos no son normales o la relación es no lineal.
- i) Efecto de la expansión de suelos arcillosos en el CBR:** La regresión lineal simple Se analizó como una sola variable independiente (expansión) donde afecta al CBR. Y la regresión lineal múltiple se incluye en más resultados independientes como el contenido de humedad y expansión simultáneamente.
- $$\text{CBR} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Expansión} + \varepsilon \quad (10)$$
- j) Comparar el CBR entre grupos:** El análisis de t-Student se comparó el CBR entre dos tipos de suelo o zonas con expansión alta y baja. Y ANOVA se comparó el CBR entre más de dos grupos (por ejemplo, varias zonas geográficas).
- k) Cambios en el tiempo:** Se midió el CBR bajo diferentes condiciones de carga estática, t-Student pareado Para dos mediciones (antes y después). Y la prueba de Wilcoxon Si los datos no son normales.

Tomando estas condiciones y aplicaciones concluimos que el método de prueba estadística más apropiado para la investigación fue de la correlación. La aplicación del análisis estadístico de correlación y regresión en la investigación propuesta para examinar la conexión entre la expansión y el CBR. En este contexto, se considera la expansión como la variable independiente y el CBR como la variable dependiente. Utilizando el coeficiente de correlación, se puede

evaluar la intensidad y la dirección de la relación entre ambas variables. Posteriormente, se hizo llevar a cabo un análisis de regresión para determinar existencia de una relación significativa y expresarla mediante una fórmula matemática. El coeficiente de correlación (r) es un valor adimensional que oscila entre -1 y +1.



FUENTE: Mc Graw Hill, 2022

Figura 24 — Grado de correlación

Tabla 16 — Correlación lineal

Valor de r	Tipo y grado de relación
-1	Negativo perfecto
-1 < r < -0.8	Negativo fuerte
-0.8 < r < -0.5	Negativo moderado
-0.5 < r < 0	Negativo débil
0	no existe
0 < r < 0.5	Positiva débil
0.5 < r < 0.8	Positiva moderada
0.8 < r < 1	Positiva fuerte
1	Positiva perfecta

FUENTE: Mc Graw Hill, 2022



- **Coefficiente de determinación r^2**

Según Mc Graw Hill (2022), el coeficiente de determinación (r^2) es una métrica que revela el porcentaje o proporción de la variabilidad total en la variable dependiente (y) que puede ser comprendida por el modelo de regresión lineal. En términos simples, r^2 representa la parte de la variación total en y que puede ser asociada a las variables independientes específicas que están incorporadas en el modelo.

- **Regression Analysis (análisis de regresión)**

El análisis de regresión utilizaremos para cuantificar y predecir cómo las características del suelo como la expansión bajo cargas estáticas afectan la resistencia y el soporte medidos por el CBR. Este método identifica relaciones entre las variables clave de la investigación.

El análisis de regresión es una herramienta estadística que nos ayudará a modelar y examinar las relaciones entre las variables del proyecto. En el contexto de esta investigación sobre la variabilidad de la expansión del suelo bajo cargas estáticas.

- **Prueba de normalidad**

La prueba de normalidad es un procedimiento estadístico que permite determinar si una muestra de datos sigue una distribución normal. Esto es esencial en estudios geotécnicos, ya que muchas pruebas estadísticas suponen que los datos tienen esta distribución. En el contexto del proyecto sobre la expansión de suelos y el CBR, una prueba de normalidad nos ayuda a entender si los datos recogidos (como las características geotécnicas o la variabilidad en la expansión) se distribuyen normalmente, lo cual influye en los métodos de análisis estadístico donde utilizaremos Shapiro-Wilk.

- **Prueba de Shapiro-Wilk:**

La elección de las pruebas de normalidad, como Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov para una muestra $n=8$ tiene ventajas y limitaciones importantes que consideraremos ya que Kolmogorov-Smirnov es para un n más grande se utilizara Shapiro-Wilk. En la prueba de shapiro wilk utilizaremos para muestras $n \leq 50$ siendo nuestra muestra $n = 8$, para su análisis demostraremos que La hipótesis nula (H_0) demuestra que los datos siguen una distribución normal.



Un valor de $p < 0.05$ nos indica que se rechazamos la hipótesis nula, es decir, que los datos no siguen una distribución normal, la prueba de Shapiro-Wilk es un método estadístico que se aplicó a nuestra muestra que evalúa si una muestra de datos proviene de una distribución normal.



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Análisis de resultados

En el análisis de los resultados descriptivo de la variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas identificados en la ciudad de Abancay – 2024, se presenta el desarrollo detallado de los análisis expansivos de los suelos arcillosos y arenas con alto contenido de arcillas detectados en el área urbanístico de la ciudad de Abancay, tomando las muestras extraídas y sometiéndolos a los ensayos requeridos para demostrar el grado expansivo que poseen estos suelos y su impacto en los pavimentos.

5.1.1 Evaluación de resultados del objetivo general

Para analizar la variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas identificados en la ciudad de Abancay durante el año 2024. Es necesario la aplicación de métodos de identificación de suelos expansivos mayores al 2% de expansión tomando como base el índice de plasticidad (IP) mínima del 20% considerando a mayores de este como suelos arcillosos expansivos.

De esta forma el estudio de la variabilidad de la expansión de estos suelos se dio mediante los principios de los objetivos específicos que darán un resultado secuencial en la identificación, análisis y la determinación del grado expansivo de estos elementos demostrando su impacto negativo en los pavimentos.

5.1.1.1 Determinación de la plasticidad del suelo

La plasticidad del suelo nos permite conocer las propiedades internas y sus componentes de un material, su aplicación es crucial para determinar suelos arcillosos expansivos y su capacidad de soporte. El estudio permitió cumplir los objetivos específicos (OE1 y OE2) y realizar un análisis más completo del comportamiento de los suelos expansivos en Abancay.



Mediante los ensayos en laboratorio y el estudio de las 12 muestras de suelo (figura 27) pudimos obtener los LL LP y el índice de plasticidad de cada muestra obteniendo los siguientes resultados.



NOTA

En la imagen se detalla las 12 muestras seleccionadas para el análisis plástico del mismo mediante la carta de plasticidad de Casagrande.

Figura 25 — Muestreo de tipos de suelo

Tabla 17 — Determinación del límite líquido, límite plástico y índice de plasticidad

Muestra	Límite líquido (LL)	Límite plástico (LP)	Índice plástico (IP)
M1	60.90	37.42	23.48
M2	59.17	39.49	19.68
M3	65.50	45.53	19.97
M4	26.5	19.75	6.75
M5	42.1	17.47	24.63
M6	62.2	18.35	43.85
M7	22.5	9.55	12.95
M8	56.50	33.12	23.38
M9	68.1	47.29	20.81
M10	60.50	30.40	30.10

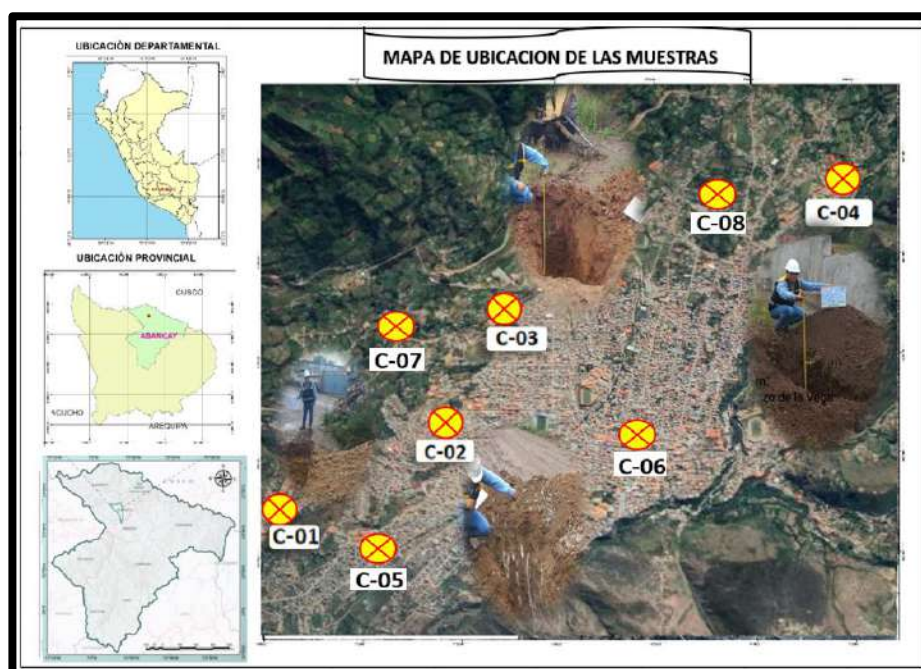


M11	16.2	8.52	7.68
M12	16.2	8.58	7.62

NOTA

La plasticidad de la muestra definirá la cantidad de arcilla contenida en cada una de las muestras. mediante la evaluación definimos para una expansión de 2% a más se tienes (IP) > 20%. Siendo la M1, M2, M3, M5, M6, M8, M9, M10 En tal sentido se procedió a la selección de estas muestras para un estudio más profundo.

Considerando las características geológicas del terreno y los objetivos del proyecto, se han colocado y excavado estratégicamente ocho (08) pozos exploratorios al aire libre (Figura 26) para deducir el perfil estratigráfico de los sedimentos que subyacen a las cargas externas de la estructura del pavimento. La profundidad máxima de excavación alcanzada fue de 1,50 metros en todo el sitio de excavación. Se recogieron muestras de suelo alterado (alterado) para su posterior análisis de laboratorio, y cada tipo de suelo distinto encontrado se clasificó visual y empíricamente ratificando con los ensayos de plasticidad para documentarlos, de conformidad con la norma técnica peruana NTP 339.150, a continuación, se presenta un resumen en el que se describe el sitio de exploración junto con sus atributos más destacados.



NOTA

La selección se realizó de acuerdo a la plasticidad obtenidas en las áreas con mayor porcentaje arcillosos de los suelos.

Figura 26 — Mapa de ubicación de las muestras

Tabla 18 — Distribución de los puntos de investigación

Muestra	Calicata	Este	Norte	Cota	Profundidad
M-02	C-01	726472.51	8490835.64	2,277	1.50
M-05	C-02	727397.95	8491675.76	2,374	1.50
M-06	C-03	728315.00	8492470.00	2,526	1.50
M-09	C-04	730784.00	8493640.00	2,700	1.50
M-01	C-05	727688.78	8491505.59	2,288	1.50
M-03	C-06	728062.58	8491920.98	2,428	1.50
M-08	C-07	728514.00	8493585.00	2,750	1.50
M-10	C-08	731381.61	8494700.38	2,650	1.50

NOTA

Se presenta un resumen en el que se describe el sitio de exploración junto con sus atributos más destacados (clasificación del suelo, profundidad de excavación, etc).

5.1.1.2 Perfil estratigráfico

Tras la ejecución de las calicatas, se pudo observar sistemáticamente el perfil estratigráfico (Tabla 19), el contenido de humedad, la densidad y/o la compactación de cada sitio de investigación. Posteriormente, se recolectaron muestras modificadas para analizarlas en el laboratorio a fin de dilucidar los atributos y propiedades físicas y mecánicas del suelo; la clasificación resultante se detalla en la siguiente tabla:



Tabla 19 — Perfil estratigráfico

Perfil estratigráfico				
Calicatas “C”	Caracterización de los estratos			
	Estratos “E”	Profundidad	Composición	Nivel freático
C-01	E-01	0.00m-0.20m	Material orgánico con grava, arena y arcilla	No presenta
	E-02	0.20m-1.50m	Arena con arcilla, limos de alta plasticidad	
C-02	E-01	0.00m-0.20m	Capa de material afirmado	No presenta
	E-02	0.20m-1.50m	Arena con arcilla de media plasticidad	
C-03	E-01	0.00m-0.20m	Gravas arcillosas y limo amarillento	No presenta
	E-02	0.20m-1.50m	Arena con arcillas de alta plasticidad	
C-04	E-01	0.00m-0.20m	Material orgánico con grava y arcilla	No presenta
	E-02	0.20m-1.50m	Arena con arcilla, limos de alta plasticidad	
C-05	E-01	0.00m-0.20m	Gravas arcillosas y limo amarillento	No presenta
	E-02	0.20m-1.50m	Arenas con arcilla y limos de alta plasticidad	
C-06	E-01	0.00m-0.20m	Gravas arcillosas y limo amarillento	No presenta
	E-02	0.20m-1.50m	Arenas con arcilla y limos de alta plasticidad, con material orgánico	
C-07	E-01	0.00m-0.20m	Gravas arcillosas y limo amarillento	No presenta
	E-02	0.20m-1.50m	Arena con arcilla de alta plasticidad	
C-08	E-01	0.00m-0.20m	Gravas arcillosas y limo amarillento	No presenta
	E-02	0.20m-1.50m	Arenas con arcilla y limos de alta plasticidad	

NOTA

Con base en los hallazgos adquiridos, los estratos identificados dentro de las calicatas se clasifican como una formación geológica heterogénea. El perfil del suelo documentado en las calicatas, que se extiende hasta la profundidad de investigación especificada, se presenta un resumen detallado del perfil estratigráfico en dos secciones a 20 cm y 1.50m describiendo el tipo de suelo encontrado.

Tabla 20 — Resumen de la humedad natural del suelo

Calicata	Muestra	Profundidad (m)	Cota (msnm)	Humedad natural wn%
C-01	E-02	1.50	2,277	14.33
C-02	E-02	1.50	2,374	11.16
C-03	E-02	1.50	2,526	11.04
C-04	E-02	1.50	2,700	10.96
C-05	E-02	1.50	2,288	11.81
C-06	E-02	1.50	2,428	7.85
C-07	E-02	1.50	2,750	12.42
C-08	E-02	1.50	2,650	9.64

NOTA

El contenido de humedad es una de las variables esenciales en la investigación porque influye tanto en la expansión del suelo como en su resistencia a las cargas estáticas (Tabla 20), permitiéndote abordar directamente los objetivos específicos (OE1 y OE2).

5.1.1.3 Límite de plasticidad y clasificación de las 08 calicatas

Estableciendo el marco metodológico para determinar el contenido de humedad de las 08 muestras de suelo. El contenido de humedad del suelo, cuantificado como porcentaje, representa la relación entre la masa de agua presente en una masa específica de suelo y la masa de sus componentes sólidos. En este protocolo operativo implicamos la medición de la masa de agua extraída sometiendo el suelo húmedo a un secado hasta lograr un peso constante en un horno mantenido a una temperatura de 110 ± 5 °C. La masa de tierra retenida después del secado se utiliza como medida del peso de las partículas sólidas. La reducción de masa atribuida al proceso de secado se interpreta como la masa del contenido de agua.

En la expansión de estas arcillas es predominante conocer la cantidad de agua que contiene el estrato. El límite líquido es el contenido de humedad, expresado como un porcentaje, delinea el estado del suelo en

el umbral entre las fases líquida y plástica. Se define convencionalmente como el contenido de humedad, como se muestra, en la Tabla 21 en el que la fisura entre dos segmentos de una pasta de suelo converge en su base a lo largo de un tramo de 13 mm (1/2 p.) cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo (Tabla 19).

El contenido mínimo de humedad al que se pueden moldear las muestras de tierra con un diámetro de aproximadamente 3,2 mm (1/8») se denomina límite plástico (Tabla 21), que se logra manipulando la tierra entre la palma de la mano y una superficie plana (como el vidrio esmerilado), garantizando que estas muestras no se desintegren. Esta metodología de prueba es un componente fundamental en nuestra investigación, de varios marcos de clasificación de ingeniería destinados a caracterizar los componentes del suelo de grano fino (consulte los anexos de clasificación SUCS y AASHTO y es fundamental para determinar la composición de los granos de los materiales de construcción (consulte la especificación ASTM D1241).

El límite plástico y el índice de plasticidad de los suelos se utilizan ampliamente, tanto de forma aislada como junto con otras características del suelo, para establecer correlaciones con sus métricas de rendimiento de ingeniería, incluidas la compresibilidad, la permeabilidad, la densidad, la contracción-expansión y la resistencia al corte (Tabla 21).

La clasificación de los suelos se ha realizado de acuerdo con la norma técnica peruana NTP 339.134 (ASTM D -2487) o el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), ya que este estudio se lleva a cabo con objetivos fundamentales. Los resultados de los análisis de laboratorio se incluyen en los apéndices. Los resultados se resumen en las tablas siguientes.



Tabla 21 — Resumen de los límites de consistencia, humedades y clasificación

Límites de Plasticidad y Clasificación							
Identificación			Límites de plasticidad %			Humedad natural	Clasificación
Calicata	Muestra	Prof.	LL	LP	IP		
N°	N°	m				W _n %	
C-01	E-02	1.50	59.17	39.49	19.68	14.33	SM
C-02	E-02	1.50	42.1	17.47	24.63	11.16	SC
C-03	E-02	1.50	62.2	18.35	43.85	11.04	SC
C-04	E-02	1.50	68.1	47.29	20.81	10.96	SM
C-05	E-02	1.50	60.90	37.42	23.48	10.96	SM
C-06	E-02	1.50	65.50	45.53	19.97	10.96	SM
C-07	E-02	1.50	56.50	33.12	23.38	10.96	SC
C-08	E-02	1.50	60.50	30.40	30.10	10.96	SM

Clave

LL Límite líquido
 LP Límite plástico
 IP Índice de plasticidad
 SM Arena limosa
 SC Arena arcillosa
 SUCS Sistema unificado de clasificación de suelos
 AASHTO American association of state highway officials

5.1.1.4 Análisis granulométrico.

Los siguientes graficas nos muestra la granulometría del ensayo definido en las 08 calicatas con relación al tamiz y el porcentaje que pasa tomando al tamiz N°4 como la muestra de estudio para el CBR.



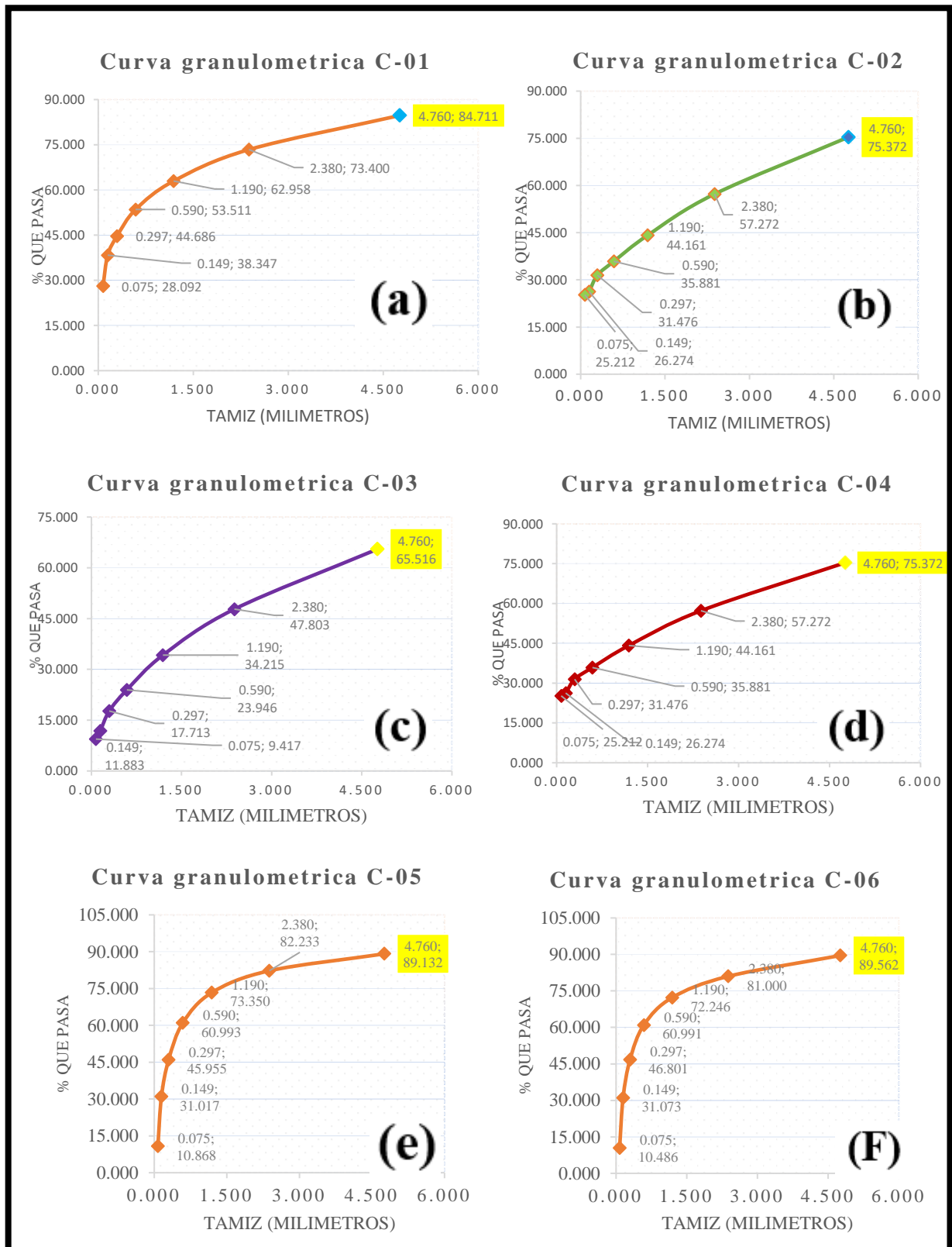


Figura 27 (1 de 2)



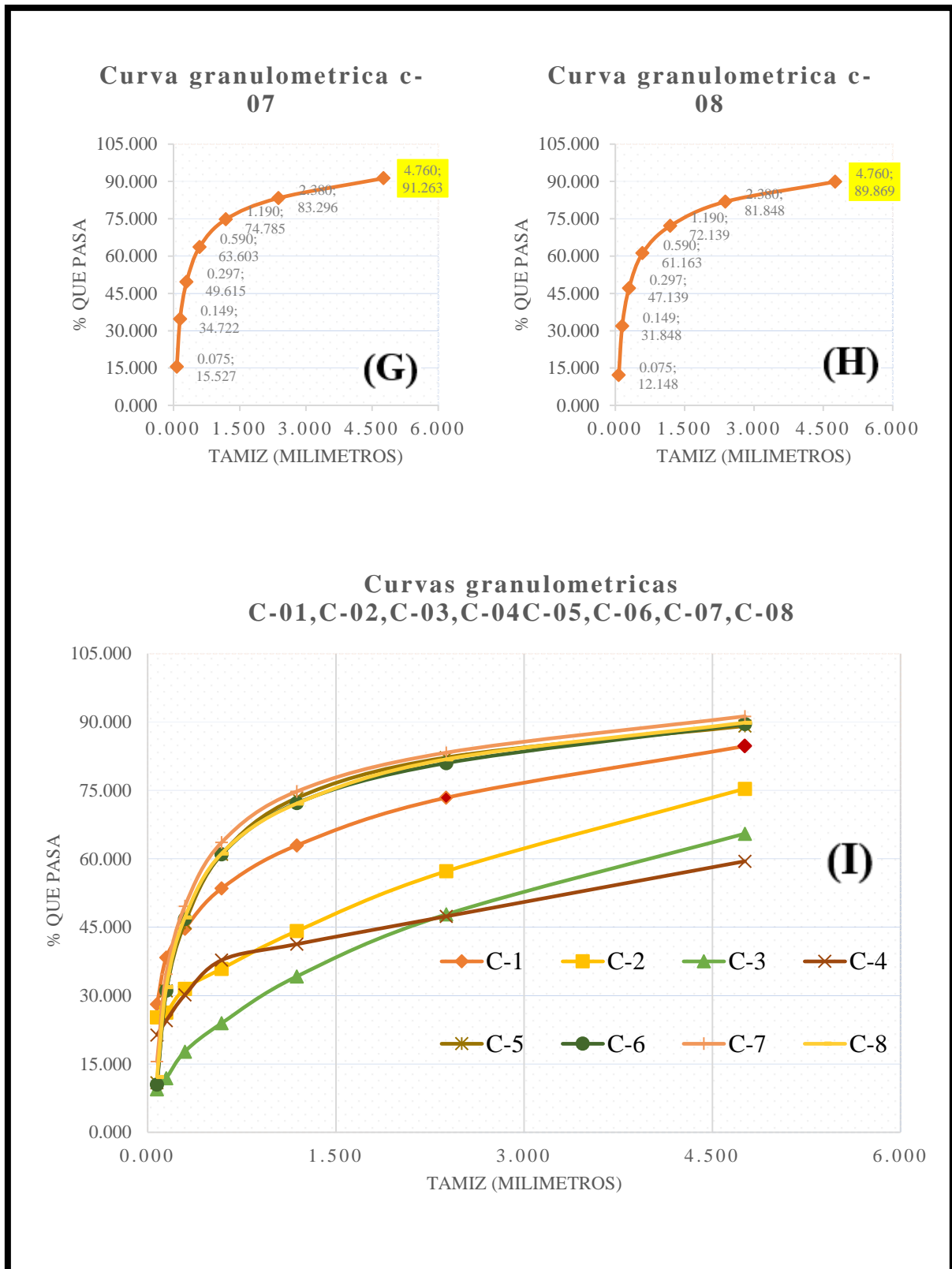


Figura 27 (2 de 2)

NOTA

Se verifica que más del 60% de material pasa por el tamiz N°4 adecuado para el ensayo CBR y la determinación de la expansión según diseño.

Figura 27 — Curva granulométrica de las C1, C2, C03, C04, C05, C06, C07, C08



Tabla 22 — Análisis granulométrico

Análisis granulométrico							
Identificación			Análisis granulométrico				
Calicata	Muestra	Prof.	% que pasa la malla N°				
N°	N°	m	N°4	N°3/4	N°16	N°100	N°200
C-01	E-02	1.50	84.711	99.316	62.958	38.347	28.092
C-02	E-02	1.50	75.372	100.000	44.161	26.274	25.212
C-03	E-02	1.50	65.516	95.426	34.215	11.883	9.417
C-04	E-02	1.50	59.466	90.159	41.284	24.508	21.368
C-05	E-02	1.50	89.132	99.206	73.350	31.017	10.868
C-06	E-02	1.50	89.562	99.038	72.246	31.073	10.486
C-07	E-02	1.50	91.263	99.411	74.785	34.722	15.527
C-08	E-02	1.50	89.869	99.578	72.139	31.848	12.148

NOTA

La granulometría en el análisis de la expansión proporcionara las dosificaciones adecuadas para la aplicación del (CBR) para el tamiz número 04 con 4.760 mm donde se Cuantifica sistemáticamente la distribución del tamaño de las partículas del suelo (Figura 21). Este modo operativo describe el procedimiento para determinar las proporciones de suelo que atraviesan los distintos tamices dentro de la serie designada empleada en el análisis, que se extiende hasta 74 mm (núm. 200) los datos obtenidos (Tabla 22) definirán la selección para el CBR obtenidos del tamiz N°04.

5.1.1.5 Ensayo de compactación Proctor modificado.

En las siguientes gráficas se visualiza las curvas Proctor de las 8 muestras, determinando la relación entre la humedad y la densidad de las muestras previamente compactadas, la densidad seca máxima y la humedad optima se visualiza en la loma de las curvas de esta relación.

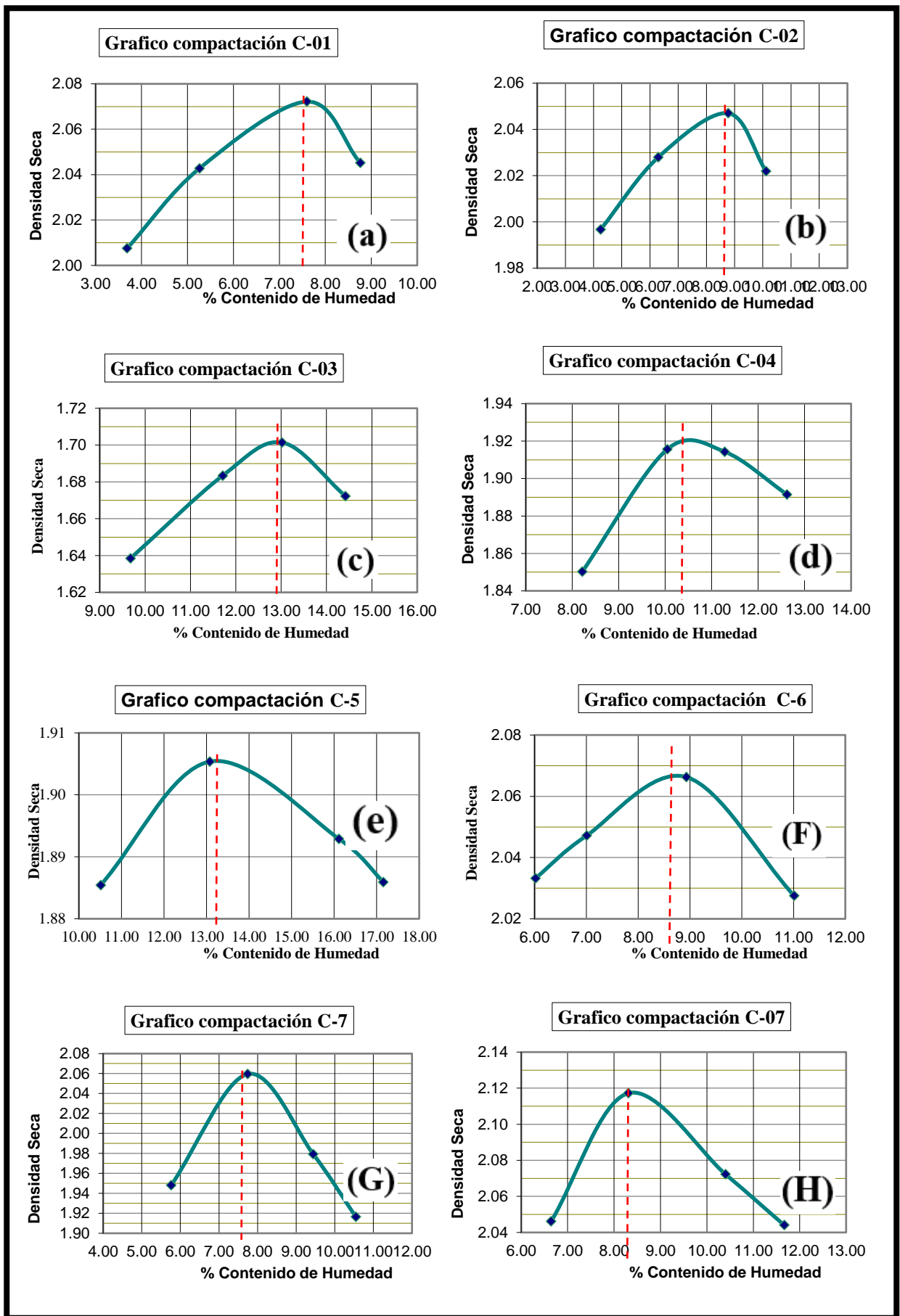


Figura 28 (1 de 2)



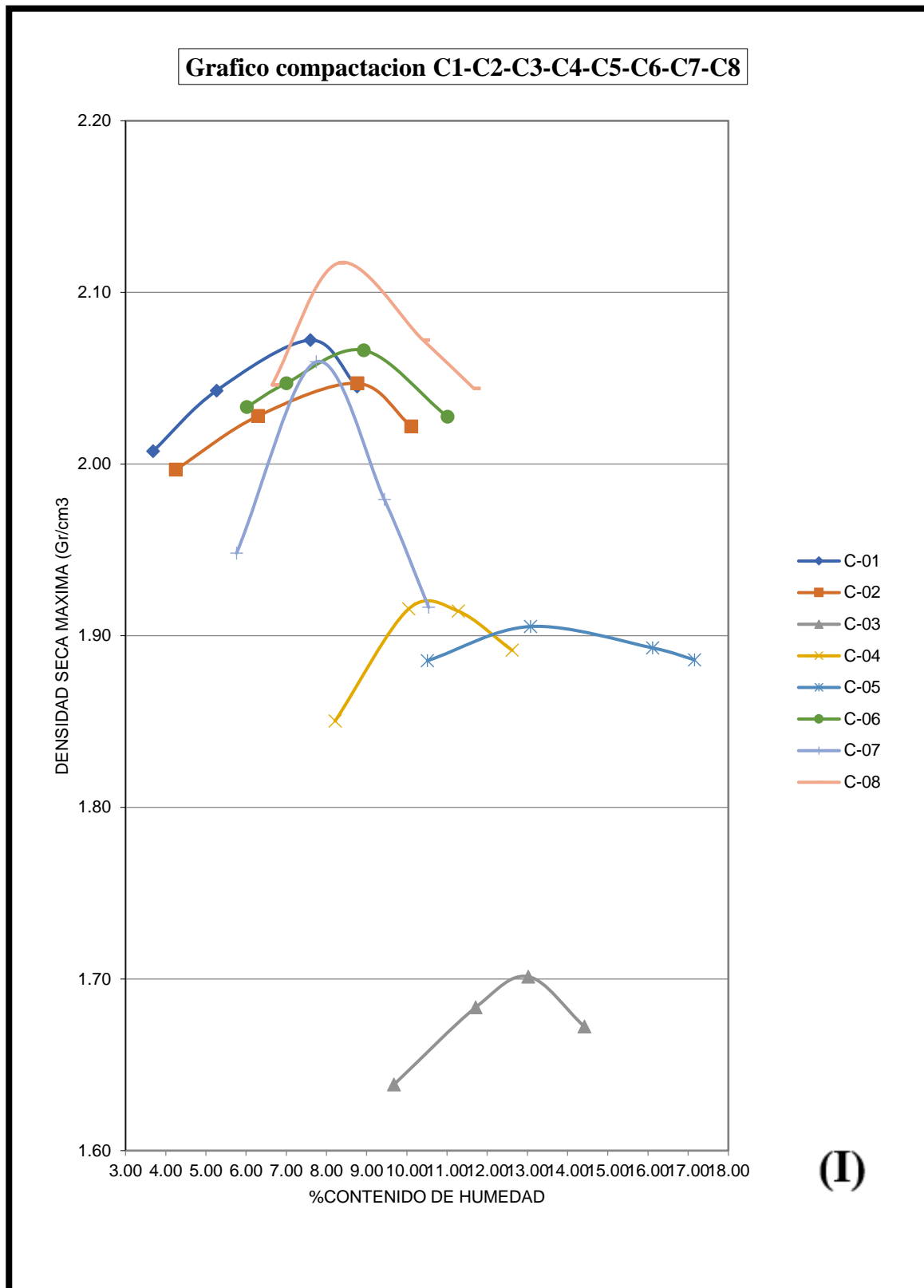


Figura 28 (2 de 2)

Figura 28 — Grafica de la curva Proctor modificado

Tabla 23 — Resumen de las propiedades físicas y mecánicas del suelo

Calicata	Muestra	Densidad máxima seca (gr/cm ³)	Contenido óptimo de agua (COA)(%)
C-01	E-02	2.072	7.600
C-02	E-02	2.049	8.60
C-03	E-02	1.70	12.80
C-04	E-02	1.920	10.40
C-05	E-02	1.907	13.20
C-06	E-02	2.068	8.70
C-07	E-02	2.060	7.90
C-08	E-02	2.119	8.50

NOTA

El gráfico de compactacion de la densidad máxima seca refleja la capacidad del suelo para alcanzar su máxima densidad bajo condiciones de compactación óptimas sin la influencia del agua es notable este ensayo que al existir expansión existirá una contracción que de igual forma generará inestabilidad en los suelos mostrando cambios volumétricos significativos al variar su contenido de agua (Tabla 23).

5.1.1.6 Caracterización del suelo y resumen de los ensayos de laboratorio

El objetivo del análisis del suelo es determinar la capacidad comparativa para soportar cargas sustanciales; por lo tanto, es imperativo delinear estos valores expresados como porcentajes del coeficiente de resistencia de California (CBR), que posteriormente se interpreta de manera comprensible como una calidad del suelo subóptima, moderada y óptima (figura 29).

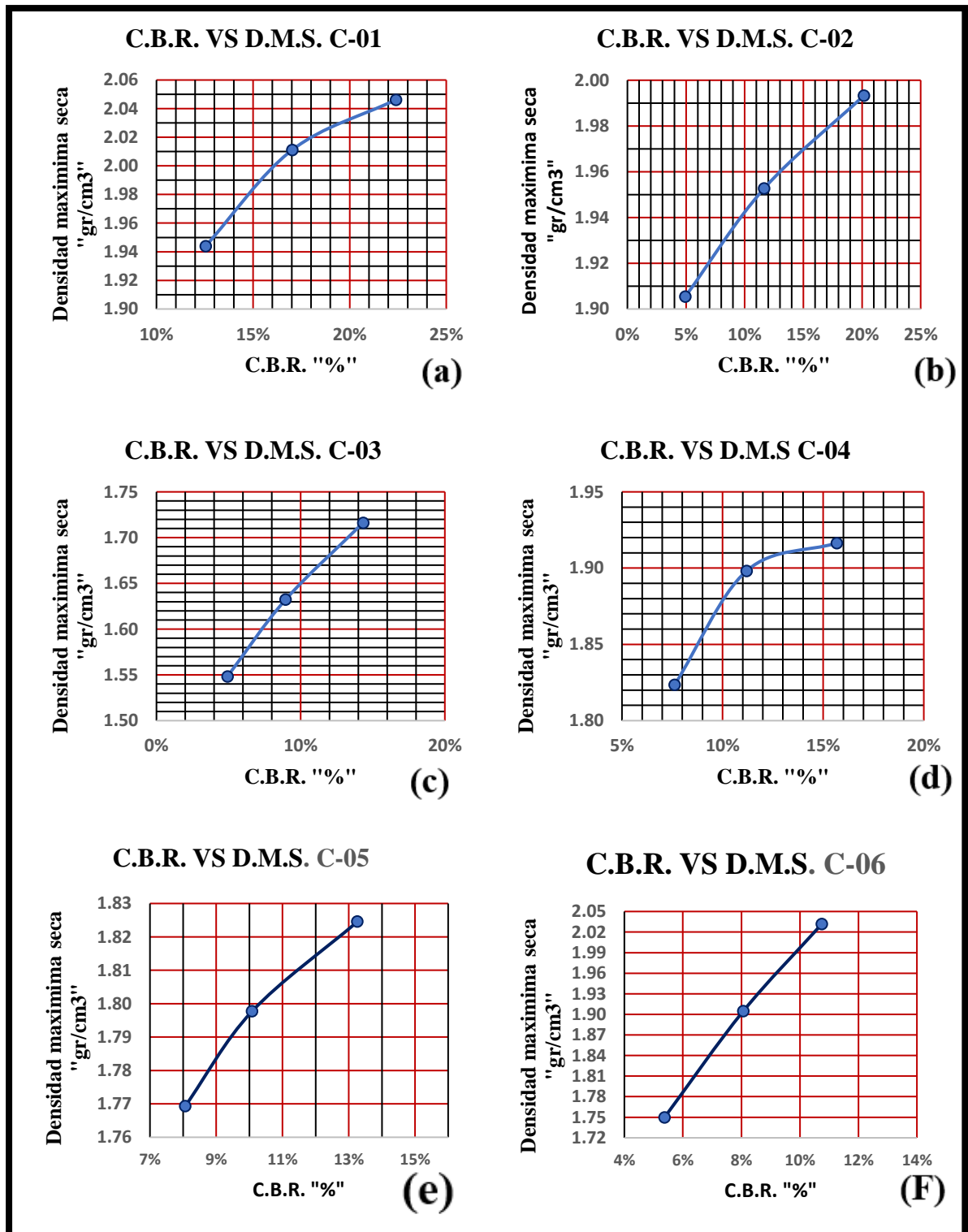


Figura 29 (1 de 2)



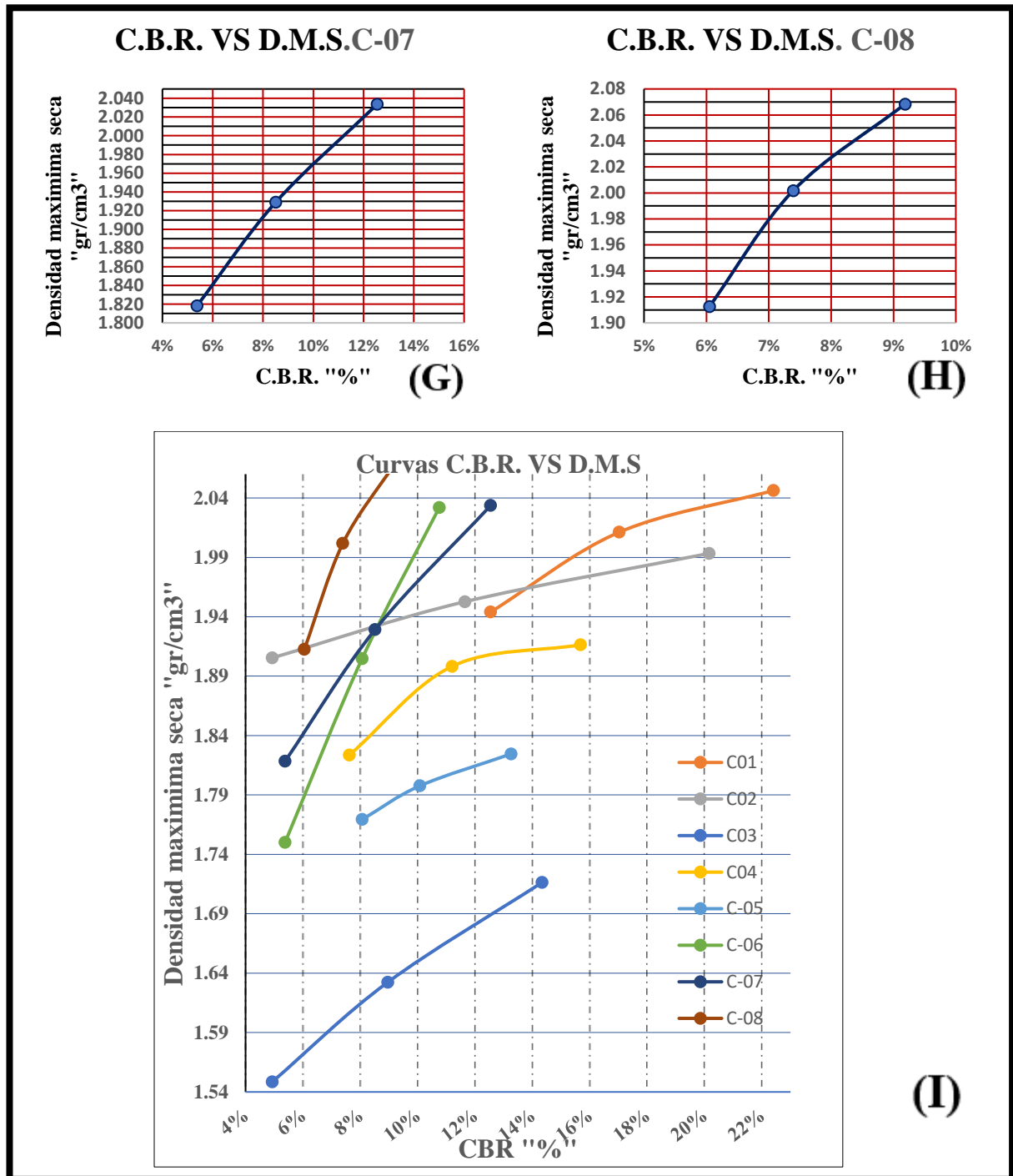


Figura 29 (2 de 2)

NOTA

Las curvas CBR c-01(a), c-02(b), c-03(c), c-04(d) c-05(a), c-06(b), c-07(c), c-08(d). se identifica los CBR al 95% (figura 30) naturalmente para el análisis es crucial recalcar que todo suelo no mantendrá su compactación constante al existir vibraciones existirá expansiones y compresiones en el suelo y con mayor incidencia si existiera filtraciones de agua.

Figura 29 — Curva CBR (Capacidad de cargas estáticas)



Resultados Generales																																
CALICATA	LÍMITES DE ATTERBERG			CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					PROCTOR		CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO)					EXPANSION (%)												
								TAMIZ (% QUE PASA)																								
	LL	LP	IP	T1	T2	T3	PROMEDIO	N°50	N°30	N°16	N°8	N°4	SUC S	Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	Contenido Óptimo de	GOLPES			CBR -95%	CBR-100%	HORAS											
																12	25	56			24			48			72			96		
GOLPES																					GOLPES			GOLPES			GOLPES					
12	25	56	12	25	56	12	25	56	12	25	56	12	25	56																		
C-01	59.17	39.49	19.68	14.21	14.57	14.21	14.33	44.686140	53.5114978	62.9583592	73.40	84.711	SC-OH	2.072	7.60	12.54514	17.02	22.40	14.36	22.40	0.672	0.585	0.548	0.748	0.783	0.68110	0.883	1.233	0.875	2.3519	2.106	1.392
C-02	42.1	17.47	24.63	11.23	10.71	11.54	11.16	31.4756	35.881104	44.161	57.27176	75.3715	SC-CL	2.049	8.60	4.928450	11.64	20.16	11.57	20.16	0.913	0.776	0.6629	0.968	0.971	0.75984	1.571	1.066	1.214	1.5724	1.318	1.296
C-03	62.2	18.35	43.85	11.27	11.17	10.68	11.04	17.713	23.946188	34.215247	47.802691	65.515695	SW-CH	1.700	12.80	4.928450	8.960	14.33	8.434	14.33	0.656	0.638	0.6133	1.310	1.214	1.12834	2.010	1.559	1.671	2.0212	1.757	1.671
C-04	68.1	47.29	20.81	11.31	11.24	10.32	10.96	30.131209	37.7694470	41.2839737	47.3758200	59.4657	SC-MH	1.920	10.40	7.6166963	11.20	15.68	7.317	15.68	0.774	0.718	0.6394	1.561	1.461	1.3027	2.09	1.932	1.478	2.0913	1.933	1.478
C-05	60.90	37.42	23.48	11.49	12.18	11.75	11.81	45.955	60.993	73.350	82.233	89.132	SM	1.907	13.20	8.06508	10.26	13.26	11.50	13.26	0.756	0.681	0.441	1.458	1.458	0.827	2.992	2.803	2.333	2.992	2.803	2.335
C-06	65.50	45.53	19.97	7.82	7.56	8.17	7.85	46.801	60.991	72.246	81.000	89.56	SM	2.068	8.70	5.3846	8.075	10.75	9.38	10.75	0.913	0.770	0.551	2.205	1.564	1.220	2.520	2.039	1.811	2.559	2.047	1.850
C-07	56.50	33.12	23.38	13.85	12.28	11.13	12.42	49.615	63.603	74.785	83.296	91.263	SC	2.060	7.90	5.3841	8.51	12.55	9.81	12.55	0.748	0.630	0.591	1.575	1.496	1.181	2.165	1.890	1.732	2.165	1.890	1.732
C-08	60.50	30.40	30.10	9.25	9.77	9.89	9.64	47.139	61.163	72.139	81.848	89.869	SM	2.119	8.50	6.0559	7.39	9.18	7.60	9.18	0.945	0.866	0.748	1.969	1.575	1.417	2.626	2.205	2.126	2.626	2.205	2.126

Tabla 24 — Resumen general de laboratorio



Tabla 25 — Resumen de las propiedades físicas y mecánicas del suelo

Calicata	Muestra	Densidad máxima seca (gr/cm ³)	Contenido óptimo de humedad (COH)(%)	California bearing ratio (CBR) – al 95%	California Bearing Ratio (CBR) – al 100%
C-01	E-02	2.072	7.600	14.36	22.40
C-02	E-02	2.049	8.60	11.57	20.16
C-03	E-02	1.70	12.80	8.43	14.34
C-04	E-02	1.920	10.40	7.32	15.68
C-05	E-02	1.907	13.20	11.50	13.26
C-06	E-02	2.068	8.70	9.38	10.75
C-07	E-02	2.060	7.90	9.81	12.55
C-08	E-02	2.119	8.50	7.60	9.18

NOTA

En la tabla se verifica el CBR al 95% datos que se utilizarán en la evaluación estadística y descriptiva en los OE1 Y OE2. El índice de soporte de California (CBR), En los suelos de la ciudad de Abancay mostraron valores que oscilaron entre el 7% y el 15%, lo que significa una capacidad de carga disminuida, individualmente en los suelos caracterizados por un alto potencial de expansión. Se identificó una correlación negativa entre el CBR y el índice de expansión: a medida que aumenta la expansión del suelo, su capacidad de carga disminuye en consecuencia. Esta observación indica que los suelos expansivos de la región plantean desafíos considerables para las aplicaciones de ingeniería, por lo que requieren intervenciones o modificaciones para mejorar su resistencia y estabilidad.

Tabla 26 — Resumen general de laboratorio

Resumen de la expansión y el CBR en razón a los golpes de compactación						
Calicata	Expansión			CBR (california bearing ratio)		
	12 Golpes	25 Golpes	56 Golpes	12 Golpes	25 Golpes	56 Golpes
C-01	2.3519685	2.10629	1.39212	12.54514698	17.0256	22.402
C-02	1.5724409	1.31889	1.21496	4.928450601	11.649	20.1618

C-03	2.0212598	1.75748	1.67165	4.928450601	8.96081	14.3373
C-04	2.0913	1.9339	1.4787	7.616696384	11.2010	15.6814
C-05	2.992126	2.8031496	2.3346457	8.064737347	10.081	13.262013
C-06	2.5590551	2.0472441	1.8503937	5.376491565	8.0647	10.752983
C-07	2.165354331	1.88976378	1.7322835	5.3764916	8.512778	12.545147
C-08	2.6771654	2.2047244	2.1259843	6.048553	7.392675	9.1848398

- **Evaluación de resultados de la expansión del suelo**

Del objetivo general, analizar la variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas identificados en la ciudad de Abancay durante el año 2024, Llegamos a la conclusión que existen notables y preocupantes reacciones expansivas en las muestras localizadas de las 08 calicatas (tabla 25) se puede observar ya en la C-01, C-02, C-03, C-04, C-05, C-06, C-07, C-08 que existe una relación en los resultados donde se resalta el grado de compactación demostrando que a mayor compactación menor expansión y a menor compactación mayor expansión caso curioso expuesto en la (tabla 25) que a los 12 golpes de compactación se genera a las 96 horas una expansión mayor al 2%. Por otro lado, a los 25 golpes se figura una expansión de 1.5 a 2%. Y por último a los 56 golpes se generan expansiones de 1.5%. de estos resultados podemos deducir que.

Los suelos en la ciudad de Abancay tienen infiltraciones de agua ya sean por grietas o por otros medios donde generara la saturación de estos suelos dando una inestabilidad y una variación en los grados de compactación.

Las vibraciones aplicadas a los suelos en Abancay distorsionan y afectan la compactación dada en los suelos para su soporte ante cargas estáticas dándose saturaciones que generan la expansión de los suelos arcillosos.

Los suelos en Abancay son propensos a saturarse por medios climáticos o mecánicos, en una evaluación de tiempos mayores se notaria una descompresión en la compactación de los suelos dejando ingresar a los fluidos en sus partículas generando inevitablemente la expansión de estos suelos.



Concluyendo con el análisis del objetivo general llegamos a definir que la expansión se generara en presencia de saturación y descompresión de los suelos, donde en la ciudad de Abancay es inevitable por el porcentaje $>2\%$ de arcillas expansivas generando expansiones y contracciones que inestabilizaran los suelos en las distintas áreas de la ciudad de Abancay.

5.1.2 Determinación de los resultados del objetivo específico 01

La determinación de la variabilidad de la expansión de los suelos arcillosos bajo cargas estáticas en función del tiempo de exposición experimental, es preciso resaltarlo ya que se necesitarán estos datos para evaluarlos y llegar a conclusiones más acertadas en su comportamiento frente a la ingeniería vial. Llegando a conclusiones en su capacidad de soporte de cargas y su deformación de la rasante y subrasante. frentes que se evaluaron en las áreas con mayores cualidades expansivas de la ciudad de Abancay.

5.1.2.1 Determinar la variabilidad de la expansión de los suelos arcillosos bajo cargas estáticas en función del tiempo de exposición experimental.

Para el estudio de estas zonas se indujo el muestreo con diferentes técnicas que proporcionen resultados e información confiable y acertada de estos suelos altamente expansivos y de contracción este dinamismo es provocado por varios fenómenos climatológicos que se efectúan en la ciudad como es la humedad, precipitaciones pluviales, filtraciones subterráneas, infiltraciones. Que saturan el suelo modificando su volumen y viceversa al secarse generan espacios vacíos de aire afectado directamente a la capa de rodadura de las distintas áreas de la ciudad de Abancay.

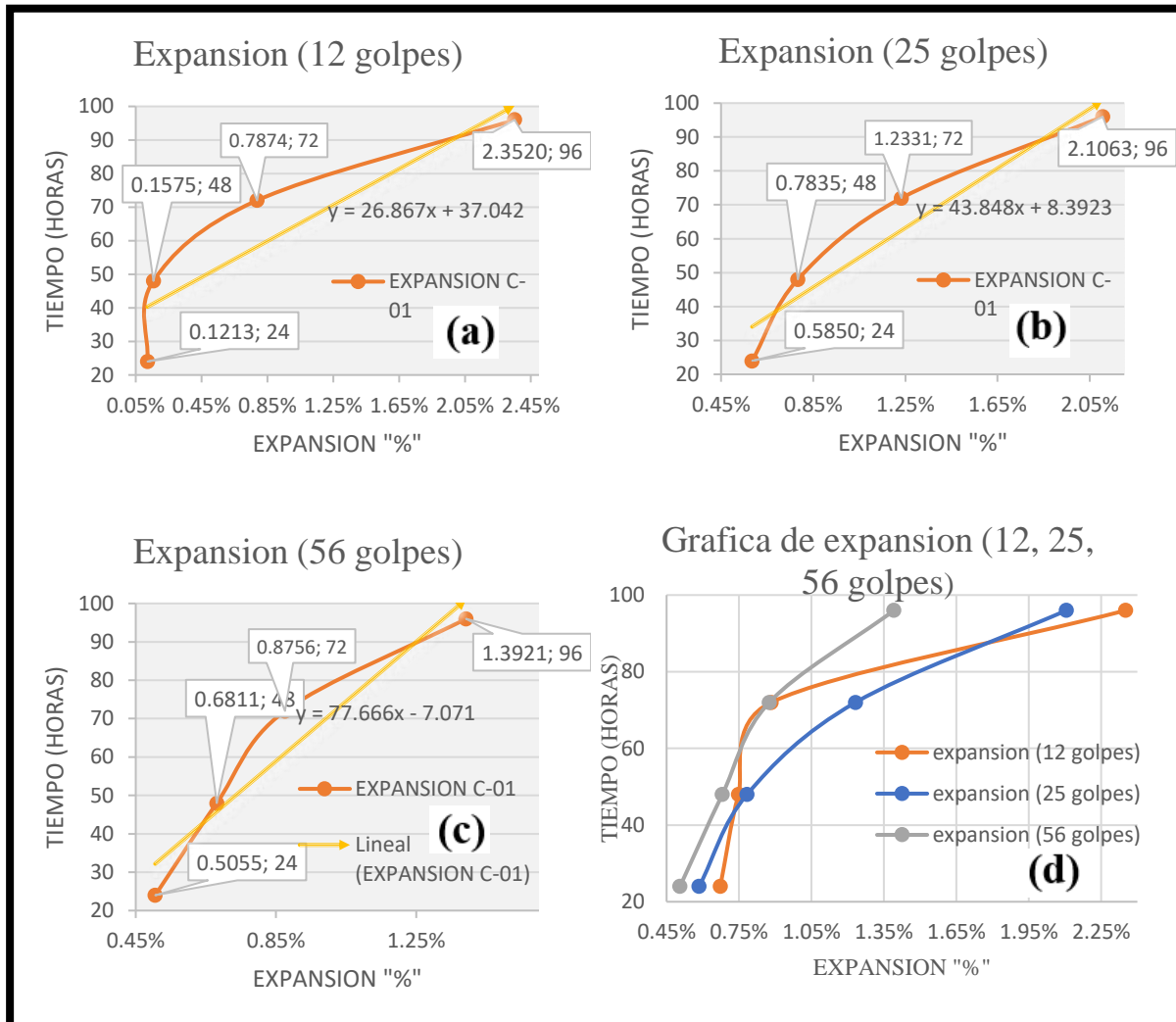
La selección de estos suelos es de carácter arcilloso por sus cualidades expansivas y de contracción que generan un dinamismo al saturarse provocando la inestabilidad al soporte estático de las carreteras y pavimentos causas probables que afectan el diseño de estos. Los hallazgos deben analizarse dentro del marco de las condiciones de humedad del terreno. Un terreno arcilloso en condiciones húmedas puede



presentar un CBR reducido, mientras que en condiciones secas puede mejorar considerablemente.

- **Avenida Panamericana Sur (km 771+467) C-1.**

Se localiza en el sector suroeste de la ciudad a la salida del sector de Pachachaca donde se verifican daños como abultamientos, depresiones y hundimientos a lo largo de la avenida.



NOTA

En la siguiente gráfica describimos la expansión del suelo respecto a los tiempos de 24, 48, 72, 96 horas, donde se recolectó los datos en mm describiendo su deformación progresiva frente a la saturación proporcionada.

Figura 30 — Expansión a los 12,25 y 56 golpes, Av. Panamericana

En la verificación mediante los ensayos podemos concluir en los siguientes datos obtenidos en laboratorio sobre la expansión que surge

en distintos periodos de tiempo y las consecuencias que conlleva estos resultados al pavimento flexible.

Al detallarse el análisis de la plasticidad del estrato 02 de la calicata se verifica una moderada plasticidad de 19.68 propiedades que otorgan los suelos arcillosos, teniendo la verificación donde las reacciones primordiales de los suelos expansivos son de hundimiento y abultamiento en los pavimentos para los 12 golpes verificamos que el suelo es muy expansivo con un 2.352% de expansión (Figura 30 (a)).

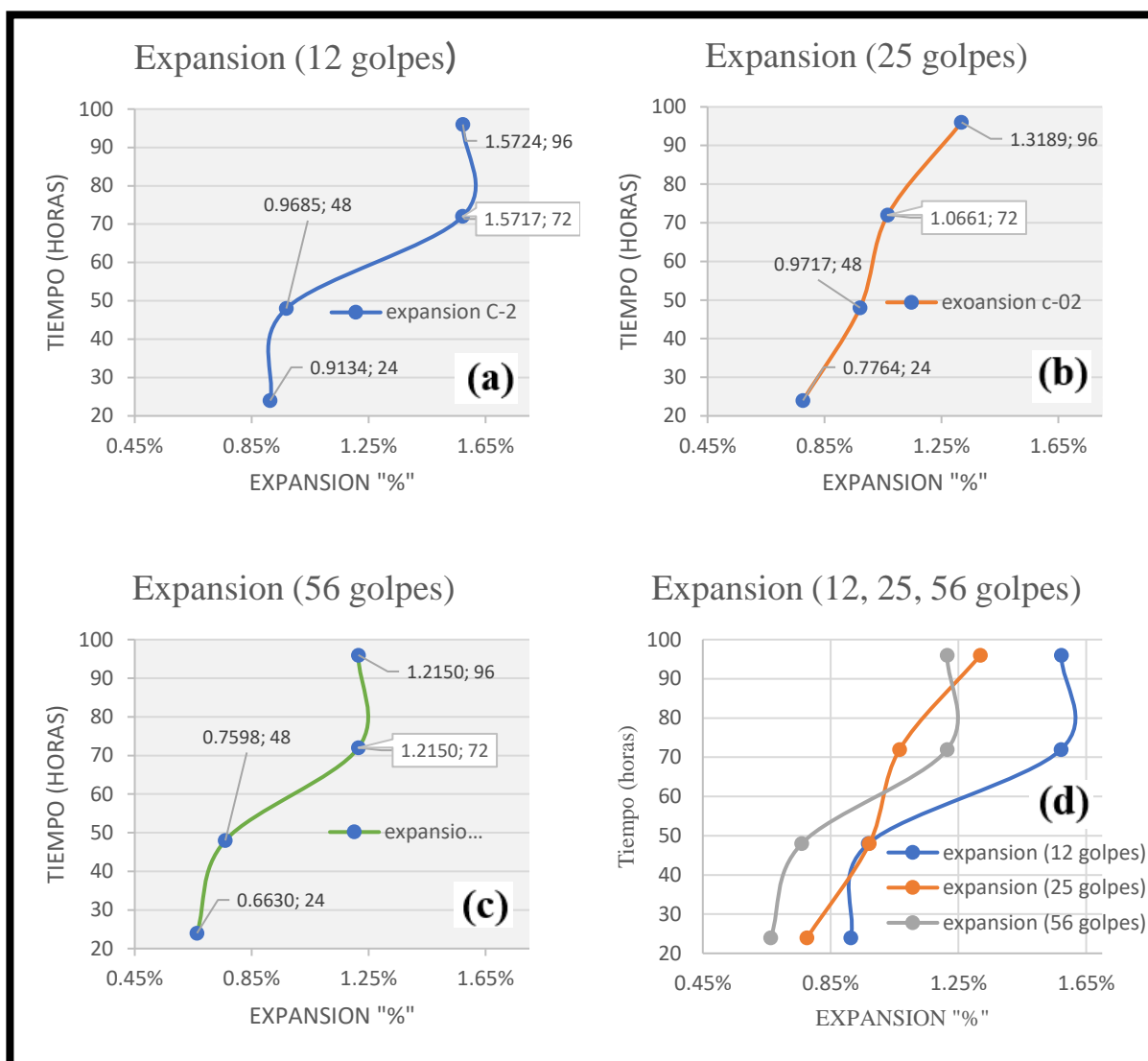
La expansión del suelo genera elevaciones o hundimientos en la superficie del pavimento generando bultos y depresiones que dañan la uniformidad de la vía provocando incidentes de diferentes tipos en este caso verificamos que el suelo es muy expansivo con un 2.1063% de expansión a las 25 horas (Figura 30 (b)).

En la superficie del pavimento donde se generando bultos y depresiones que dañan la uniformidad de la vía con una expansión de 1.3921% de expansión a las 56 golpes y 5 días indican un contenido arcilloso considerable que necesitaría mejorar (Figura 30 (c)).

- **Urbanización San Luis C-2.**

Se localiza en el sector noroeste de la ciudad donde es preciso especificar que las vías de esta zona presentan diversas patologías estructurales que afectan su funcionalidad y seguridad. Entre ellas se identifican deslizamientos longitudinales y transversales, así como fenómenos de retracción y asentamientos diferenciales que generan irregularidades en la superficie de rodadura. Asimismo, se observan levantamientos localizados del pavimento, los cuales se atribuyen principalmente a la expansión del suelo de fundación.





NOTA

Demostramos en la siguiente grafica la expansión del suelo respecto a los tiempos de 24, 48, 72, 96 horas, donde se recolecto los datos en mm describiendo su deformación progresiva frente a la saturación proporcionada en la c-2.

Figura 31 — Expansión a los 12,25 y 56 golpes, Urb. San Luis

En la verificación mediante los ensayos podemos concluir en los siguientes datos obtenidos en laboratorio sobre la expansión que surge en distintos periodos de tiempo y las consecuencias que conlleva estos resultados al pavimento rígido.

Definiéndose el análisis de la plasticidad del estrato 02 de la calicata se verifica una alta plasticidad de 24.63 propiedades que otorgan los suelos arcillosos, teniendo la verificación donde las reacciones



primordiales de los suelos expansivos son de levantamiento localizado y grietas por la retracción y asentamientos de los estratos.

Es notable percibir que a menor compactación se genera mayor expansión al saturarse como se muestra en la figura a los 12 golpes con una expansión de 1.574% a las 96 horas (Figura 31 (a)).

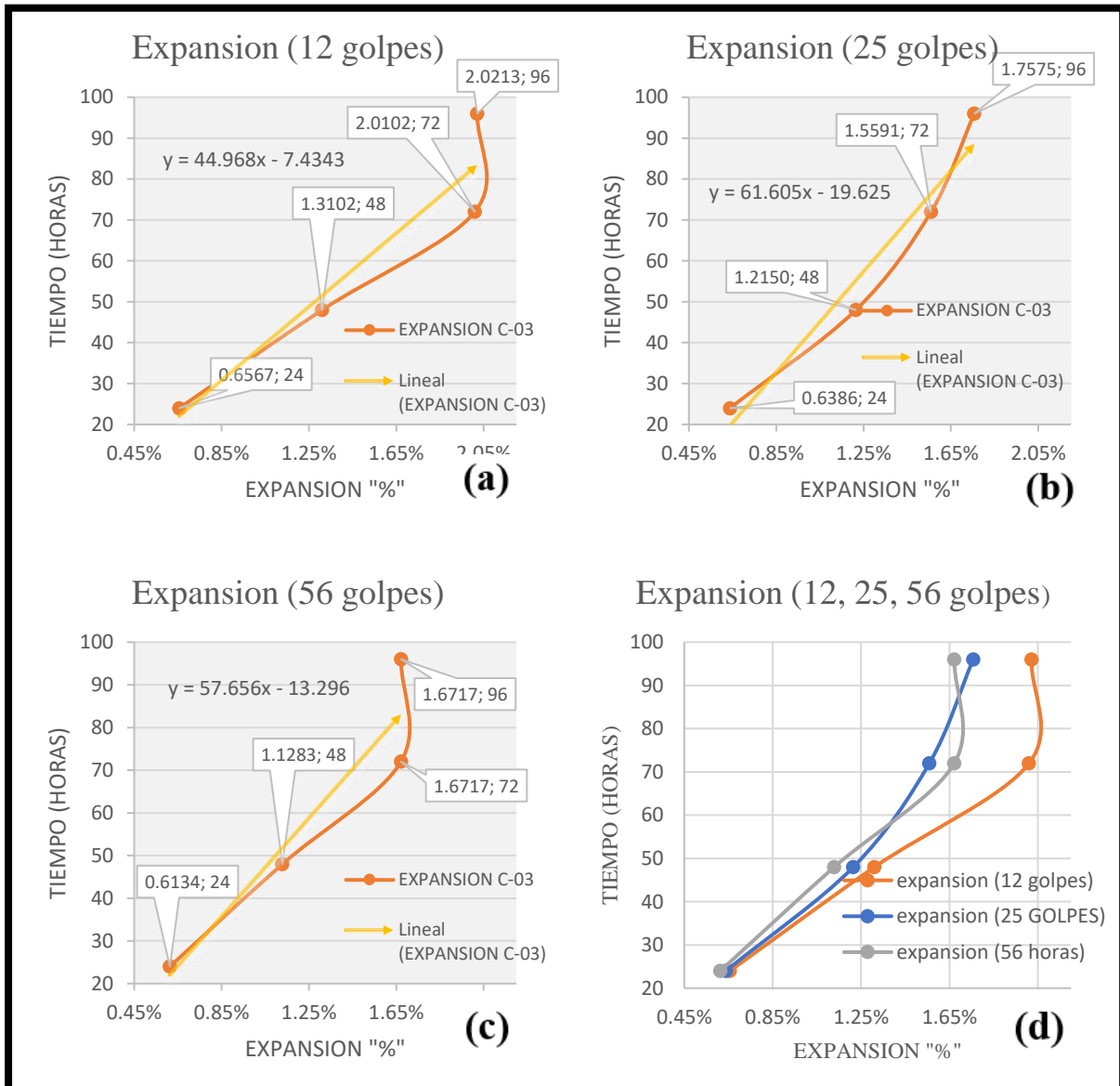
En la evaluación expansiva de estas arcillas se notaron comportamientos de alto hinchamientos que ínsito se mostraron como levantamientos localizados. que dañan la uniformidad de la vía provocando incidentes de diferentes tipos en este caso, en tal sentido se demostró que el suelo es muy expansivo con 1.57% de expansión a las 96 horas (Figura 31 (b)).

En la capa asfáltica donde se generando bultos y depresiones que dañan la uniformidad de la vía con una expansión de 1.2150% de expansión a los 56 golpes y 5 días indican un contenido arcilloso considerable (Figura 31 (c)).

Demostramos en la siguiente grafica la expansión del suelo respecto a los tiempos de 24, 48, 72, 96 horas, donde se recolecto los datos en mm describiendo su deformación progresiva frete a la saturación proporcionada en la c-2.

- **Área del sector Puca Puca C-3.**

Se localiza en el sector norte de la ciudad de Abancay demostrando un notorio suelo rojizo con cualidad altamente arcillosas por su plasticidad al realizarle pruebas empíricas de sus propiedades físicas, se pudo verificar los desniveles en los paños cuadrangulares del pavimento rígido donde no mostraba una uniformidad a lo largo de la vía, observándose fisuras y levantamientos localizados.



NOTA

El análisis se realizó con los ensayos donde podemos concluir en los siguientes datos obtenidos en laboratorio sobre la expansión que surge en distintos periodos de tiempo que a los 12 golpes llega a a su máxima expansión a los 4 días, por otro lado, a los 25 golpes es progresivo hasta los 5 días y en el caso de los 56 golpes su máxima expansión llega a los 4 días.

Figura 32 — Expansión a los 12,25 y 56 golpes Puca Puca

Evaluando el índice plástico de la calicata 03 verificamos un alto índice de plasticidad de 43.85, rasgos de las arcillas expansivas, los levantamiento localizado y grietas por la retracción y asentamientos de los estratos, son evidencia potencial para aseverar que las



expansiones y contracción de los suelos son los generadores de estas fallas.

La muestra de esta calicata se caracteriza por una expansión notoria de 2.02% con 12 golpes de compactación, postulando que a menor compactación del suelo mayor saturación que conlleva a la expansión de las arcillas (Figura 33 (a)).

En la evaluación expansiva de estas arcillas se notaron comportamientos de alto hinchamientos que ínsito se mostraron como levantamientos localizados. que dañan la uniformidad de la vía provocando incidentes de diferentes tipos en este caso, se demostró que el suelo es muy expansivo con un 2.02% de expansión a las 96 horas (Figura 32 (a)).

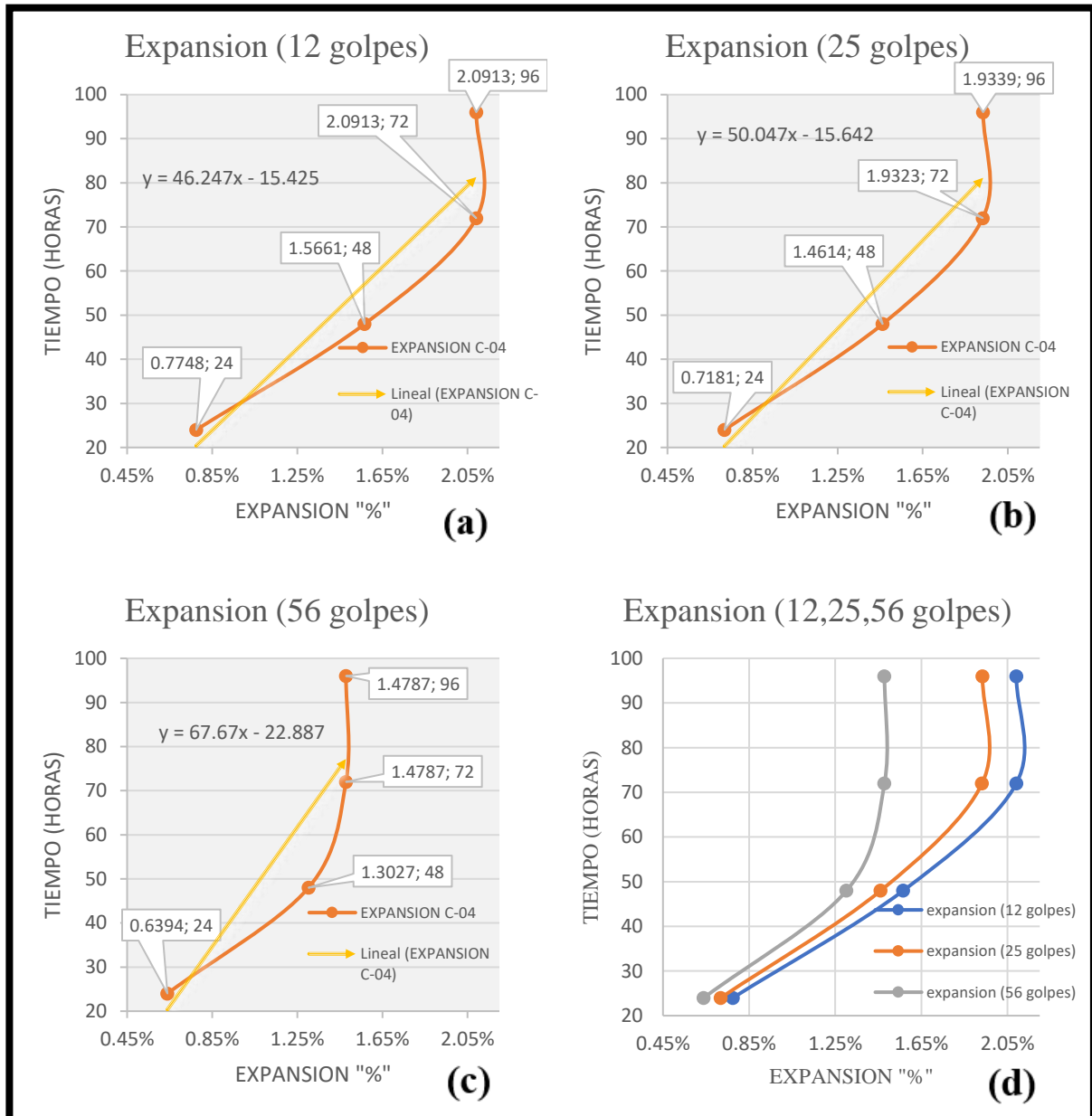
Demostramos en la siguiente grafica la expansión del suelo respecto a los tiempos de 24, 48, 72, 96 horas, donde se recolecto los datos en mm describiendo su deformación progresiva frete a la saturación proporcionada en la C-3 (Figura 32 (c)).

- **Área del sector Colcaque C-4.**

Su ubicación esta al noreste de la ciudad de Abancay evidenciando cualidades plasticas del suelo altamente arcillosas, al realizarle pruebas empíricas de sus propiedades físicas demostramos su manejabilidad y su adherencia.

Del mismo modo, se logró demostrar su elevada manejabilidad, así como su notable capacidad de adherencia, propiedades que son indicativas de una alta plasticidad. Dichas condiciones pueden influir significativamente en el comportamiento del suelo frente a variaciones de humedad, generando procesos de expansión y contracción que afectan la estabilidad de las estructuras que se apoyan sobre él.





NOTA

La expansión que surge en distintos periodos de tiempo que a los 12 golpes llega a su máxima expansión a los 4 días, por otro lado, a los 25 golpes es progresivo hasta los 4 días y en el caso de los 56 golpes su máxima expansión llega a los 4 días.

Figura 33 — Expansión a los 12,25 y 56 Golpes sector Colcaque

Para un análisis más detallado, se realizó los ensayos donde podemos concluir en los siguientes datos obtenidos en laboratorio sobre la expansión que surge en distintos periodos de tiempo y las consecuencias que conlleva estos resultados al pavimento. Un índice

de plasticidad elevado sugiere un mayor potencial de hinchamiento, lo que puede comprometer la integridad de los pavimentos.

La calicata 04 en su análisis nos proporcionó un aspecto expansivo menor pero notorio, verificamos un índice de plasticidad de 20.81, rasgos de las arcillas expansivas, los levantamientos localizados y grietas por la retracción y asentamientos de los estratos, son evidencia potencial para aseverar que las expansiones y contracción de los suelos son los generadores de estas fallas.

De la misma forma esta muestra tiene una alta cualidad expansiva con una expansión de 2.091% a los 5 días, se evalúa la expansión a los 12 golpes dado que en la aplicación los pisos no mantienen su compactación ya que varían constantemente por las fuerzas estáticas al pavimento (Figura 34 (a)).

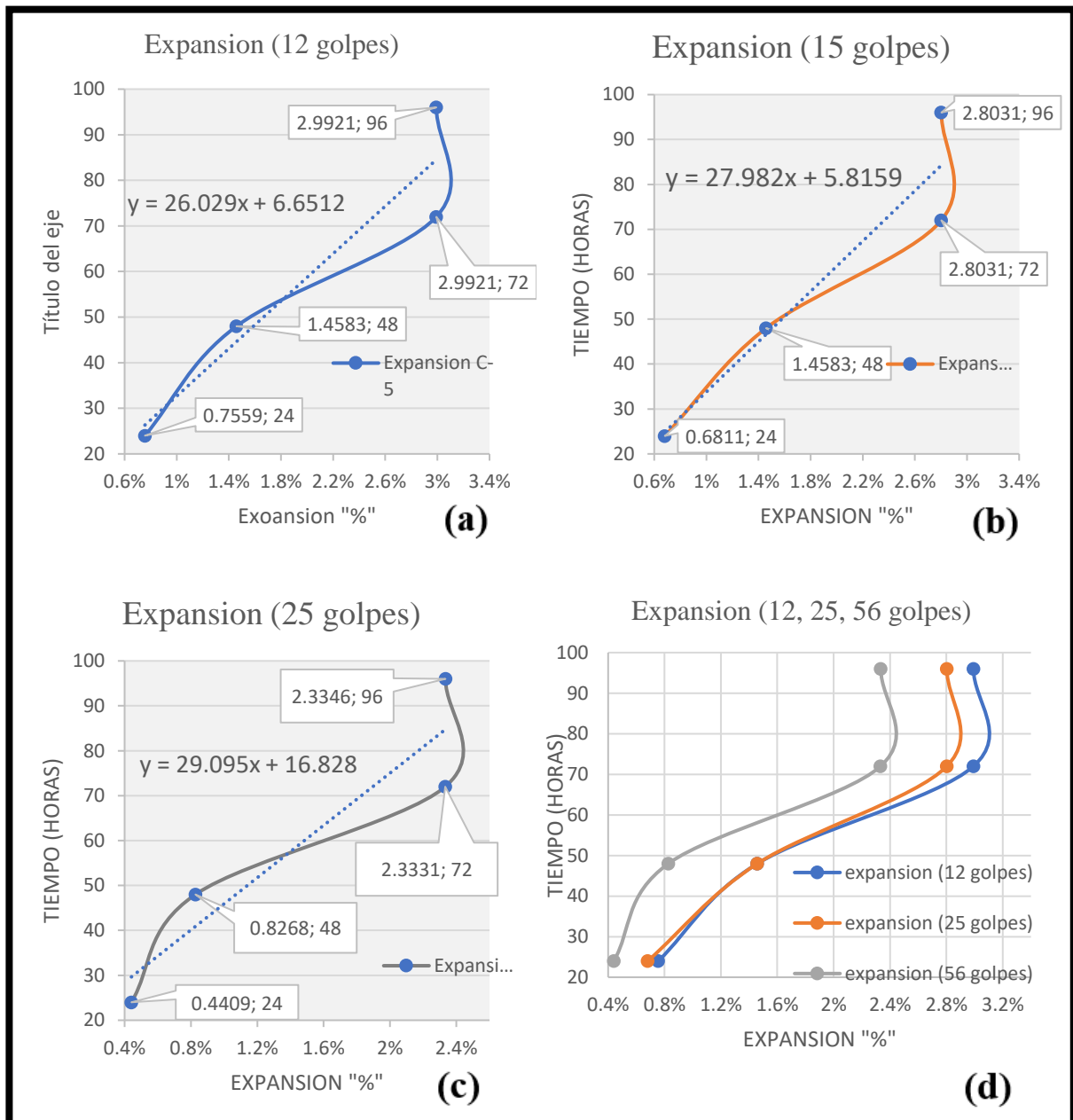
En la evaluación expansiva de estas arcillas se notaron comportamientos de alto hinchamientos que ínsito se mostraron como levantamientos localizados. que dañan la uniformidad de la vía provocando incidentes de diferentes tipos en este caso, se demostró que el suelo es muy expansivo con un 2.091% de expansión a las 96 horas (Figura 33 (b)).

Demostramos en la siguiente gráfica la expansión del suelo respecto a los tiempos de 24, 48, 72, 96 horas, donde se recolectó el hinchamiento en mm describiendo su deformación progresiva frente a la saturación proporcionada en la c-4 (Figura 33 (c)).

- **Área de la carretera panamericana sur (km 773+206) C-5.**

Su ubicación esta al noreste de la ciudad de Abancay evidenciando cualidades plasticas del suelo altamente arcillosas, al realizarle pruebas empíricas de sus propiedades físicas demostramos su manejabilidad y su adherencia.





NOTA

La expansión que surge en distintos periodos de tiempo que a los 12 golpes llega a su máxima expansión a los 4 días, por otro lado, a los 25 golpes es progresivo hasta los 4 días y en el caso de los 56 golpes su máxima expansión llega a los 4 días.

Figura 34 — Expansión a los 12,25 y 56 Golpes carretera panamericana sur (km 773+206) C-5

Para un análisis más detallado, se realizó los ensayos donde podemos concluir en los siguientes datos obtenidos en laboratorio sobre la expansión que surge en distintos periodos de tiempo y las consecuencias que conlleva estos resultados al pavimento.

Un índice de plasticidad elevado sugiere un mayor potencial de hinchamiento, lo que puede comprometer la integridad de los pavimentos.

La calicata 05 en su análisis proporcionó un aspecto expansivo menor pero notorio, verificamos un índice de plasticidad de 23.48, considerándose un material expansivo, los levantamientos localizados y grietas por la retracción y asentamientos de los estratos, son evidencia potencial para aseverar que las expansiones y contracción de los suelos son los generadores de estas fallas.

De la misma forma esta muestra tiene una alta cualidad expansiva con una expansión de 2.99% a los 5 días, se evalúa la expansión a los 12 golpes dado que en la aplicación los pisos no mantienen su compactación ya que varían constantemente por las fuerzas estáticas al pavimento (Figura 34 (a)).

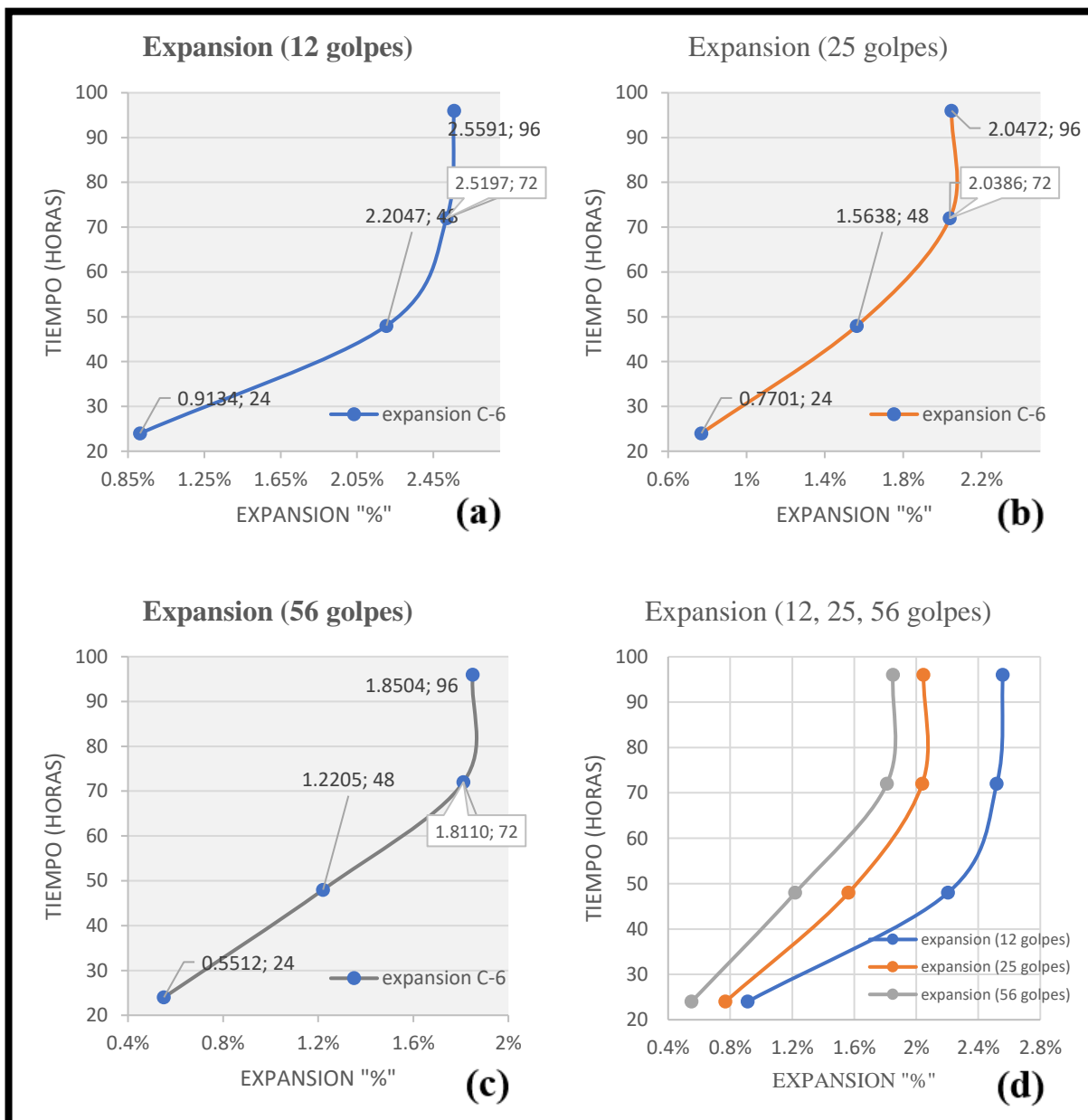
En la evaluación expansiva de estas arcillas se notaron comportamientos de alto hinchamientos que insisto se mostraron como levantamientos localizados. que dañan la uniformidad de la vía provocando incidentes de diferentes tipos en este caso, se demostró que el suelo es muy expansivo con un 2.99% de expansión a las 96 horas (Figura 34 (a)).

Se demostró en la siguiente gráfica la expansión del suelo respecto a los tiempos de 24, 48, 72, 96 horas, donde se recolectó el hinchamiento en mm describiendo su deformación progresiva frente a la saturación proporcionada en la c-5 (Figura 34 (c)).

- **Área Urbanización Fonavi C-6.**

Su ubicación esta al noreste de la ciudad de Abancay evidenciando cualidades plásticas del suelo altamente arcillosas, al realizarle pruebas empíricas de sus propiedades físicas demostramos su manejabilidad y su adherencia.





NOTA

La expansión que surge en distintos periodos de tiempo que a los 12 golpes llega a su máxima expansión a los 4 días, por otro lado, a los 25 golpes es progresivo hasta los 4 días y en el caso de los 56 golpes su máxima expansión llega a los 4 días.

Figura 35 — Expansión a los 12,25 y 56 Golpes Urbanización Fonavi

Para un análisis más detallado, se realizó los ensayos donde podemos concluir en los siguientes datos obtenidos en laboratorio sobre la expansión que surge en distintos periodos de tiempo y las consecuencias que conlleva estos resultados al pavimento. Un índice



de plasticidad elevado sugiere un mayor potencial de hinchamiento, lo que puede comprometer la integridad de los pavimentos.

La calicata 06 en su análisis nos proporcionó un aspecto expansivo menor pero notorio, verificamos un índice de plasticidad de 19.97, rasgos de las arcillas expansivas, los levantamiento localizado y grietas por la retracción y asentamientos de los estratos, son evidencia potencial para aseverar que las expansiones y contracción de los suelos son los generadores de estas fallas.

De la misma forma esta muestra tiene una alta cualidad expansiva con una expansión de 2.56% a los 5 días, se evalúa la expansión a los 12 golpes dado que en la aplicación los pisos no mantienen su compactación ya que varían constantemente por las fuerzas estáticas al pavimento (Figura 35 (a)).

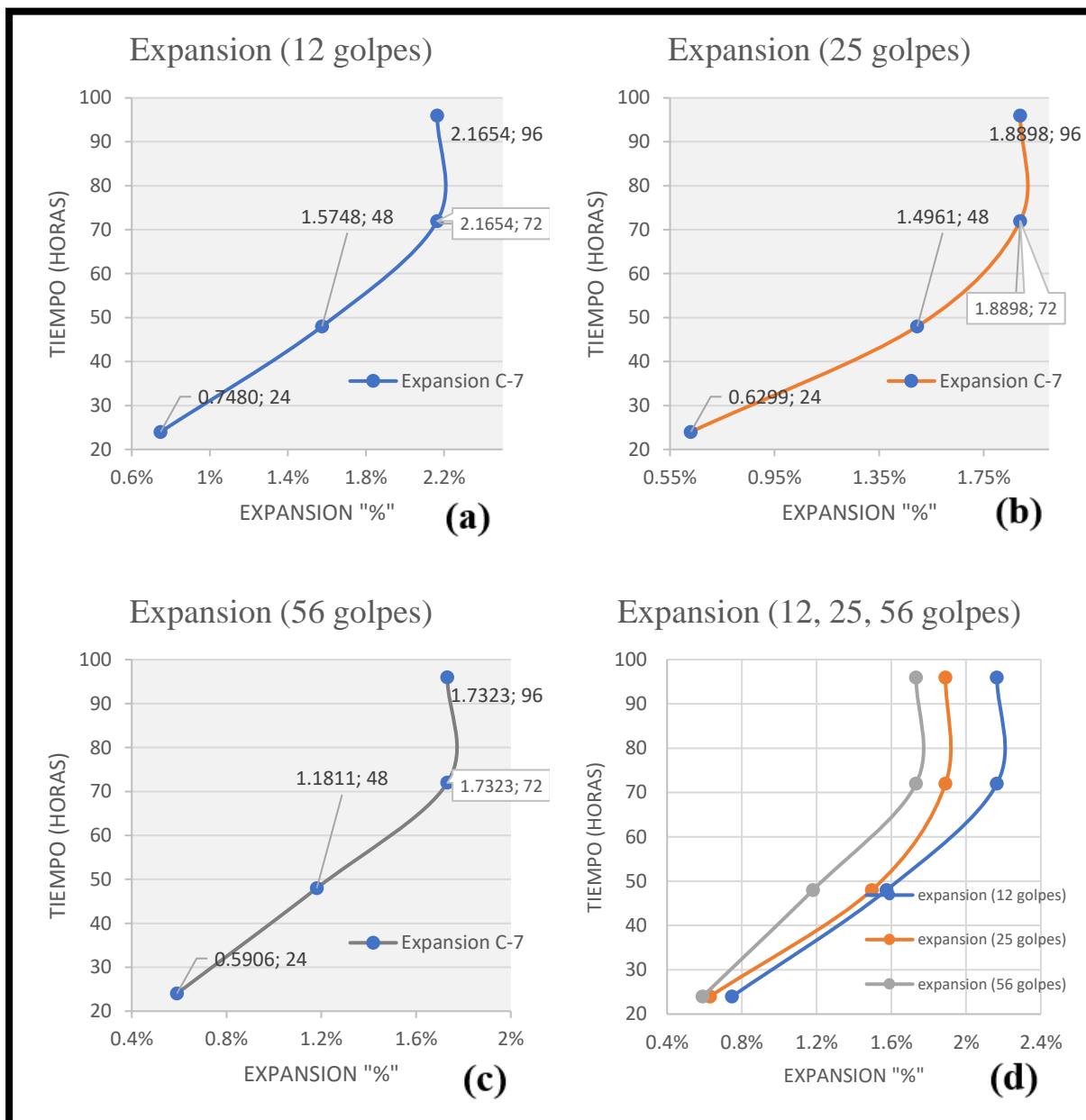
En la evaluación expansiva de estas arcillas se notaron comportamientos de alto hinchamientos que ínsito se mostraron como levantamientos localizados. que dañan la uniformidad de la vía provocando incidentes de diferentes tipos en este caso, se demostró que el suelo es muy expansivo con un 2.56% de expansión a las 96 horas (Figura 35 (a)).

Demostramos en la siguiente gráfica la expansión del suelo respecto a los tiempos de 24, 48, 72, 96 horas, donde se recolecto el hinchamiento en mm describiendo su deformación progresiva frete a la saturación proporcionada en la c-6 (Figura 35 (d)).

- **Área de la avenida Maucacalle C-7.**

Su ubicación esta al noreste de la ciudad de Abancay evidenciando cualidades plásticas del suelo altamente arcillosas, al realizarle pruebas empíricas de sus propiedades físicas demostramos su manejabilidad y su adherencia.





NOTA

La expansión que surge en distintos periodos de tiempo que a los 12 golpes llega a a su máxima expansión a los 4 días, por otro lado, a los 25 golpes es progresivo hasta los 4 días y en el caso de los 56 golpes su máxima expansión llega a los 4 días.

Figura 36 — Expansión a los 12,25 y 56 Golpes Avenida Maucacalle

Para un análisis más detallado, se realizó los ensayos donde podemos concluir en los siguientes datos obtenidos en laboratorio sobre la expansión que surge en distintos periodos de tiempo y las consecuencias que conlleva estos resultados al pavimento.



La calicata 07 en su análisis nos proporcionó un aspecto expansivo menor pero notorio, verificamos un índice de plasticidad de 23.38, componiéndose de arena con alto contenido de arcillas, los levantamiento localizado y grietas por la retracción y asentamientos de los estratos, son evidencia potencial para aseverar que las expansiones y contracción de los suelos son los generadores de estas fallas.

De la misma forma esta muestra tiene una alta cualidad expansiva con una expansión de 2.17% a los 5 días, se evalúa la expansión a los 12 golpes dado que en la aplicación los pisos no mantienen su compactación ya que varían constantemente por las fuerzas estáticas al pavimento (Figura 36 (a)).

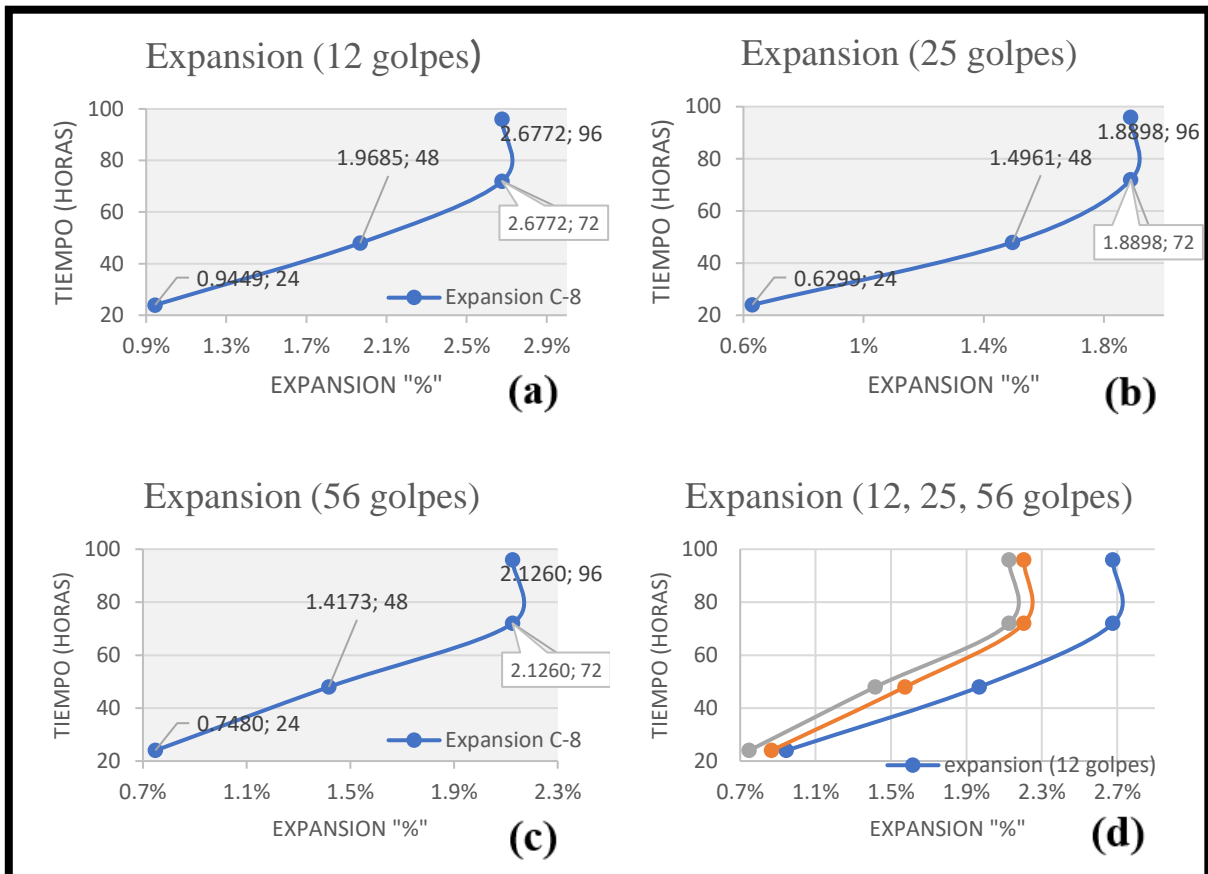
En la evaluación expansiva de estas arcillas se notaron comportamientos de alto hinchamientos que ínsito se mostraron como levantamientos localizados. que dañan la uniformidad de la vía provocando incidentes de diferentes tipos en este caso, se demostró que el suelo es muy expansivo con un 2.17% de expansión a las 96 horas (Figura 36 (a)).

Demostramos en la siguiente gráfica la expansión del suelo respecto a los tiempos de 24, 48, 72, 96 horas, donde se recolecto el hinchamiento en mm describiendo su deformación progresiva frete a la saturación proporcionada en la c-7 (Figura 36 (d)).

- **Vía Evitamiento Soccoshuayco C-8.**

Su ubicación esta al noreste de la ciudad de Abancay evidenciando cualidades plasticas del suelo altamente arcillosas, al realizarle pruebas empíricas de sus propiedades físicas demostramos su manejabilidad y su adherencia. Al realizar pruebas empíricas orientadas a evaluar sus propiedades físicas, se logró comprobar su elevada manejabilidad, así como su notable capacidad de adherencia entre partículas. Estas propiedades son características de suelos con alta plasticidad.





NOTA

La expansión que surge en distintos periodos de tiempo que a los 12 golpes llega a a su máxima expansión a los 4 días, por otro lado, a los 25 golpes es progresivo hasta los 4 días y en el caso de los 56 golpes su máxima expansión llega a los 4 días.

Figura 37 — Expansión a los 12,25 y 56 Golpes Vía Evitamiento

Para un análisis más detallado, se realizó los ensayos donde podemos concluir en los siguientes datos obtenidos en laboratorio sobre la expansión que surge en distintos periodos de tiempo y las consecuencias que conlleva estos resultados al pavimento. Un índice de plasticidad elevado sugiere un mayor potencial de hinchamiento, loque puede comprometer la integridad de los pavimentos.

La calicata 08 en su análisis nos proporcionó un aspecto expansivo menor pero notorio, verificamos un índice de plasticidad de 30.10, rasgos de las arcillas expansivas, los levantamiento localizado y grietas por la retracción y asentamientos de los estratos, son evidencia



potencial para aseverar que las expansiones y contracción de los suelos son los generadores de estas fallas.

De la misma forma esta muestra tiene una alta cualidad expansiva con una expansión de 2.67% a los 5 días, se evalúa la expansión a los 12 golpes dado que en la aplicación los pisos no mantienen su compactación ya que varían constantemente por las fuerzas estáticas al pavimento (Figura 37 (a)).

En la evaluación expansiva de estas arcillas se notaron comportamientos de alto hinchamientos que ínsito se mostraron como levantamientos localizados. que dañan la uniformidad de la vía provocando incidentes de diferentes tipos en este caso, se demostró que el suelo es muy expansivo con un 2.67% de expansión a las 96 horas (Figura 37 (a)).

Tabla 27 — Resultados finales de expansión

Resumen de la expansión en razón a los golpes de compactación			
Calicata	Expansión (%)		
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
C-01	2.3519685	2.10629	1.39212
C-02	1.5724409	1.31889	1.21496
C-03	2.0212598	1.75748	1.67165
C-04	2.0913	1.9339	1.4787
C-05	2.9921	2.8031	2.3346
C-06	2.5591	2.0472	1.8504
C-07	2.1654	1.8898	1.7323
C-08	2.6772	2.2047	2.1260

NOTA
La expansión y el CBR (tabla 27) descritos en la siguiente tabla de los E2 en las 08 calicatas, demuestran que la expansión es notable y mayor a lo recomendado en su mayoría a los 12 golpes de compactación.



- **Resultados del objetivo específico 01**

Del objetivo específico 01, Determinar la variabilidad de la expansión de los suelos arcillosos bajo cargas estáticas en función del tiempo de exposición experimental. Nuestros hallazgos indican que las muestras localizadas de las cuatro calicatas muestran reacciones expansivas potenciales (Tabla 26). Es observable en las muestras C-01, C-02, C-03, C-04 C-05, C-06, C-07 y C-08 a las 96 horas en condiciones de 12, 25, 56 golpes existe una correlación dentro de los resultados, en la que el grado de compactación se destaca de manera prominente, lo que ilustra que el aumento de la compactación corresponde a una expansión reducida, mientras que la disminución de la compactación da como resultado una mayor expansión; en particular, como se presenta en la (Tabla 26), después de 12 golpes de compactación, se registra una expansión superior al 2% después de una duración de 96 horas. Por el contrario, después de 25 golpes, se observa una expansión que oscila entre el 1,5% y el 2%. En última instancia, después de 56 golpes, se observan expansiones del 1,5%. A partir de estos hallazgos, podemos deducir que:

Los suelos expansivos debido a su alto contenido de arcillas expansivas muestran una capacidad portante considerablemente baja $CBR < 10\%$, lo que no es recomendable el uso directo en proyectos donde aplicaríamos tratamientos previos.

5.1.3 Determinación de los resultados del objetivo específico 02

5.1.3.1 Determinar el grado de asociación entre la expansión de los suelos arcillosos bajo cargas estáticas y el Índice de Soporte California (CBR).

Determinar el grado de asociación entre la expansión de los suelos arcillosos bajo cargas estáticas y el Índice de Soporte California (CBR). Establece el procedimiento que se debe seguir para identificar la relación

de soporte CBR, mediante la comparación entre la carga de penetración del suelo y la de un material estándar de referencia.

- **Determinar los valores del índice de soporte california (CBR) para la C-01.**

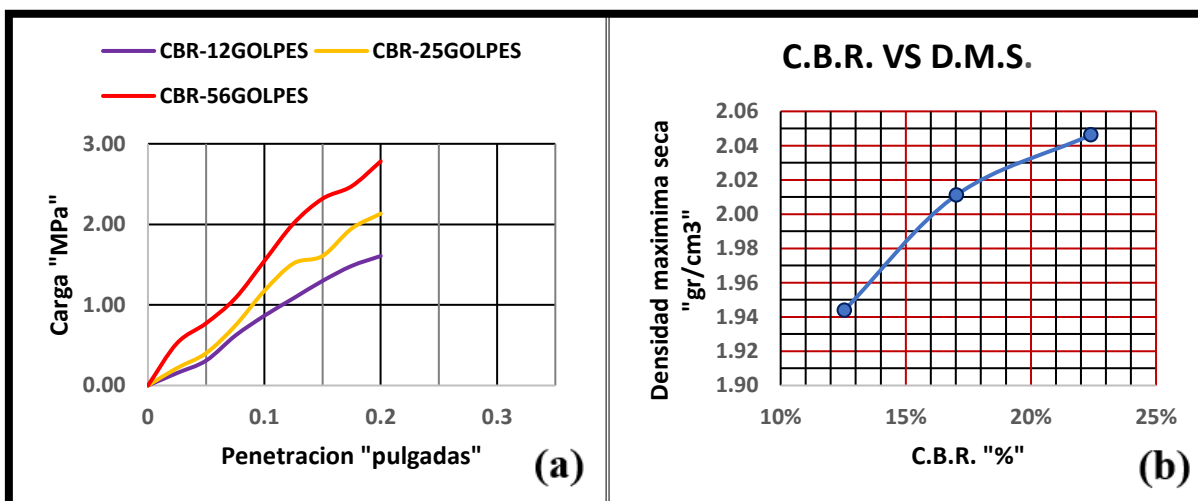
Para determinar el grado de asociación se requieren los resultados del CBR En la muestra del estrato 02. con el fin de evaluar y obtener datos de la capacidad de soporte al esfuerzo que tendrá el suelo en muestras arcillosas identificadas en la ciudad, la asociación se dará en cómo afecta las arcillas en el diseño y la resistencia del suelo los datos se detallan en la (Tabla 28).

Tabla 28 — CBR de la calicata 01

PENETRACION "PULGADAS"	CARG. PATRON "MPa"	FACTOR CARGA		CBR	FACTOR CARGA		CBR	FACTOR CARGA		CBR
		IND(KG)	CARGA	12	IND(KG)	CARGA	25	IND(KG)	CARGA	56
0.100	6.90	28	0.87	12.55	38	1.17	17.03	50	1.55	22.40

NOTA

En el cuadro podemos observar los CBRs obtenidos a los 12, 25 y 56 golpes en la c-1



NOTA

Si el CBR del campo es usado directamente para la evaluación o diseño, sin considerar la variación ocasionada por cambios en el contenido de agua, debe considerarse para el ensayo expansivo.

Figura 38 — CBR vs golpes C-01



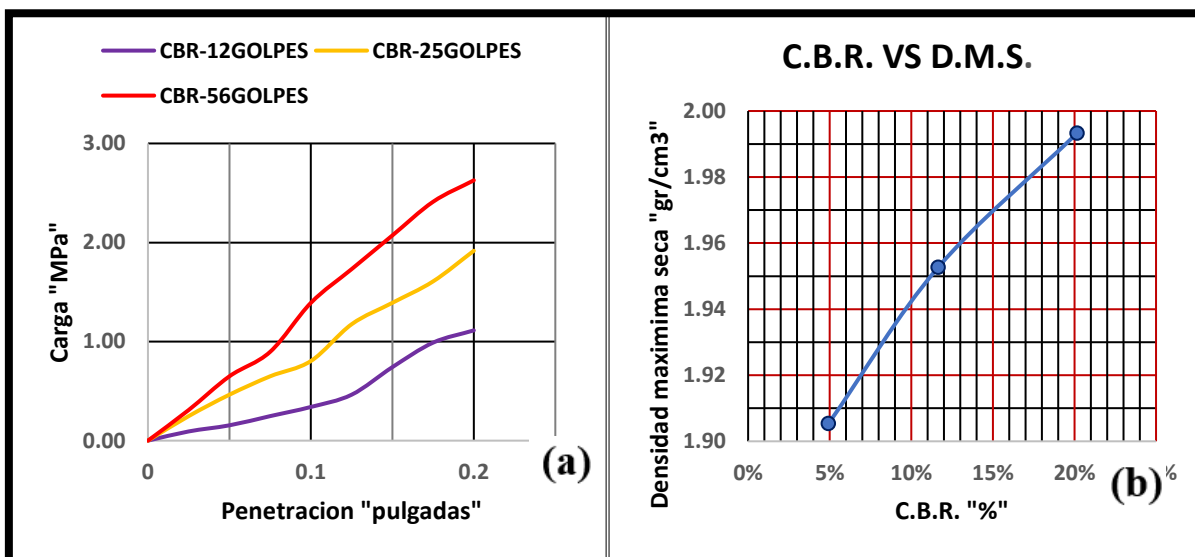
- **Determinar los valores del índice de soporte california (CBR) para la C-02.**

En la muestra de la calicata 02 del estrato 02 Se utiliza el ensayo para determinar su CBR con el fin de evaluar y obtener datos de la capacidad de soporte al esfuerzo que tendrá el suelo, tales como base y subbase gruesas y subrasantes y también para otras aplicaciones (como caminos no pavimentados), para los cuales el CBR (Tabla 28) es el parámetro de resistencia indicado. Si el CBR del campo es usado directamente para la evaluación o diseño, sin considerar la variación ocasionada por cambios en el contenido de agua, el ensayo debe llevarse a cabo bajo una de las siguientes condiciones:

Tabla 29 — CBR de la calicata 02

Penetración "Pulgadas"	Carg. Patrón "MPa"	Factor Carga		CBR	Factor Carga		CBR	Factor Carga		CBR
		Ind KG	Carga	12	IND KG	Carga	25	Ind Kg	CARGA	56
0.100	6.90	11	0.34	4.93	26	0.80	11.65	45	1.39	20.16

NOTA
En el cuadro podemos observar los CBRs obtenidos a los 12, 25 y 56 golpes en la C-2.



NOTA

Si el CBR del campo es usado directamente para la evaluación o diseño, sin considerar la variación ocasionada por cambios en el contenido de agua, debe considerarse para el ensayo expansivo.

Figura 39 — CBR vs golpes C-02



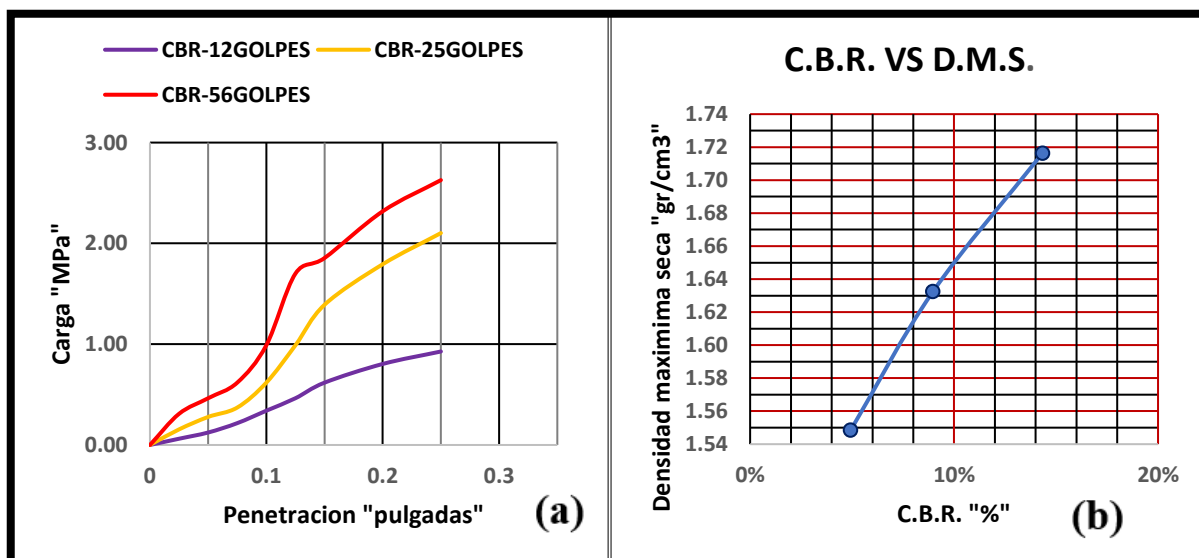
- **Determinar los valores del Índice de soporte california (CBR) para la C-03.**

En la muestra obtenida se pudo obtener los siguientes resultados analizados en laboratorio (Tabla 30). donde para una observación podemos definir para el ensayo que el contenido de agua no es realmente constante, sino que generalmente fluctúa dentro de un margen bastante reducido. Por lo tanto, los datos del ensayo en campo pueden utilizarse satisfactoriamente para indicar el promedio de la capacidad de carga y la expansión que se dará en la siguiente tabla podemos definir y analizar los resultados obtenidos respecto a la gráfica.

Tabla 30 — CBR de la calicata 03

Penetración "Pulgadas"	Carg. Patrón "MPa"	Factor Carga		CBR	Factor Carga		CBR	Factor Carga		CBR
		Ind Kg	Carga	12	Ind Kg	Carga	25	Ind Kg	Carga	56
0.100	6.90	11	0.34	4.93	20	0.62	8.96	32	0.99	14.34

NOTA
En el cuadro podemos observar los CBRs obtenidos a los 12, 25 y 56 golpes en la C-3.



NOTA

Si el CBR del campo es usado directamente para la evaluación o diseño, sin considerar la variación ocasionada por cambios en el contenido de agua, debe considerarse para el ensayo expansivo.

Figura 40 — CBR VS golpes C-03



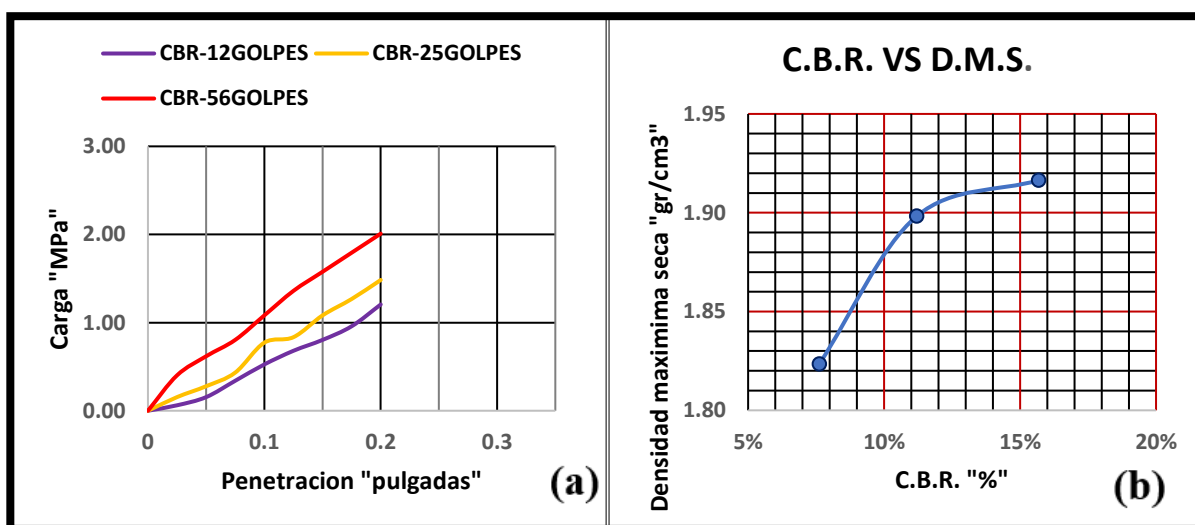
- **Determinamos los valores del índice de soporte California (CBR) para la C-04.**

Los criterios para la preparación del espécimen de prueba con respecto a las propiedades expansivas mediante el ensayo CBR (Tabla 30) a materiales expansivos los cuales recuperan su forma con el tiempo, deben basarse en una evaluación geotécnica, los mismos materiales expansivos deberán ser observados cuidadosamente hasta que puedan medirse las relaciones de soporte que representen las condiciones de servicio a largo plazo.

Tabla 31 — CBR de la calicata 04

Penetración "Pulgadas"	Carg. Patrón "MPa"	Factor Carga		CBR	Factor Carga		CBR	Factor Carga		CBR
		Ind(Kg)	Carga	12	Ind(Kg)	Carga	25	Ind(Kg)	Carga	56
0.100	6.90	17	0.53	7.62	25	0.77	11.20	35	1.08	15.68

NOTA
en el cuadro podemos observar los CBRs obtenidos a los 12, 25 y 56 golpes en la C-4.



NOTA

Si el CBR del campo es usado directamente para la evaluación o diseño, sin considerar la variación ocasionada por cambios en el contenido de agua, debe considerarse para el ensayo expansivo.

Figura 41 — CBR vs golpes C-04



- **Determinamos los valores del índice de soporte California (CBR) para la C-05.**

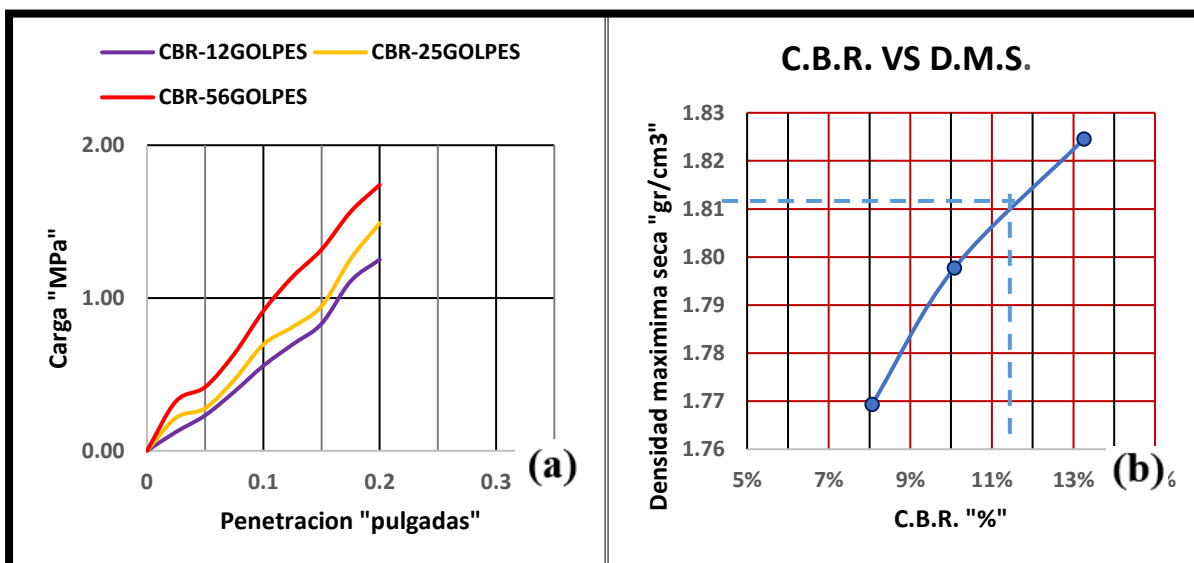
Los criterios para la preparación del espécimen de prueba con respecto a las propiedades expansivas mediante el ensayo CBR (Tabla 31) a materiales expansivos los cuales recuperan su forma con el tiempo, deben basarse en una evaluación geotécnica, los mismos materiales expansivos deberán ser observados cuidadosamente hasta que puedan medirse las relaciones de soporte que representen las condiciones de servicio a largo plazo.

Tabla 32 — CBR de la calicata 05

Penetración "Pulgadas"	Carg. Patrón "MPa"	Factor Carga		CBR	Factor Carga		CBR	Factor Carga		CBR
		Ind(Kg)	Carga	12	Ind(Kg)	Carga	25	Ind(Kg)	Carga	56
0.100	6.90	18	0.56	8.06	22.5	0.70	10.08	29.6	0.92	13.26

NOTA

En el cuadro podemos observar los CBRs obtenidos a los 12, 25 y 56 golpes en la C-5.



NOTA

Si el CBR del campo es usado directamente para la evaluación o diseño, sin considerar la variación ocasionada por cambios en el contenido de agua, debe considerarse para el ensayo expansivo.

Figura 42 – CBR vs golpes C-05



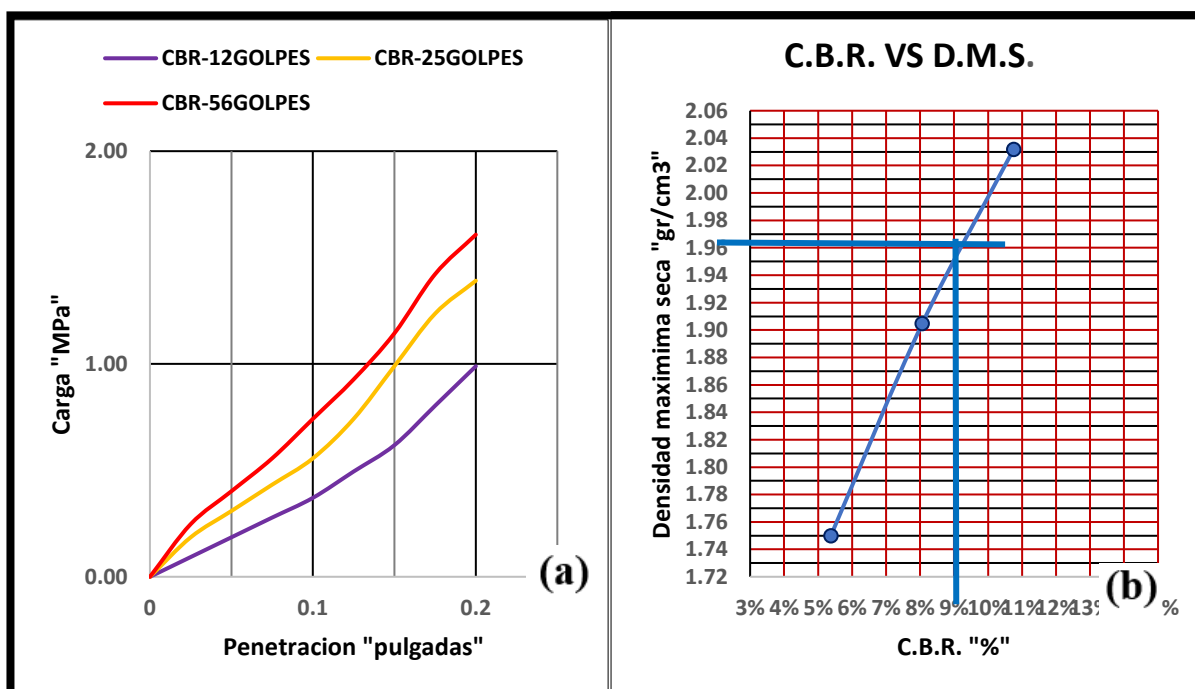
- **Determinamos los valores del índice de soporte California (CBR) para la C-06.**

Los criterios para la preparación del espécimen de prueba con respecto a las propiedades expansivas mediante el ensayo CBR (Tabla 32) a materiales expansivos los cuales recuperan su forma con el tiempo, se basó en una evaluación geotécnica, los mismos materiales expansivos fueron ser observados cuidadosamente hasta que puedan medirse las relaciones de soporte que representen las condiciones de servicio a largo plazo.

Tabla 33 — CBR de la calicata 06

Penetración "Pulgadas"	Carg. Patrón "MPa"	Factor Carga		CBR	Factor Carga		CBR	Factor Carga		CBR
		Ind(Kg)	Carga	12	Ind(Kg)	Carga	25	Ind(Kg)	Carga	56
0.100	6.90	17	0.53	7.62	25	0.77	11.20	35	1.08	15.68

NOTA
En el cuadro podemos observar los CBRs obtenidos a los 12, 25 y 56 golpes en la C-6



NOTA

Si el CBR del campo es usado directamente para la evaluación o diseño, sin considerar la variación ocasionada por cambios en el contenido de agua, debe considerarse para el ensayo expansivo.

Figura 43 – CBR vs golpes C-06



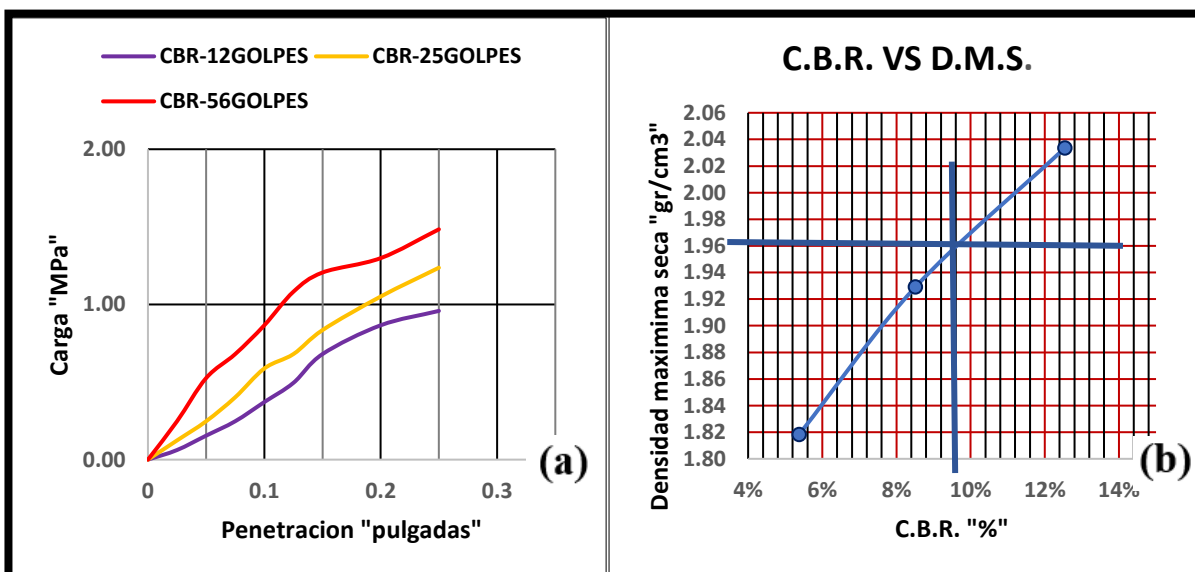
- **Determinamos los valores del índice de soporte California (CBR) para la C-07.**

Los criterios para la preparación del espécimen de prueba con respecto a las propiedades expansivas mediante el ensayo CBR (Tabla 33) a materiales expansivos los cuales recuperan su forma con el tiempo, se basaron en una evaluación geotécnica, los mismos materiales expansivos fueron observados cuidadosamente hasta que puedan medirse las relaciones de soporte que representen las condiciones de servicio a largo plazo.

Tabla 34 — CBR de la calicata 07

Penetracion "Pulgadas"	Carg. Patrón "MPa"	Factor Carga		CBR	Factor Carga		CBR	Factor Carga		CBR
		Ind(Kg)	Carga		Ind(Kg)	Carga		Ind(Kg)	Carga	
0.100	6.90	17	0.53	7.62	25	0.77	11.20	35	1.08	15.68

NOTA
En el cuadro podemos observar los CBRs obtenidos a los 12, 25 y 56 golpes en la C-7



NOTA

Si el CBR del campo es usado directamente para la evaluación o diseño, sin considerar la variación ocasionada por cambios en el contenido de agua, debe considerarse para el ensayo expansivo.

Figura 44 — CBR vs golpes C-07



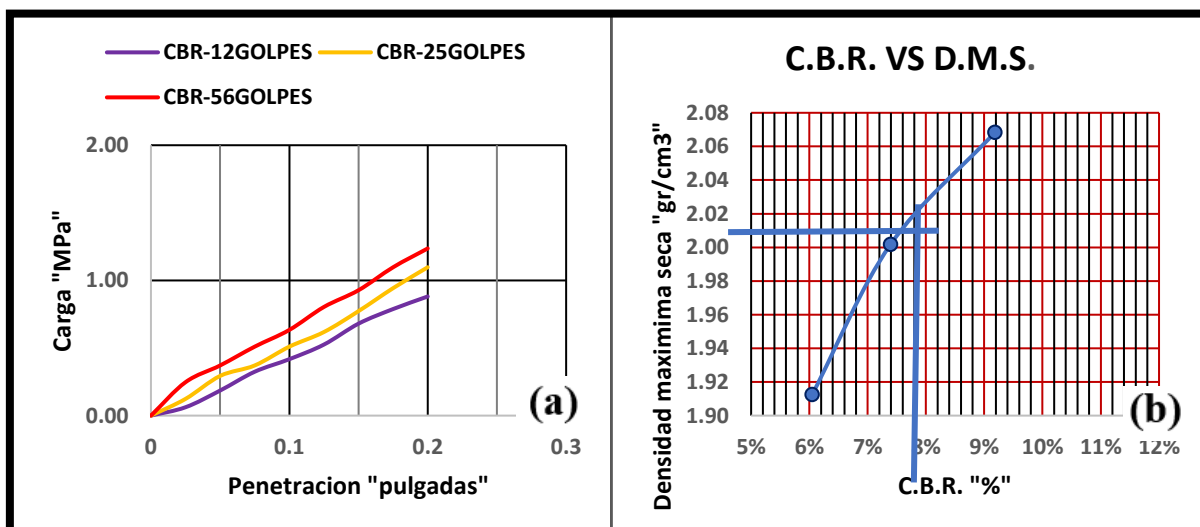
- **Determinamos los valores del índice de soporte California (CBR) para la C-08.**

Los criterios para la preparación del espécimen de prueba con respecto a las propiedades expansivas mediante el ensayo CBR (Tabla 34) a materiales expansivos los cuales recuperan su forma con el tiempo, se basaron en una evaluación geotécnica, los mismos materiales expansivos fueron ser observados cuidadosamente hasta que puedan medirse las relaciones de soporte que representen las condiciones de servicio a largo plazo.

Tabla 35 — CBR de la calicata 08

Penetración "Pulgadas"	Carg. Patrón "MPa"	Factor Carga		CBR	Factor Carga		CBR	Factor Carga		CBR
		Ind(Kg)	Carga	12	Ind(Kg)	Carga	25	Ind(Kg)	Carga	56
0.100	6.90	17	0.53	7.62	25	0.77	11.20	35	1.08	15.68

NOTA
En el cuadro podemos observar los CBRs obtenidos a los 12, 25 y 56 golpes en la C-8



NOTA

Si el CBR del campo es usado directamente para la evaluación o diseño, sin considerar la variación ocasionada por cambios en el contenido de agua, debe considerarse para el ensayo expansivo.

Figura 45 — CBR vs golpes C-08



Resultados del objetivo específico 02

- Se concluye que la expansión de los suelos arcillosos bajo cargas estáticas se encuentra vinculada al Índice de Soporte California (CBR), observándose que las muestras con valores de expansión cercanos a 1.2 % presentaron mayores valores de CBR, mientras que aquellas con expansiones próximas a 2.5 % registraron valores de CBR menores. Este comportamiento confirma que los cambios volumétricos del suelo se consideraron en la evaluación de su capacidad portante en estudios geotécnicos.
- El grado de asociación existente entre la expansión y el CBR es notable. Al analizar los datos mostrados en los gráficos y tablas, se observa que a medida que los golpes disminuyen los valores de CBR - 95% disminuyen considerablemente. Esto indica que existe una correlación positiva entre ambos indicadores, es decir a más golpes mayor valor de soporte del suelo según el índice CBR. Los valores de CBR - 95% tienden a una dispersión relativamente baja entre un rango de 7.32 a 14.36. Esto sugiere cierta consistencia en los datos de la (Figura 45).
- Tanto para CBR - 95% como para CBR - 100%, parece haber una correlación directa con las condiciones de compactación en los golpes al haber más golpes están asociados con valores más altos de capacidad de soporte.

5.1.4 Desarrollo de los resultados del objetivo específico 03

5.1.4.1 Desarrollar un modelo predictivo utilizando parámetros geotécnicos para estimar la expansión del suelo bajo cargas estáticas en la ciudad de Abancay, 2024.

El desarrollo de un modelo predictivo nos aporta datos estimados del CBR de los suelos de la ciudad de Abancay, teniendo una base de datos obtenidos de estudios previos recolectados a lo largo del desarrollo de la investigación, se desarrolla el modelamiento que consiste en evaluar estudios de CBR previos, en un análisis estadístico sistemático. Procesamos los datos para así crear un rango de evaluación con un código en el software Python.



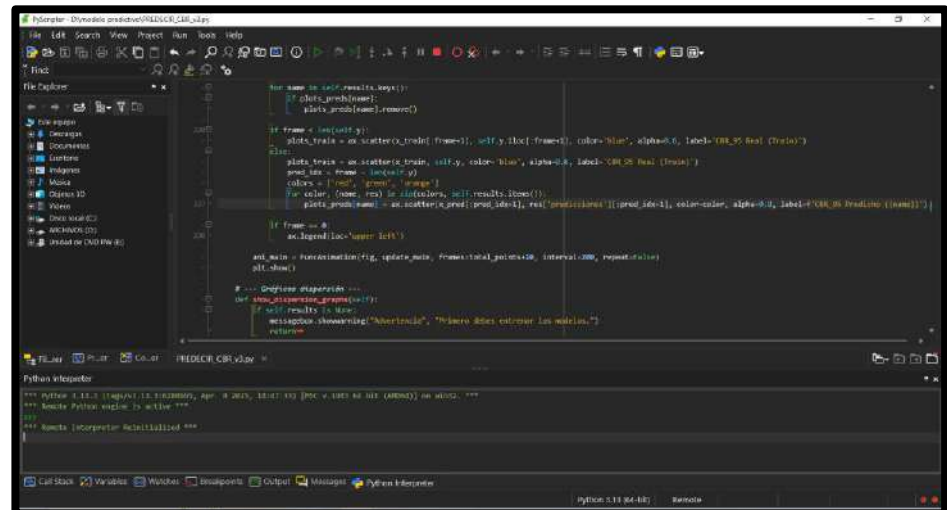
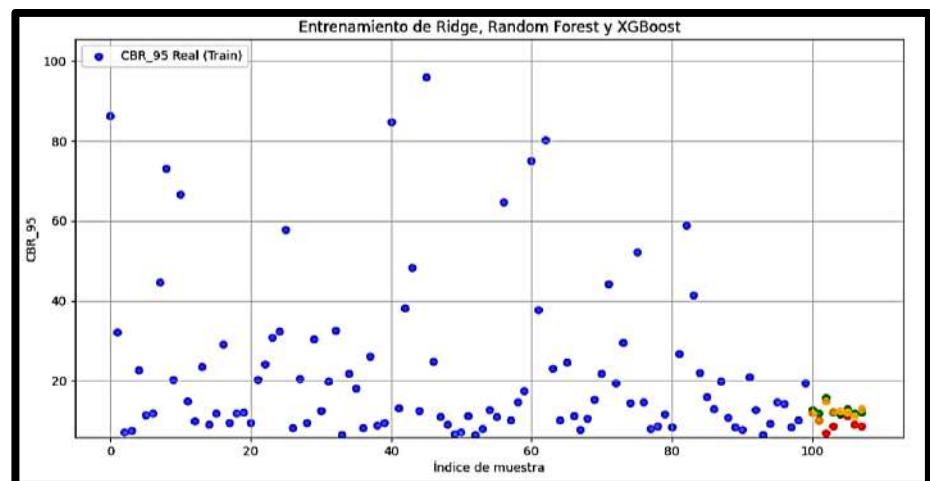


Figura 46 — Procesamiento de datos

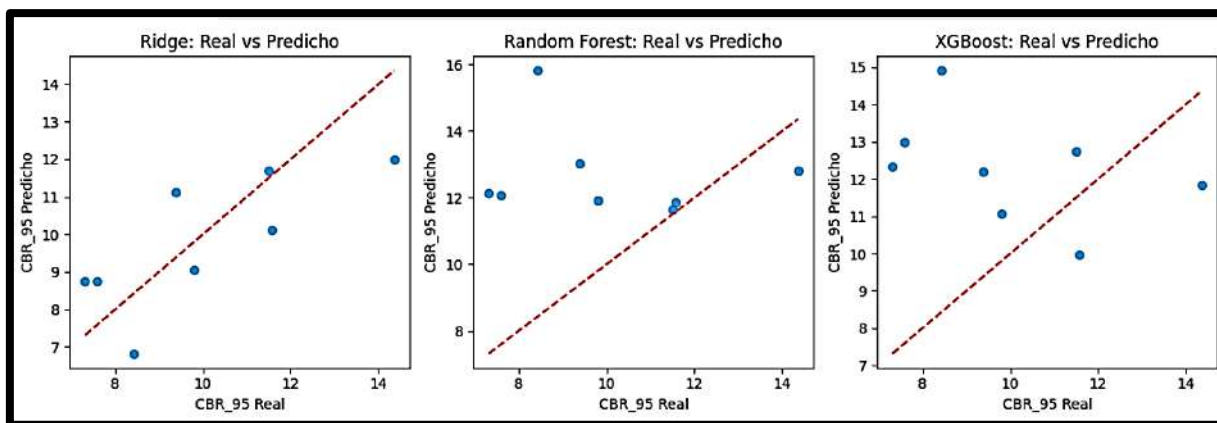
Basándonos en la aplicación de los distintos métodos estadísticos se aplicarán 100 datos de los ensayos CBR al 95% para su mejor respuesta ante la predicción del CBR. La regresión ridge, random forest y xgboost son técnicas de regularización estadística que corrigen el sobreajuste de los datos de entrenamiento figura (47)



NOTA

Los puntos de dispersión en la imagen nos indica que existirá una regularización estadística, cuando el índice de muestra supera los 100 podemos realizar una predicción asertiva y verídica.

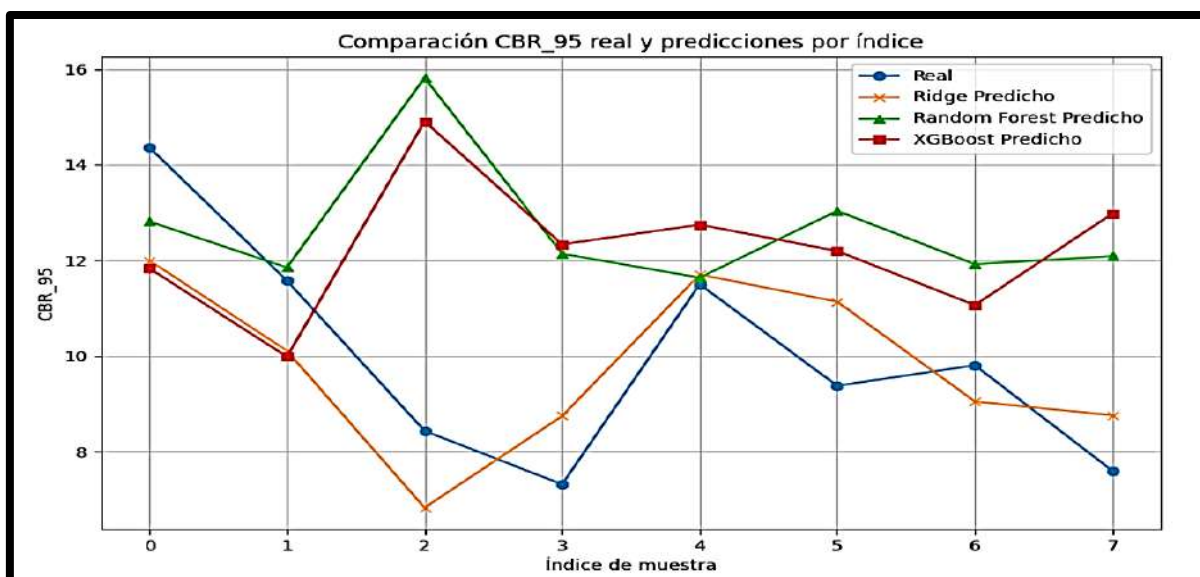
Figura 47 — Entrenamiento Ridge, Random Forest y XGBoost



NOTA

En las tablas de los puntos de dispersión según Ridge, Random Forest y XGBoost se pondera la correlación notable por el método estadístico de Ridge, notando una fuerza mayor de relación lineal entre las variables.

Figura 48 — Correlación Ridge, Random Forest y XGBoost



NOTA

En la gráfica trazamos los niveles de expansión de la muestra real y por los métodos de Ridge, Random Forest y XGBoost cursando diversos comportamientos en las predicciones, la regresión Ridge también llamada regularización L2 es el tipo de regularización que modela y se aproxima con mayor precisión a los datos reales analizados en laboratorio, este método estadístico redujo con mayor precisión los errores en la predicción de los CBRs de las 08 muestras.

Figura 49 — Comparación real, Ridge, Random Forest y XGBoost

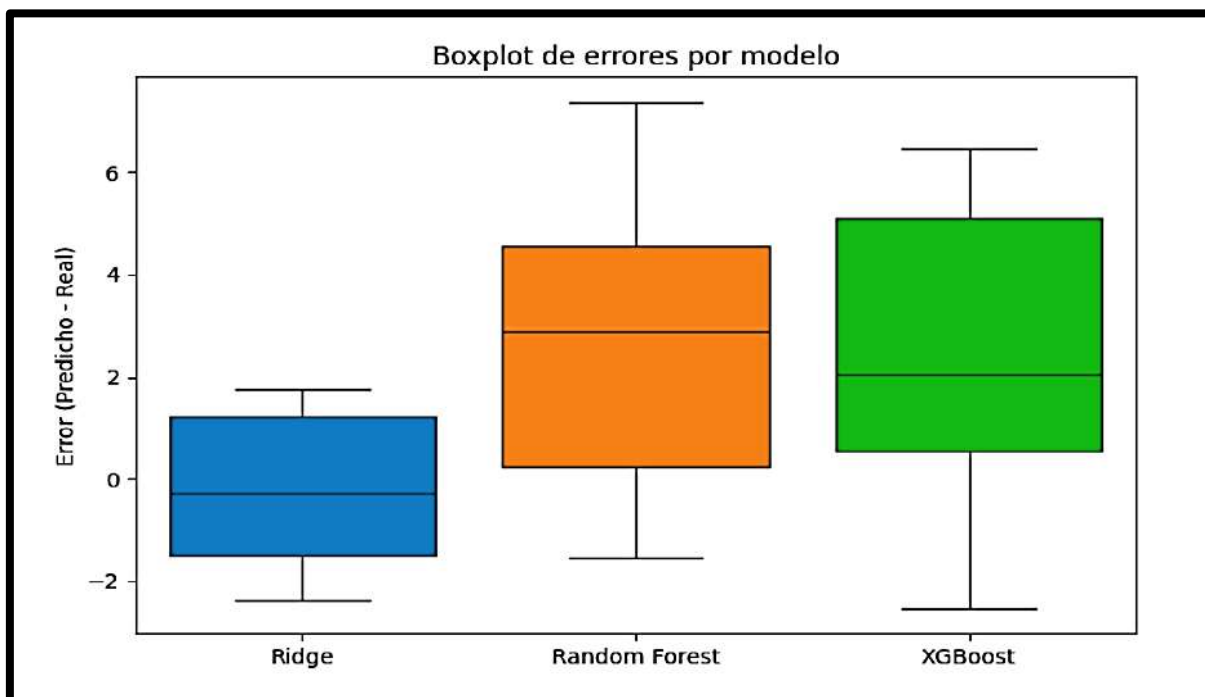


Tabla 36 — Predicciones Ridge, Random Forest y XGBoost

Clasificación SUCS	CBR_95	CBR_95_Pred_Ridge	Diferencia	Error	CBR_95_Pred_Random_Forest	Diferencia	Error	CBR_95_Pred_XGBoost	Diferencia	Error
SM	14.36	12.00	2.36	19.7%	12.81	1.55	12.1%	11.83	2.53	21.4%
SC	11.57	10.11	1.47	14.5%	11.85	0.28	2.3%	9.99	1.59	15.9%
SC	8.43	6.83	1.61	23.5%	15.82	7.38	46.7%	14.91	6.47	43.4%
SM	7.32	8.74	1.43	16.3%	12.14	4.82	39.7%	12.33	5.02	40.7%
SM	11.50	11.70	0.20	1.7%	11.64	0.14	1.2%	12.75	1.25	9.8%
SM	9.38	11.14	1.76	15.8%	13.04	3.66	28.1%	12.20	2.82	23.1%
SC	9.81	9.05	0.76	8.4%	11.92	2.11	17.7%	11.06	1.26	11.4%
SM	7.60	8.76	1.16	13.2%	12.09	4.49	37.1%	12.98	5.38	41.4%

NOTA

El porcentaje de error de ridge de 14.17% es menor en comparación con los otros métodos estadísticos, Tomando a Ridge como herramienta predictiva para los ensayos CBR.



NOTA

En la imagen podemos observar los boxplot de errores por modelo de Ridge, Random Forest y XGBoost, identificando al modelo Ridge con una proximidad de error menor próximo al cero en lo real y lo predicho.

Figura 50 — Boxplot de errores ridge, random forest y xgboost

Con los resultados de estos modelos estadísticos donde se pudo predecir con los métodos de Randon Forest con un error de 23.11% y XGBoost con un error de 25.89% teniendo mayor asertividad la de Ridge con un error del 14.27% de donde corrigió específicamente la multicolinealidad en el análisis de regresión, con mayor precisión para así poder predecir los CBRs aproximándose a los datos reales obtenidos de los ensayos en laboratorio.

- **Resultados del objetivo específico 03**

Al analizar los datos mostrados en los gráficos y tablas, el método de Randon Forest no sugiere ser una técnica de regularización estadística aceptable, ya que el error promedio de 23.11%, inaceptable para tomarlo como una muestra predictiva en los ensayos de CBR.

De igual forma al analizar en las tablas y figuras, observamos el método de Xgboost, no siendo un método del todo asertivo en las predicciones, Al tomar la muestra verificamos que tiene un error de predicción promedio del 25.89% siendo muy elevado para la comparación con las muestras reales obtenidas en laboratorio.

Obteniendo como resultado final en el objetivo específico 02 la técnica de regularización estadística Ridge con un error promedio de 14.27%, pudiendo predecir con mayor precisión los datos de las muestras de CBR originales con un margen de error máximo de 19.7% y menor de 1.7%, siendo el modelado de predicción más asertivo, pudiendo tomar estos datos sin mayores costos y aplicarlos en el estudio de los suelos expansivos en la ciudad de Abancay.

5.2 Análisis estadístico inferencial

5.2.1 Análisis de correlación estadística

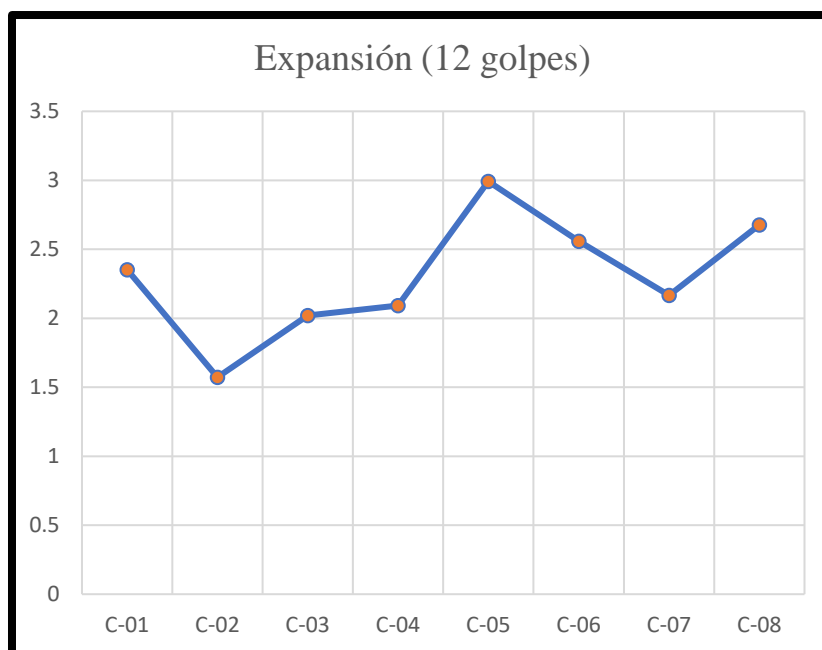
Para analizar la correlación estadística entre la expansión del suelo y el CBR, se siguió un enfoque estructurado. Iniciamos con la recopilación de datos tomando como base los números de golpes que son 12,25,56. Los cuales representaron las



expansiones a diferentes compresiones en un estado saturado y los valores de CBR al 95%, donde se organizó estos datos en una tabla de dos columnas para la expansión y el CBR con el fin de facilitar su análisis estadístico.

Tabla 37 — Resultados finales de expansión a los 12 golpes

Cuadro resultados finales		
Calicata	Expansión 12 golpes	C.B.R. – 95%
C-01	2.3519685	14.3615
C-02	1.5724409	11.5749
C-03	2.0212598	8.43483
C-04	2.0913	7.31771
C-05	2.9921	11.5023
C-06	2.5591	9.38214
C-07	2.1654	9.81125
C-08	2.6772	7.60258



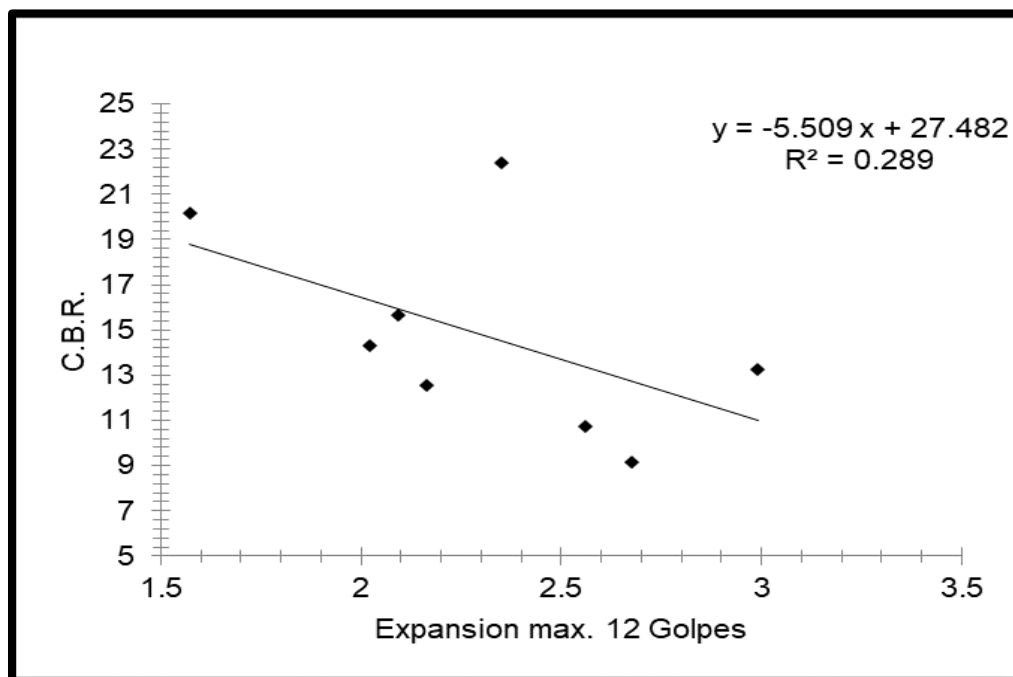
NOTA

La gráfica nos demuestra una comparación de las expansiones de las 08 calicatas a los 12 golpes.

Figura 51 — Evidencia expansiva 12 golpes



En el siguiente gráfico de dispersión (Figura 53) podemos observar la relación entre la expansión y el CBR. Donde se identifica los patrones y tendencias cabe recalcar que nos encontramos en una muestra con una compactación de 12 golpes donde al estar menos compactado tiende a una mayor saturación y una expansión mayor del suelo.



NOTA

En el gráfico, observamos una tendencia descendente, lo que confirmó la correlación negativa entre la expansión del suelo y el CBR. Llegando a la conclusión de que a medida que la expansión del suelo aumenta, la capacidad de carga (CBR) tiende a disminuir observando un resultado concordante con las teorías existentes a un comportamiento en los suelos arcillosos expansivos con evidente muestra de las esmécticas, siendo la montmorillonita en un porcentaje mayor.

Figura 52 — Correlación inversa fuerte

El gráfico nos muestra puntos dispersos, donde el eje X nos representa la expansión del suelo y el eje Y nos representa el CBR (Figura 53). Al ser la relación negativa, se observó una tendencia descendente en los puntos del gráfico, allí nos indica que a medida que la expansión aumenta, el CBR disminuye.

El análisis de regresión en la Variabilidad de la expansión del suelo bajo cargas estáticas en diferentes periodos de tiempo de los distintos suelos de la ciudad de Abancay nos permitió identificar y cuantificar la relación entre variables. En este caso a entender cómo los factores afectan la expansión del suelo bajo diferentes CBR a los 12 golpes.

Tabla 38 — Análisis de regresión 12 golpes

Análisis de regresión						
	r ²	0.289	Coeficiente de determinación			
	r	-0.537	Coeficiente de correlación			
	Std. Error	4.117				
	n	8				
	k	1				
	Dep. Var.	C.B.R.				
ANOVA table						
Source	SS	df	MS	F	p-value	
Regression	41.2655	1	41.2655	2.43	.1697	
Residual	101.6825	6	16.9471			
Total	142.9480	7				
Regression output						
					confidence interval	
variables	coefficients	std. error	t (df=6)	p-value	95% lower	95% upper
Intercept	27.4825					
Expansión max. 12 golpes	-5.5094	3.5307	-1.560	.1697	-14.1487	3.1299
NOTA						
El análisis de regresión en la Variabilidad de la expansión del suelo bajo cargas estáticas en diferentes periodos de tiempo de los distintos suelos de la ciudad de Abancay nos permitirá identificar y cuantificar la relación entre variables. En este caso a entender cómo los factores afectan la expansión del suelo bajo diferentes CBR a los 12 golpes.						

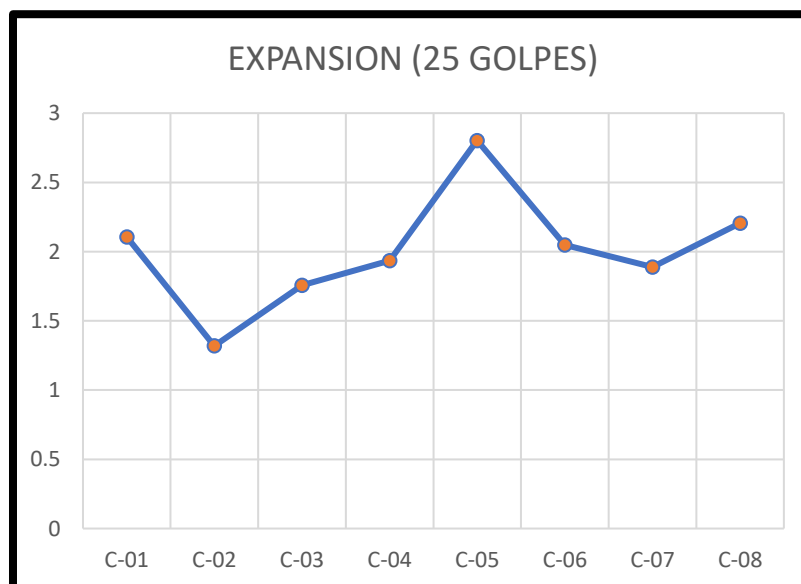


$$r = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum[x-\bar{x}]^2}\sqrt{\sum(y-\bar{y})^2}} = -0.537 \quad (09)$$

El análisis demuestra que hay una correlación negativa moderado de -0.537 entre la expansión del suelo y el CBR, donde demuestra que a medida que aumenta la expansión del suelo, el CBR tiende a disminuir ya que al aumentar su volumen disminuye su capacidad de resistencia al corte o su capacidad de soporte frente a cargas, claramente la correlación y el análisis descriptivo son coherentes y objetivos demostrándonos un aporte en la mecánica de estos suelos expansivos.

Tabla 39 — Resultados finales de expansión a los 25 golpes

Cuadro resultados finales		
Calicata	Expansion 25 golpes	C.B.R. – 95%
C-01	2.10629	14.3615
C-02	1.31889	11.5749
C-03	1.75748	8.43483
C-04	1.9339	7.31771
C-05	2.8031	10.0812
C-06	2.0472	8.06473
C-07	1.8898	8.51277
C-08	2.2047	7.39267



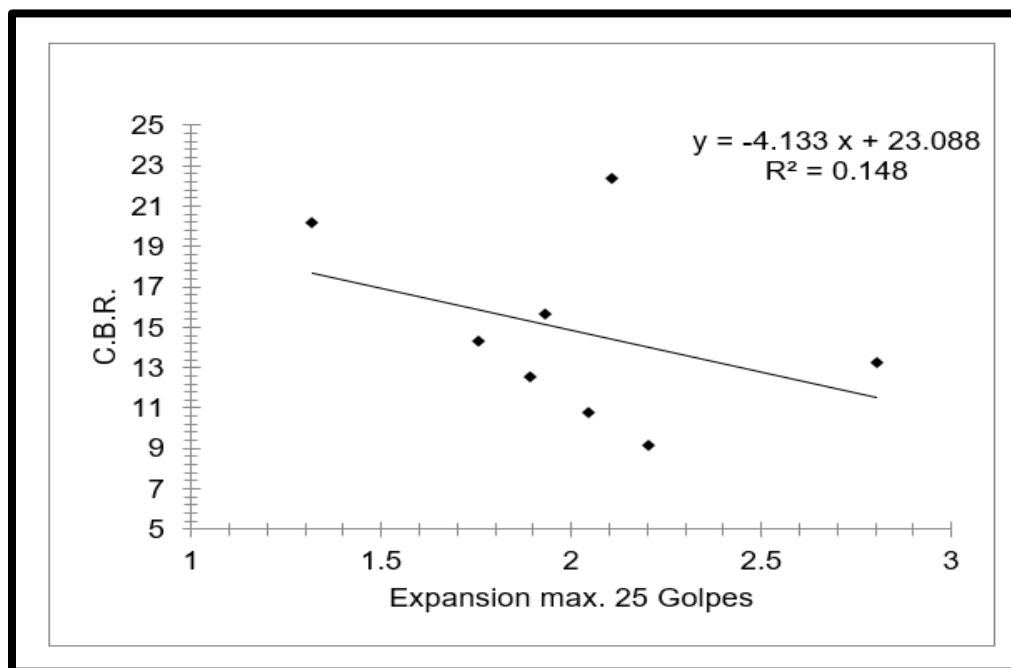
NOTA

la gráfica nos demuestra una comparación de las expansiones de las 08 calicatas a los 25 golpes

Figura 53 — Evidencia expansiva 25 golpes



Al evaluar el gráfico de dispersión, se pudo observar la relación entre la expansión y el CBR. El cual se identificaron los patrones y tendencias a evaluar, es importante señalar que los datos corresponden a una condición de compactación de 25 golpes, donde el suelo se encuentra medianamente compactado.



NOTA

En el gráfico, se observó una tendencia ascendente poco pronunciada, la que nos refleja una correlación pasiva moderada entre la expansión del suelo y el CBR. Concluyendo que a medida que la expansión del suelo aumenta, la capacidad de carga (CBR) aumenta, cabe recalcar que la correlación no implica causalidad ya que existen otros factores que afectan los comportamientos expansivos como también su capacidad de carga de los suelos arcillosos.

Figura 54 — Correlación baja

El gráfico nos muestra puntos dispersos, donde el eje X nos representa la expansión del suelo y el eje Y nos representa el CBR (Figura 54). Al ser la relación positiva pero débil, allí nos indica que a medida que la expansión aumenta, el CBR aumenta, pero al no ser lo suficientemente fuerte para predecir el comportamiento de las variables la información no es de mucho aporte.



Tabla 40 — Análisis de regresión 25 golpes

Análisis de regresión						
	r ²	0.148	Coeficiente de determinación			
	r	-0.385	Coeficiente de correlación			
	Std. Error	4.505				
	n	8				
	k	1				
	Dep. Var.	C.B.R.				
ANOVA table						
Source	SS	df	MS	F	p-value	
Regression	21.1682	1	21.1682	1.04	.3465	
Residual	121.7798	6	20.2966			
Total	142.9480	7				
Regression output						
					confidence interval	
variables	coefficient s	std. error	t (df=6)	p- value	95% lower	95% upper
Intercept	23.0876					
Expansion max. 25 Golpes	-4.1331	4.0471	-1.021	.3465	-14.0359	5.7698
NOTA:						
El análisis de regresión en la variabilidad de la expansión del suelo bajo cargas estáticas en diferentes periodos de tiempo de los distintos suelos de la ciudad de Abancay nos permitirá identificar y cuantificar la relación de la variable y el CBR. En este caso, nos ayudarte a entender cómo los factores afectan la expansión del suelo bajo diferentes CBR a los 25 golpes.						

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum[x - \bar{x}]^2} \sqrt{\sum(y - \bar{y})^2}} = -0.385 \tag{10}$$



En los resultados de la correlación moderada de la expansión del suelo y el CBR donde el valor de “r” es -0.385, llegamos a un acuerdo que, existe una relación negativa, es necesario tener en cuenta los otros factores, al evaluar la capacidad del suelo para soportar cargas o propiedades físicas del suelo. Esto puede ser muy crucial en la planificación y los diseños de proyectos de carreteras.

Tabla 41 — Resultados finales de expansión a los 56 golpes

Cuadro resultados finales		
Calicata	Expansión 56 golpes	C.B.R. – 95%
C-01	1.39212	14.3615
C-02	1.21496	11.5749
C-03	1.67165	8.43483
C-04	1.4787	7.31771
C-05	2.3346	13.26201
C-06	1.8504	10.75298
C-07	1.7323	12.54514
C-08	2.126	9.184839

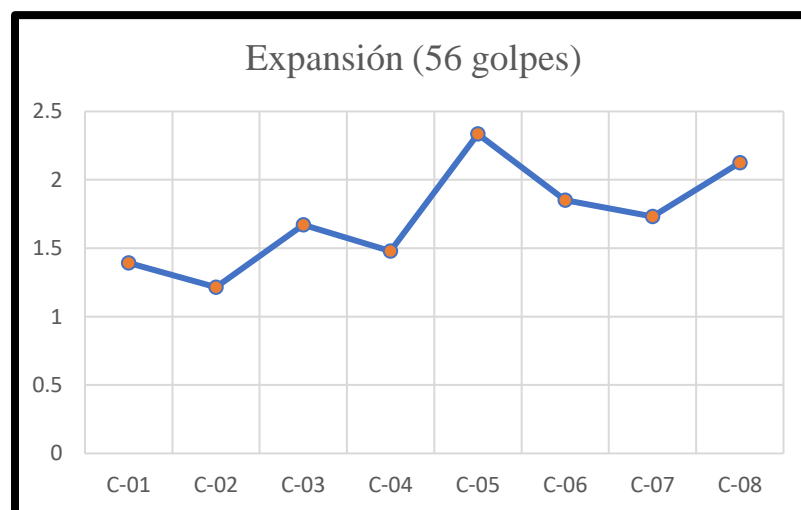


Figura 55 — Evidencia expansiva 56 golpes

El análisis de la correlación de nos indica una correlación fuerte donde la expansión del suelo y el CBR están interrelacionados de manera positiva significativa. En el siguiente gráfico de dispersión podemos observar la relación entre la expansión y el CBR. Donde identificamos los patrones y tendencias.



Se menciona que se encontró en una muestra con una compactación de 56 golpes donde al estar fuertemente compactado tiende a una menor saturación y una expansión menor del suelo.

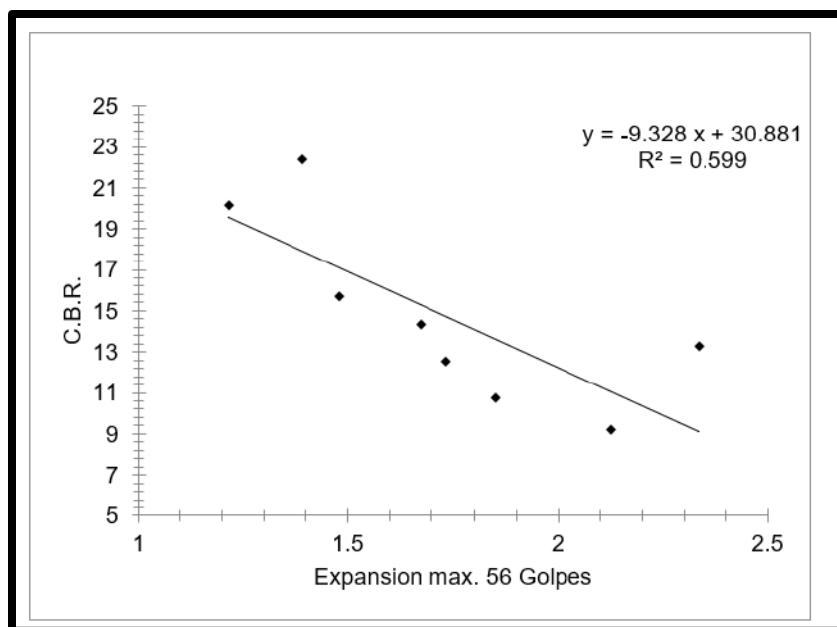


Figura 56 — Correlación inversa fuerte

En el gráfico, observamos una tendencia ascendente negativa, lo que nos confirmaría la correlación positiva entre la expansión del suelo y el CBR. Llegando a la conclusión de que a medida que la expansión del suelo es menor, la capacidad de carga (CBR) aumenta observando un resultado concordante a los ensayos y las pruebas mecánicas del suelo al encontrarse adecuadamente compactado nos da una resistencia a las cargas adecuada en carreteras, comportamiento de los minerales de las esmectitas, siendo la montmorillonita en un porcentaje mayor, el gráfico nos muestra puntos dispersos, donde el eje X nos representa la expansión del suelo y el eje Y nos representa el CBR (Figura 56). Al ser la relación positiva, observamos una tendencia ascendente en los puntos del gráfico, allí nos indica que a medida que la expansión es mínima, el CBR aumenta.



Tabla 42 — Análisis de regresión 56 golpes

Análisis de regresión						
	r ²	0.599	Coeficiente de determinación			
	r	-0.774	Coeficiente de correlación			
	Std. Error	3.093				
	n	8				
	k	1				
	Dep. Var.	C.B.R.				
ANOVA table						
Source	SS	df	MS	F	p-value	
Regression	85.5657	1	85.5657	8.95	.0243	
Residual	57.3823	6	9.5637			
Total	142.9480	7				
Regression output						
	coefficient				confidence interval	
variables	s	std. error	t (df=6)	p-value	95% lower	95% upper
Intercept	30.8806					
Expansion max. 56 Golpes	-9.3280	3.1185	-2.991	.0243	-16.9588	-1.6972
NOTA						
El análisis de regresión en la variabilidad de la expansión del suelo bajo cargas estáticas en diferentes periodos de tiempo de los distintos suelos de la ciudad de Abancay nos permitirá identificar y cuantificar la relación entre variables. En este caso, nos ayudara a entender cómo los factores afectan la expansión del suelo bajo diferentes CBR a los 56 golpes.						

$$r = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum[x-\bar{x}]^2}\sqrt{\sum(y-\bar{y})^2}} = -0.788 \tag{11}$$

El análisis de la correlación de $r \approx -0.788$ nos da una correlación fuerte de que la expansión del suelo y el CBR están relacionados directamente. Esto nos indica la mecánica del suelo donde describimos el comportamiento al estar altamente compactado nos da un CBR adecuado para el diseño del pavimento, Sin embargo, debemos adoptar un enfoque holístico que considere varias variables y contextos para obtener unas conclusiones optimas y completas que sean aplicables en la práctica.



Llegando a una conclusión en los suelos arcillosos probando sus cualidades mecánicas que al estar altamente compactado impide el ingreso de líquidos que anula el esponjamiento y mejora el (CBR),

- La correlación inversa entre la expansión y CBR confirma que la estabilidad de los suelos expansivos disminuye proporcionalmente a su tendencia al cambio de volumen. Este fenómeno puede ser crítico en proyectos que requieren alta resistencia a cargas sostenidas o alta transpirabilidad.
- En relación con la correlación, los análisis realizados revelan una asociación inversamente proporcional entre la expansión del suelo y la relación de resistencia de California (CBR). Esto indica que, a medida que aumenta el índice de expansión, los valores del CBR muestran una disminución significativa, lo que significa una disminución de la capacidad de carga en los suelos más propensos a las fluctuaciones volumétricas. Este fenómeno es congruente con los atributos de los suelos expansivos, en los que la presencia de arcillas activas y un elevado contenido de humedad influyen tanto en la estabilidad como en la resiliencia de la matriz del suelo. La correlación identificada subraya la necesidad de considerar la expansión como un elemento fundamental en el diseño de la infraestructura en la región de Abancay. Demostrando los resultados de expansión en diferentes áreas de Abancay para su consideración y aplicación.

5.3 Contrastación de hipótesis

Las hipótesis descriptivas dentro del paradigma cuantitativo, tiene como propósito estimar el comportamiento de una variable o conjunto de datos que están sujetas a medición u observación (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

Del mismo modo, la selección de metodologías o pruebas estadísticas según Maetens, (2005), en función de la naturaleza de la investigación que se esté realizando, se ajusta a las investigaciones descriptivas, dado que se refieren a datos nominales, ordinales e intervalos o ratios. Los procedimientos o pruebas pertinentes abarcan la media, la mediana, la moda, la desviación estándar, la varianza y el rango, que en conjunto constituyen estadísticas descriptivas.



El análisis de correlación estadística entre la expansión del suelo y la relación de sustentación de California (CBR) fue necesario para comprender el comportamiento del suelo en el ámbito de las aplicaciones de ingeniería de suelos. El CBR se ve afectado por numerosas características del suelo, como el índice de plasticidad (PI), el límite de líquido (LL) y el contenido óptimo de humedad (OMC), todas las cuales están intrínsecamente relacionadas con la expansión del suelo.

- **Prueba de normalidad de datos.**

Se postula que hay variabilidad en la expansión del suelo bajo cargas estáticas en diferentes periodos de tiempo de los distintos suelos de la ciudad de Abancay – 2024, se analizará las variables de expansión y la prueba de penetración mediante el análisis de la prueba de normalidad mediante el software IBM SPSS Statistics. la prueba se realizará mediante Shapiro-Wilk para $n \leq 50$ siendo la muestra $n = 8$ de manera practica y asertiva es analizar la consistencia plástica de los suelos arcillosos de la ciudad de Abancay. Con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ con una confianza del 95%.

Tabla 43 — Prueba de normalidad

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Expansion	.265	4	.	.951	4	.721
CBR	.263	4	.	.834	4	.179

NOTA

Como se observa en la (tabla 43), la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk, presenta un nivel de significancia de $0.721 > 0.05$.

Ho Los datos analizados siguen una distribución normal (paramétrica).

H1 Los datos analizados no siguen una distribución normal (no paramétrica).

Se decide que Si $p\text{-valor} > \alpha = 0.05$, Entonces no se rechaza las hipótesis nulas (H0), por lo tanto, los datos analizados siguen una distribución normal (paramétrica).



a) Análisis de la hipótesis específica 01

La expansión de los suelos arcillosos bajo cargas estáticas presentó variaciones significativas en función del tiempo de exposición experimental, la comparación estadística de las hipótesis particulares utiliza la distribución de Pearson para una distribución paramétrica, en el caso de variables continuas y categóricas (nominales u ordinales).

- **H0:** La expansión de los suelos arcillosos bajo cargas estáticas no presenta variaciones significativas en función del tiempo de exposición experimental.
- **H1:** La expansión de los suelos arcillosos bajo cargas estáticas presenta variaciones significativas en función del tiempo de exposición experimental.

Tabla 44 — Análisis de la correlación de Pearson en la expansión

Correlaciones			
		Expansión	CBR
Expansión 12 Golpes	Correlación de Pearson	1	.811
	Sig. (bilateral)		.189
	N	4	4
CBR	Correlación de Pearson	.811	1
	Sig. (bilateral)	.189	
	N	4	4

NOTA

Como se observa en la tabla, la correlación de Pearson, presenta un nivel de significancia de $0.189 > 0.05$.

H0 $\rho = 0$ (No existe correlación lineal)

H1 $\rho \neq 0$ (Existe correlación lineal)



$$a = \frac{a\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-a^2}} \quad ; \quad a = 4.303$$

Donde

a es el coeficiente de evaluación.

n es el número de pares de datos.

$$t = \frac{\rho}{\sqrt{\frac{1-\rho^2}{n-2}}} \quad ; \quad t = 1.76$$

$$t < a$$

como $t < a$ llegamos a la conclusión que no rechazamos la hipótesis nula. Esto significa que no hay suficiente evidencia para afirmar que existe una evaluación significativa entre la expansión del suelo y el CBR al nivel de significancia del 5%. El coeficiente de significancia supera el 0.05, se adopta la hipótesis nula y se descarta la hipótesis alternativa (Tabla 44).

En los distintos suelos arcillosos encontrados en los suelos de la ciudad de Abancay, inferimos que existe saturaciones de los suelos que generan un cambio de volumen que afecta significativamente al CBR generando diversos daños estructurales. De allí comprobando su relación directa.

b) Análisis de la hipótesis específica 02

Existe una asociación significativa entre la expansión de los suelos arcillosos bajo cargas estáticas y el Índice de Soporte California (CBR). El Índice de Soporte California (CBR) es una prueba de penetración que dicta resultados de la capacidad de soporte de cargas donde pondremos a prueba al ser aplicado a suelos expansivos en diferentes periodos de tiempo y en diferentes tipos de compactación.

- **H0:** No existe una asociación significativa entre la expansión de los suelos arcillosos bajo cargas estáticas y el Índice de Soporte California (CBR).
- **H1:** Existe una asociación significativa entre la expansión de los suelos arcillosos bajo cargas estáticas y el Índice de Soporte California (CBR).



Tabla 45 — Análisis de la correlación de Pearson en la expansión

Correlaciones			
		Expansión	CBR
Expansión 25 G.	Correlación de Pearson	1	.504
	Sig. (bilateral)		.496
	N	4	4
CBR	Correlación de Pearson	.504	1
	Sig. (bilateral)	.496	
	N	4	4

NOTA

Como se observa en la (tabla 45), la correlación de Pearson, presenta un nivel de significancia para el factor 1 de $0.496 > 0.05$.

H0 $\rho = 0$ (No existe correlación lineal)

H1 $\rho \neq 0$ (Existe correlación lineal)

$$a = \frac{a\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-a^2}} \quad ; \quad a = 3.203$$

Donde

a es el coeficiente de evaluación.

n es el número de pares de datos.

$$t = \frac{\rho}{\sqrt{\frac{1-\rho^2}{n-2}}} \quad ; \quad t = 1.96$$

$$t < a$$

como $t < a$ llegamos a la conclusión que no rechazamos la hipótesis nula. Esto significa que no hay suficiente evidencia para los valores del Índice de Soporte California (CBR) que no serán distintos en función de la variabilidad en la expansión del suelo en las áreas evaluadas al nivel de significancia del 5%, el coeficiente de significancia supera el 0.05, (Tabla 45). se adopta la hipótesis nula y se descarta la hipótesis alternativa.



5.4 Discusión

La presente investigación determinó la variabilidad de la expansión en suelos arcillosos sometidos a cargas estáticas localizadas en la ciudad de Abancay, en función de su comportamiento volumétrico y su relación con el CBR. Los resultados muestrearon patrones consistentes que pueden explicarse en términos del comportamiento geotécnico de este tipo de suelos.

Al analizar la variación de la expansión en función del tiempo de exposición experimental, se encontró que los mayores incrementos volumétricos se dieron en las primeras 48 h, alcanzando expansiones cercanas al 70 % de su valor final en este tiempo. Entre las 72 y 96 horas, la expansión se estabilizó con aumentos menores al 0.2 %, lo que indica que el proceso expansivo se aproxima a un estado cuasi estable a medida que transcurre el tiempo de exposición. Este comportamiento se ajusta al proceso de absorción de agua en suelos arcillosos, donde la mayor parte del cambio de volumen se produce en las primeras etapas.

Partiendo del objetivo general de analizar la variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas identificados en la ciudad de Abancay durante el año 2024, es fundamental para comprender el comportamiento de los distintos suelos de la ciudad de Abancay, donde resaltan los suelos arcillosos que son distinguidos por su propiedad de expandirse. Muntohar y Satyarno (2004) destacan que la variabilidad en la expansión de suelos arcillosos depende no solo de su composición, sino también de factores externos como la carga aplicada y las condiciones de humedad. Este enfoque es coherente con las observaciones sobre cómo las condiciones iniciales de saturación afectan la expansión en los primeros días y la capacidad de penetración del agua en función del nivel de compactación de 12 golpes 25 golpes 65 golpes.

También se sostiene que la expansión es más notable en los primeros días y se estabiliza tras un lapso de cinco días. Este fenómeno ha sido planteado por Kumar et al. (2009), quienes han constatado que la mayor parte de la expansión en suelos arcillosos se produce rápidamente tras la saturación, lo cual destaca la relevancia de considerar el tiempo como una variable crítica en tus mediciones.



La relación entre carga estática y expansión del suelo es un aspecto crucial en el estudio. Según Ghazavi et al. (2012) sugieren que la aplicación de cargas estáticas afecta significativamente la capacidad de carga de los suelos, y que la saturación inicial puede intensificar esta relación, ya que indica que los suelos de Abancay pueden comportarse de manera diferente bajo cargas estáticas en comparación con otras condiciones. el análisis sobre la compactación y su relación con el CBR también está respaldado por la literatura. Holtz y Kovacs (1981) mencionan que la compactación adecuada mejora significativamente las propiedades mecánicas del suelo, lo que se traduce en un aumento del CBR y una reducción de la expansión. Este hallazgo recalca la importancia de realizar pruebas de compactación y su influencia en el comportamiento de los suelos bajo cargas.

Finalmente, las conclusiones sobre cómo la expansión del suelo afecta la durabilidad de los pavimentos son coherentes con la investigación de Das et al. (2014), quienes advierten sobre los riesgos asociados a suelos expansivos en entornos urbanos. Este análisis resaltó la necesidad de considerar la variabilidad de la expansión y las cargas en el diseño de infraestructuras, especialmente en áreas donde las vibraciones y la saturación son comunes.

La investigación indica que las cargas estáticas afectan la expansión del suelo donde al aplicar cargas puntuales generan una dispersión de fuerzas en otras direcciones generando deformaciones. Este aspecto ha sido analizado por Ghazavi et al. (2012), quienes afirman que la aplicación de cargas puede intensificar la capacidad de carga del suelo, pero también puede provocar deformaciones significativas si el suelo no está adecuadamente compactado. Esto sugiere que un diseño estructural adecuado debe considerar tanto a las propiedades del suelo, sino también el tipo de carga que se le aplicará.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se determinó que la expansión de los suelos arcillosos ante cargas estáticas localizadas en la ciudad de Abancay es altamente variable a lo largo del año 2024, con valores de expansión que fluctuaron entre 1.2 % y 2.5 %. Esta dispersión es un reflejo del comportamiento volumétrico característico de los suelos arcillosos estudiados y evidencia la necesidad de tener en cuenta este comportamiento en el análisis geotécnico de estos materiales cuando se van a emplear en obras de ingeniería civil.

PRIMERO: Se evaluó la variabilidad de la expansión del suelo bajo cargas estáticas en diferentes periodos de tiempo de los distintos suelos de la ciudad de Abancay. Llegando a la conclusión que existen notables y preocupantes reacciones expansivas en las muestras localizadas de las 08 calicatas (Tabla 24) se puede observar ya en la C-01, C-02, C-03, C-04, C-05, C-06, C-07, C-08 existe una relación en los resultados, así mismo se identificó relación entre el grado de compactación ratificando que a mayor compactación menor expansión y a menor compactación mayor expansión caso curioso expuesto en la (Tabla 23) que a los 12 golpes de compactación se genera a las 96 horas una expansión mayor al 2%. Por otro lado, a los 25 golpes se figura una expansión de 1.5 a 2%. Y por último a los 56 golpes se generan expansiones de 1.5%. de estos resultados podemos deducir que:

La expansión del suelo bajo cargas estáticas en diferentes periodos de tiempo de los distintos suelos de la ciudad de Abancay. Este fenómeno estuvo principalmente influenciado principalmente por el grado de saturación. su variabilidad es considerable y perjudicial para los diseños de pavimentos donde llega a expandirse hasta un 2.5% en las arcillas altamente expansiva.

Los suelos en la ciudad de Abancay presentan infiltraciones de agua ya sean por grietas o por otros medios. Lo que generó la saturación de estos suelos dando una inestabilidad y una variación en los grados de compactación (suelos arcillosos expansivos).



Se determinó que las vibraciones aplicadas a los suelos en Abancay distorsionan y afectan la compactación, dada en los suelos para su soporte ante cargas estáticas dándose saturaciones que generan la expansión de los suelos arcillosos. Esta aseveración se explicó en los ensayos de Proctor modificado donde se evaluó a los 12 golpes 25 golpes y 56 golpes de compactación.

Finalmente, en relación con objetivo general se concluyó que la expansión se generara en presencia de saturación y descompresión de los suelos, donde en la ciudad de Abancay es inevitable por el porcentaje de arcilla, humedad y factores climáticos que generaran expansiones y contracciones que inestabilizaran los suelos en las distintas áreas de la ciudad de Abancay.

SEGUNDO: Se determinó la expansión del suelo en diferentes áreas de Abancay mediante pruebas geotécnicas. donde los hallazgos indican que las muestras localizadas de las cuatro calicatas muestran reacciones expansivas potenciales (tabla 24). Es observable en las muestras C-01, C-02, C-03, C-04, C-05, C-06, C-07, C-08 a las 96 horas en condiciones de 12, 25, 56 golpes. Existiendo una correlación negativa, en la que el grado de compactación se destaca de manera prominente, lo que ilustra que el aumento de la compactación corresponde a una expansión reducida, mientras que la disminución de la compactación da como resultado una mayor expansión, como se presenta en la (tabla 26), después de 12 golpes de compactación, se registra una expansión superior al 2% después de una duración de 96 horas. Por el contrario, después de 25 golpes, se observa una expansión que oscila entre el 1,5% y el 2%. En última instancia, después de 56 golpes, se observan expansiones del 1,5%. A partir de estos hallazgos, podemos inferir que:

Los suelos expansivos debido a su alto contenido de arcillas expansivas muestran una capacidad portante considerablemente baja con un CBR < 10%, lo que no es recomendable el uso directo en proyectos donde aplicaríamos tratamientos previos, la expansión de los suelos arcillosos y su bajo CBR son más notorios en zonas con mayor humedad o actividad sísmica o vibraciones, evidenciando la importancia de las condiciones locales en el comportamiento mecánico del suelo.



Se determinó que la correlación inversa entre la expansión y CBR confirma que la estabilidad de los suelos expansivos disminuye proporcionalmente a su tendencia al cambio volumétrico. Este fenómeno puede ser crítico en proyectos que requieren alta resistencia a cargas sostenidas o alta transpirabilidad.

En relación con el análisis de correlación, los resultados obtenidos revelaron una asociación inversamente proporcional entre la expansión del suelo y la relación de resistencia de California (CBR). Esto indica que, a medida que aumenta el índice de expansión, los valores del CBR muestran una disminución significativa, lo que significa una disminución de la capacidad de carga en los suelos más propensos a las fluctuaciones volumétricas. Este fenómeno es congruente con los atributos de los suelos expansivos, en los que la presencia de arcillas activas y un elevado contenido de humedad influyen tanto en la estabilidad como en la resiliencia de la matriz del suelo. La correlación identificada subraya la necesidad de considerar la expansión como un elemento fundamental en el diseño de la infraestructura en la región de Abancay. Demostrando los resultados de expansión en diferentes áreas de Abancay para su consideración y aplicación.

Los análisis ofrecieron una visión profunda del comportamiento de los suelos en función de su expansión y CBR. Las correlaciones positivas y negativas identificadas están bien respaldadas por los conceptos existente, subrayando la importancia de la compactación y el manejo del agua en la expansión.

TERCERO: determinando los datos mostrados en la (tablas 24), se observó que a medida que los golpes disminuyen los valores de CBR - 95% disminuyen considerablemente. Esto indica que existe una relación positiva entre ambas variables, es decir a más golpes mayor valor de soporte del suelo según el índice CBR. Los valores de CBR - 95% tienden a una dispersión relativamente baja entre un rango de 7.32 a 14.36. Esto sugiere cierta consistencia en los datos de la (figura 29).

Tanto para CBR - 95% como para CBR - 100%, parece haber una relación directa con las condiciones de compactación en los golpes al haber más golpes están asociados con valores más altos de capacidad de soporte. Esto es consistente con los resultados



esperados, deduciendo que los tiempos afectan directamente en el grado de compactación del suelo generando en si expansiones.

En conclusión, los resultados mostrados de una relación directa entre el número de golpes y los valores de CBR al 95%. A medida que aumentan los golpes, los valores de CBR incrementan, lo que indica que un mayor esfuerzo de compactación mejora considerablemente la capacidad de soporte del suelo. Además, el CBR en estas muestras no demuestran una portabilidad adecuada por el grado arcilloso que contiene datos que serán necesarios en la evaluación expansiva de estas muestras, de esta manera se refleja una mayor resistencia del suelo bajo condiciones de compactación máxima. Estos hallazgos sugieren que los esfuerzos de compactación medidos por el número de golpes tienen un impacto significativo en la resistencia y comportamiento expansivo del suelo, lo que será crucial en el diseño y la evaluación de suelos expansivos en la ciudad de Abancay.

6.2 Recomendaciones

La aplicación de los datos expansivos obtenidos será de utilidad en los estudios realizados para futuros proyectos viales en la ciudad de Abancay siendo datos reales donde demuestra la presencia de suelos areno arcillosos altamente expansivos.

A partir de los resultados expansivos de los distintos suelos de la ciudad de Abancay, recomendamos una exploración mayor y análisis de mayor envergadura dado que el echo expansivo está presente y afecta directamente a los pavimentos y cimientos a lo largo de la ciudad.

Implementar un sistema de monitoreo de la humedad del suelo en áreas críticas, con el fin de evaluar como las variaciones estacionales y las precipitaciones influyen la expansión del suelo. Esto permitirá tomar decisiones informadas sobre la gestión del agua en el suelo y minimizar riesgos asociados.

Realizar ensayos de laboratorio adicionales, como pruebas de consolidación y plasticidad, para obtener un perfil más completo de las propiedades mecánicas de los suelos arcillosos. Esto ayudará a caracterizar mejor su comportamiento bajo diferentes condiciones de carga y humedad.

Incorporar en el diseño de pavimentos y otras infraestructuras consideraciones específicas para suelos expansivos, como el uso de materiales que permitan una mayor flexibilidad y resistencia a la deformación. Evaluar técnicas de estabilización de suelos para mejorar su capacidad de carga.

Establecer normativas locales que consideren las particularidades de los suelos de Abancay. Esto incluye directrices para el uso y tratamiento de suelos expansivos en proyectos de construcción, garantizando así la seguridad y durabilidad de las infraestructuras.

Realizar estudios a largo plazo que permitan evaluar el comportamiento de los suelos en función de la carga y las condiciones ambientales cambiantes. Esto permitirá identificar patrones de comportamiento que pueden influir en el diseño y la gestión de infraestructuras, implementar tecnologías avanzadas, como sensores de presión y deformación, para evaluar en tiempo real cómo las cargas estáticas afectan a los suelos. La recopilación de datos en tiempo real puede mejorar la comprensión de los procesos de expansión y contracción.

Estas recomendaciones se plantearon con el propósito de mitigar los efectos negativos de la expansión del suelo en la infraestructura de Abancay y mejorar la capacidad de respuesta ante este fenómeno. La implementación de estas sugerencias contribuirá a una gestión más efectiva y sostenible de los recursos del suelo, asegurando la durabilidad y seguridad de las estructuras construidas en la región.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO. AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. (2020). 9th ed. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.

ABD EL-SAMEA, W., MOWAFY, Y., ABD EL-NAIEM, M., & TOWFEEK, A. (2022). numerical analysis of shallow foundation on expansive soil. *Journal of Al-Azhar University Engineering Sector*, 17(63). <https://doi.org/10.21608/aej.2022.233745>

AL-RAWAS, A., GOOSEN, M., SOILS, G. A.-R.-E., & 2006. (s. f.). Geology, classification, and distribution of expansive soils and rocks: a case study from the Arabian Gulf. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9780203968079-8/geology-classification-distribution-expansive-soils-rocks-case-study-arabian-gulf-amer-al-rawas-mattheus-goosen-ghazi-al-rawas>

ALVA HURTADO, J. E. (2018). Cimentaciones Profundas. Comité Peruano de Mecánica de suelos, fundaciones y Mecánica de rocas.

ALVA HURTADO JORGE, R. (1988). Suelos Expansivos y Colapsables. 47.

ARIAS, F. (1999). El Proyecto de investigación: guía para su elaboración. Episteme.

ARIAS-GÓMEZ, J., VILLASÍS-KEEVER, M. Á., & MIRANDA-NOVALES, M. G. (2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Revista Alergia México*, 63(2). <https://doi.org/10.29262/ram.v63i2.181>

ASHOORI, S., ABDIDEH, M., & ALAVI, A. (2016). 3D geostatistical modelling and uncertainty analysis of clay minerals distribution in reservoir rocks. *Geocarto International*, 31(3). <https://doi.org/10.1080/10106049.2015.1047413>

ASURI, S., & KESHAVAMURTHY, P. (2016). Expansive Soil Characterisation: an Appraisal. *INAE Letters*, 1(1). <https://doi.org/10.1007/s41403-016-0001-9>

AVILÉS, R. M. A. (2017). La acreditación de los comités de ética de la investigación. *Gaceta Sanitaria*, 31(1). <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2016.08.007>

BASSEY, O., ATTAH, I., AMBROSE, E., & ETIM, R. (2017). Correlation Between CBR Values And Index Properties Of Soils: A Case Study Of Ibiono, Oron And Onna In Akwa Ibom State. *Resources and Environment*.

BLÁHOVÁ, K., ŠEVELOVÁ, L., & PILAŘOVÁ, P. (2013). Influence of water content on the shear strength parameters of clayey soil in relation to stability analysis of a hillside in brno region. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 61(6). <https://doi.org/10.11118/actaun201361061583>

BRAJA, M. D. (2010). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica Cuarta edición. En Datos.



BUDHU, A., JI, J., & WANG, X. W. (2010). The clinical potential of microRNAs. *Journal of Hematology and Oncology* (Vol. 3). <https://doi.org/10.1186/1756-8722-3-37>

CABALLERO GARCÍA, C. R., & BIANCHINI, A. D. (2023). Acreditación de los comités de ética en investigación en el Paraguay: un imperativo ético. *Revista de Bioética y Derecho*. <https://doi.org/10.1344/rbd2023.58.39928>

CHEN, F. H. (1975). FOUNDATIONS ON EXPANSIVE SOILS. *Found on Expansive Soils*. <https://doi.org/10.1139/t89-099>

CONDE CATAFORA, J. R. (2019). Cálculo de capacidad portante en suelos expansivos. Universidad José Carlos Mariátegui. <https://repositorio.ujcm.edu.pe/handle/20.500.12819/738>

CRESPO C. (1998). Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil, 249.

DAKSHANAMURTHY, V., & RAMAN, V. (1973). A Simple Method of Identifying an Expansive Soil. *Soils and Foundations*, 13(1). <https://doi.org/10.3208/sandf1972.13.97>

DEL CASTILLO SALAZAR, D. D., & RODRÍGUEZ ABRAHANTES, T. N. M. (2018). La ética de la investigación científica y su inclusión en las ciencias de la salud. *Acta Médica del Centro*, 12(2).

DRISCOLL, R. (2000). El comportamiento de pilotes ligeramente cargados en terrenos hinchados e implicaciones para su diseño.

DUNCAN, C. I. (1992). *Soils and Foundations for Architects and Engineers*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-6545-8>

FUENTES, D., & REVILLA, D. (2007). Acreditación de Comités de Ética en Investigación, como parte de un proceso. *Anales de la facultad de medicina*, 68(1).

GHOSH, R. (2013). Effect of soil moisture in the analysis of undrained shear strength of compacted clayey soil. *Journal of Civil Engineering and Construction Technology*, 4(1).

GONZALES, J. L., & CHAVÉZ, O. (2021). Evaluación de la expansión en suelos presaturados. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2021.22.4.027>

HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C., & BAPTISTA, M. P. (2014). Metodología de la Investigación Hernández Sampieri 6a Edición.

HOLTZ, W. G., & GIBBS, H. J. (1956). Engineering Properties of Expansive Clays. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 121(1). <https://doi.org/10.1061/TACEAT.0007325>

INSTITUTO DE LA CONSTRUCCIÓN Y GERENCIA. (2018). Norma Técnica e.050 suelos y cimentaciones 2018.

JONES Jr, D. E., & HOLTS, W. G. (1973). Expansive Soils - The Hidden Disaster. *American Society of Civil Engineers*, 43(8).



JONES, L., & J. I. (2012). Expansive soils. Institution of Civil Engineers.

JORGE VICTOR JOSE ZEGARRA PELLANNE, & GUILLERMO JOSE ZAVALA ROSELL. (2011). Mecanica de Suelos.

JUÁREZ, E. Y, & RICO, A. (2005). Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Tomo I.

MA, X., BRUCKARD, W. J., & HOLMES, R. (2009). Effect of collector, pH and ionic strength on the cationic flotation of kaolinite. *International Journal of Mineral Processing*, 93(1). <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2009.05.007>

MARR, S. A., GILBERT, R. B., & RAUCH, A. F. (2004). A Practical Method for Predicting Expansive Soil Behavior. [https://doi.org/10.1061/40744\(154\)103](https://doi.org/10.1061/40744(154)103)

MC GRAW HILL. (2022). Análisis de correlación y regresión.

MIRET-ROIG, N. (2022). Expansive Soils.

MONJE, C. (2011). Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa Guía didáctica.

MONTERO VEGA, A. (2020). Contexto histórico del origen de la Ética de la investigación científica y su fundamentación filosófica. *Revista Ethika+*, 1. <https://doi.org/10.5354/2452-6037.2020.57079>

MTC. (2016). Manual de Carreteras.

MTC - MANUAL DE ENSAYOS DE MATERIALES. (2016). Manual Ensayo de Materiales.

MUHAMMAD, S., WASEEM, M., ULLAH, T., SHAH, F., AHMAD, W., & AHMAD, N. (2021). Geochemical and geotechnical characterization of expansive soils.

MUSSO, MARCOS. (2013). Directrices para identificar y cuantificar suelos expansivos en infraestructura civil.

ORDOÑEZ, J., AUVINET, G., & MOISES, J. (2015). Caracterizacion del subsuelo y analisis de riesgos geotecnicos asociados a las arcillas expansivas de la ciudad de Tuxtla Gutierrez. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 16(3).

P.G. RAKARADDI, V. G. (2015). Establishing relationship Between CBR with different soil Properties. 1-90.

PERALTA TINGAL, S. P., CERRÓN HOLGADO, K. L., CERRÓN ESTÉVEZ, N. L., CARRASCO BOZA, C. A., & QUISPE ARROYO, K. W. (2021). Caracterización de arcillas expansivas y mitigación de riesgos.

PÉREZ ESPIGARES, P. (2018). «Ética de la investigación científica». *Revista de Fomento Social*. <https://doi.org/10.32418/rfs.2018.289.1439>

RODRIGUEZ, A. (2016). Mecánica de suelos I. Geomecánica para ingenieros.



RODRÍGUEZ, W. (2018). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica - Suelos y Cimentaciones. Patología Estructural y Funcional.

ROSALES, D. (2014). Mejoramiento de suelos expansivos mediante inclusiones de fibras.

SANTI, F. (2015). Vulnerabilidad y ética de la investigación social: perspectivas actuales. Revista Latinoamericana de Bioética, 15(29-2). <https://doi.org/10.18359/rlbi.535>

SEED, H. B., WOODWARD, R. J., & LUNDGREN, R. (1962). Prediction of Swelling Potential for Compacted Clays. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 88(3). <https://doi.org/10.1061/jsfeaq.0000431>

SETYO MUNTOHAR, A. (2006). Swelling characteristics and improvement of expansive soil with rice husk ash. En Expansive Soils. <https://doi.org/10.1201/9780203968079.ch30>

SI, J., ZHANG, S., & NIU, Y. (2023). PS-InSAR and UAV technology used in the stability study of Ankang expansi.



ANEXOS



Anexo A

Título: Variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas identificados en la ciudad de Abancay – 2024

Tabla 46 — Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES			METODOLOGÍA																											
<p>Problema general: ¿Cómo se manifiesta la variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas identificados en la ciudad de Abancay durante el año 2024?</p> <p>Problemas específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo varía la expansión de los suelos arcillosos bajo cargas estáticas en función del tiempo de exposición experimental? • ¿Qué grado de asociación existe entre la expansión de los suelos arcillosos bajo cargas estáticas y el Índice de Soporte California (CBR)? • ¿De qué manera los parámetros geotécnicos pueden ser utilizados para estimar el CBR al 95% del suelo bajo cargas estáticas en la ciudad de Abancay? 	<p>Objetivo general: Analizar la variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas identificados en la ciudad de Abancay durante el año 2024.</p> <p>Objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar la variabilidad de la expansión de los suelos arcillosos bajo cargas estáticas en función del tiempo de exposición experimental. • Determinar el grado de asociación entre la expansión de los suelos arcillosos bajo cargas estáticas y el Índice de Soporte California (CBR). • Estimar el CBR del suelo mediante el uso de la regresión Ridge a partir de parámetros geotécnicos en la ciudad de Abancay. 	<p>Hipótesis general: La expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas presenta una variabilidad significativa en la ciudad de Abancay durante el año 2024</p> <p>Hipótesis específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La expansión de los suelos arcillosos bajo cargas estáticas presenta variaciones significativas en función del tiempo de exposición experimental. • Existe una asociación significativa entre la expansión de los suelos arcillosos bajo cargas estáticas y el Índice de Soporte California (CBR). • El uso de la regresión Ridge aplicado a los parámetros geotécnicos permitirá estimar con un nivel de error aceptable el CBR del suelo de la ciudad de Abancay. 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>DIMENSIÓN</th> <th>INDICADORES</th> <th>UNIDAD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3">VARIABLE: Variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas</td> </tr> <tr> <td>- Características geotécnicas</td> <td>- Contenido de humedad - Límites de Atterberg</td> <td>- porcentaje (%) - Valores numéricos del LL, PL, e IP</td> </tr> <tr> <td>- Cambio Volumétrico</td> <td>- Granulometría</td> <td>- Porcentaje (%)</td> </tr> <tr> <td>- Tiempo de exposición experimental</td> <td>- Expansión</td> <td>- porcentaje (%)</td> </tr> <tr> <td>- Tiempo de exposición experimental</td> <td>- Tiempo de exposición del ensayo</td> <td>- Horas (24, 48, 72, 96 horas)</td> </tr> <tr> <td colspan="3">INDICADOR DE RESISTENCIA: Índice de Soporte California (CBR)</td> </tr> <tr> <td>- Comportamiento bajo Cargas Estática (Proctor)</td> <td>- Densidad máxima seca - Contenido Optimo de humedad</td> <td>- (g/cm³): - porcentaje (%)</td> </tr> <tr> <td>- Resistencia del Suelo</td> <td>- Valor CBR</td> <td>- Porcentaje (%)</td> </tr> </tbody> </table>			DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD	VARIABLE: Variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas			- Características geotécnicas	- Contenido de humedad - Límites de Atterberg	- porcentaje (%) - Valores numéricos del LL, PL, e IP	- Cambio Volumétrico	- Granulometría	- Porcentaje (%)	- Tiempo de exposición experimental	- Expansión	- porcentaje (%)	- Tiempo de exposición experimental	- Tiempo de exposición del ensayo	- Horas (24, 48, 72, 96 horas)	INDICADOR DE RESISTENCIA: Índice de Soporte California (CBR)			- Comportamiento bajo Cargas Estática (Proctor)	- Densidad máxima seca - Contenido Optimo de humedad	- (g/cm ³): - porcentaje (%)	- Resistencia del Suelo	- Valor CBR	- Porcentaje (%)	<p>Tipo de investigación: aplicada</p> <p>Nivel: Descriptivo – correlacional</p> <p>Diseño: Experimental</p> <p>Población: Suelos arcillosos identificados en la ciudad de Abancay.</p> <p>Muestra: Muestras representativas de suelos arcillosos (8 puntos).</p>
			DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD																												
VARIABLE: Variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas																																	
- Características geotécnicas	- Contenido de humedad - Límites de Atterberg	- porcentaje (%) - Valores numéricos del LL, PL, e IP																															
- Cambio Volumétrico	- Granulometría	- Porcentaje (%)																															
- Tiempo de exposición experimental	- Expansión	- porcentaje (%)																															
- Tiempo de exposición experimental	- Tiempo de exposición del ensayo	- Horas (24, 48, 72, 96 horas)																															
INDICADOR DE RESISTENCIA: Índice de Soporte California (CBR)																																	
- Comportamiento bajo Cargas Estática (Proctor)	- Densidad máxima seca - Contenido Optimo de humedad	- (g/cm ³): - porcentaje (%)																															
- Resistencia del Suelo	- Valor CBR	- Porcentaje (%)																															



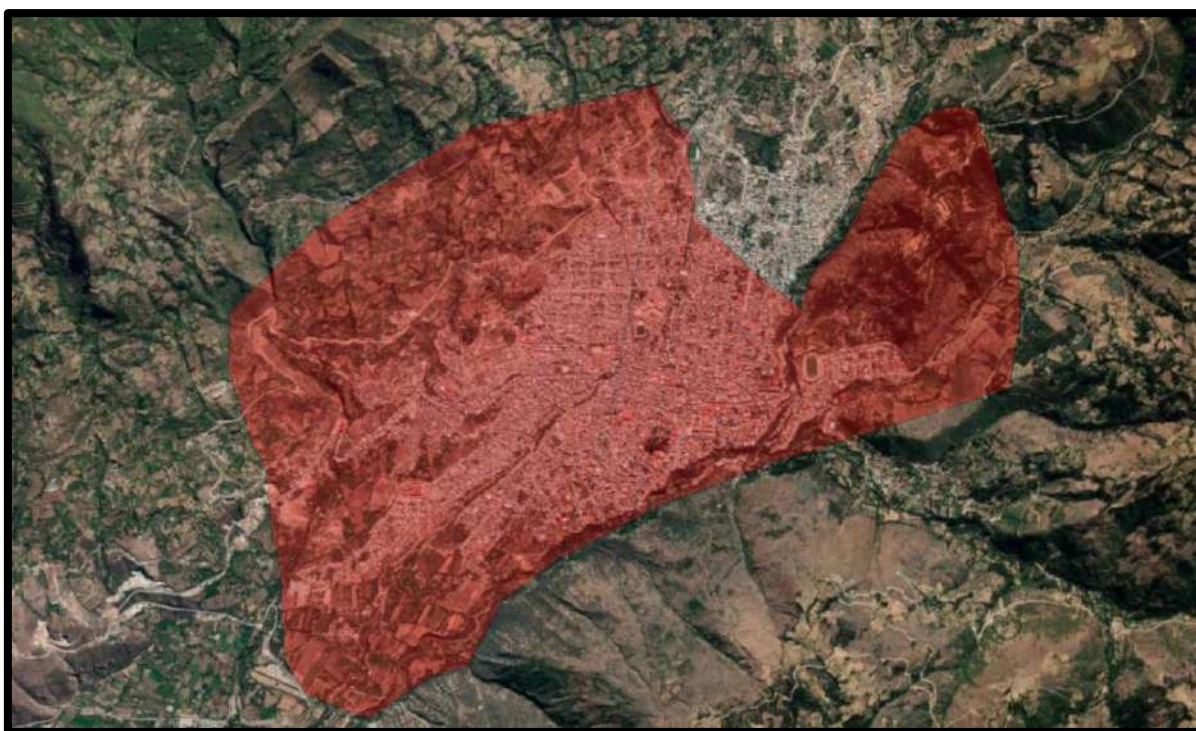


Figura 58 — Delimitación del estrato de muestra

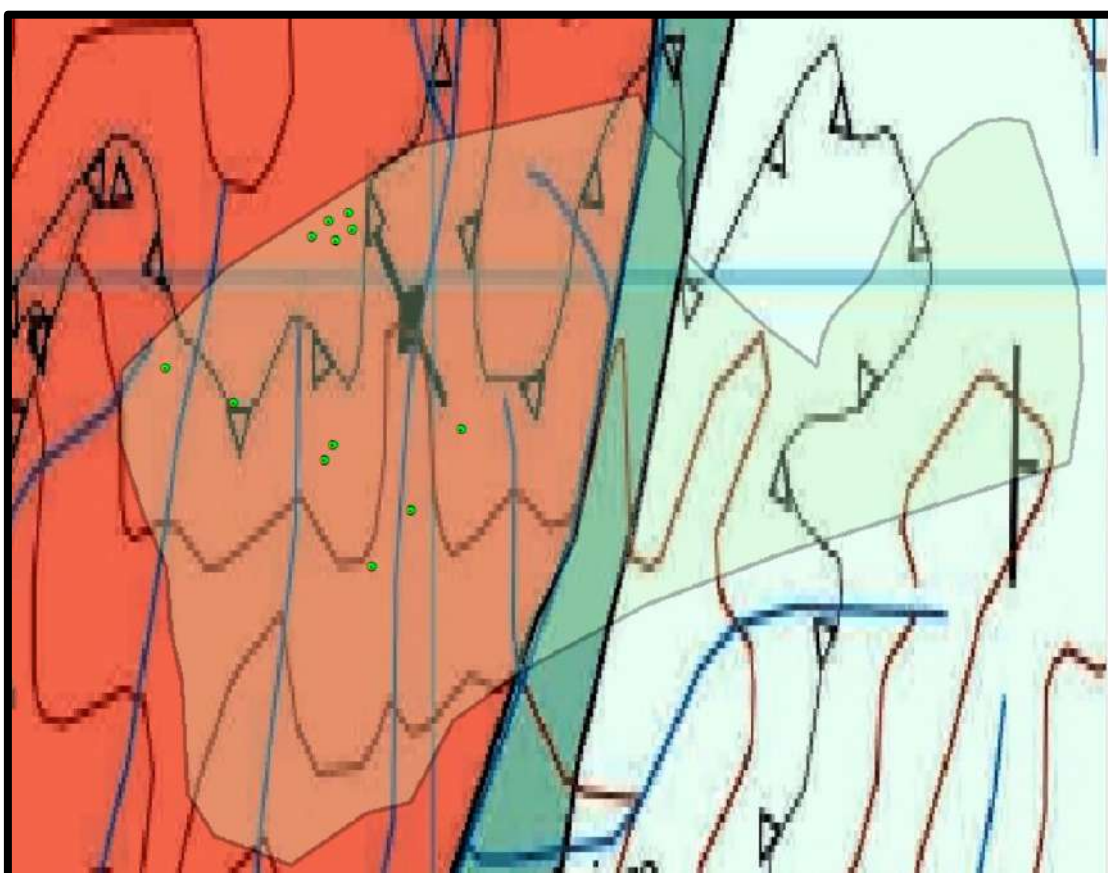


Figura 59 — Extrapolación de resultados

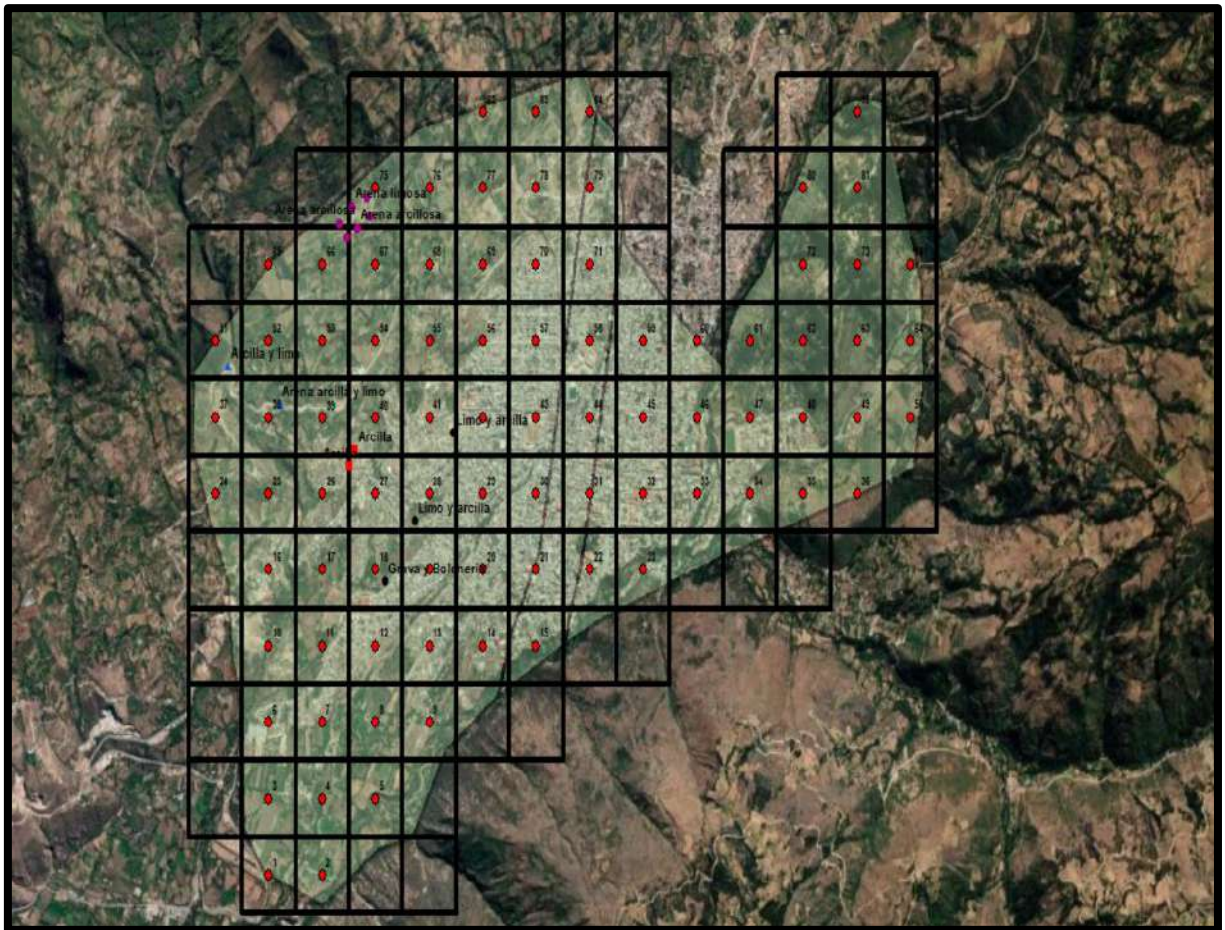


Figura 60 — Selección por racimos

Z	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	Valores más utilizados (Bilateral)		Valores más utilizados (Unilateral)	
											%	Z	%	Z (+/-)
-4,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99%	2,58	99%	2,33
-3,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95%	1,96	95%	1,64
-3,8	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	90%	1,65	90%	1,28
-3,7	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	85%	1,44	85%	1,04
-3,6	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	80%	1,28	80%	0,84
-3,5	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002				
-3,4	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003				
-3,3	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004				
-3,2	0,0007	0,0007	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005				
-3,1	0,001	0,0009	0,0009	0,0009	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0007	0,0007				
-3,0	0,0013	0,0013	0,0013	0,0012	0,0012	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,001				
-2,9	0,0019	0,0018	0,0018	0,0017	0,0016	0,0016	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014				
-2,8	0,0026	0,0025	0,0024	0,0023	0,0023	0,0022	0,0021	0,0021	0,002	0,0019				
-2,7	0,0035	0,0034	0,0033	0,0032	0,0031	0,003	0,0029	0,0028	0,0027	0,0026				
-2,6	0,0047	0,0045	0,0044	0,0043	0,0041	0,004	0,0039	0,0038	0,0037	0,0036				
-2,5	0,0062	0,006	0,0059	0,0057	0,0055	0,0054	0,0052	0,0051	0,0049	0,0048				
-2,4	0,0082	0,008	0,0078	0,0075	0,0073	0,0071	0,0069	0,0068	0,0066	0,0064				
-2,3	0,0107	0,0104	0,0102	0,0099	0,0096	0,0094	0,0091	0,0089	0,0087	0,0084				
-2,2	0,0139	0,0136	0,0132	0,0129	0,0125	0,0122	0,0119	0,0116	0,0113	0,011				
-2,1	0,0179	0,0174	0,017	0,0166	0,0162	0,0158	0,0154	0,015	0,0146	0,0143				
-2,0	0,0228	0,0222	0,0217	0,0212	0,0207	0,0202	0,0197	0,0192	0,0188	0,0183				
-1,9	0,0287	0,0281	0,0274	0,0268	0,0262	0,0256	0,025	0,0244	0,0239	0,0233				
-1,8	0,0359	0,0351	0,0344	0,0336	0,0329	0,0322	0,0314	0,0307	0,0301	0,0294				
-1,7	0,0446	0,0436	0,0427	0,0418	0,0409	0,0401	0,0392	0,0384	0,0375	0,0367				
-1,6	0,0548	0,0537	0,0526	0,0516	0,0505	0,0495	0,0485	0,0475	0,0465	0,0455				
-1,5	0,0668	0,0655	0,0643	0,063	0,0618	0,0606	0,0594	0,0582	0,0571	0,0559				
-1,4	0,0808	0,0793	0,0778	0,0764	0,0749	0,0735	0,0721	0,0708	0,0694	0,0681				
-1,3	0,0968	0,0951	0,0934	0,0918	0,0901	0,0885	0,0869	0,0853	0,0838	0,0823				
-1,2	0,1151	0,1131	0,1112	0,1093	0,1075	0,1056	0,1038	0,102	0,1003	0,0985				
-1,1	0,1357	0,1335	0,1314	0,1292	0,1271	0,1251	0,123	0,121	0,119	0,117				
-1,0	0,1587	0,1562	0,1539	0,1515	0,1492	0,1469	0,1446	0,1423	0,1401	0,1379				
-0,9	0,1841	0,1814	0,1788	0,1762	0,1736	0,1711	0,1685	0,166	0,1635	0,1611				
-0,8	0,2119	0,209	0,2061	0,2033	0,2005	0,1977	0,1949	0,1922	0,1894	0,1867				
-0,7	0,242	0,2389	0,2358	0,2327	0,2296	0,2266	0,2236	0,2206	0,2177	0,2148				
-0,6	0,2743	0,2709	0,2676	0,2643	0,2611	0,2578	0,2546	0,2514	0,2483	0,2451				
-0,5	0,3085	0,305	0,3015	0,2981	0,2946	0,2912	0,2877	0,2843	0,281	0,2776				
-0,4	0,3446	0,3409	0,3372	0,3336	0,33	0,3264	0,3228	0,3192	0,3156	0,3121				
-0,3	0,3821	0,3783	0,3745	0,3707	0,3669	0,3632	0,3594	0,3557	0,352	0,3483				
-0,2	0,4207	0,4168	0,4129	0,409	0,4052	0,4013	0,3974	0,3936	0,3897	0,3859				
-0,1	0,4602	0,4562	0,4522	0,4483	0,4443	0,4404	0,4364	0,4325	0,4286	0,4247				
0	0,5	0,504	0,508	0,512	0,516	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359				
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753				
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,591	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141				
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,648	0,6517				
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,67	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879				
0,5	0,6915	0,695	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,719	0,7224				
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549				
0,7	0,758	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852				
0,8	0,7881	0,791	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133				
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,834	0,8365	0,8389				
1	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621				
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,877	0,879	0,881	0,883				
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,898	0,8997	0,9015				
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177				
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319				
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,937	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441				
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545				
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633				
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706				
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,975	0,9756	0,9761	0,9767				
2	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817				
2,1	0,9821	0,9826	0,983	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,985	0,9854	0,9857				
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,989				
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916				
2,4	0,9918	0,992	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936				
2,5	0,9938	0,994	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952				
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,996	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964				
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,997	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974				
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,998	0,9981				
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986				
3	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,999	0,999				
3,1	0,999	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993				
3,2	0,9993	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995				
3,3	0,9995	0,9995	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997				
3,4	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9998				
3,5	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998				
3,6	0,9998	0,9998	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999				
3,7	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999				
3,8	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999				
3,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				

Figura 61 — Muestreo aleatorio



Puntos de muestreo	Identificación Visual
3	Apariencia de suelo no arcilloso
4	Apariencia de suelo no arcilloso
5	Apariencia de suelo no arcilloso
7	Apariencia de suelo no arcilloso
8	Apariencia de suelo no arcilloso
12	Apariencia de suelo no arcilloso
13	Apariencia de suelo no arcilloso
16	Apariencia de Suelo arcilloso
17	Apariencia de Suelo arcilloso
18	Apariencia de Suelo arcilloso
20	Apariencia de Suelo arcilloso
27	Apariencia de Suelo arcilloso
30	Apariencia de Suelo arcilloso
31	Apariencia de Suelo arcilloso
32	Apariencia de Suelo arcilloso
33	Apariencia de Suelo arcilloso
38	Apariencia de Suelo arcilloso
39	Apariencia de Suelo arcilloso
41	Apariencia de Suelo arcilloso
43	Apariencia de Suelo arcilloso
44	Apariencia de Suelo arcilloso
46	Apariencia de Suelo arcilloso
47	Apariencia de Suelo arcilloso
50	Apariencia de Suelo arcilloso
52	Apariencia de Suelo arcilloso
53	Apariencia de Suelo arcilloso
54	Apariencia de Suelo arcilloso
55	Apariencia de Suelo arcilloso
56	Apariencia de Suelo arcilloso
60	Apariencia de Suelo arcilloso
61	Apariencia de Suelo arcilloso
64	Apariencia de Suelo arcilloso
65	Apariencia de Suelo arcilloso
67	Apariencia de Suelo arcilloso
68	Apariencia de Suelo arcilloso
69	Apariencia de Suelo arcilloso
70	Apariencia de Suelo arcilloso
71	Apariencia de Suelo arcilloso
72	Apariencia de Suelo arcilloso
74	Apariencia de Suelo arcilloso
76	Apariencia de Suelo arcilloso
77	Apariencia de Suelo arcilloso
80	Apariencia de Suelo arcilloso
82	Apariencia de Suelo arcilloso
83	Apariencia de Suelo arcilloso
84	Apariencia de Suelo arcilloso

Figura 62 — Identificación de suelos arcillosos

Tabla 47 — Descripción de suelos

Talud	Altura 01(m)	Altura 02(m)	Altura 03(m)	Descripción(m)	Observaciones
T 14	6			Arcilla arenosa	
T 20	2.5			Arcilla con grava	
T 27	2.5			Arcilla con grava	
T 37	50			Poca arcilla	
T 38	50			Arcilla y arena	
T 45	2.5			Arcilla marrón rojiza clara	
T 51	1.6			Arcilla roja con piedra	
calicata	profundidad 01(m)	profundidad 02(m)	profundidad 03(m)	Descripción(m)	observaciones
Pz 02	2.5			Arcilla limosa	
Pz 05	2.5			Arcilla con poca grava	
Pz 06	2.4			Arcilla con poca grava	
Pz 09	1.25	2.4		Arcilla limosa	
Pz 10	0.5			Arcilla	
Pz 13	1.70			Arcilla limosa	
Pz 25	1.10	204		Arcilla marron	
Pz 27	2.50			Bolsonada de arcilla	
Pz 32	1.70			Bolsonada de arcilla	
Pz 34	2.20			Arcilla marron oscura	
Pz 35	0.90	2.30		Bolsonada de arcilla marrón, estrato de arcilla	
Pz 36	2.5			Arcilla con piedra	
Pz 38	2.38			Arcilla limosa	
Pz 40	1.07			Arcilla limosa	
Pz 42	2.40			Arcilla con poca grava	
Pz 47	0.7			Arcilla limosa	
Pz 48	0.16			Arcilla marron	
Pz 49	1.15			Estrato de arcilla marrón oscura	
Pz 51	0.3	2.10		Arcilla marron oscura, arcilla limosa	
Pz 52	0.80	2.40		Arcilla limosa marron oscura	
Pz 58	2.50			Arcilla marron	
Pz 62	0.5			Arcilla amarillenta	
Pz 64	1.70			Arcilla marrón	
Pz 65	2.50			Arcilla gravosa	
Pz 71	2.40			Arcilla con grava	
Pz 74	0.70			Bolsonada de arcilla marrón	
Pz 76	2.30			Arcilla limosa marrón	
Pz 77	0.85	1.4	2.5	Arcilla limosa, arcilla marrón, arcilla rojiza	
Pz 79	0.90	2.40	2.50	Arcilla marrón oscura, arcilla limosa, arcilla marrón oscura	

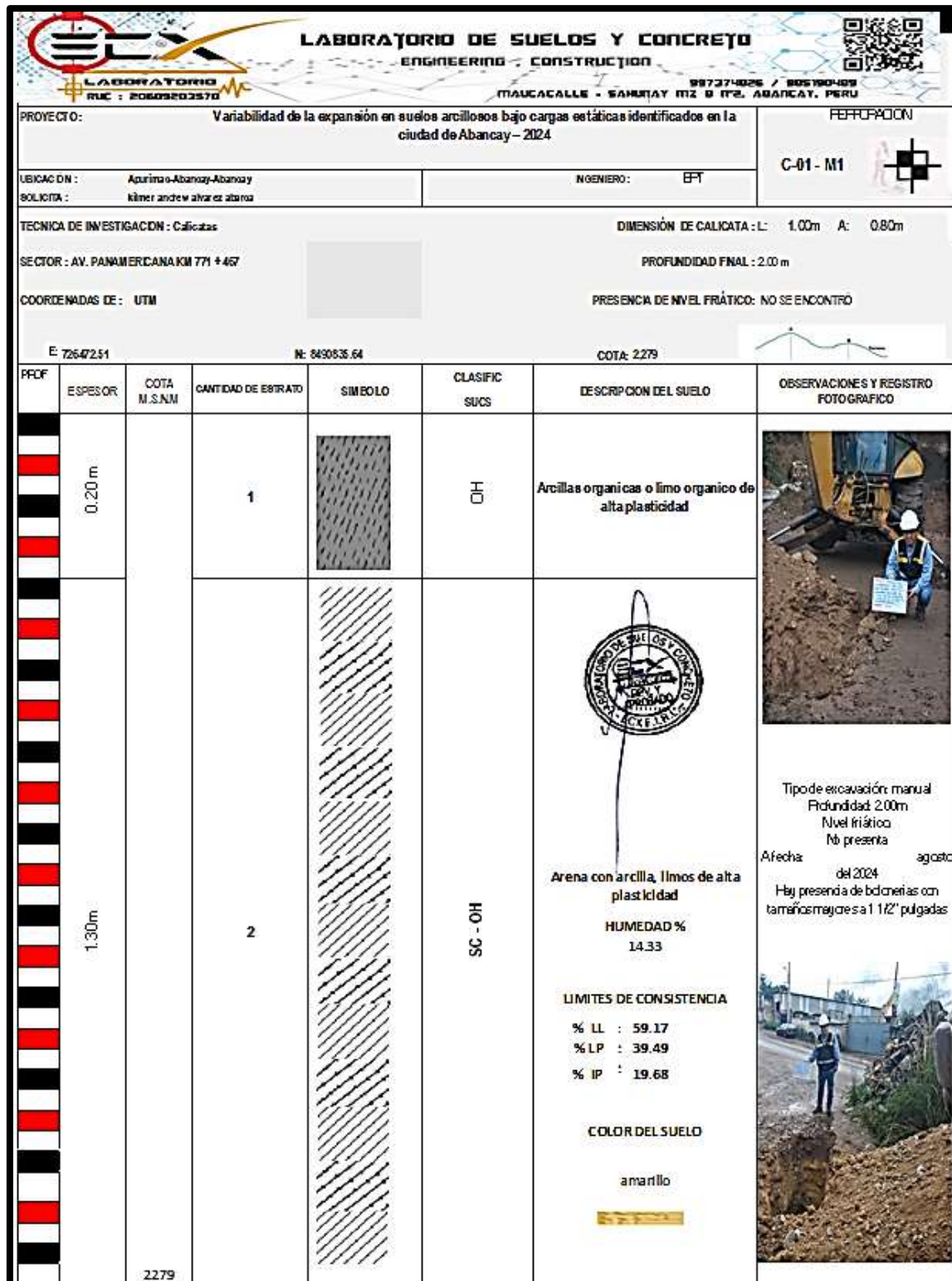


Figura 63 — Perfil estratigráfico C-1

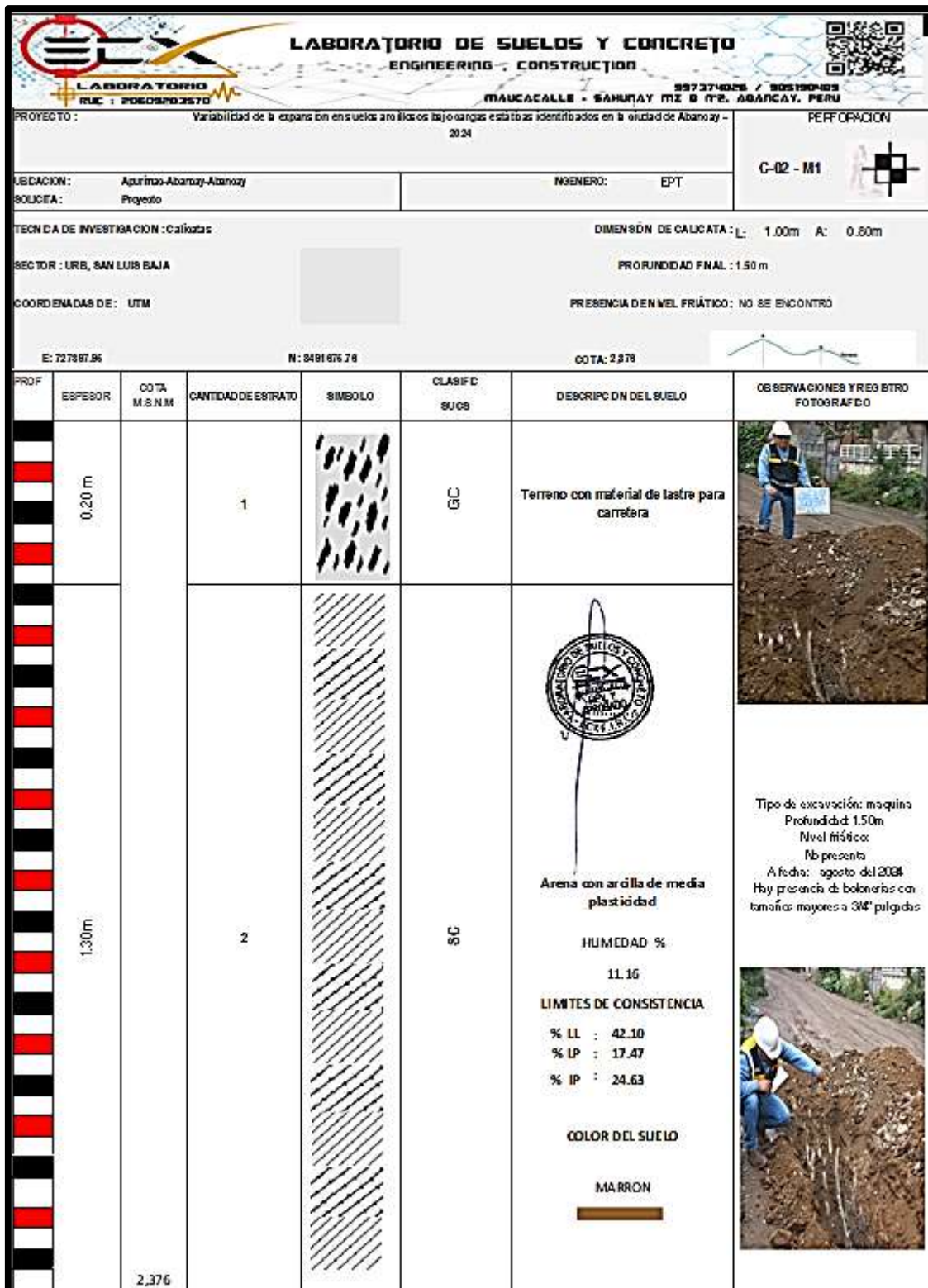


Figura 64 — Perfil estratigráfico C-2

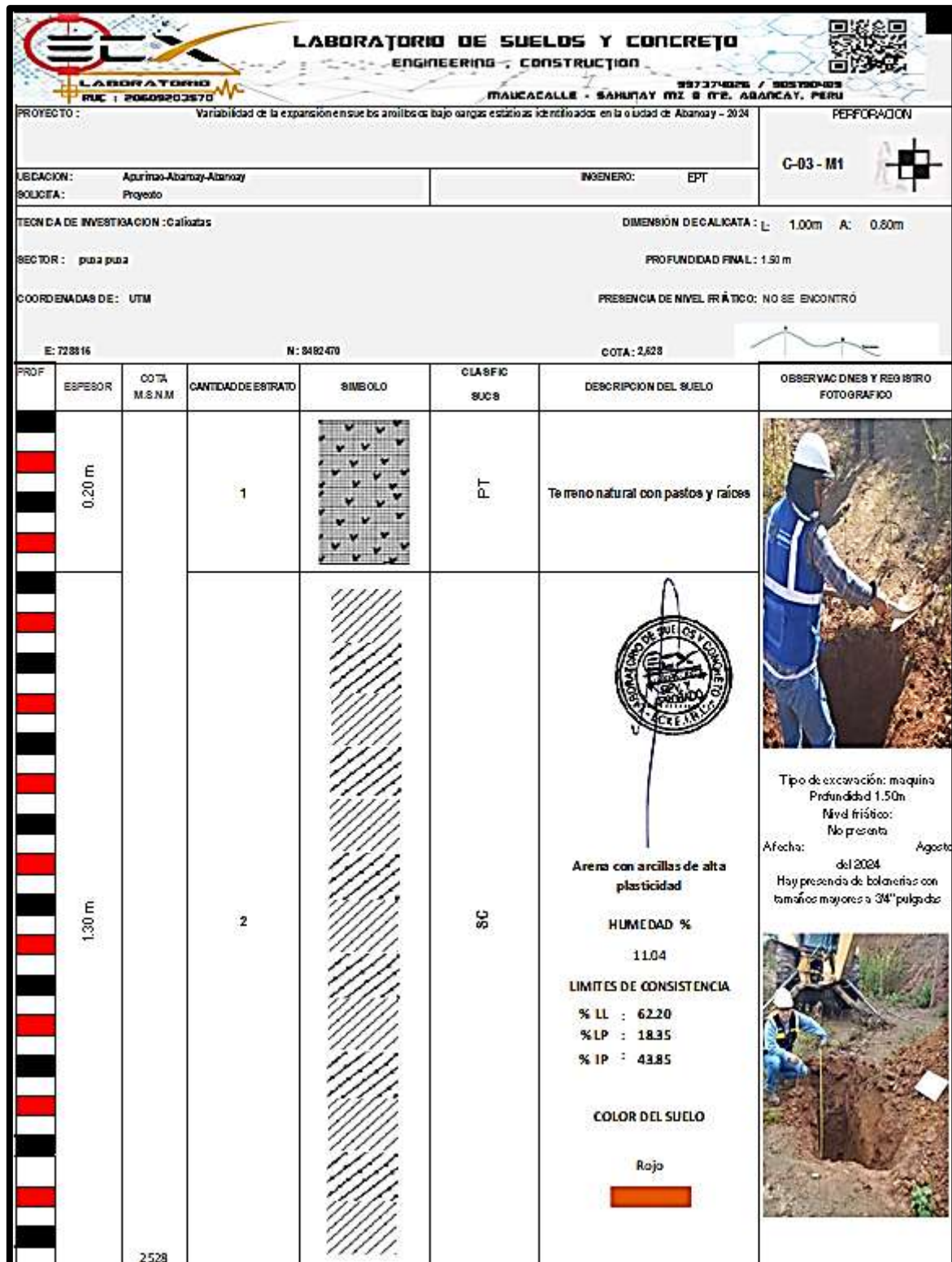


Figura 65 — Perfil estratigráfico C-3



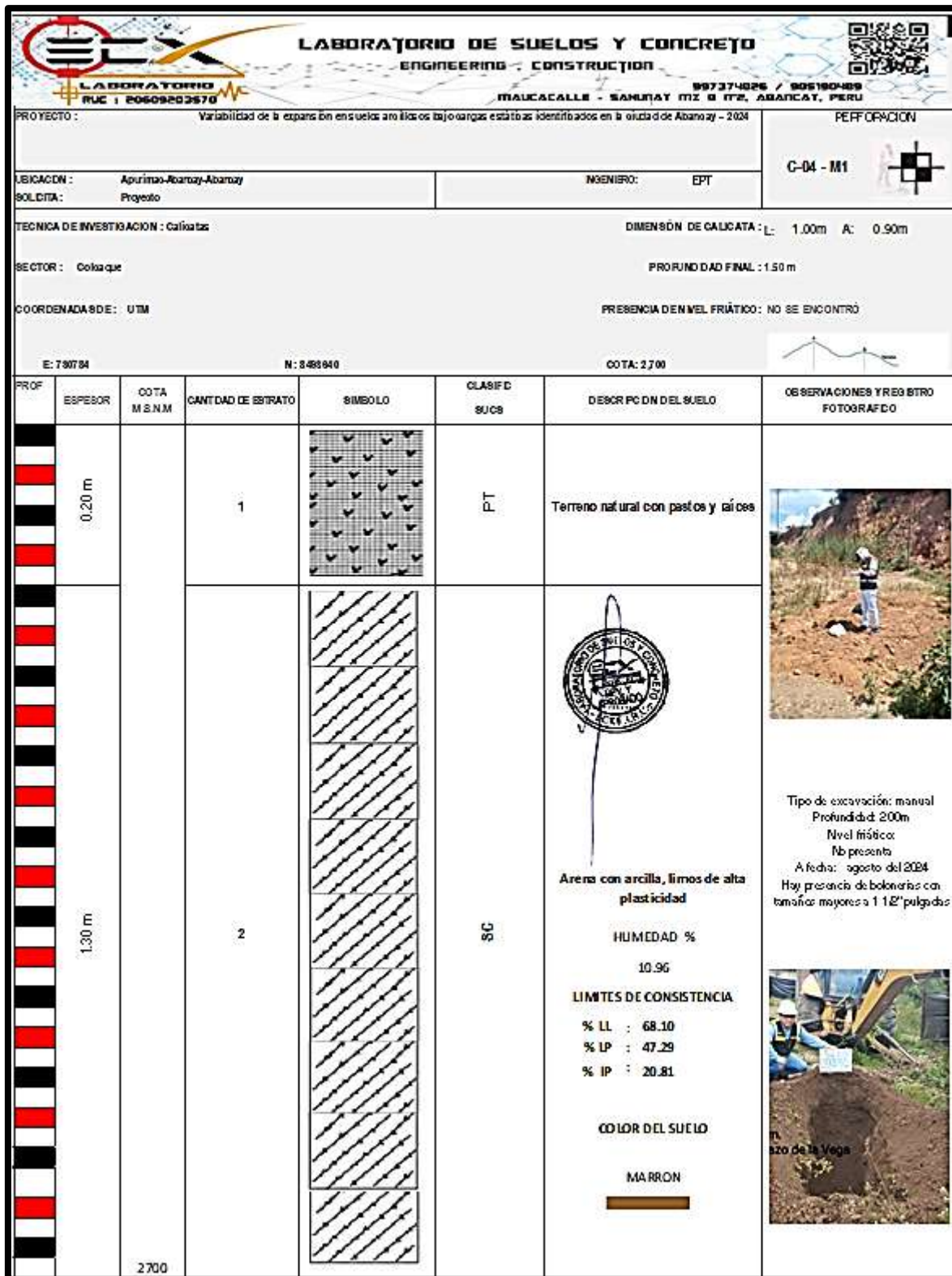


Figura 66 — Perfil estratigráfico C-4

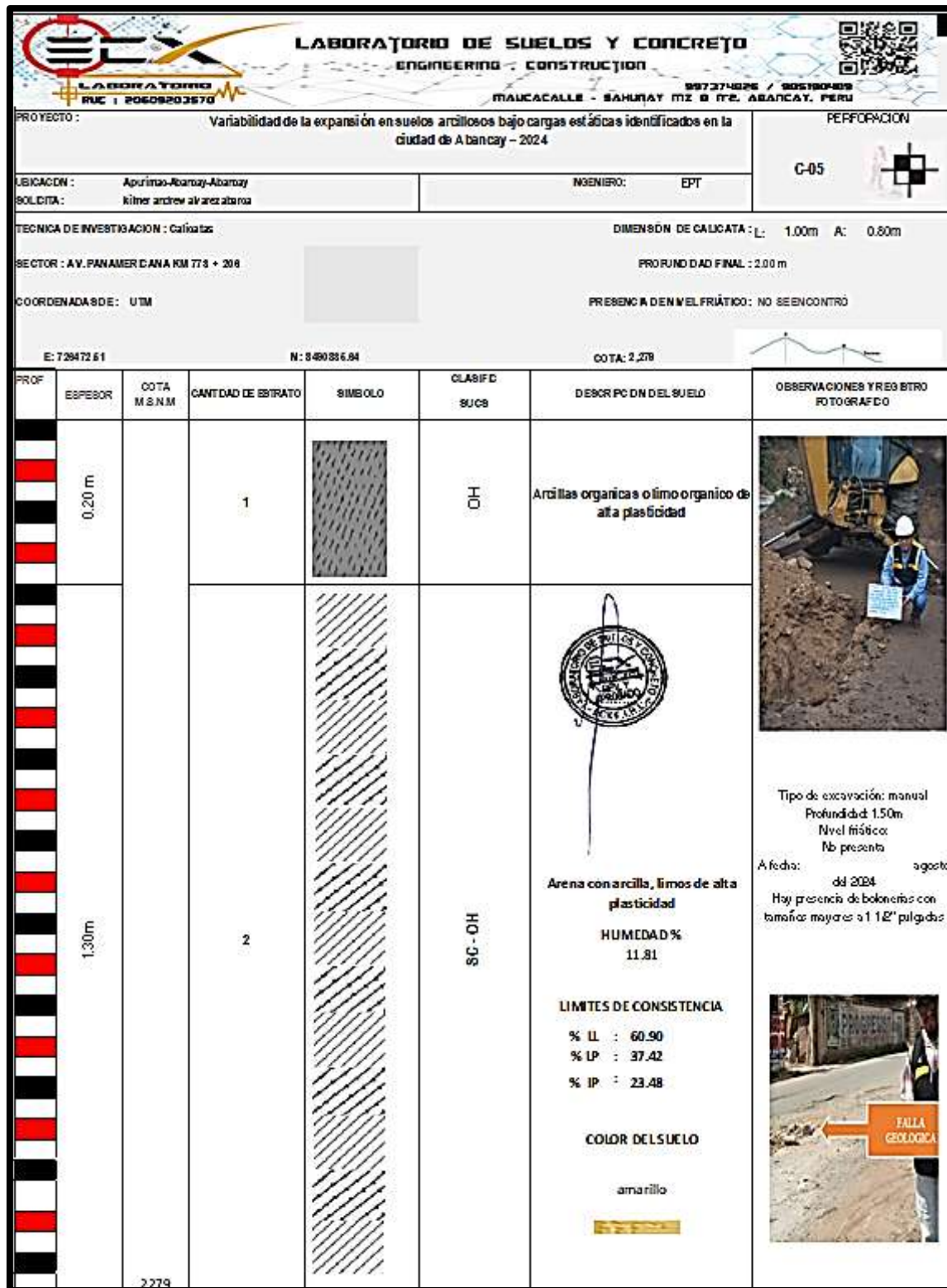


Figura 67 — Perfil estratigráfico C-5

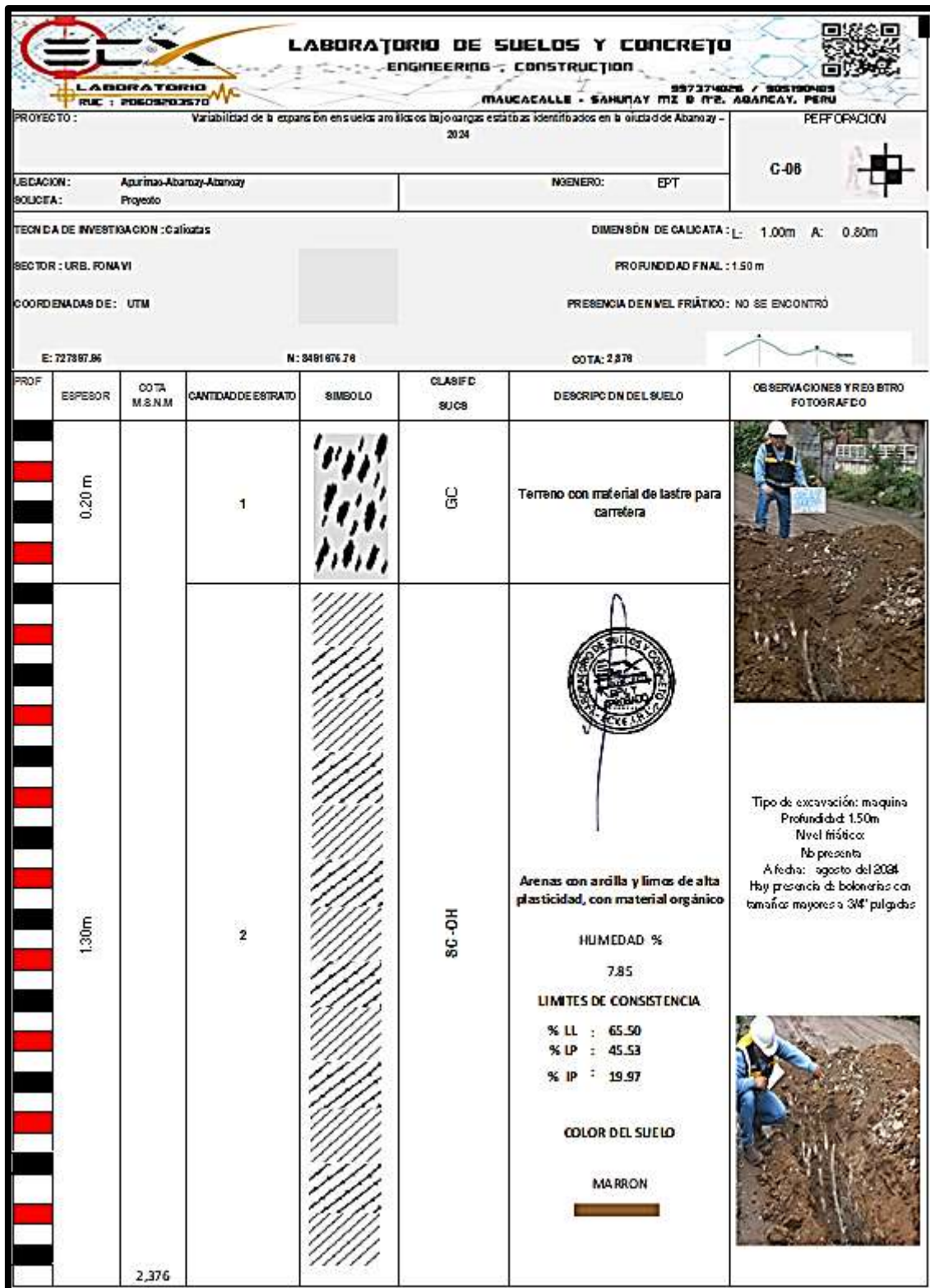


Figura 68 — Perfil estratigráfico C-6

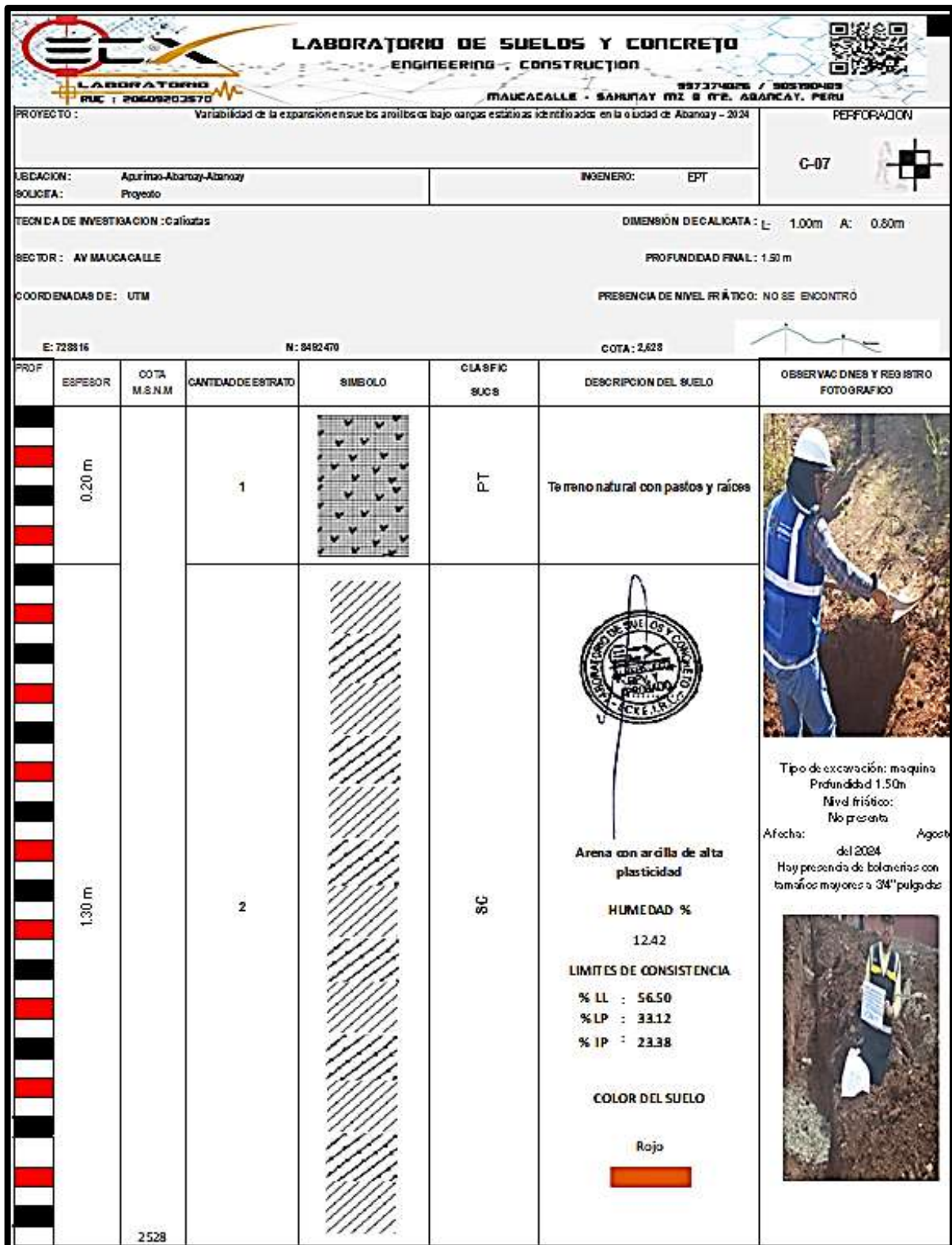


Figura 69 — Perfil estratigráfico C-7

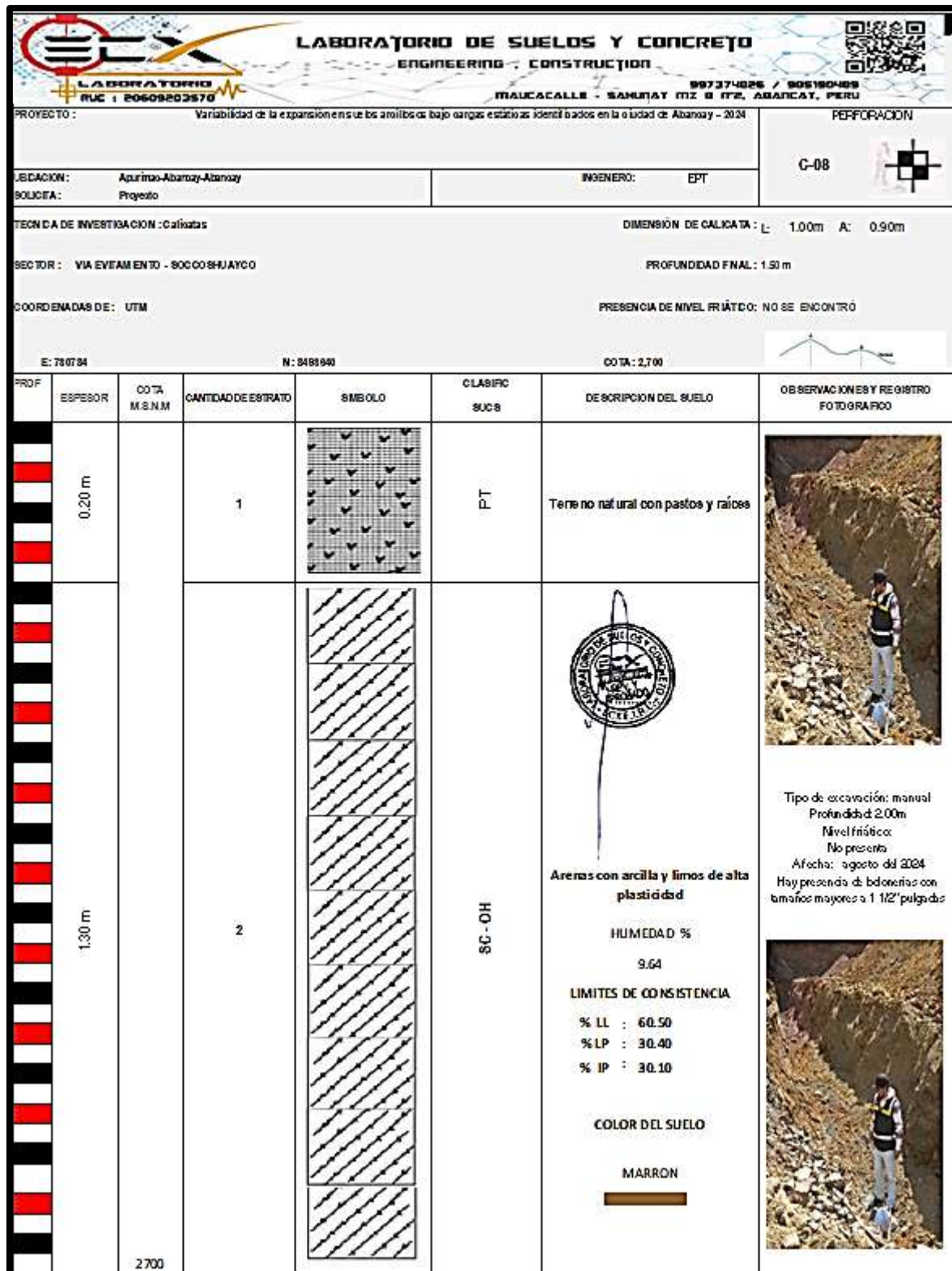


Figura 70 — Perfil estratigráfico C-8

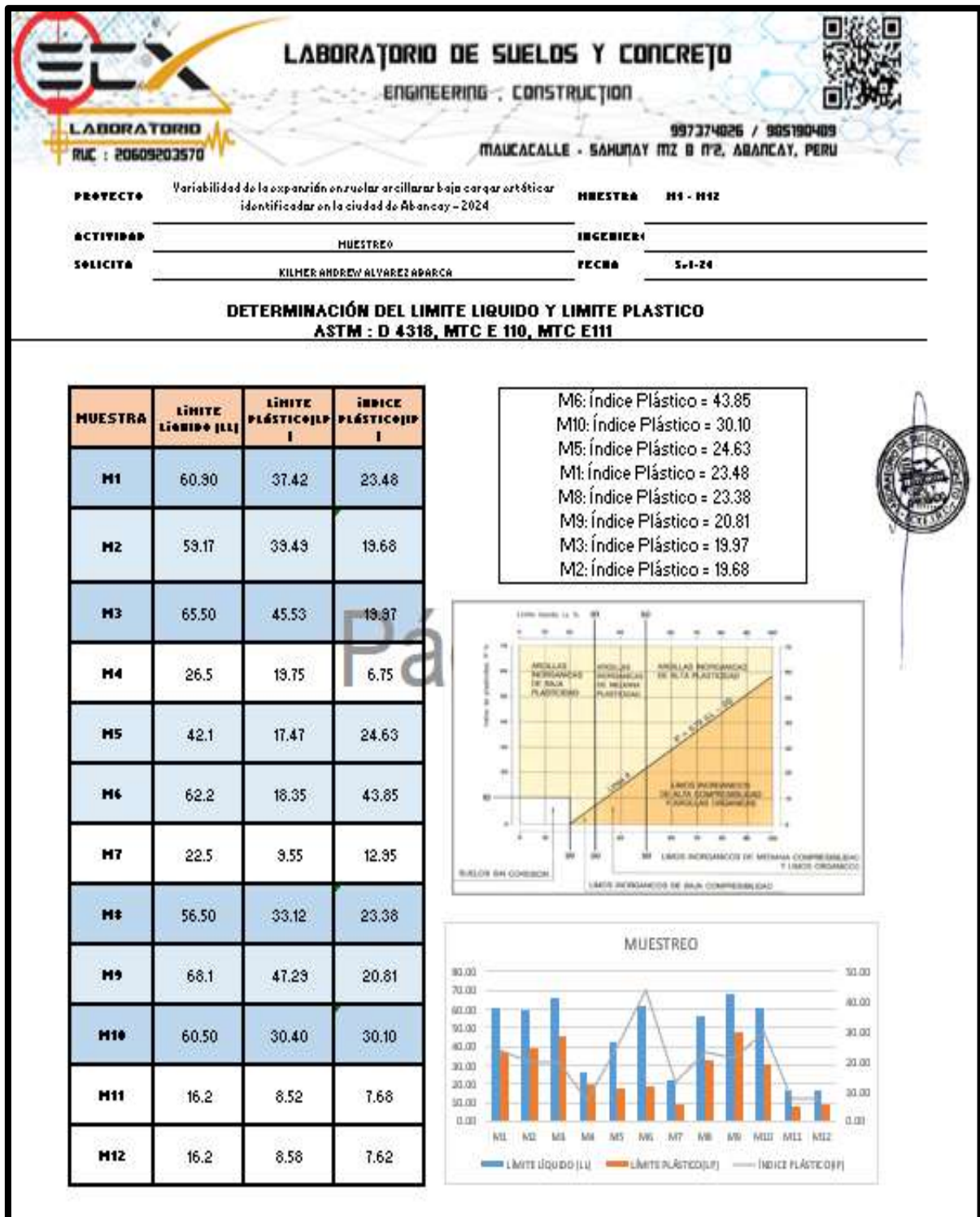


Figura 71 — Índice de plasticidad

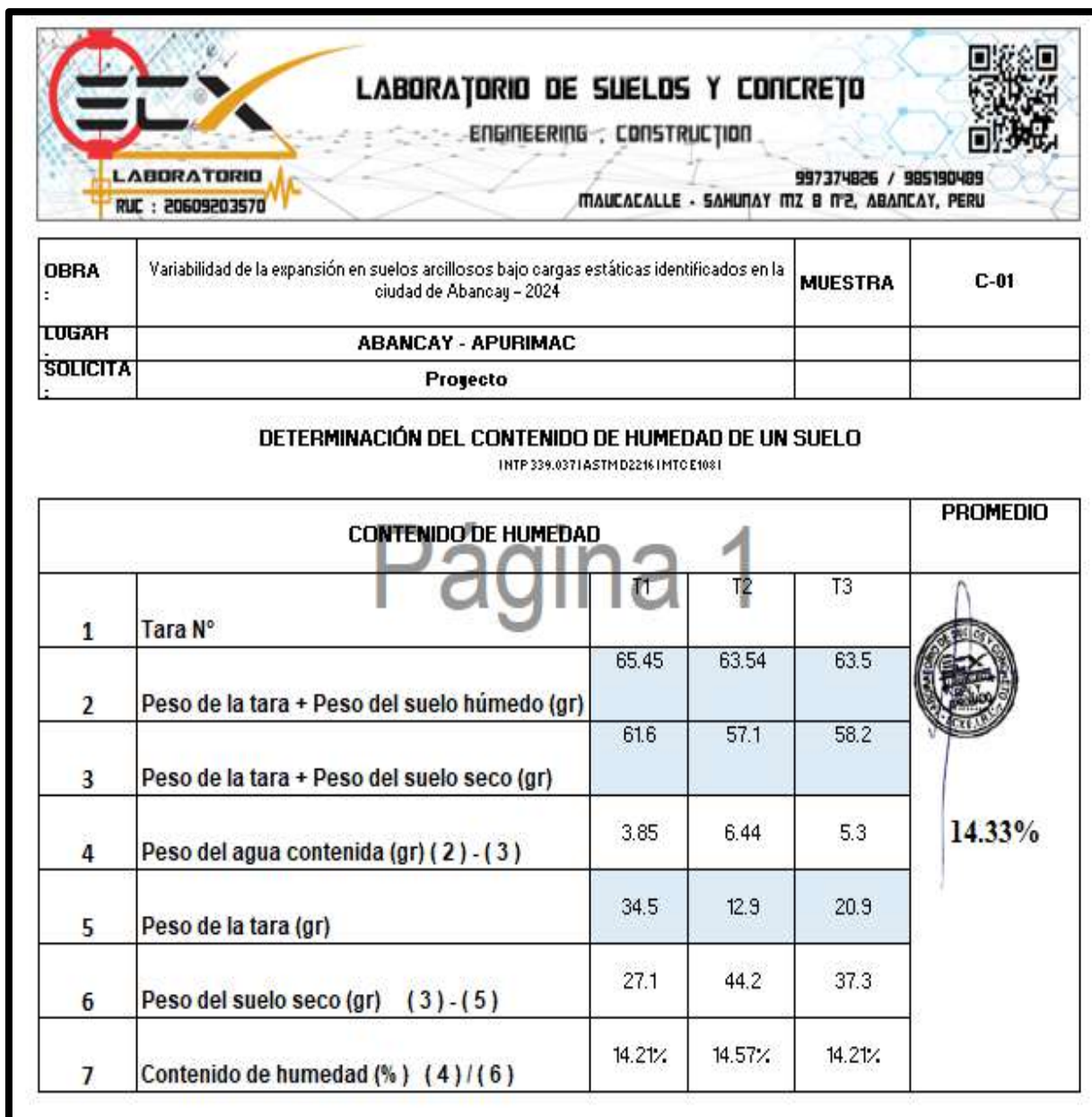


Figura 72 — Contenido de humedad C-1




 LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO ENGINEERING · CONSTRUCTION					
LABORATORIO RUC : 20609203570		997374826 / 985190489 MAUCACALLE - SANUNAY MZ B N°2, ABANCAY, PERU			
OBRA :	Variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas identificados en la ciudad de Abancay - 2024	MUESTRA	C-02		
LUGAR :	ABANCAY - APURIMAC				
SOLICITANTE :	Proyecto				
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO <small>[NTP 333.037 ASTM D2216 MTC E106]</small>					
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Página 1					
				PROMEDIO	
1	Tara N°	T1	T2	T3	 11.16%
2	Peso de la tara + Peso del suelo húmedo (gr)	66.7	64.4	65.5	
3	Peso de la tara + Peso del suelo seco (gr)	63.5	61.4	62.2	
4	Peso del agua contenida (gr) (2) - (3)	3.2	3	3.3	
5	Peso de la tara (gr)	35	33.4	33.6	
6	Peso del suelo seco (gr) (3) - (5)	28.5	28	28.6	
7	Contenido de humedad (%) (4) / (6)	11.23%	10.71%	11.54%	

Figura 73 — Contenido de humedad C-2






 LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO ENGINEERING · CONSTRUCTION RUC : 20609203570						
OBRA :	Variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas identificados en la ciudad de Abancay - 2024			MUESTRA :	C-03	
LUGAR :	ABANCAY - APURIMAC					
SOCIETA :	Proyecto					
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO [NTP 333.031 ASTM D2216 MTC E108]						
CONTENIDO DE HUMEDAD					PROMEDIO	
		T1	T2	T3	 11.04%	
1	Tara N°					
2	Peso de la tara + Peso del suelo húmedo (gr)	53.5	38.5	47.2		
3	Peso de la tara + Peso del suelo seco (gr)	50.4	36.5	44.2		
4	Peso del agua contenida (gr) (2) - (3)	3.1	2	3		
5	Peso de la tara (gr)	22.9	18.6	16.1		
6	Peso del suelo seco (gr) (3) - (5)	27.5	17.9	28.1		
7	Contenido de humedad (%) (4) / (6)	11.27%	11.17%	10.68%		

Figura 74 — Contenido de humedad C-3




 LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO ENGINEERING . CONSTRUCTION RUC : 20609203570						
OBRA :	Variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas identificados en la ciudad de Abancay - 2024			MUESTRA :	C-04	
LUGAR	ABANCAY - APURIMAC					
SOLICITA	Proyecto					
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO [NTP 333.037 ASTM D2216 MTC E108]						
CONTENIDO DE HUMEDAD					PROMEDIO	
		T1	T2	T3	 10.96%	
1	Tara N°					
2	Peso de la tara + Peso del suelo húmedo (gr)	53.4	38.4	47.1		
3	Peso de la tara + Peso del suelo seco (gr)	50.3	36.4	44.2		
4	Peso del agua contenida (gr) (2) - (3)	3.1	2	2.9		
5	Peso de la tara (gr)	22.9	18.6	16.1		
6	Peso del suelo seco (gr) (3) - (5)	27.4	17.8	28.1		
7	Contenido de humedad (%) (4) / (6)	11.31%	11.24%	10.32%		

Figura 75 — Contenido de humedad C-4






 LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO ENGINEERING - CONSTRUCTION RUC : 20609203570					 997374826 / 985190489 MAUCACALLE - SANHUAY MZ 8 N°2, ABANCAY, PERU	
OBRA :	Variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas identificados en la ciudad de Abancay - 2024			MUESTRA :	C-05	
LUGAR :	ABANCAY - APURIMAC					
SOLICITA :	Proyecto					
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO [NTP 339.037 ASTM D2216 MTC E108]						
CONTENIDO DE HUMEDAD					PROMEDIO	
		T1	T2	T3	 11.81%	
1	Tara N°					
2	Peso de la tara + Peso del suelo húmedo (gr)	75.20	60.85	72.80		
3	Peso de la tara + Peso del suelo seco (gr)	70.54	57.5	68.3		
4	Peso del agua contenida (gr) (2) - (3)	4.66	3.35	4.5		
5	Peso de la tara (gr)	30.00	30.00	30.00		
6	Peso del suelo seco (gr) (3) - (5)	40.54	27.5	38.3		
7	Contenido de humedad (%) (4) / (6)	11.49%	12.18%	11.75%		

Figura 76 — Contenido de humedad C-5






 LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO ENGINEERING - CONSTRUCTION RUC : 20609203570					 997374826 / 985190489 MAUCACALLE - SAHUNAY MZ B N°2, ABANCAY, PERU	
OBRA	Variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas identificados en la ciudad de Abancay - 2024			MUESTRA	C-06	
LUGAR	ABANCAY - APURIMAC					
SOLICITA	Proyecto					
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO [NTP 339.037 ASTM D2216 MTC E108]						
CONTENIDO DE HUMEDAD					PROMEDIO	
		T1	T2	T3	 7.85%	
1	Tara N°					
2	Peso de la tara + Peso del suelo húmedo (gr)	85.5	82.8	83.5		
3	Peso de la tara + Peso del suelo seco (gr)	81.8	79.4	79.8		
4	Peso del agua contenida (gr) (2) - (3)	3.7	3.4	3.7		
5	Peso de la tara (gr)	34.5	34.4	34.5		
6	Peso del suelo seco (gr) (3) - (5)	47.3	45	45.3		
7	Contenido de humedad (%) (4) / (6)	7.82%	7.56%	8.17%		

Figura 77 — Contenido de humedad C-6




 LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO ENGINEERING · CONSTRUCTION RUC : 20609203570							
OBRA : Variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas identificados en la ciudad de Abancay - 2024			MUESTRA : C-07				
LUGAR : ABANCAY - APURIMAC							
SOCIETA : Proyecto							
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO [MTP 339.037 ASTM D2216 MTC E108]							
CONTENIDO DE HUMEDAD					PROMEDIO		
		T1	T2	T3	 12.42%		
1	Tara N°						
2	Peso de la tara + Peso del suelo húmedo (gr)	75.1	74.6	77.4			
3	Peso de la tara + Peso del suelo seco (gr)	68.7	68.9	71.9			
4	Peso del agua contenida (gr) (2) - (3)	6.4	5.7	5.5			
5	Peso de la tara (gr)	22.5	22.5	22.5			
6	Peso del suelo seco (gr) (3) - (5)	46.2	46.4	49.4			
7	Contenido de humedad (%) (4) / (6)	13.85%	12.28%	11.13%			

Figura 78 — Contenido de humedad C-7






 LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO ENGINEERING · CONSTRUCTION RUC : 20609203570					 997374826 / 985190489 MAUCACALLE · SANUNAY MZ B N°2, ABANCAY, PERU	
OBRA :	Variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas identificados en la ciudad de Abancay - 2024			MUESTRA :	C-08	
LUGAR :	ABANCAY - APURIMAC					
SOLICITA :	Proyecto					
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO [NTP 339.037 ASTM D2216 MTC E103]						
CONTENIDO DE HUMEDAD					PROMEDIO	
		T1	T2	T3	 9.64%	
1	Tara N°					
2	Peso de la tara + Peso del suelo húmedo (gr)	62.5	63.8	67.8		
3	Peso de la tara + Peso del suelo seco (gr)	58.9	59.9	63.5		
4	Peso del agua contenida (gr) (2) - (3)	3.6	3.9	4.3		
5	Peso de la tara (gr)	20	20	20		
6	Peso del suelo seco (gr) (3) - (5)	38.9	39.9	43.5		
7	Contenido de humedad (%) (4) / (6)	9.25%	9.77%	9.89%		

Figura 79 — Contenido de humedad C-8

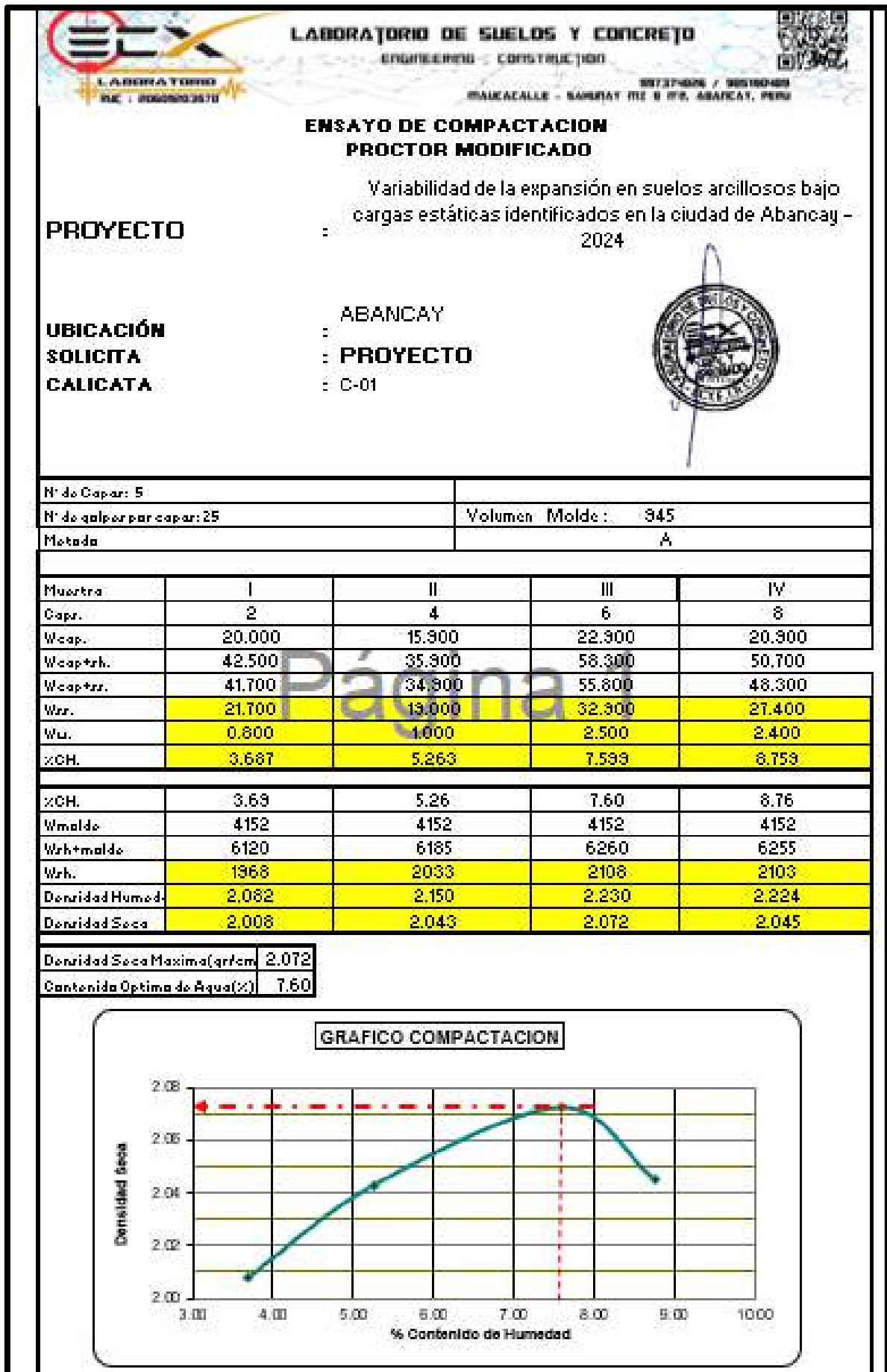


Figura 80 — Proctor C-1

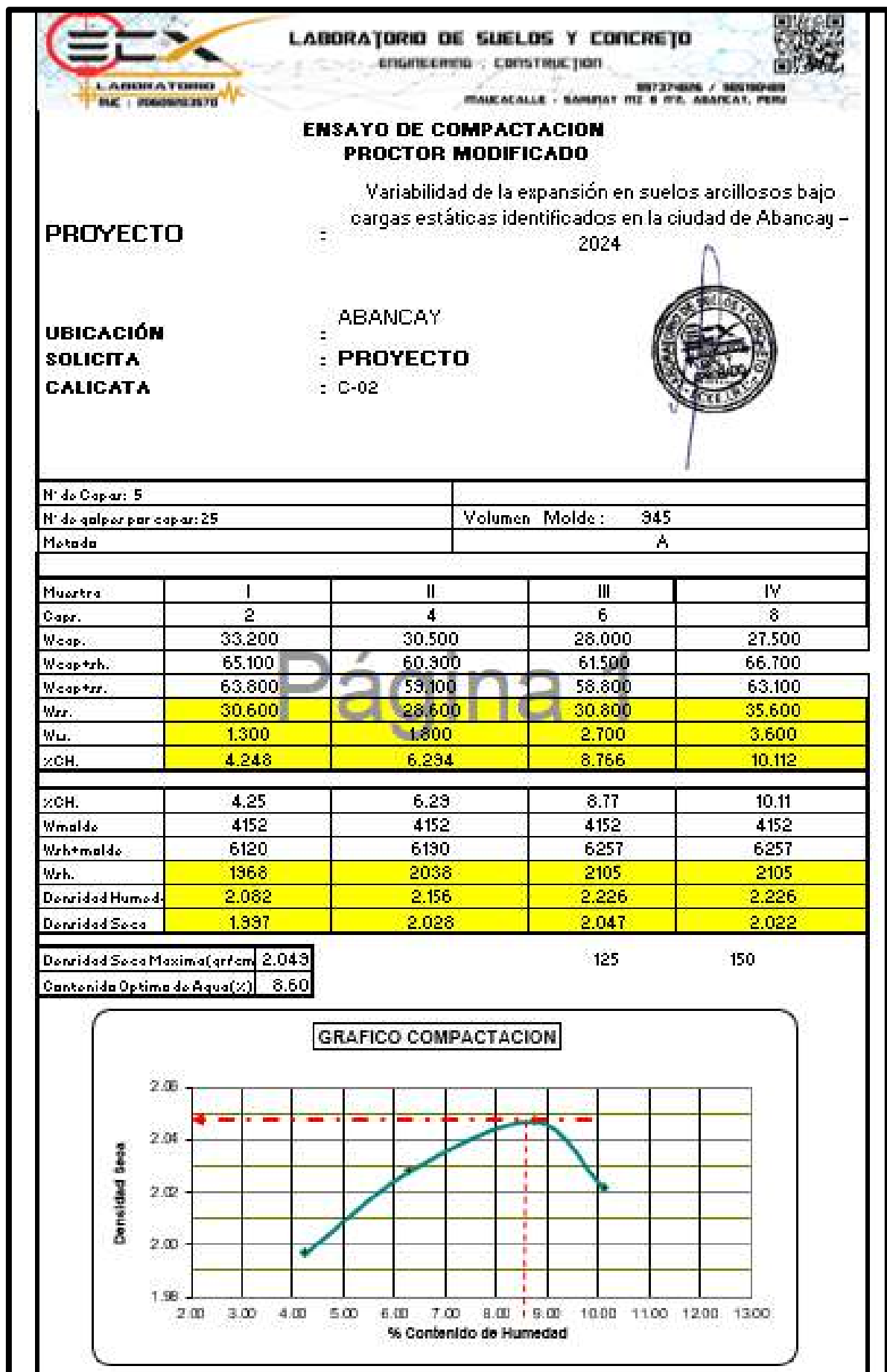


Figura 81 — Proctor C-2

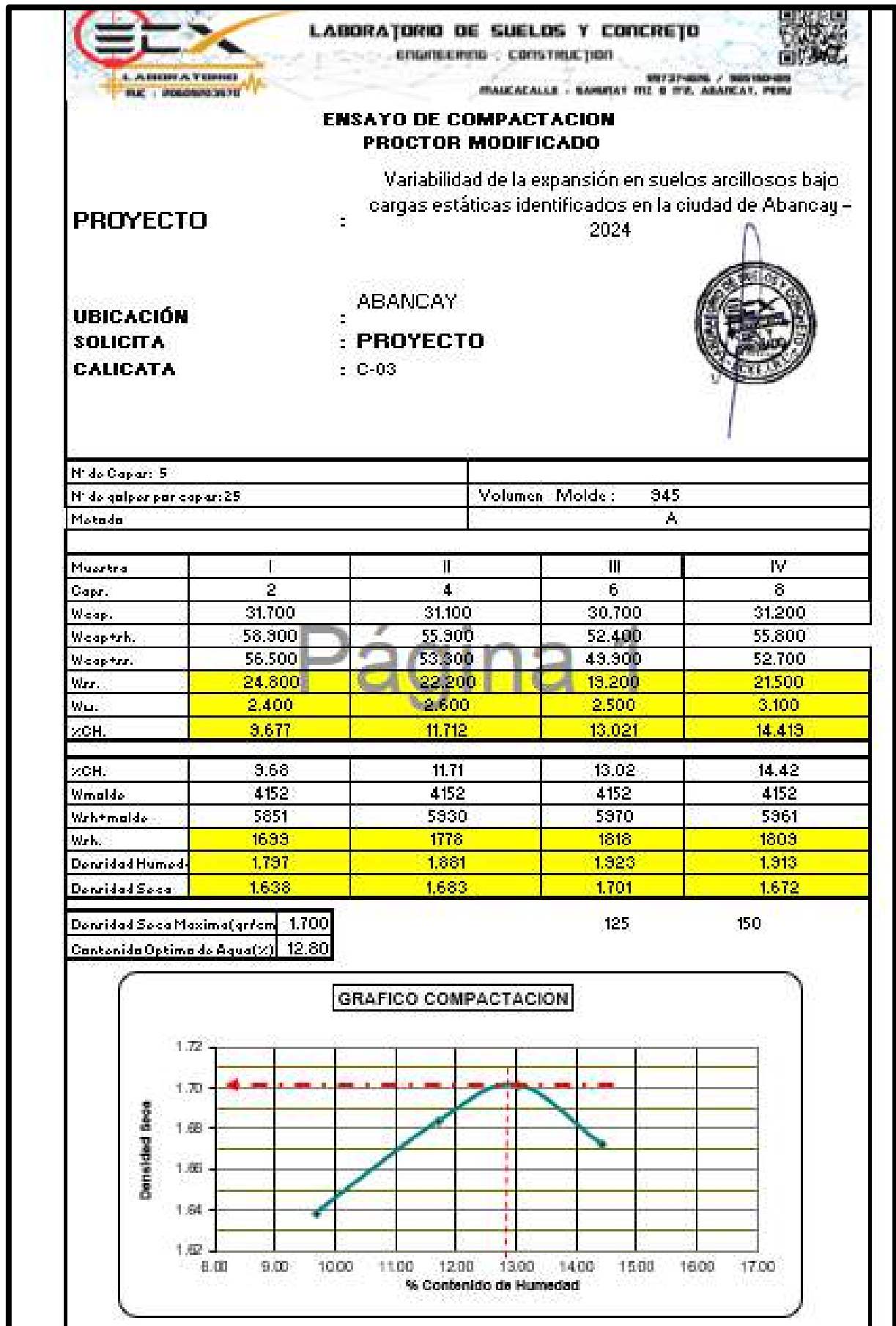


Figura 82 — Proctor C-3

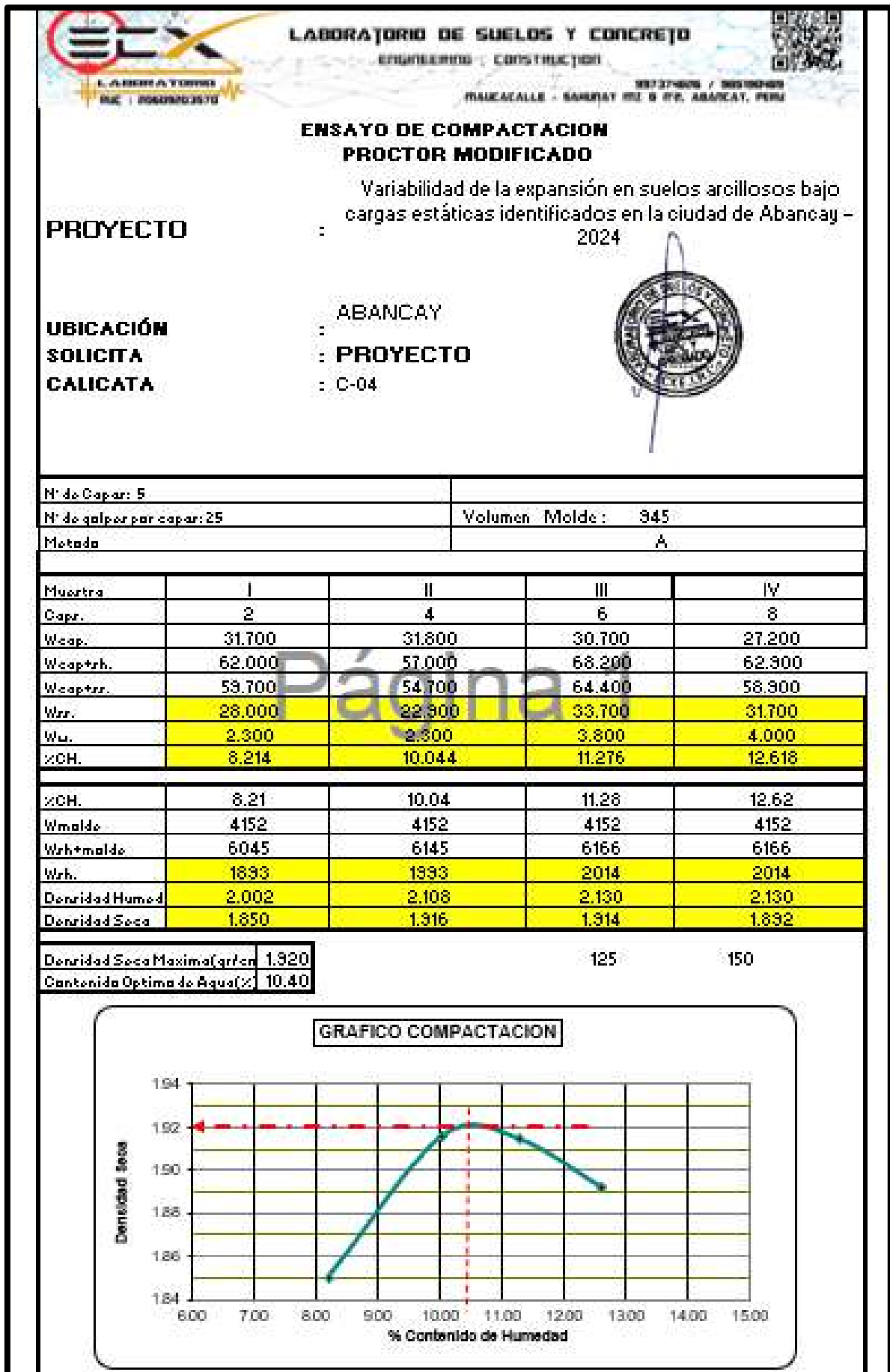


Figura 83 — Proctor C-4



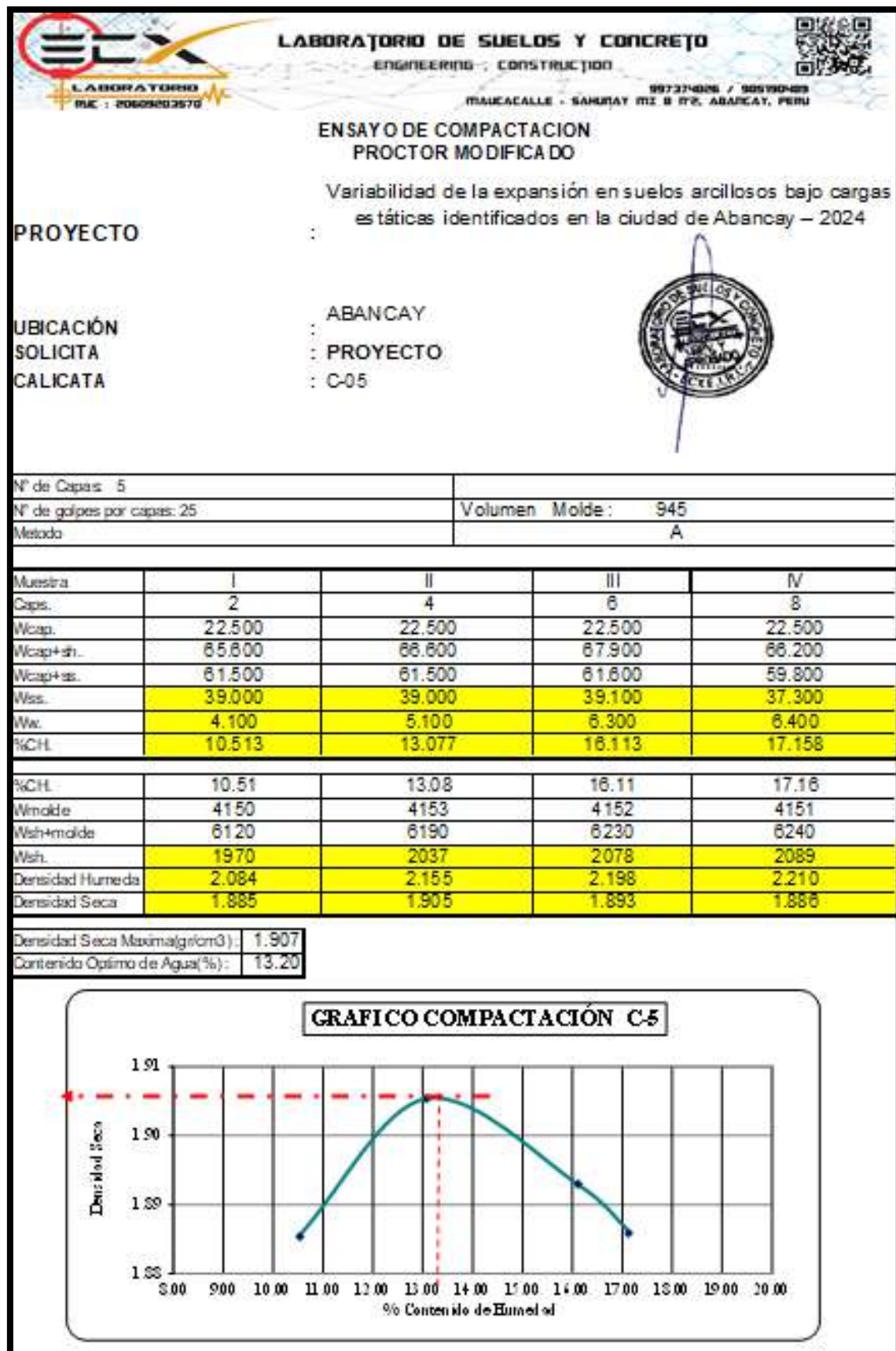


Figura 84 — Proctor C-5

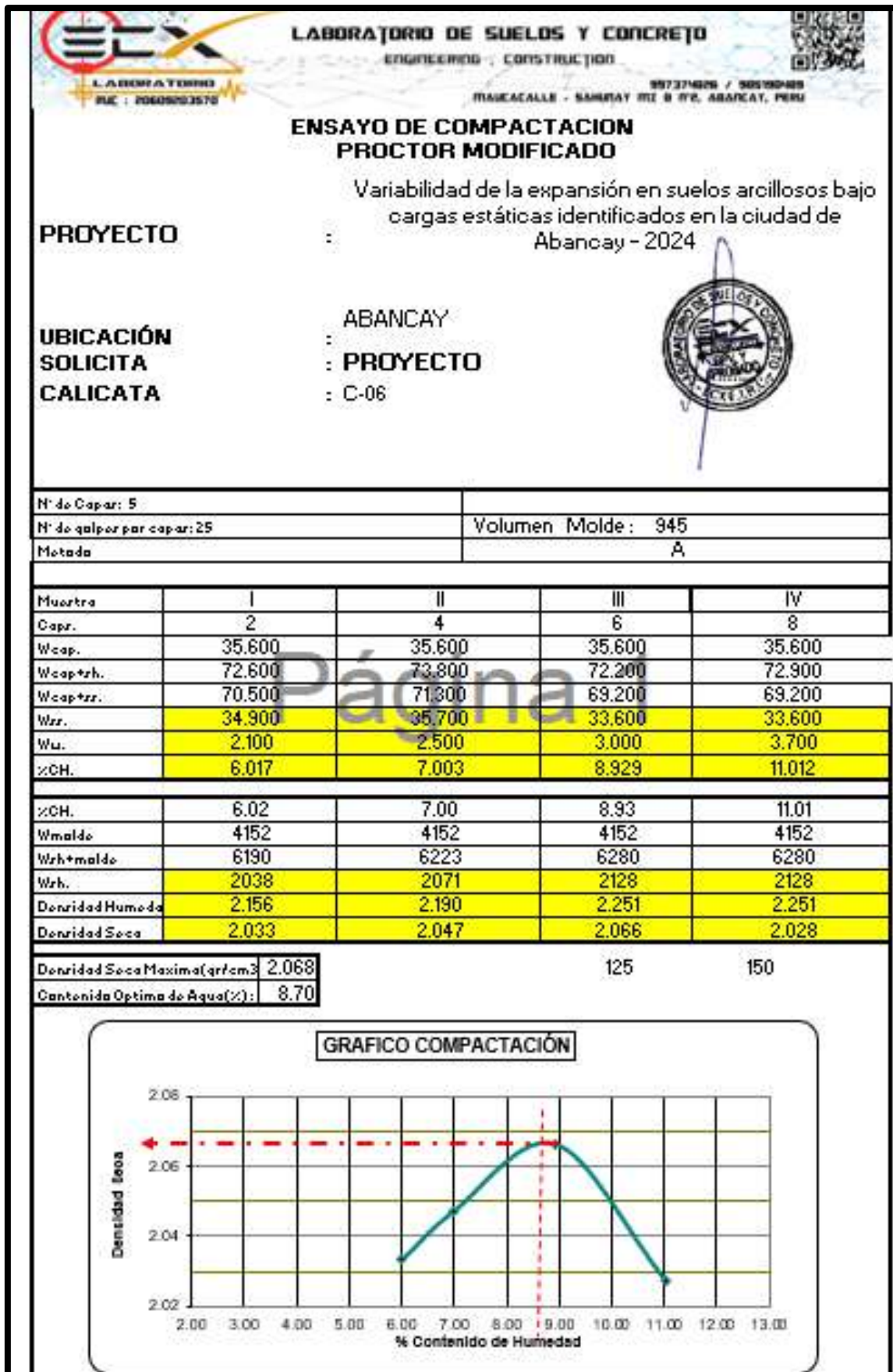
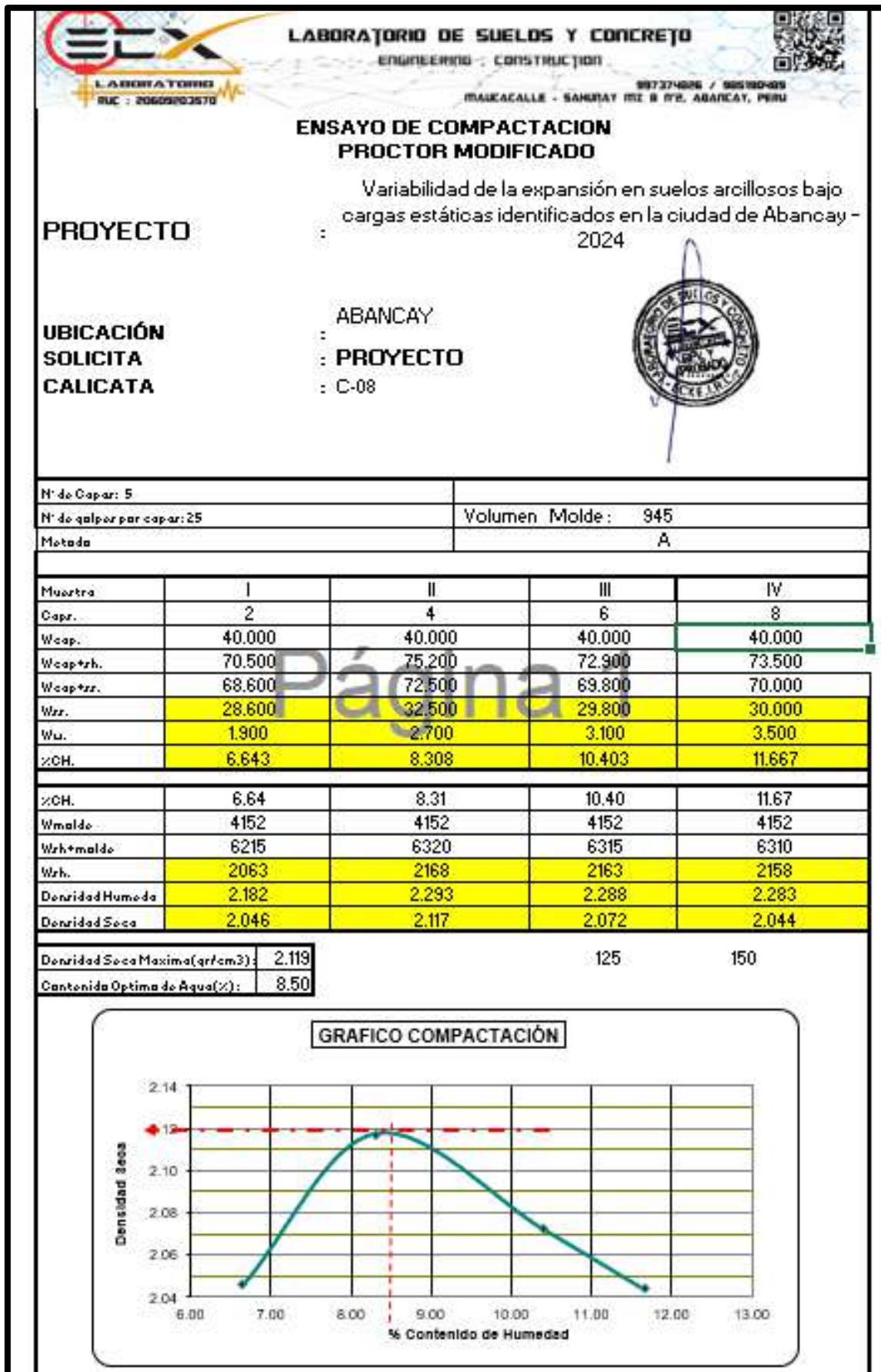


Figura 85 — Proctor C-6





Figura 86 — Proctor C-7



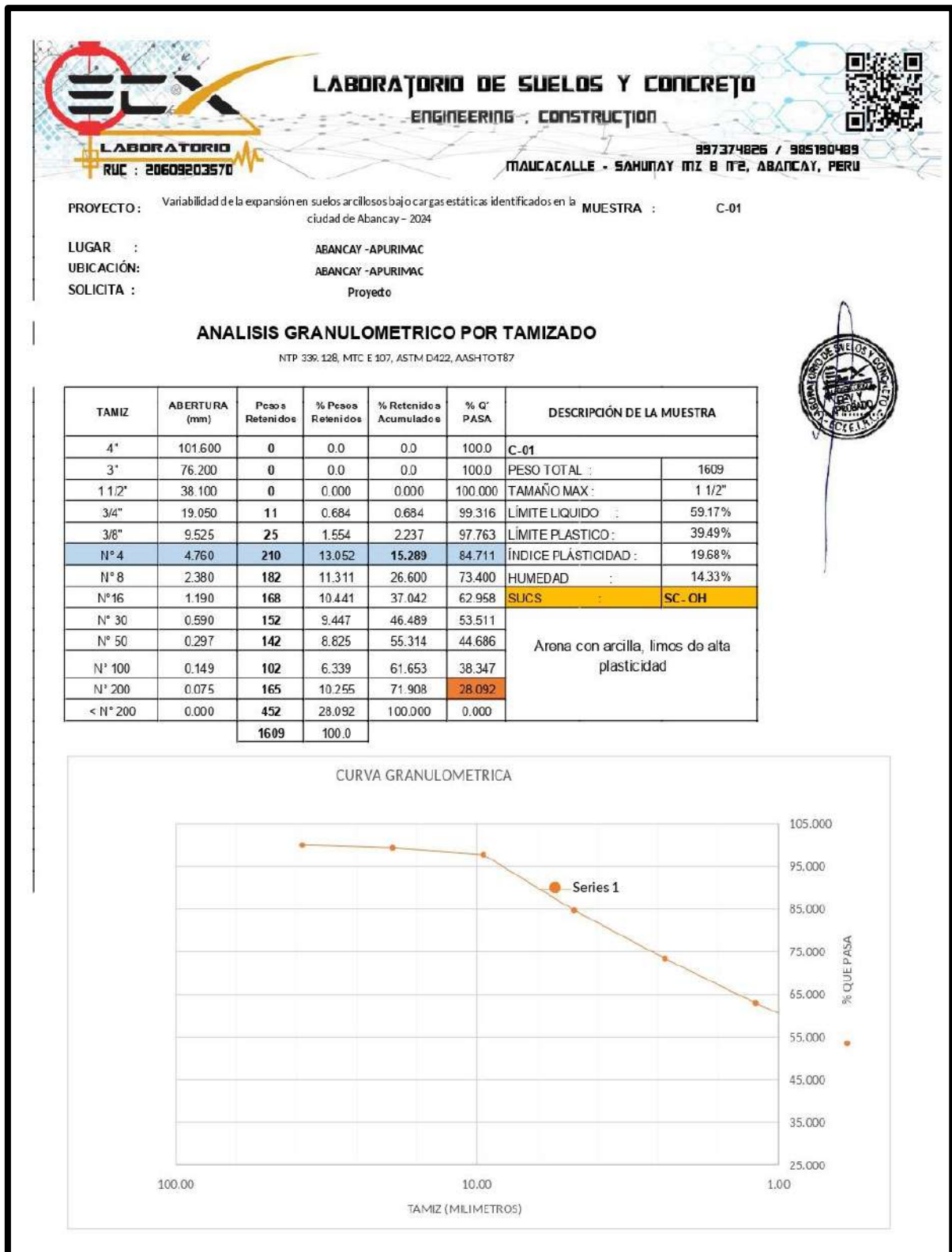


Figura 88 — Análisis granulométrico C-1



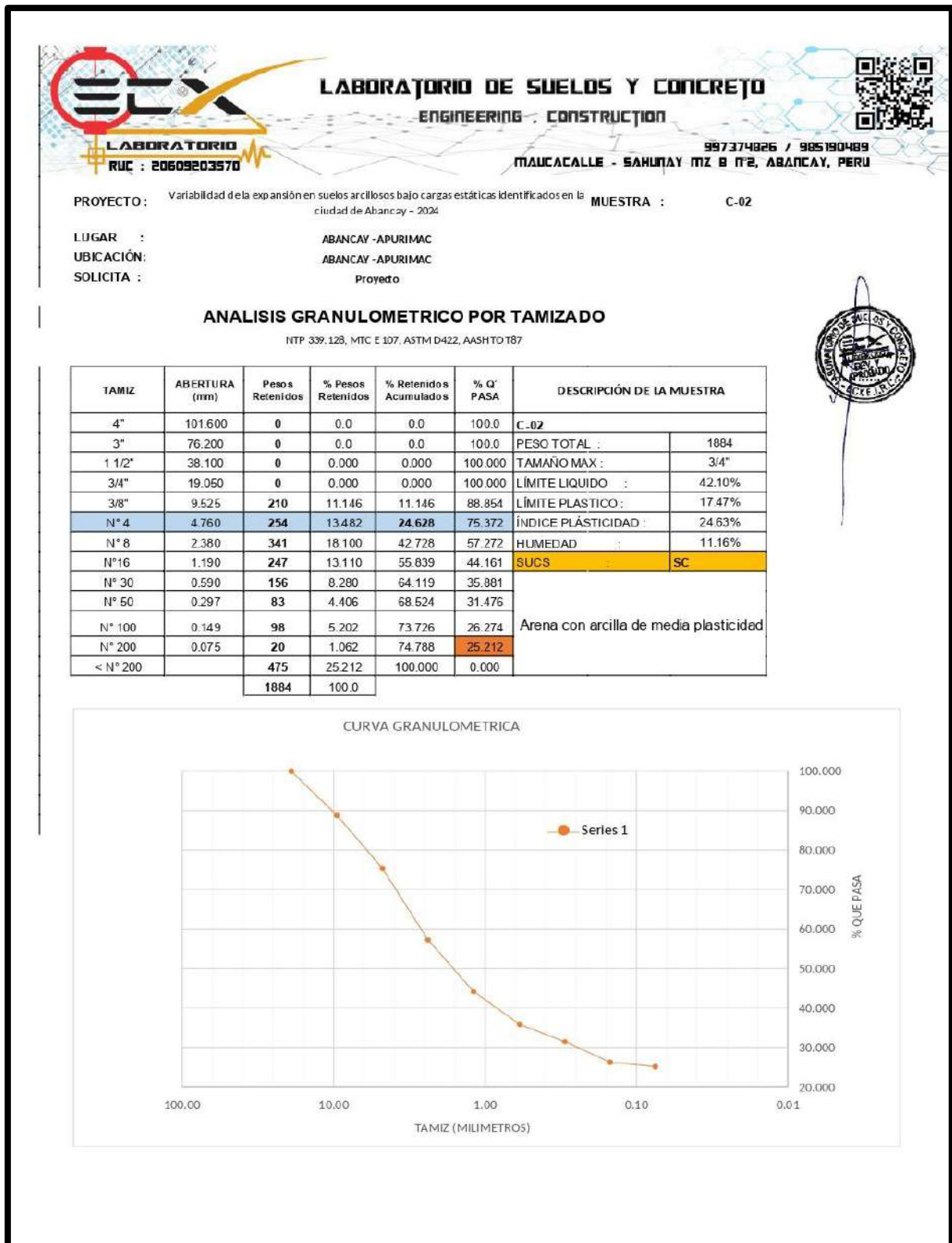


Figura 89 — Análisis granulométrico C-2



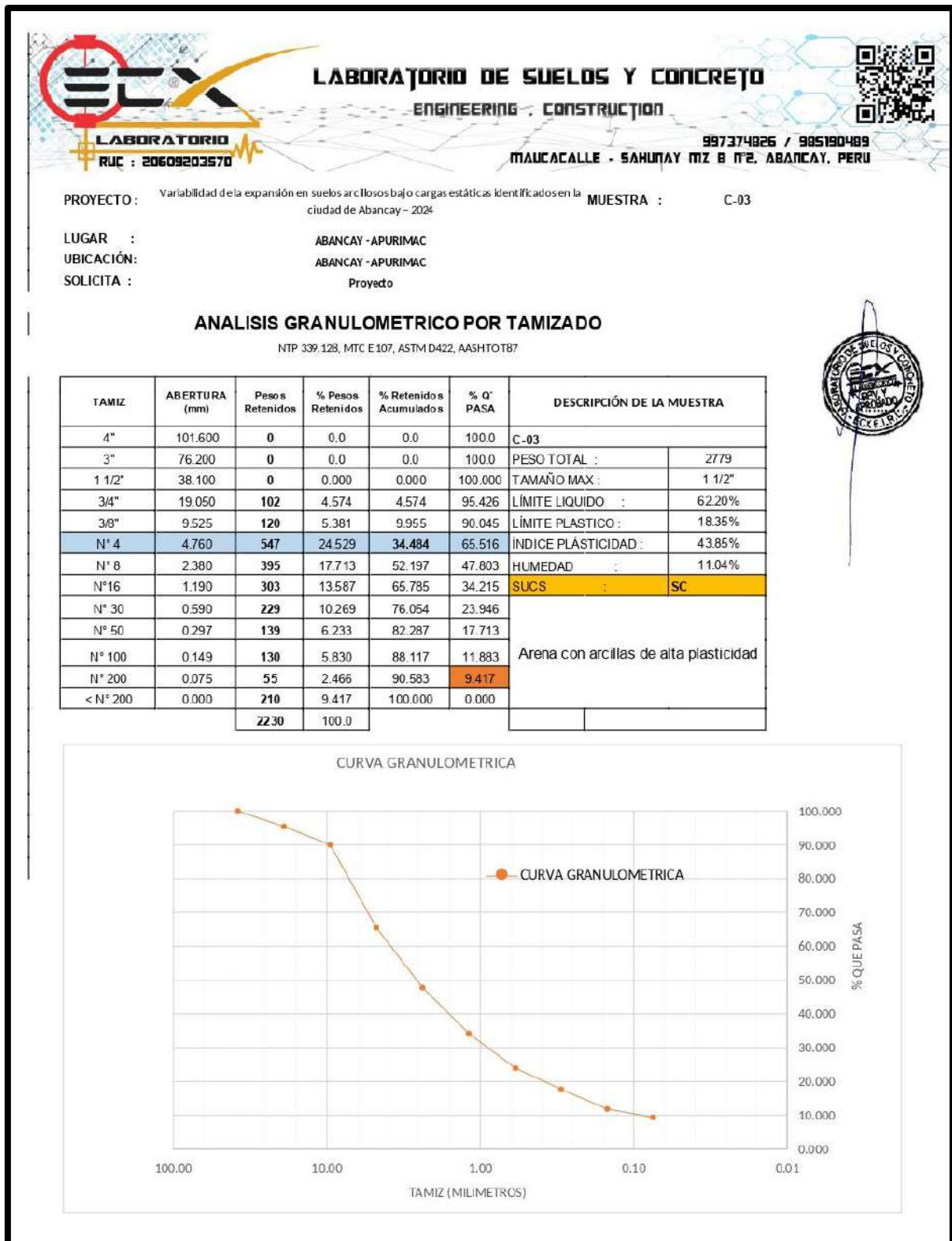


Figura 90 — Análisis granulométrico C-3



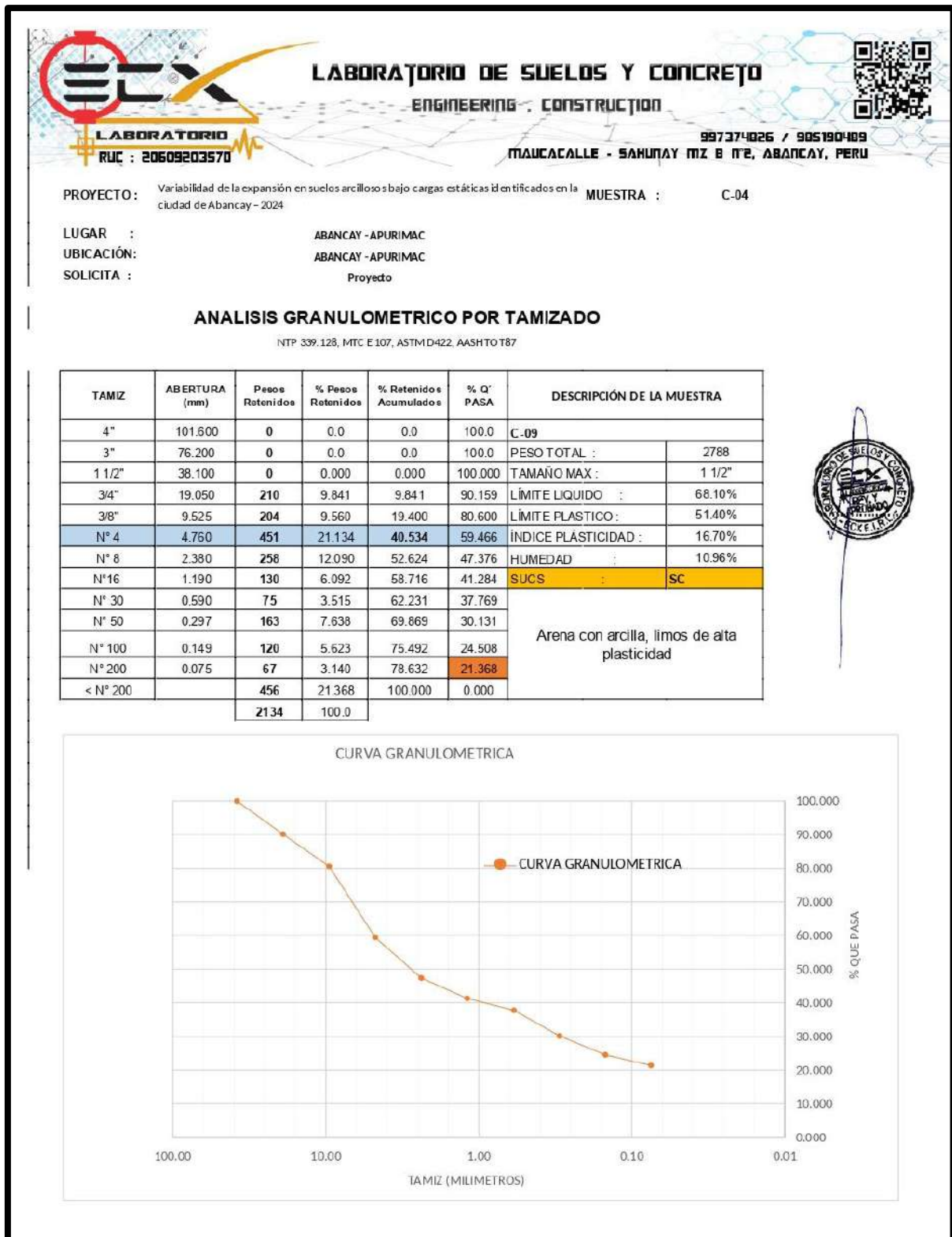


Figura 91 — Análisis granulométrico C-4

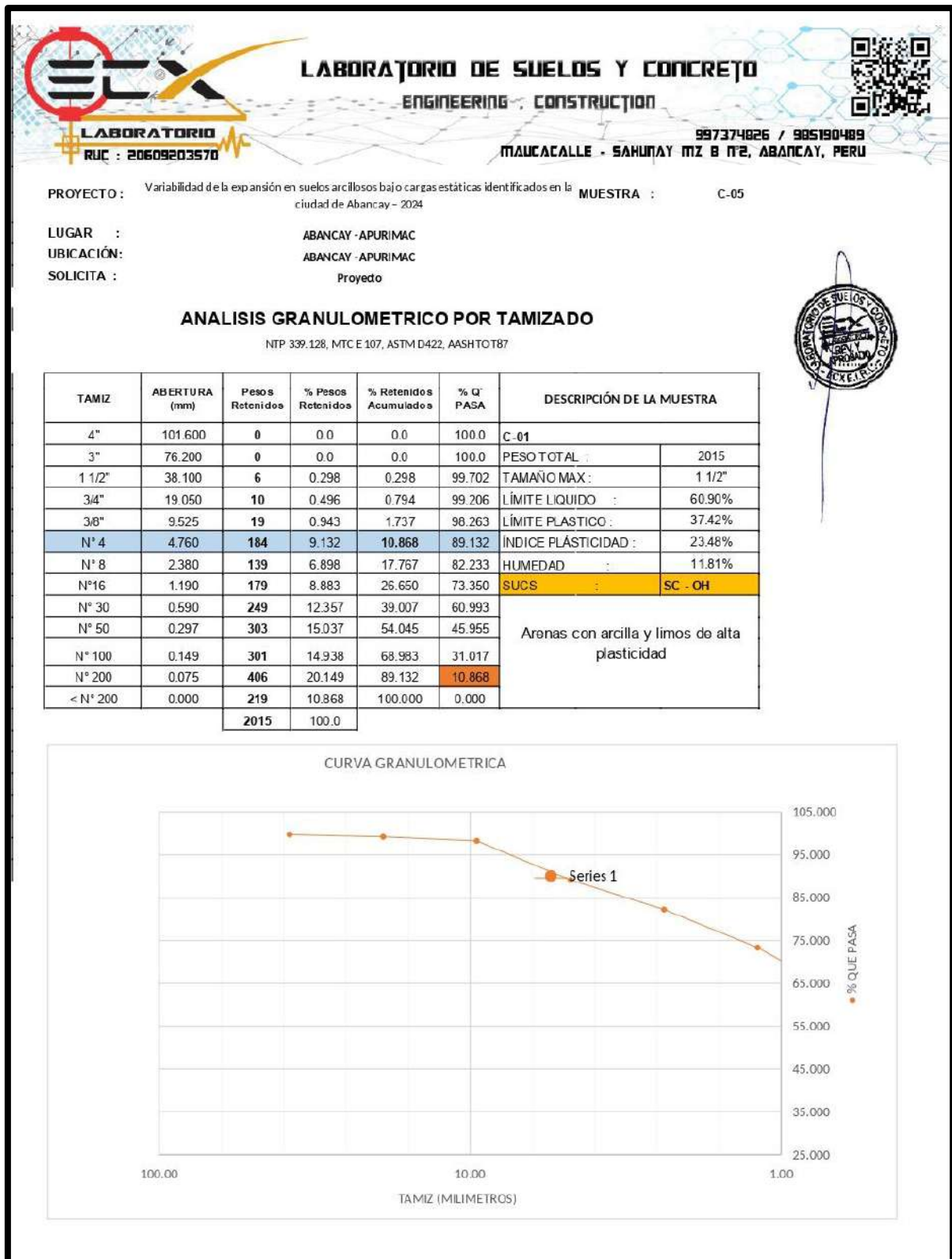


Figura 92 — Análisis granulométrico C-5



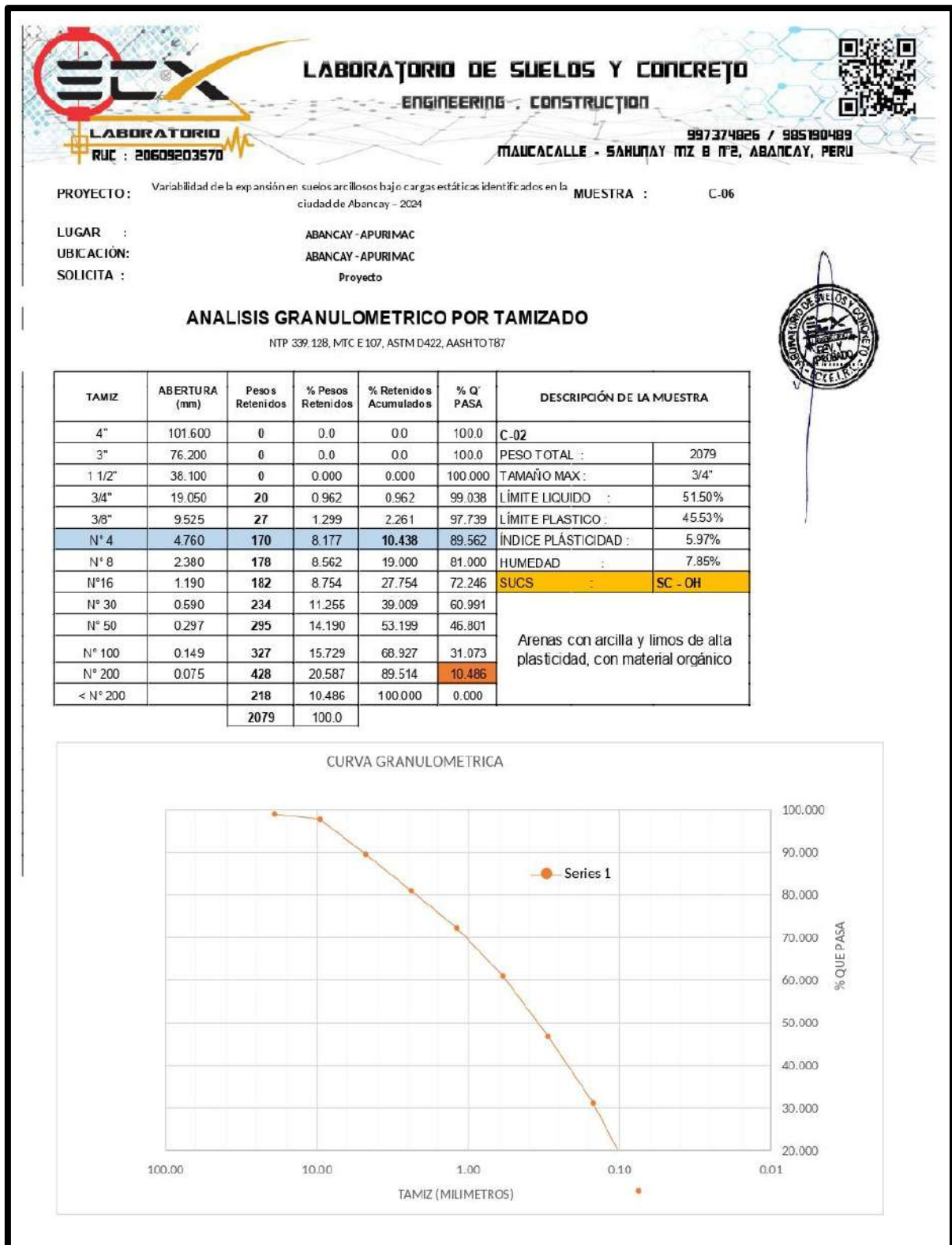


Figura 93 — Análisis granulométrico C-6



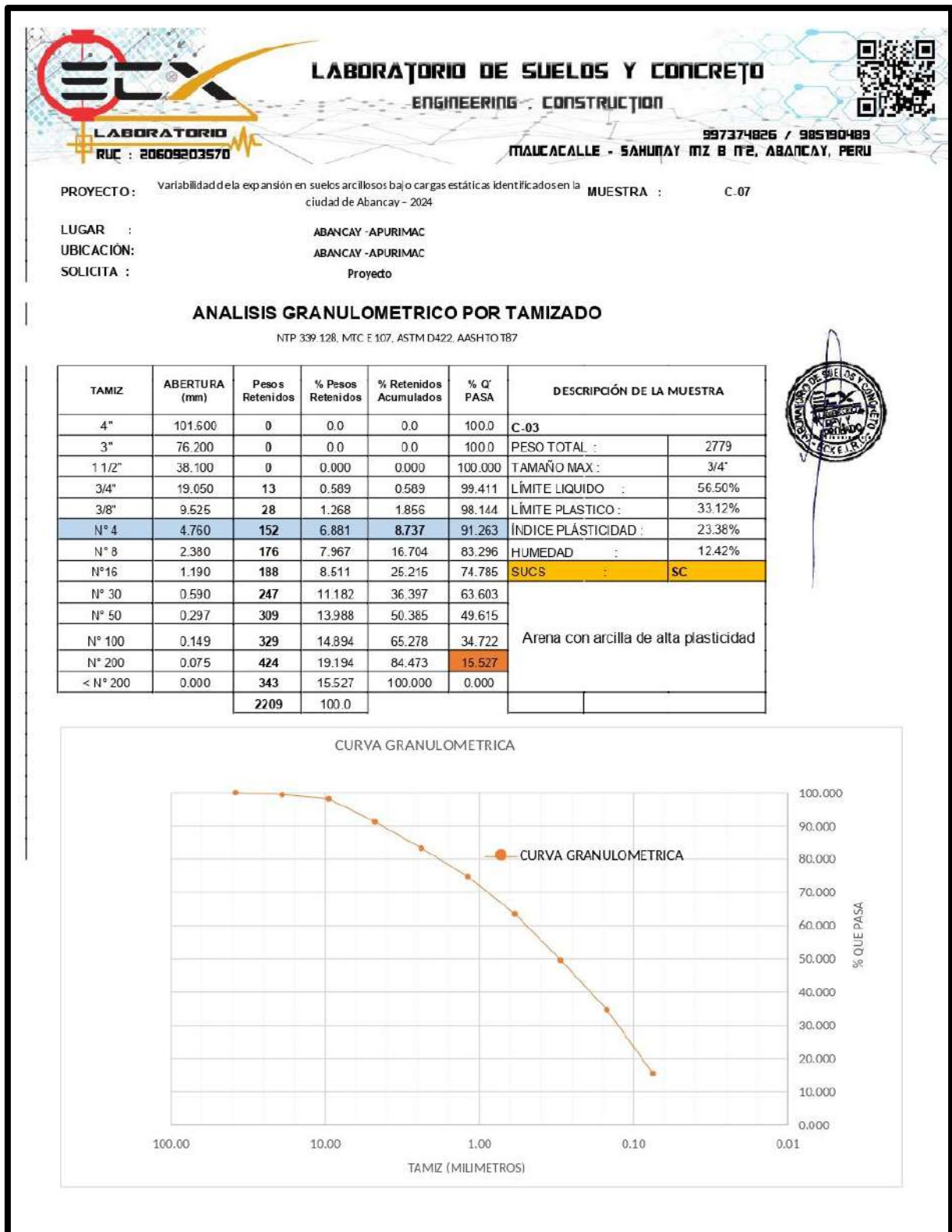


Figura 94 — Análisis granulométrico C-7

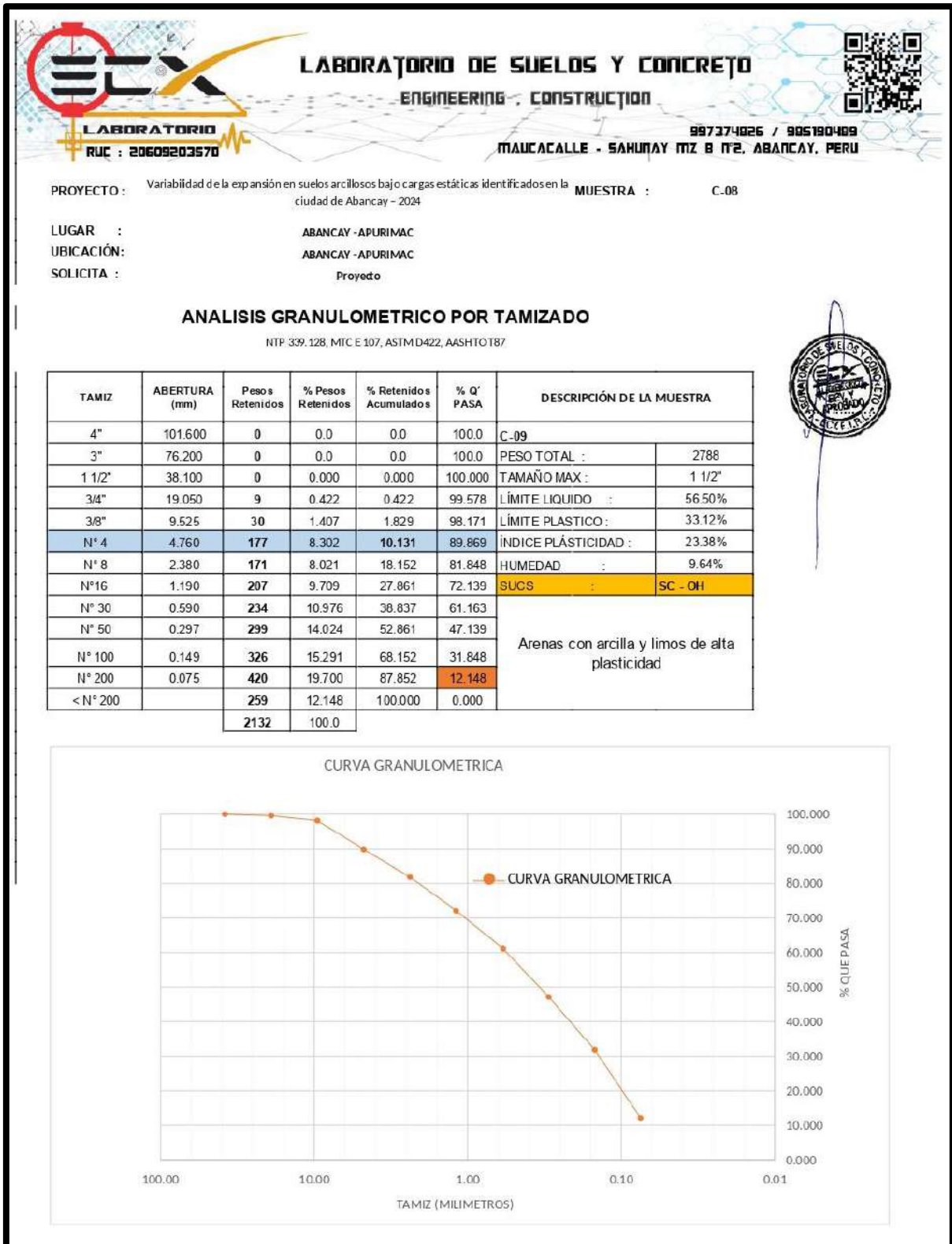


Figura 95 — Análisis granulométrico C-8



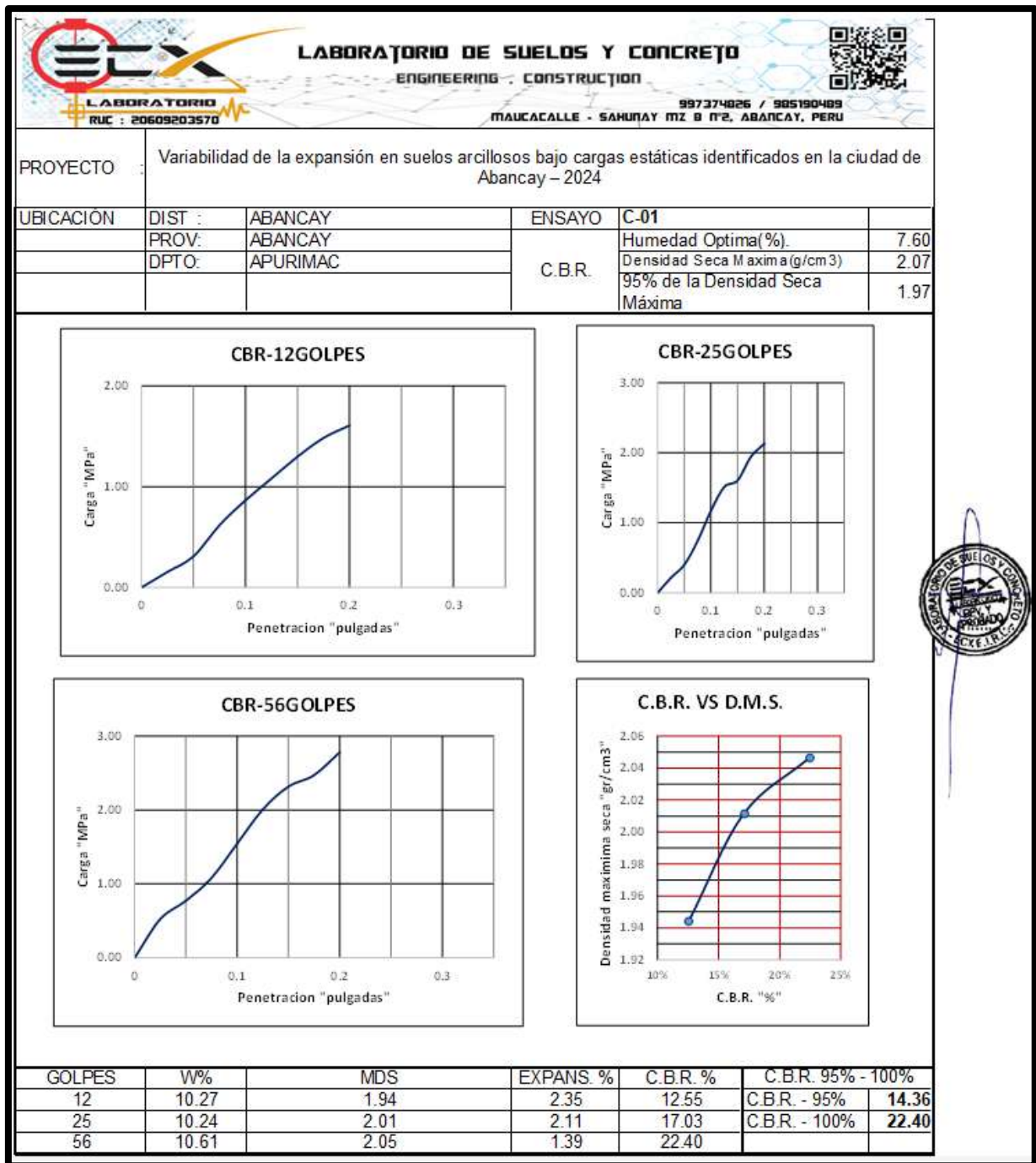


Figura 96 — CBR C-1



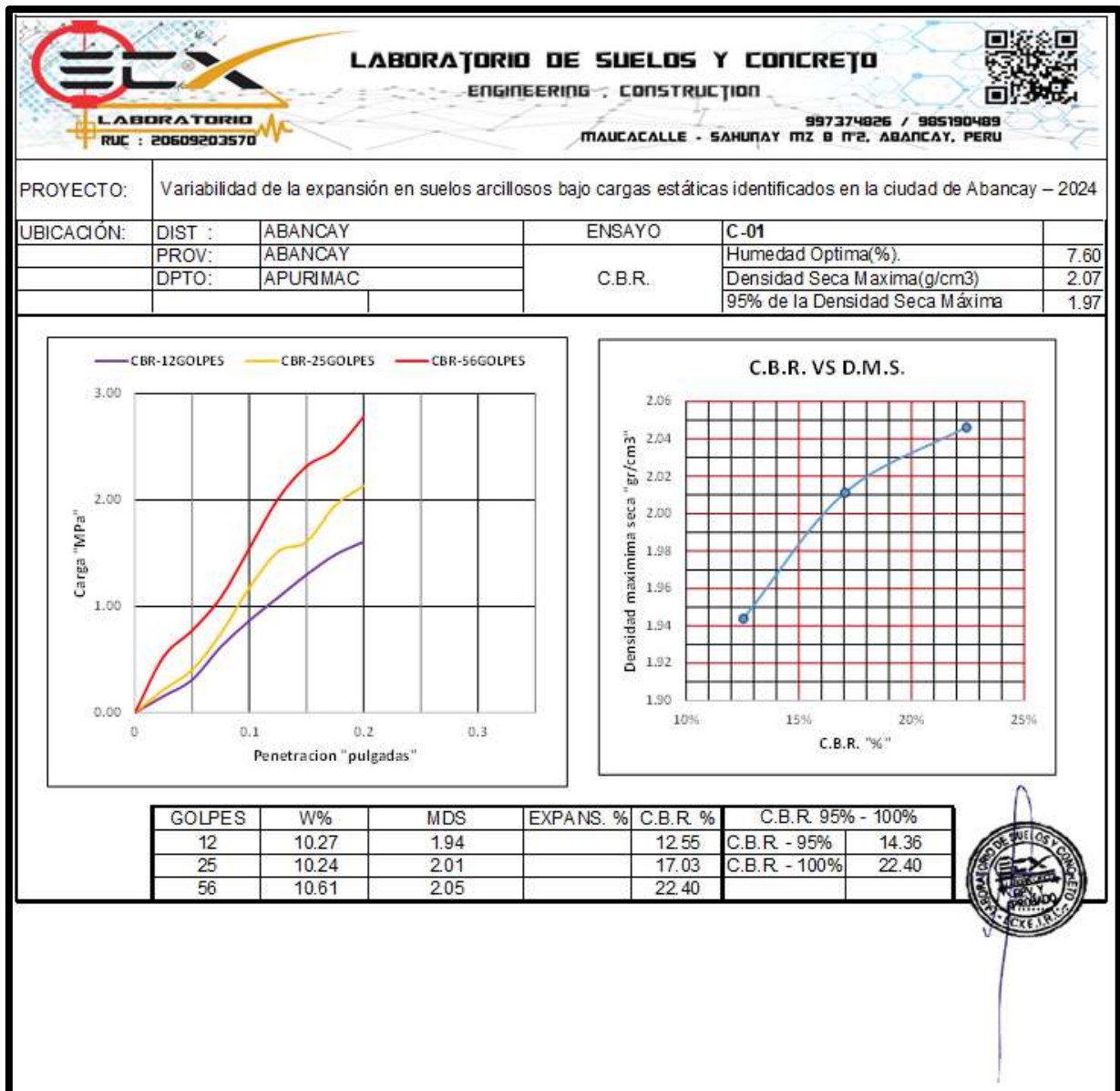
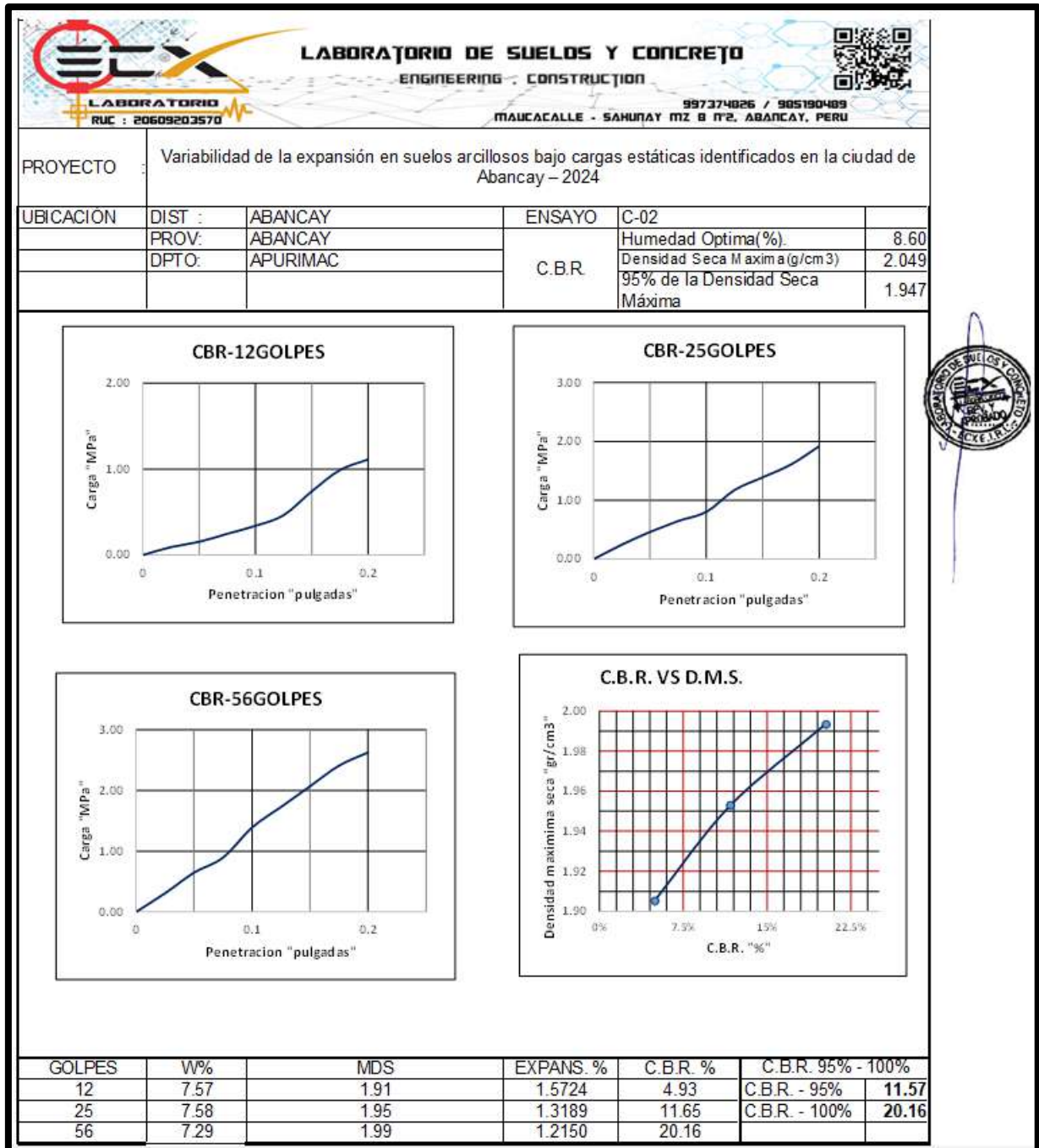


Figura 97 — Penetración C-1



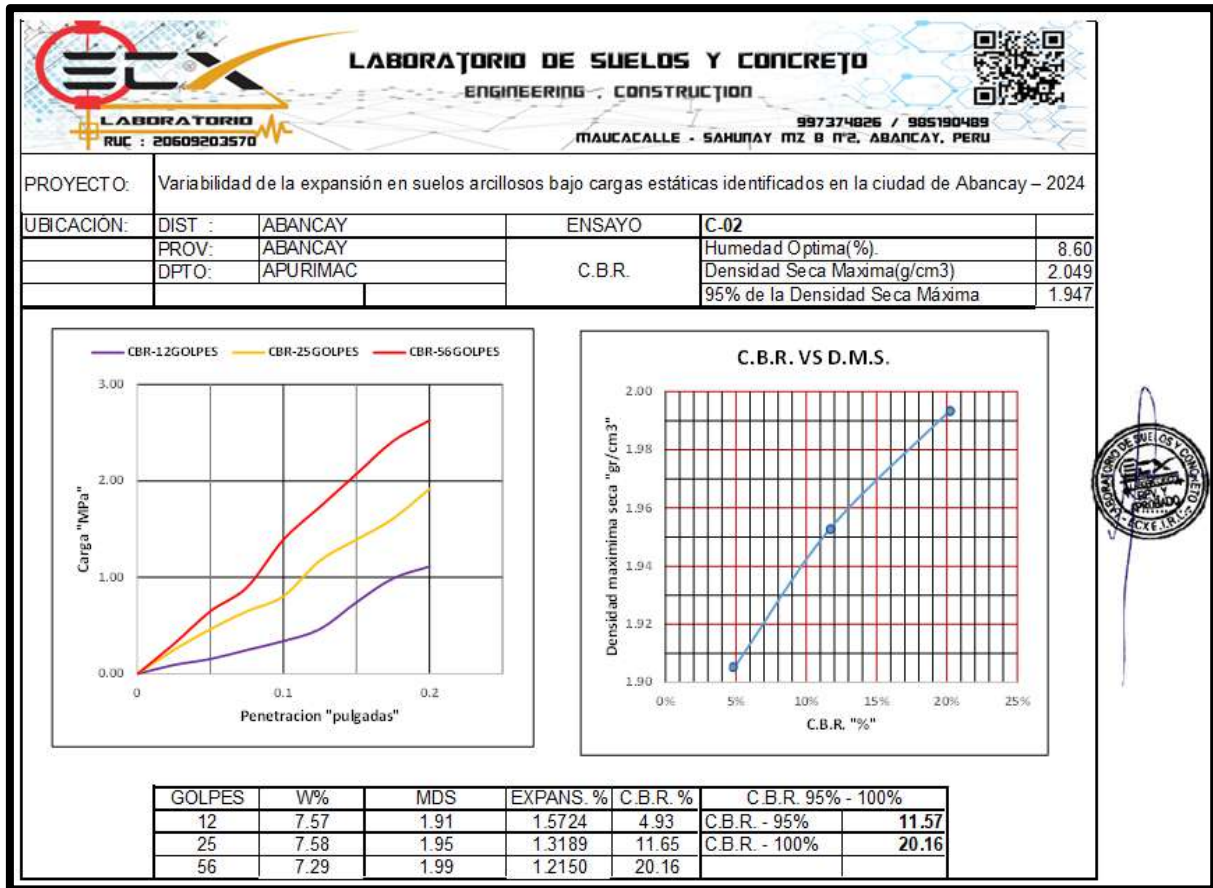


Figura 99 — Penetración C-2



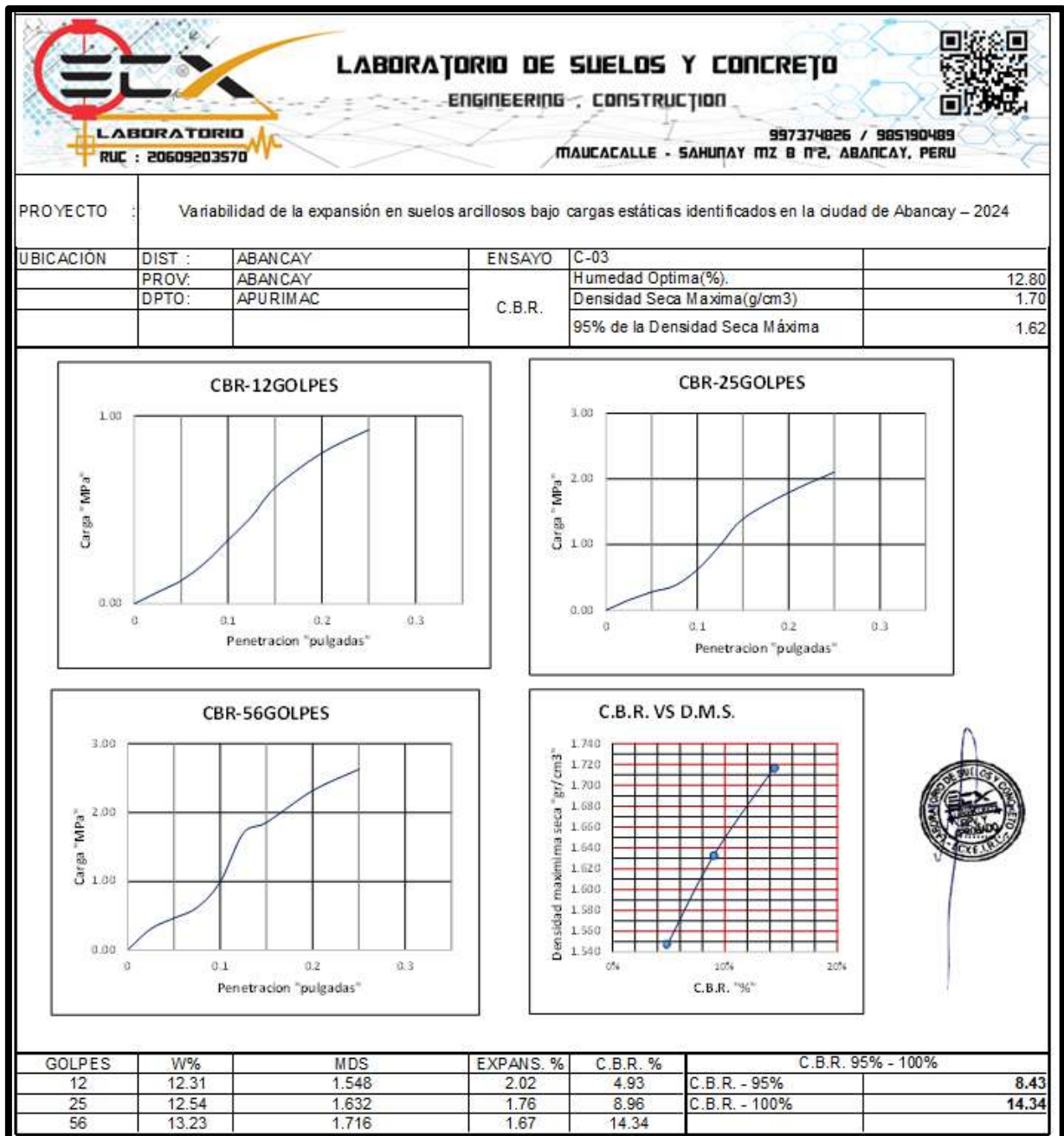


Figura 100 — CBR C-3

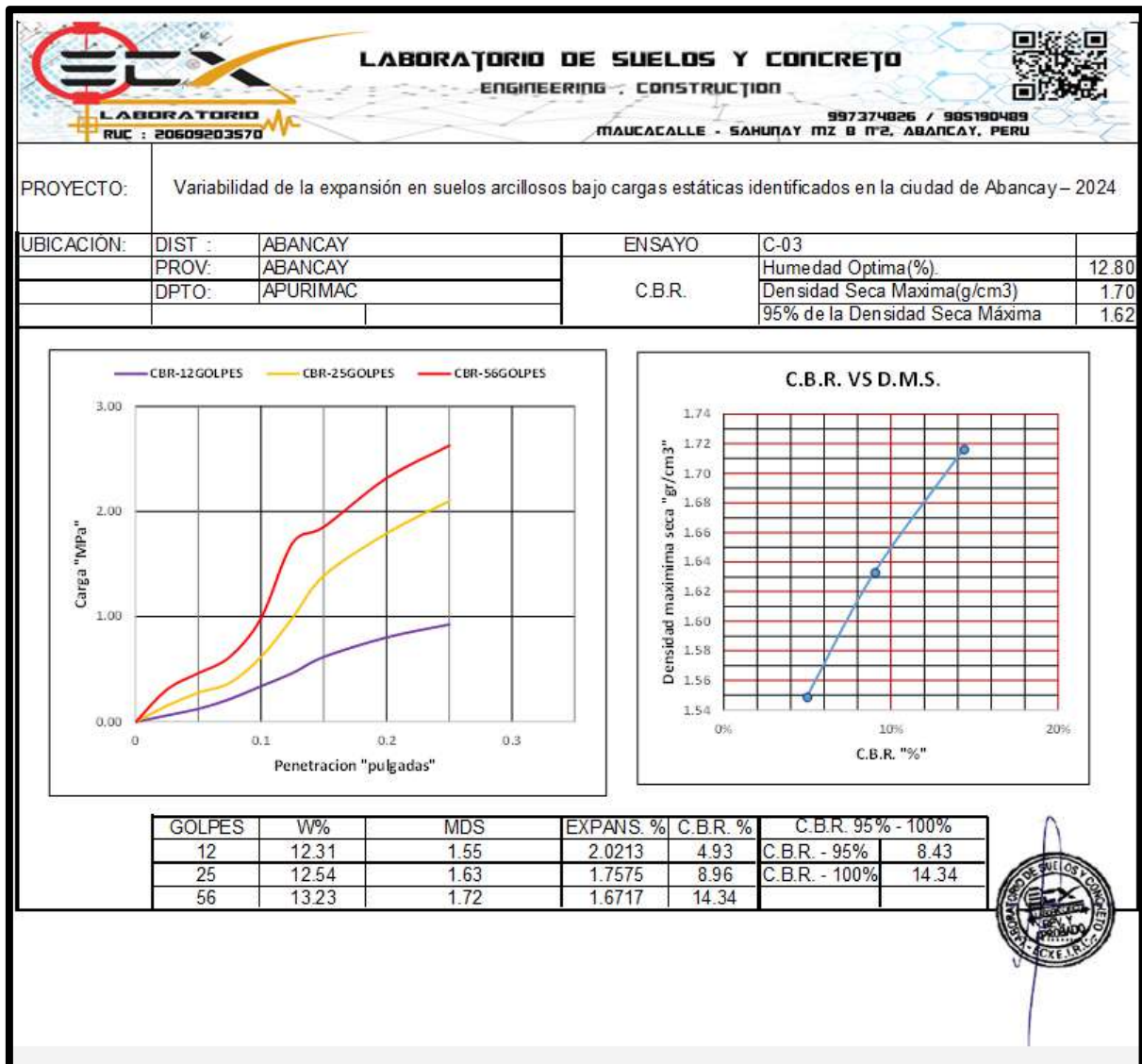


Figura 101 — Penetración C-3

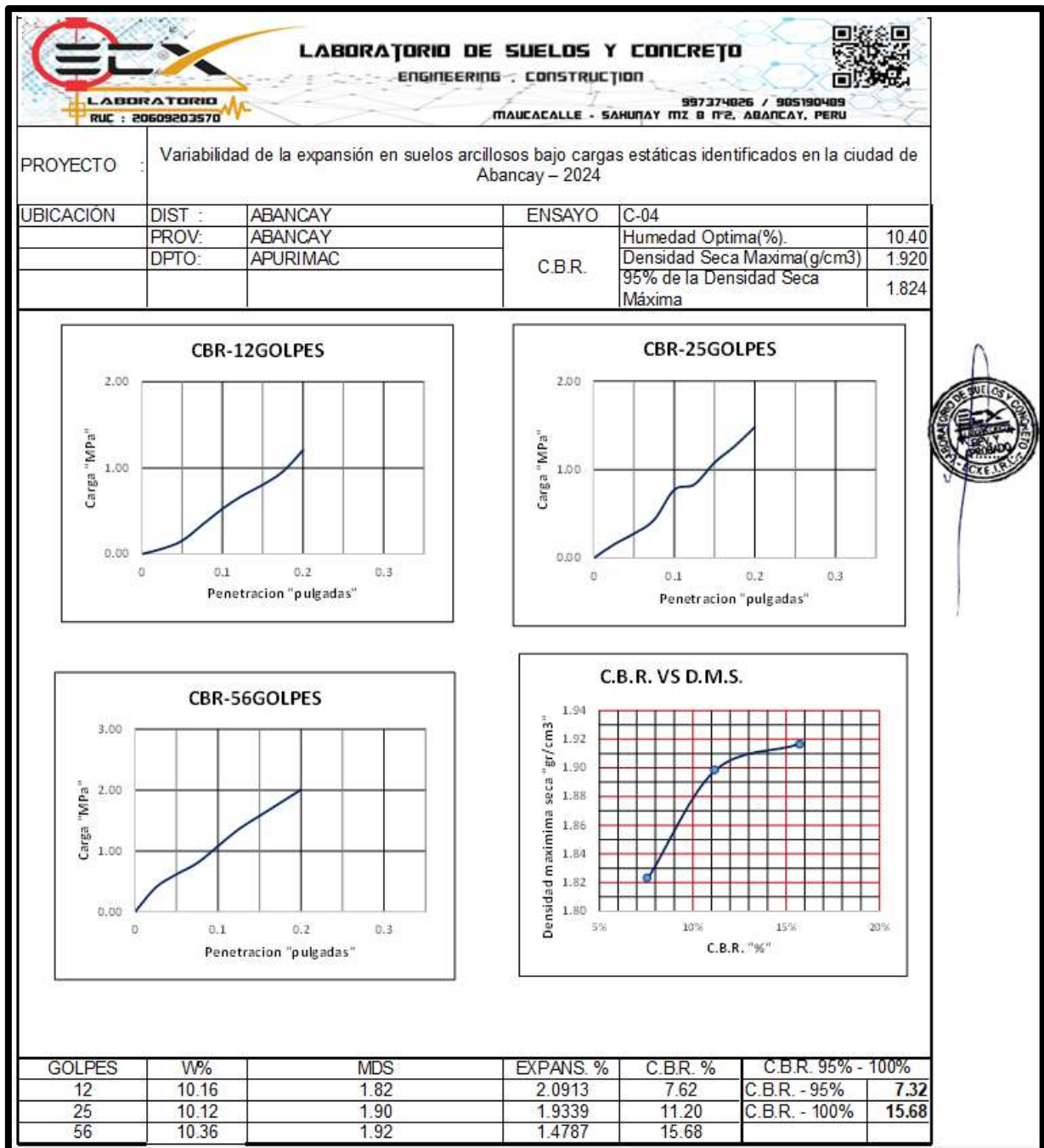


Figura 102 — CBR C-4



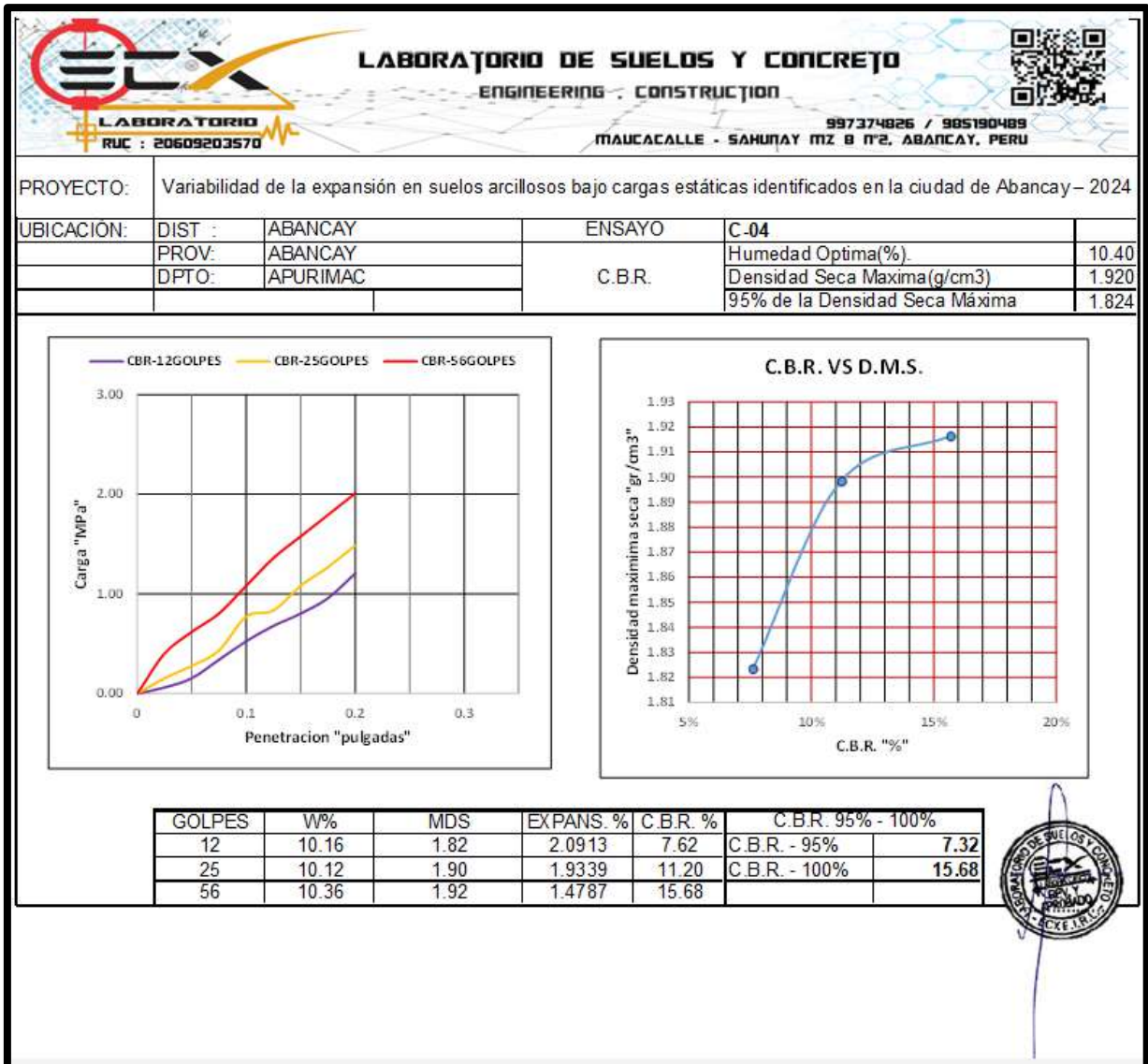
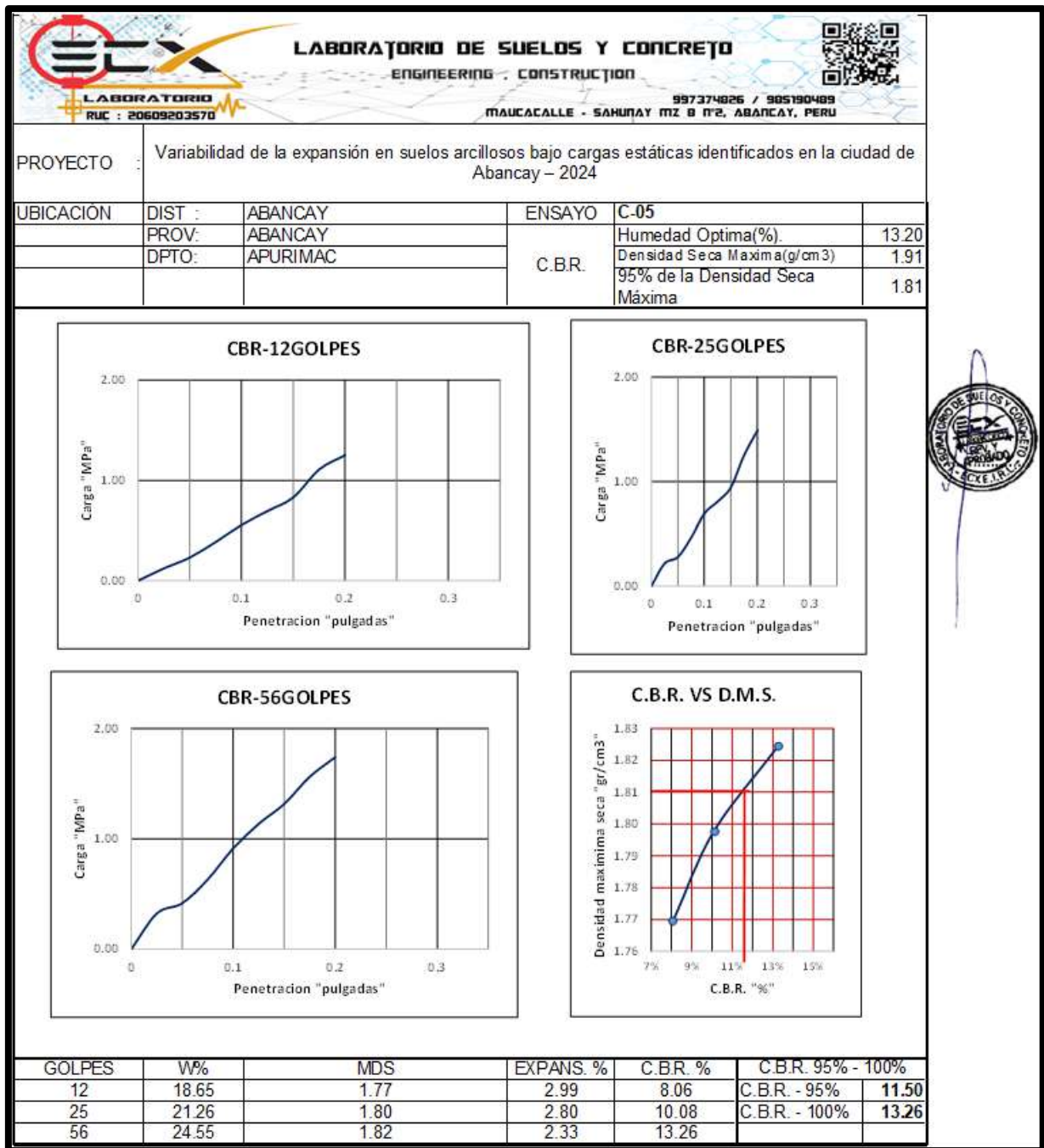


Figura 103 — Penetración C-4



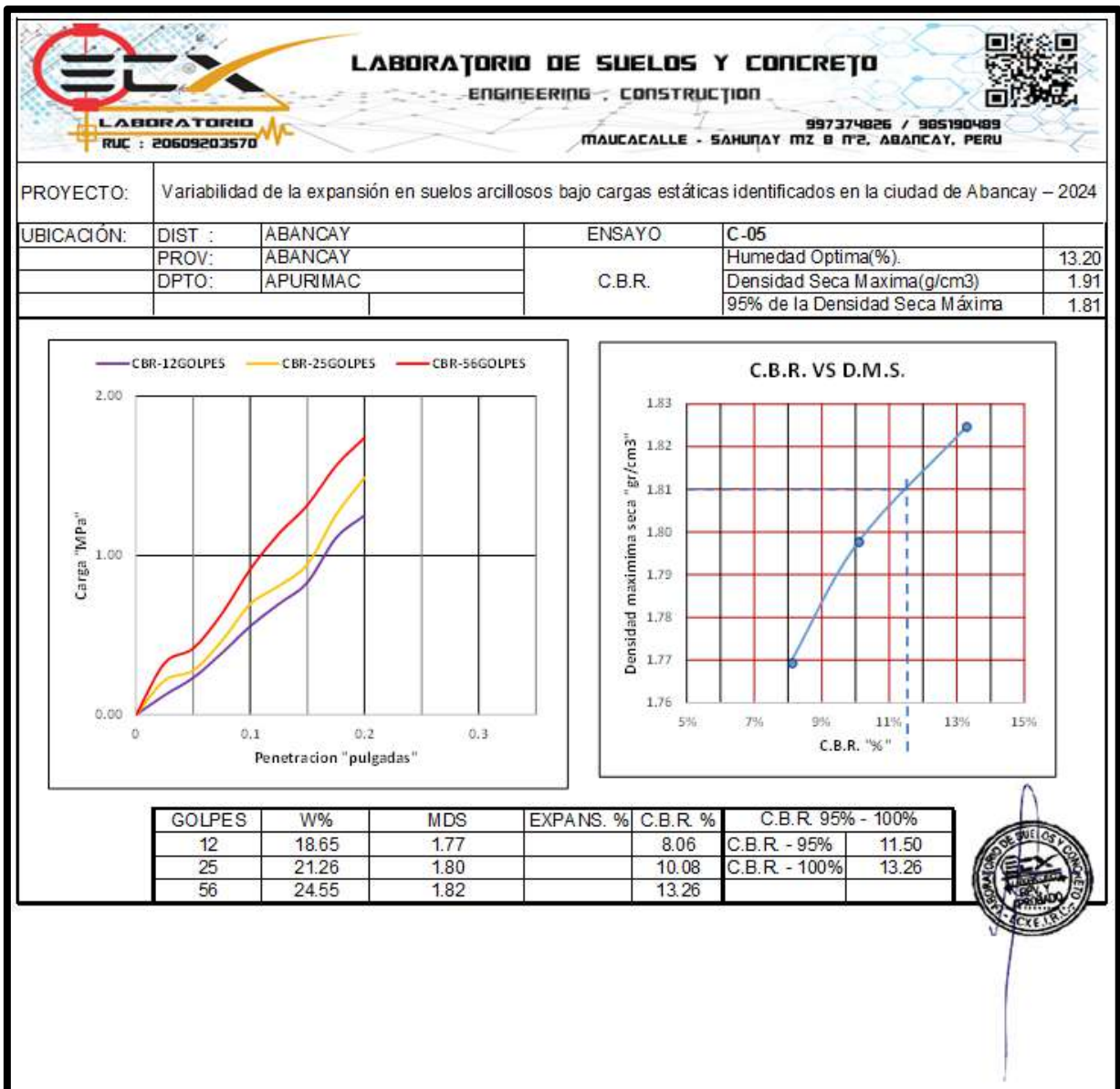


Figura 105 — Penetración C-5

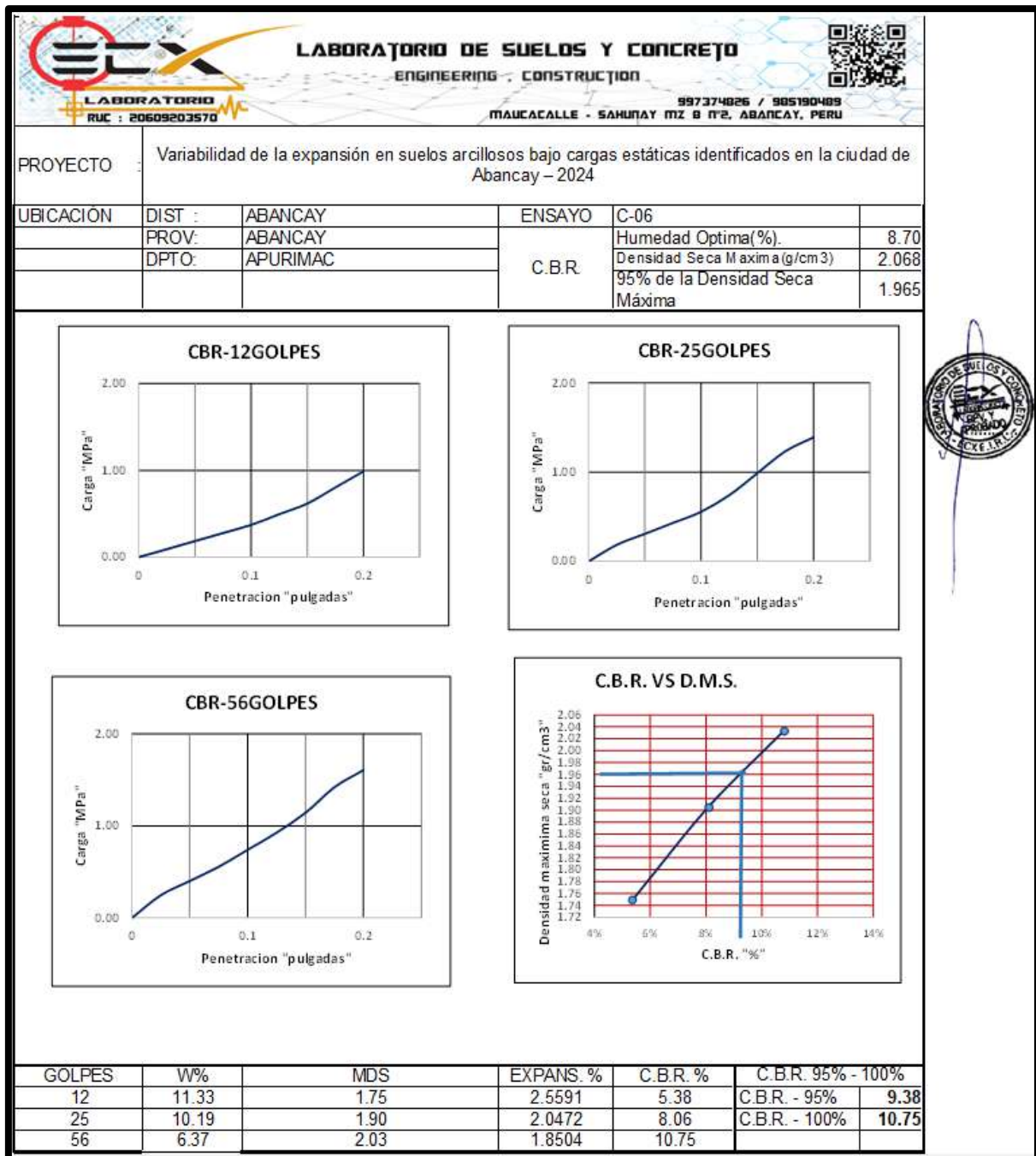


Figura 106 — CBR C-6



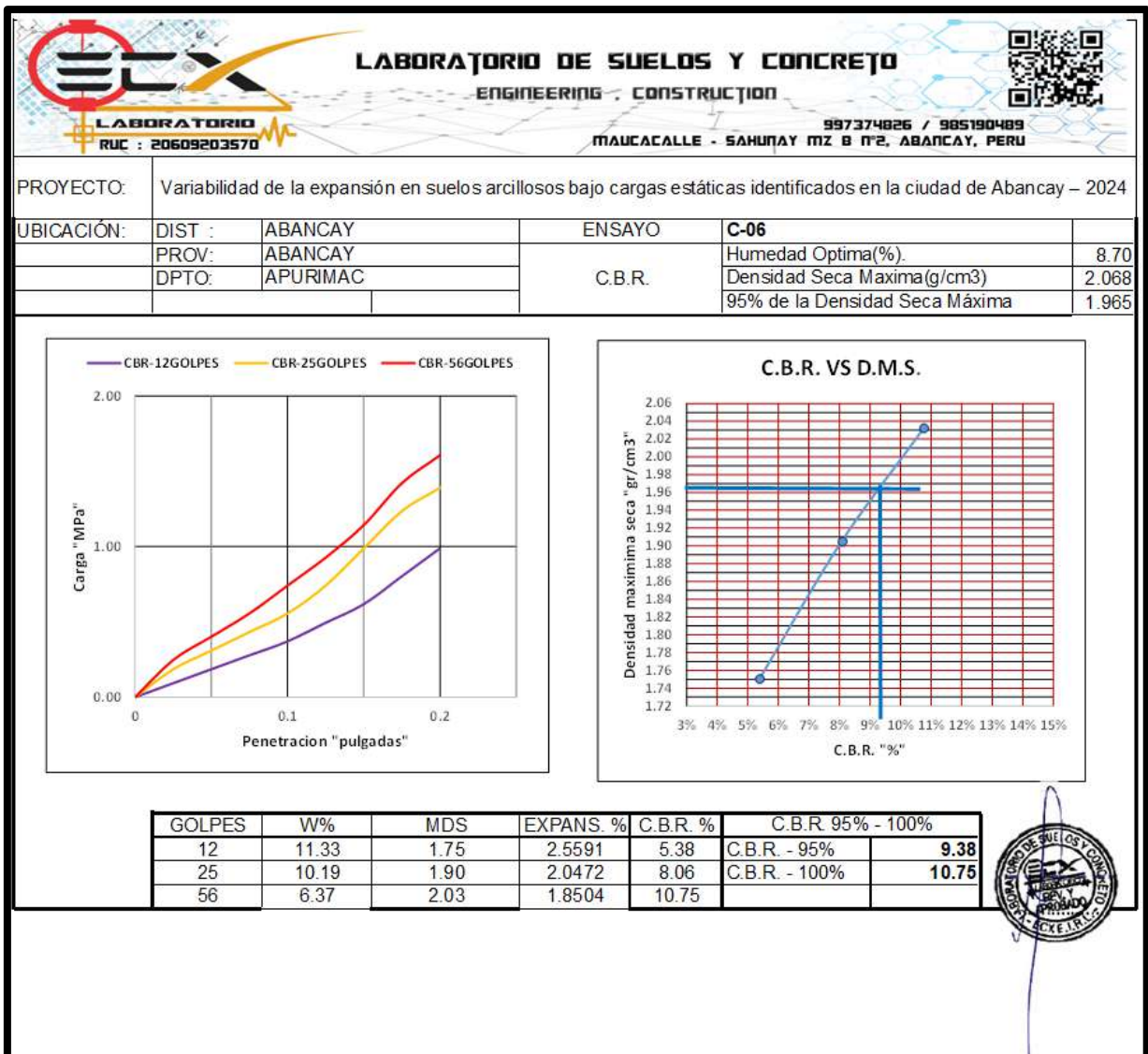


Figura 107 — Penetración C-6



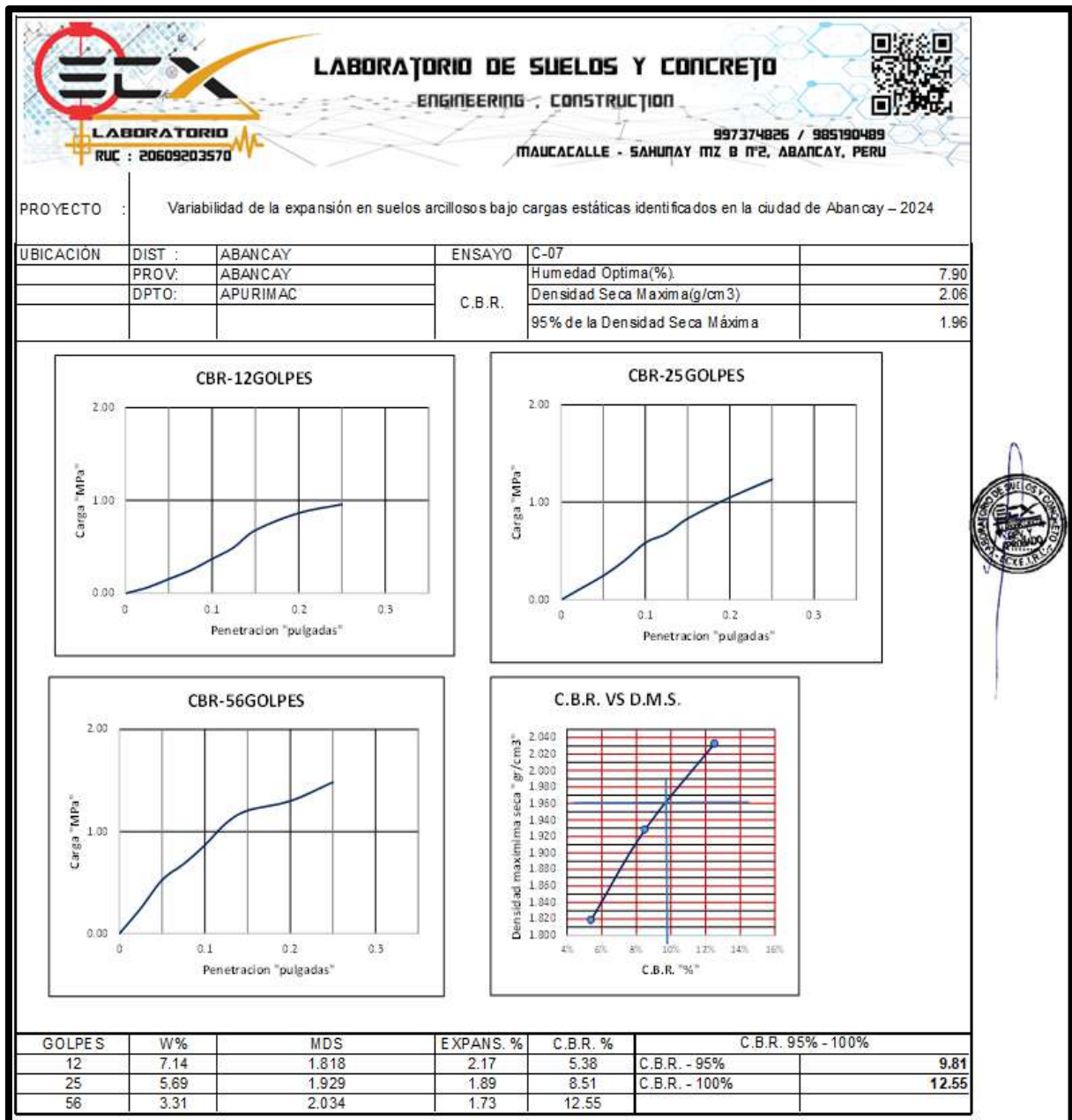


Figura 108 — CBR C-7



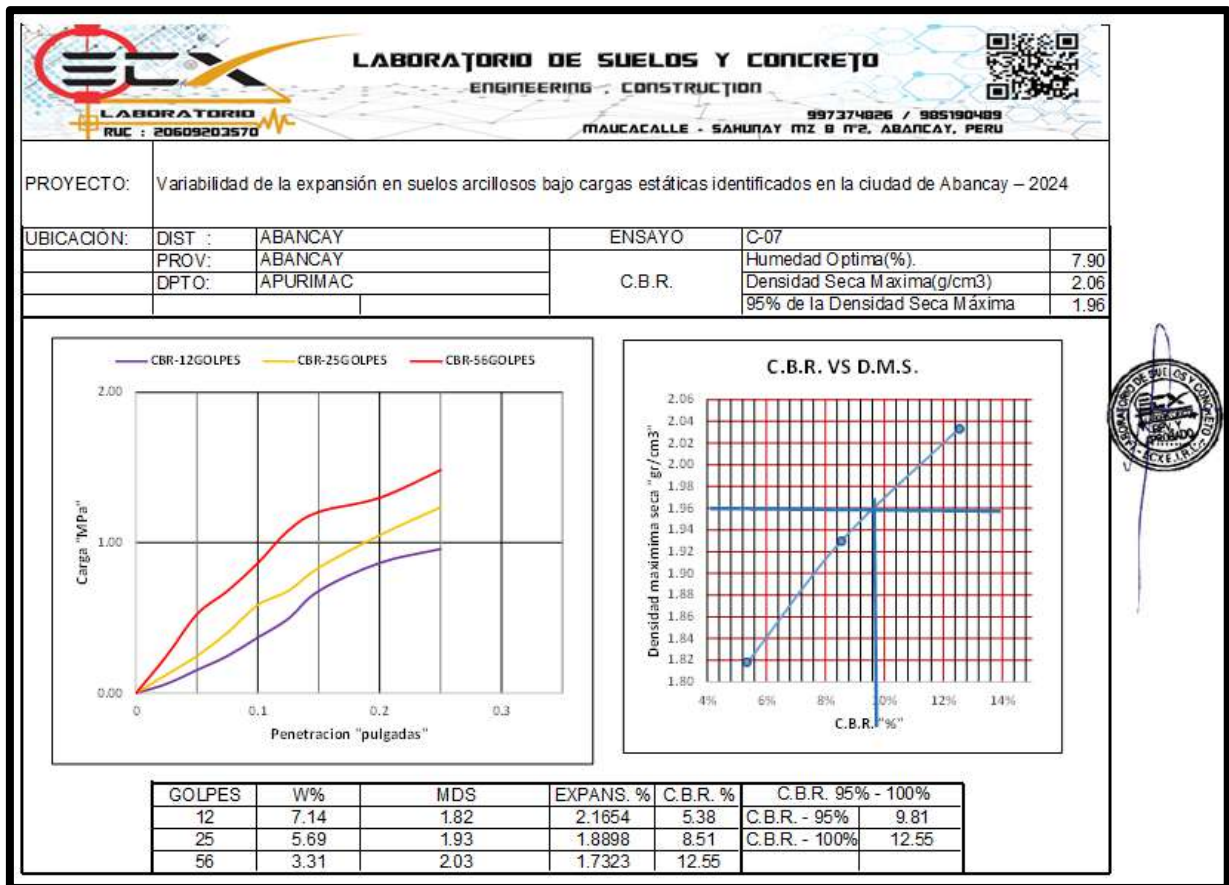


Figura 109 — Penetración C-7



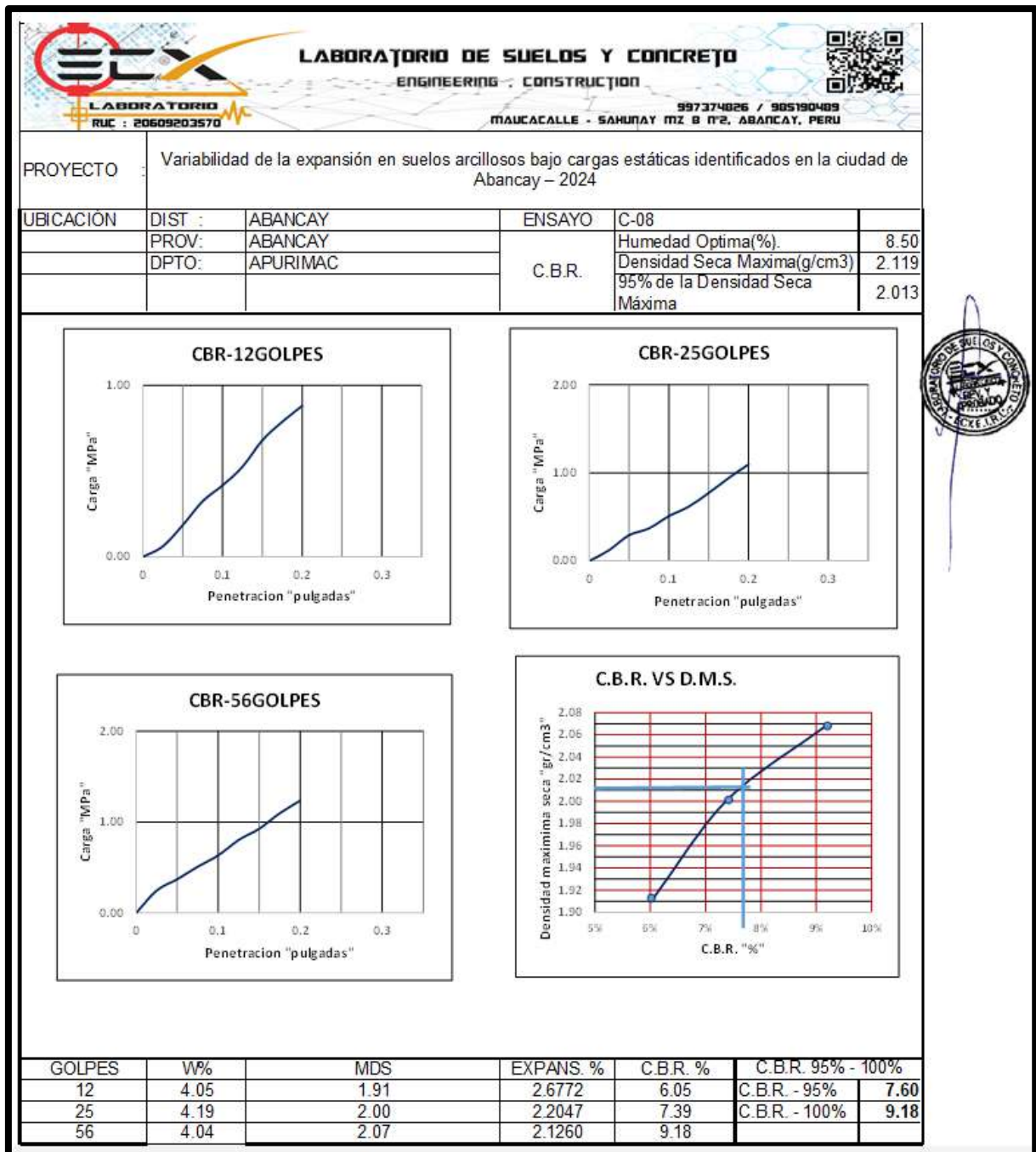


Figura 110 — CBR C-8



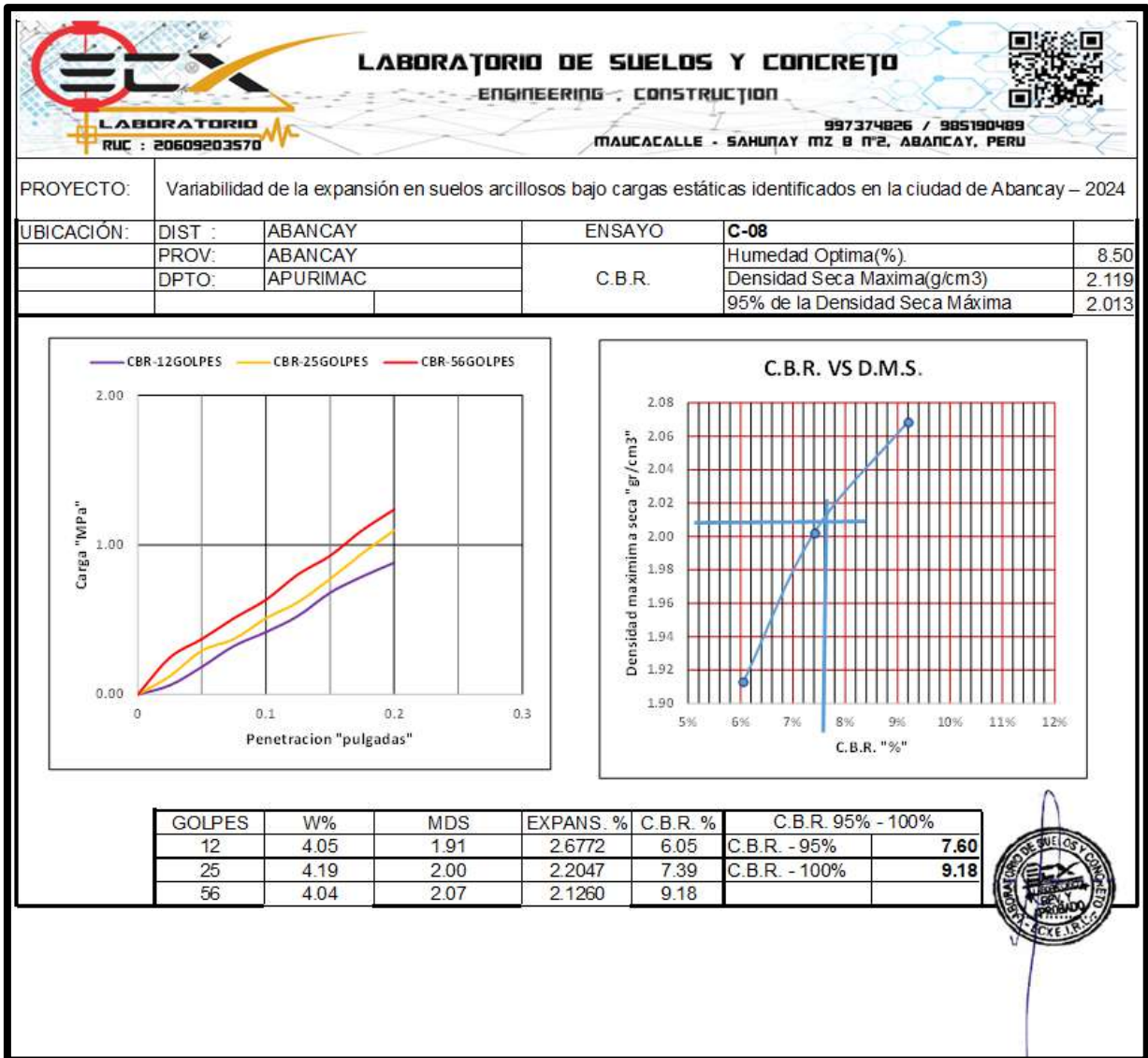


Figura 111 — Penetración C-8

Anexo C

Validación de instrumentos - juicio de expertos

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN POR EXPERTOS


El que suscribe, **Edwar Ilasaca Cahuata**, identificado con DNI N°01288250, de profesión **Ingeniero Estadístico**, con el cargo de docente hago constar que he revisado y dado el juicio de experto a la tesis diseñado por EL bachiller: **Kilmer Andrew Alvarez Abarca**, para su validación a fin de ser aplicada en la investigación titulada: **“Variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas identificados en la ciudad de Abancay – 2024”**

Luego de hacer las observaciones pertinentes, puede evaluar según los criterios establecidos y formular algunas apreciaciones.

Criterios	Descripción	D	M	B	MB	Observaciones
1. Suficiencia	Los ítems que pertenecen a una misma dimensión bastan para obtener la medición de esta			×		
2. Relevancia	El ítem es esencial o importante, es decir debe ser considerado.				×	
3. Coherencia	El ítem tiene relación lógica con la dimensión o indicador que está midiendo			×		
4. Claridad y precisión	El ítem se comprende fácilmente, es claro para obtener la información requerida.				×	
5. Redacción	Si la ortografía es correcta y hace buen uso de la semántica y la sintaxis.				×	

Nota: D Deficiente, M Mejorar, B Bueno, MB Muy Bueno

En Abancay, a los 17 días del mes de agosto del 2024



Nombres y Apellidos del evaluador experto

Figura 112 — Validación por expertos 01

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN POR EXPERTOS


El que suscribe, **Dr. Cirilo Huamán albites**, identificado con DNI N°25810286, con el cargo de docente universitario, en la Universidad Tecnológica de los Andes hago constar que he revisado y dado el juicio de experto a la tesis diseñado por la bachiller: Kilmer Andrew Alvarez Abarca, para su validación a fin de ser aplicada en la investigación titulada: **“Variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas identificados en la ciudad de Abancay – 2024”**

Luego de hacer las observaciones pertinentes, puede evaluar según los criterios establecidos y formular algunas apreciaciones.

Criterios	Descripción	D	M	B	MB	Observaciones
6. Suficiencia	Los ítems que pertenecen a una misma dimensión bastan para obtener la medición de esta			X		
7. Relevancia	El ítem es esencial o importante, es decir debe ser considerado.				X	
8. Coherencia	El ítem tiene relación lógica con la dimensión o indicador que está midiendo			X		
9. Claridad y precisión	El ítem se comprende fácilmente, es claro para obtener la información requerida.			X		
10. Redacción	Si la ortografía es correcta y hace buen uso de la semántica y la sintaxis.				X	

Nota. D Deficiente, M Mejorar. B Bueno. MB Muy Bueno

En Abancay, a los 17 días del mes de agosto del 2024



Dr. Cirilo Huamán Albites
DOCENTE DE INVESTIGACIÓN
DE 1° IT GRADO

Nombres y Apellidos del evaluador
experto

Figura 113 — Validación por expertos 02



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN POR EXPERTOS

El que suscribe, Abbon Alex Vásquez Ramírez, identificado con DNI N°01288250, de profesión **PhD. Ingeniero civil**, con el cargo de docente universitario, hago constar que he revisado y dado el juicio de experto a la tesis diseñado por el bachiller: Kilmer Andrew Alvarez Abarca, para su validacion a fin de ser aplicada en la investigación titulada: **“Variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas identificados en la ciudad de Abancay – 2024”**

Luego de hacer las observaciones pertinentes, puede evaluar según los criterios establecidos y formular algunas apreciaciones.

Criterios	Descripción	D	M	B	MB	Observaciones
11. Suficiencia	Los ítems que pertenecen a una misma dimensión bastan para obtener la medición de esta			×		
12. Relevancia	El ítem es esencial o importante, es decir debe ser considerado.			×		
13. Coherencia	El ítem tiene relación lógica con la dimensión o indicador que está midiendo			×		
14. Claridad y precisión	El ítem se comprende fácilmente, es claro para obtener la información requerida.				×	
15. Redacción	Si la ortografía es correcta y hace buen uso de la semántica y la sintaxis.			×		

Nota. D Deficiente. M Mejorar. B Bueno. MB Muy Bueno

En Abancay, a los 25 días del mes de agosto del 2024



Universidad Tecnológica de los Andes
 Departamento Académico de la Facultad de Ingeniería
 Ph.D. Abbon A. Vásquez Ramírez
 EXPERTO
 Sello y Firma del Experto.
 DNI:

Figura 114 — Validación por expertos 03



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN POR EXPERTOS

El que suscribe, **Daniilo Saavedra Ore**, identificado con DNI N°01288250, de profesión **Ingeniero Estructuralista**, con el cargo de docente hago constar que he revisado y dado el juicio de experto a la tesis diseñado por el bachiller: **Kilmer Andrew Alvarez Abarca**, para su validación a fin de ser aplicada en la investigación titulada: **“Variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas identificados en la ciudad de Abancay – 2024”**

Luego de hacer las observaciones pertinentes, puede evaluar según los criterios establecidos y formular algunas apreciaciones.

Cráterios	Descripción	D	M	B	MB	Observaciones
16. Suficiencia	Los ítems que pertenecen a una misma dimensión bastan para obtener la medición de esta				X	
17. Relevancia	El ítem es esencial o importante, es decir debe ser considerado.			X		
18. Coherencia	El ítem tiene relación lógica con la dimensión o indicador que está midiendo			X		
19. Claridad y precisión	El ítem se comprende fácilmente, es claro para obtener la información requerida.			X		
20. Redacción	Si la ortografía es correcta y hace buen uso de la semántica y la sintaxis.				X	

Nota. D Deficiente, M Mejorar. B Bueno. MB Muy Bueno

En Abancay, a los 12 días del mes de agosto del 2024



Daniilo Saavedra Ore
ING. CIVIL
CIP. 208633

Nombres y Apellidos del evaluador
experto

Figura 115 — Validación por expertos 04



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN POR EXPERTOS

El que suscribe, Ing. **Romulo gomez Noblega**, identificado con DNI N°31009566, de profesión **Ingeniero Civil**, con el cargo de docente Universitario hago constar que he revisado y dado el juicio de experto a la tesis diseñado por el bachiller: **Kilmer Andrew Alvarez Abarca**, para su validacion a fin de ser aplicada en la investigación titulada: **“Variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas identificados en la ciudad de Abancay – 2024”**

Luego de hacer las observaciones pertinentes, puede evaluar según los criterios establecidos y formular algunas apreciaciones.

Criterios	Descripción	D	M	B	MB	Observaciones
21. Suficiencia	Los ítems que pertenecen a una misma dimensión bastan para obtener la medición de esta		X			
22. Relevancia	El ítem es esencial o importante, es decir debe ser considerado.			X		
23. Coherencia	El ítem tiene relación lógica con la dimensión o indicador que está midiendo.				X	
24. Claridad y precisión	El ítem se comprende fácilmente, es claro para obtener la información requerida.			X		
25. Redacción	Si la ortografía es correcta y hace buen uso de la semántica y la sintaxis.			X		

Nota. D Deficiente, M Mejorar, B Bueno, MB Muy Bueno

En Abancay, a los 03 días del mes de agosto del 2024


 UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA
 Sello y Firma del Experto.
 DNI: 31009566

Figura 116 — Validación por expertos 05



Anexo D

Fotografías y certificados



Figura 117 — Imagen trabajo de campo 01



Figura 118 — Imagen trabajo de campo 02



Figura 119 — Imagen trabajo de campo 03



Figura 120 — Imagen trabajo de campo 04



Figura 121 — Imagen trabajo de campo 05



Figura 122 — Imagen trabajo de campo 06



Figura 123 — Imagen trabajo de campo 07



Figura 124 — Imagen trabajo de campo 08

Anexo F
Declaratoria de originalidad del autor

DECLARACIÓN JURADA

Yo, Kilmer Andrew Alvarez Abarca, identificado con DNI N°71854600 bachiller de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil – Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac con código de estudiante N° 122428, con domicilio en la Plaza de Armas s/n – distrito de Tambobamba, provincia de Cotabambas, departamento de Apurímac declaro bajo juramento:

- La originalidad fiel de la presente investigación de tesis titulada **“Variabilidad de la expansión en suelos arcillosos bajo cargas estáticas identificados en la ciudad de Abancay – 2024”** la cual no cuenta con robo o plagio de otros autores peruanos e internacionales
- La fidelidad de recolección y procesamiento de datos en los resultados de la investigación
- Uso de Software con licencias libres para los cálculos de la investigación
- Realizar solicitudes por mesa de partes a las instituciones del estado peruano para obtener información y datos las cuales se usaron citando la procedencia.



.....
Kilmer Andrew Alvarez Abarca
DNI: 71854600