

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis

Efectos de la adición de cenizas de hojas de Eucalipto en la estabilización del suelo en la
carretera a Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac-2024

Presentado por:

Zamy Walter Alarcón Moscoso

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

**Efectos de la adición de cenizas de hojas de Eucalipto en la estabilización del suelo en la
carretera a Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac-2024**

Presentado por **Zamy Walter Alarcón Moscoso**, para optar el título de Ingeniero Civil

Sustentado y aprobado el 18 de junio del 2026 ante el jurado evaluador:

Presidente:



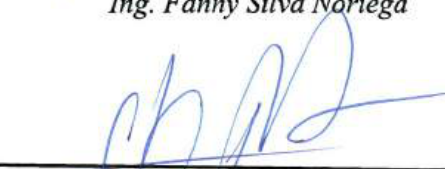
Dr. James Velazque Rojas

Primer miembro:



Ing. Fanny Silva Noriega

Segundo miembro:



Ing. Edison Ponce Torres

Asesor:



Mtro. Darwin Duhamel Loayza Encalada



Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 158-2026

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la Tesis titulada: **Efectos de la adición de cenizas de hojas de Eucalipto en la estabilización del suelo en la carretera a Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurimac-2024**, presentado por el bachiller; **Zamy Walter Alarcon Moscoso**, 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, 15 de junio del 2026

Atentamente,


UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
Dr. Walquis
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA

C. c.
Archivo
WHC/ DUI-FI
Yovana/sec
REG. N° 520



Agradecimiento

Primeramente, quiero agradecer a Dios, mis padres, hermana y familia Alarcón Moscoso por darme el apoyo, la fuerza, la disciplina y la sabiduría para seguir adelante y poder lograr todo lo que me proponga. Seguidamente agradecer a la Comunidad de Pucahuasi por el apoyo mediante la realización de mi tesis, ya que sin el apoyo y permiso no hubiera sido posible la realización de mi tesis.

A la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil por brindarme todos los conocimientos y experiencias a través de los docentes y maestros, la cual estaré eternamente agradecido a cada uno de ellos.

A mis jurados y asesor de tesis, por ser parte en mi elaboración de mi tesis, a través de sus consejos y experiencias y apoyándome en cada duda o dificultad que tenía al momento de mi realización de informe.

Zamy Walter Alarcón Moscoso



Dedicatoria

Dedico primeramente mi trabajo a Dios, a mis padres y hermana que estuvieron ahí día a día conmigo, dándome fuerza y aliento para seguir adelante en mis momentos difíciles. También agradecer a mis abuelitas que fueron parte del inicio de esta etapa de mi vida pero que ya no me seguirán acompañando en las demás etapas y caminos de mi vida agradecerles infinitamente por todo, un abrazo donde estén a todos mis abuelitos y saben que esto es por ustedes, por la FAMILIA.

Zamy Walter Alarcón Moscoso



Efectos de la adición de cenizas de hojas de Eucalipto en la estabilización del suelo en la
carretera a Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac-2024
Línea de investigación: Ingeniería de materiales.

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	10
1.2.1 Problema general	10
1.2.2 Problemas específicos	10
1.3 Justificación de la investigación	10
CAPÍTULO II	15
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	15
2.1 Objetivos de la investigación	15
2.1.1 Objetivo general	15
2.1.2 Objetivos específicos	15
2.2 Hipótesis	15
2.2.1 Hipótesis general	15
2.2.2 Hipótesis específicas	16
2.3 Operacionalización de variables	17
CAPÍTULO III	18
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	18
3.1 Antecedentes	18
3.1.1 Antecedentes internacionales	18
3.1.2 Antecedentes nacionales	21
3.1.3 Antecedentes locales	27
3.2 Marco teórico	29
3.2.1 Eucaliptus Globulus (Eucalipto)	29
3.2.2 Estabilización de suelo	34
3.2.3 Ensayos índices	45
3.2.4 Caracterización de la subrasante	59



3.3 Marco conceptual	61
CAPÍTULO IV	63
METODOLOGÍA	63
4.1 Tipo y nivel de investigación	63
4.2 Diseño de investigación	64
4.3 Descripción ética de la investigación	64
4.4 Población y muestra	65
4.4.1 Población	65
4.4.2 Muestra	66
4.5 Procedimiento	67
4.6 Técnicas e instrumentos	68
4.6.1 Técnicas	68
4.6.2 Instrumentos	69
4.7 Análisis estadístico	70
CAPÍTULO V	76
RESULTADOS Y DISCUSIONES	76
5.1 Resultados	76
5.1.1 Resultados del objetivo general	76
5.1.2 Resultados del objetivo específico 1	78
5.1.3 Resultados del objetivo específico 2	85
5.1.4 Resultados del objetivo específico 3	86
5.2 Contrastación de hipótesis	87
5.2.1 Prueba de normalidad	87
5.2.2 Contrastación de hipótesis general	88
5.2.3 Contrastación de hipótesis específicas	93
5.3 Discusiones	111
5.3.1 Discusión en relación al objetivo general	111
5.3.2 Discusión del objetivo específico 1: Propiedades Físicas	112
5.3.3 Discusión del objetivo específico 2: Propiedades Mecánicas	113
5.3.4 Discusión del objetivo específico 3. Porcentajes óptimos de C.H.E	114
5.3.5 Análisis crítico de los resultados	115
CAPÍTULO VI	117
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	117
6.1 Conclusiones	117
6.2 Recomendaciones	118



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121
ANEXOS	122

121
122



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 — Variables de la investigación	17
Tabla 2 — Análisis químico por fluorescencia de rayos X	34
Tabla 3 — Requisitos de material pétreo para bases de pavimento	40
Tabla 4 — Requisitos de material pétreo para sub base de pavimento	42
Tabla 5 — CBR de sub rasantes por categoría	43
Tabla 6 — Tamices y aaberturas para análisis agranulométrico	46
Tabla 7 — Clasificación de suelos según índice de plasticidad	49
Tabla 8 — Clasificación de suelos – Método AASHTO	51
Tabla 9 — Sistema unificado de clasificación de suelos	54
Tabla 10 — Especificaciones para la prueba Proctor Modificado	57
Tabla 11 — Categorías de subrasante	59
Tabla 12 — Total de ensayos testeados	67
Tabla 13 — Validadores instrumentales	69
Tabla 14 — Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk)	87
Tabla 15 — Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)	89
Tabla 16 — Parámetros físicos y mecánicos del suelo con adición de cenizas de hojas de Eucalipto	89
Tabla 17 — Parámetros físicos y mecánicos del suelo	90
Tabla 18 — Análisis estadístico en general	92
Tabla 19 — Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para la densidad máxima seca del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto, carretera a Pucahuasi – Chicmo, Andahuaylas, Apurímac, 2024	93
Tabla 20 — Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para la densidad máxima seca del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto, carretera a Pucahuasi – Chicmo, Andahuaylas, Apurímac, 2024	94



Tabla 21 — Análisis de varianza (ANOVA) para la densidad máxima seca del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto	95
Tabla 22 — Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para la humedad óptima del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto	96
Tabla 23 — Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para la humedad óptima del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto	97
Tabla 24 — Análisis de varianza (ANOVA) para la humedad óptima del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto	98
Tabla 25 — Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para el índice de plasticidad (IP) del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto	100
Tabla 26 — Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para el índice de plasticidad (IP) del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto	100
Tabla 27 — Análisis de varianza (ANOVA) para el índice de plasticidad del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto	101
Tabla 28 — Prueba de Tukey para el índice de plasticidad del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto	102
Tabla 29 — Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para el Índice de Soporte California (CBR) del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto	103
Tabla 30 — Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para el Índice de Soporte California (CBR) del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto	104
Tabla 31 — Análisis de varianza (ANOVA) para el Índice de Soporte California (CBR) del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto	104
Tabla 32 — Prueba de Tukey para el Índice de Soporte California (CBR) del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto	105
Tabla 33 — Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para las variables de respuesta del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto	107
Tabla 34 — Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para las variables de respuesta del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto	108
Tabla 35 — Análisis de varianza (ANOVA) integrado para la determinación del porcentaje óptimo de C.H.E	108

Tabla 36 — Prueba de Tukey para la determinación del porcentaje óptimo de C.H.E. según CBR	109
Tabla 37 — Prueba de Tukey para la determinación del porcentaje óptimo de C.H.E. según Índice de Plasticidad	109
Tabla 38 — Matriz de consistencia	129
Tabla 39 — Resumen de resultados de contenido de humedad natural	137
Tabla 40 — Resumen de resultados de límites de Atterberg	137
Tabla 41 — Resumen resultados de análisis granulométrico	138
Tabla 42 — Datos de Proctor Modificado (Densidad Máxima Seca y Humedad Óptima) por calicata y tratamiento	138
Tabla 43 — Datos de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad por calicata y tratamiento	139
Tabla 44 — Datos de CBR por calicata y tratamiento	140
Tabla 45 — Prueba de normalidad Shapiro-Wilk – InfoStat	141
Tabla 46 — Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene – InfoStat	141
Tabla 47 — ANOVA – Diseño en Bloques Completos al Azar: Densidad máxima seca (g/cm ³) – InfoStat	142
Tabla 48 — ANOVA – Diseño en Bloques Completos al Azar: Humedad óptima (%) – InfoStat	142
Tabla 49 — ANOVA – Diseño en Bloques Completos al Azar: Índice de plasticidad (%) – InfoStat	143
Tabla 50 — ANOVA – Diseño en Bloques Completos al Azar: CBR – 95% MDS (%) – InfoStat	143
Tabla 51 — Prueba de Tukey (HSD, $\alpha = 0.05$): Índice de plasticidad (%) – InfoStat	144
Tabla 52 — Prueba de Tukey (HSD, $\alpha = 0.05$): CBR – 95% MDS (%) – InfoStat	144
Tabla 53 — Tamaño del efecto (Eta cuadrado, η^2) – InfoStat	145

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 — Hojas de <i>Eucalytus Globulus</i>	30
Figura 2 — Hojas de Eucalytus Globulus en la comunidad de Pucahuasi	32
Figura 3 — Hojas de Eucalytus Globulus alrededor de la carretera a la comunidad de Pucahuasi	32
Figura 4 — Extracción de las cenizas de hojas de Eucalipto	33
Figura 5 — Esquema de un Pavimento Flexible	36
Figura 6 — Ejemplo de un pavimento flexible de asfalto	36
Figura 7 — Esquema de un Pavimento rígido	36
Figura 8 — Ejemplo de un pavimento rígido	37
Figura 9 — Esquema de un pavimento semirrígido	38
Figura 10 — Vista de la capa de rodadura de asfalto de un pavimento	38
Figura 11 — Ejemplo de un pavimento semirrígido, bloquetas de concreto	39
Figura 12 — Ejemplo de una capa de base	41
Figura 13 — Ejemplo de una capa de Sub base	43
Figura 14 — Ejemplo de una capa de sub rasante	44
Figura 15 — Muestras combinadas según porcentaje de C.H.E	45
Figura 16 — Desplazamiento y cierre del surco en Casagrande	47
Figura 17 — Límite plástico	48
Figura 18 — Diagrama conceptual del Índice de Plasticidad	49
Figura 19 — Sistema e de clasificación unificado de suelos	52
Figura 20 — Carta de plasticidad de para la clasificación de suelos	55
Figura 21 — Proctor Modificado	56
Figura 22 — Esquema del equipo CBR	58



Figura 23 — Levantamiento Topográfico y delimitación de la carretera en estudio, Pucahuasi	67
Figura 24 — Flujograma de procedimiento de investigación	68
Figura 25 — Esquema de criterios de una distribución normal	75
Figura 26 — Resultados de la densidad máxima seca en el aspecto general	77
Figura 27 — Resultados del índice de plasticidad en el aspecto general	77
Figura 28 — Resultados del CBR al 95% en el aspecto general.	78
Figura 29 — Resultados del ensayo de Límite Líquido.	79
Figura 30 — Resultados de los ensayos de límite Plástico.	80
Figura 31 — Resultados de Índices de Plasticidad.	81
Figura 32 — Contenidos de humedad óptimos del ensayo de Proctor modificado	82
Figura 33 — Densidades Secas Máximas del ensayo de Proctore Modificado	84
Figura 34 — Diagrama de porcentajes de CBR al 95%	85
Figura 35 — Densidad máxima seca del suelo estabilizado con C.H.E.	96
Figura 36 — Humedad óptima del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto	99
Figura 37 — Índice de plasticidad del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto	102
Figura 38 — Índice de Soporte California (CBR) del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto	106
Figura 39 — Formato de instrumento del Contenido de Humedad del Suelo	131
Figura 40 — Formato de instrumento de análisis granulométrico de suelos por tamizado	132
Figura 41 — Formato de instrumento de LL, LP e IP del suelo	133
Figura 42 — Formato de instrumento: Ensayo Proctor Modificado	134
Figura 43 — Formato de instrumento de ensayo de CBR	135
Figura 44 — Formato de instrumento de ensayo de CBR grafica de esfuerzo vs penetración.	136
Figura 45 — ASTM D-422 Análisis Granulométrico de la Calicata 1	146
Figura 46 — ASTM D-422 Análisis Granulométrico de la Calicata 2	147

Figura 47 — ASTM D-422 Análisis Granulométrico de la Calicata 3	148
Figura 48 — ASTM D 2216-19 Contenido de Humedad de Calicata 1	149
Figura 49 — ASTM D 2216-19 Contenido de humedad de Calicata 2	150
Figura 50 — ASTM D 2216-19 Contenido de Humedad de Calicata 3	151
Figura 51 — ASTM D4318 Determinación del Límite Líquido y Límite Plástico de C-1 - 0%CHE	152
Figura 52 — ASTM D4318 Determinación del Límite Líquido y Límite Plástico de C-1 - 4%CHE	153
Figura 53 — ASTM D4318 Determinación del Límite Líquido y Límite Plástico de C-1 - 8%CHE	154
Figura 54 — ASTM D4318 Determinación del Límite Líquido y Límite Plástico de C-1 - 12%CHE	155
Figura 55 — ASTM D4318 Determinación del Límite Líquido y Límite Plástico de C-2 - 0%CHE	156
Figura 56 — ASTM D4318 Determinación del Límite Líquido y Límite Plástico de C-2 - 4%CHE	157
Figura 57 — ASTM D4318 Determinación del Límite Líquido y Límite Plástico de C-2 - 8%CHE	158
Figura 58 — ASTM D4318 Determinación del Límite Líquido y Límite Plástico de C-2 - 12%CHE	159
Figura 59 — ASTM D4318 Determinación del Límite Líquido y Límite Plástico de C-3 - 0%CHE	160
Figura 60 — ASTM D4318 Determinación del Límite Líquido y Límite Plástico de C-3 - 4%CHE	161
Figura 61 — ASTM D4318 Determinación del Límite Líquido y Límite Plástico de C-3 + 8%CHE	162
Figura 62 — ASTM D4318 Determinación del Límite Líquido y Límite Plástico de C-3 + 12%CHE	163
Figura 63 — ASTM D-1557 Ensayo de Compactación, Proctor Modificado C-1 + 0%CHE	164

Figura 64 — ASTM D-1557 Ensayo de Compactación, Proctor Modificado C-1 + 4%CHE	165
Figura 65 — ASTM D-1557 Ensayo de Compactación, Proctor Modificado C-1 + 8%CHE	166
Figura 66 — ASTM D-1557 Ensayo de Compactación, Proctor Modificado C-1 + 12%CHE	167
Figura 67 — ASTM D-1557 Ensayo de Compactación, Proctor Modificado C-2 + 0%CHE	168
Figura 68 — ASTM D-1557 Ensayo de Compactación, Proctor Modificado C-2 + 4%CHE	169
Figura 69 — ASTM D-1557 Ensayo de Compactación, Proctor Modificado C-2 + 8%CHE	170
Figura 70 — ASTM D-1557 Ensayo de Compactación, Proctor Modificado C-2 + 12%CHE	171
Figura 71 — ASTM D-1557 Ensayo de Compactación, Proctor Modificado C-3 + 0%CHE	172
Figura 72 — ASTM D-1557 Ensayo de Compactación, Proctor Modificado C-3 + 4%CHE	173
Figura 73 — ASTM D-1557 Ensayo de Compactación, Proctor Modificado C-3 + 8%CHE	174
Figura 74 — ASTM D-1557 Ensayo de Compactación, Proctor Modificado C-3 + 12%CHE	175
Figura 75 — ASTM D 1883 Relación de soporte de California(CBR) C-1 + 0%CHE	176
Figura 76 — ASTM D 1883 Graficas por golpes del soporte de California(CBR) C-1 + 0%CHE	177
Figura 77 — ASTM D 1883 Graficas de la Relación por golpes del soporte de California(CBR) C-1 + 0%CHE	178
Figura 78 — ASTM D 1883 Relación de soporte de California(CBR) C-1 + 4%CHE	179
Figura 79 — ASTM D 1883 Graficas por golpes del soporte de California(CBR) C-1 + 4%CHE	180

Figura 80 — ASTM D 1883 Graficas de la Relación por golpes del soporte de California(CBR) C-1 + 4%CHE	181
Figura 81 — ASTM D 1883 Relación de soporte de California(CBR) C-1 + 8%CHE	182
Figura 82 — ASTM D 1883 Graficas por golpes del soporte de California(CBR) C-1 + 8%CHE	183
Figura 83 — ASTM D 1883 Graficas de la Relación por golpes del soporte de California(CBR) C-1 + 8%CHE	184
Figura 84 — ASTM D 1883 Relación de soporte de California(CBR) C-1 + 12%CHE	185
Figura 85 — ASTM D 1883 Graficas por golpes del soporte de California(CBR) C-1 + 12%CHE	186
Figura 86 — ASTM D 1883 Graficas de la Relación por golpes del soporte de California(CBR) C-1 + 12%CHE	187
Figura 87 — ASTM D 1883 Relación de soporte de California(CBR) C-2 + 0%CHE	188
Figura 88 — ASTM D 1883 Graficas por golpes del soporte de California(CBR) C-2 + 0%CHE	189
Figura 89 — ASTM D 1883 Graficas de la Relación por golpes del soporte de California(CBR) C-2 + 0%CHE	190
Figura 90 — ASTM D 1883 Relación de soporte de California(CBR) C-2 + 4%CHE	191
Figura 91 — ASTM D 1883 Graficas por golpes del soporte de California(CBR) C-2 + 4%CHE	192
Figura 92 — ASTM D 1883 Graficas de la Relación por golpes del soporte de California(CBR) C-2 + 4%CHE	193
Figura 93 — ASTM D 1883 Relación de soporte de California(CBR) C-2 + 8%CHE	194
Figura 94 — ASTM D 1883 Graficas por golpes del soporte de California(CBR) C-2 + 8%CHE	195
Figura 95 — ASTM D 1883 Graficas de la Relación por golpes del soporte de California(CBR) C-2 + 8%CHE	196
Figura 96 — ASTM D 1883 Relación de soporte de California(CBR) C-2 + 12%CHE	197
Figura 97 — ASTM D 1883 Graficas por golpes del soporte de California(CBR) C-2 + 12%CHE	198

Figura 98 — ASTM D 1883 Graficas de la Relación por golpes del soporte de California(CBR) C-2 + 12%CHE	199
Figura 99 — ASTM D 1883 Relación de soporte de California(CBR) C-3 + 0%CHE	200
Figura 100 — ASTM D 1883 Graficas por golpes del soporte de California(CBR) C-3 + 0%CHE	201
Figura 101 — ASTM D 1883 Graficas de la Relación por golpes del soporte de California(CBR) C-3 + 0%CHE	202
Figura 102 — ASTM D 1883 Relación de soporte de California(CBR) C-3 + 4%CHE	203
Figura 103 — ASTM D 1883 Graficas por golpes del soporte de California(CBR) C-3 + 4%CHE	204
Figura 104 — ASTM D 1883 Graficas de la Relación por golpes del soporte de California(CBR) C-3 + 4%CHE	205
Figura 105 — ASTM D 1883 Relación de soporte de California(CBR) C-3 + 8%CHE	206
Figura 106 — ASTM D 1883 Graficas por golpes del soporte de California(CBR) C-3 + 8%CHE	207
Figura 107 — ASTM D 1883 Graficas de la Relación por golpes del soporte de California(CBR) C-3 + 8%CHE	208
Figura 108 — ASTM D 1883 Relación de soporte de California(CBR) C-3 + 12%CHE	209
Figura 109 — ASTM D 1883 Graficas por golpes del soporte de California(CBR) C-3 + 12%CHE	210
Figura 110 — ASTM D 1883 Graficas de la Relación por golpes del soporte de California(CBR) C-3 + 12%CHE	211
Figura 111 — Valoración del experto N° 01	213
Figura 112 — Valoración del experto N° 02	214
Figura 113 — Valoración del experto N° 03	215
Figura 114 — Valoración del experto N° 04	216
Figura 115 — Valoración del experto N° 05	217
Figura 116 — Carretera de Pucahuasi	218
Figura 117 — Entrada y levantamiento topográfico de la carretera de Pucahuasi	218

Figura 118 — Arboles de Eucalipto en cantidad en la carretera de Pucahuasi	218
Figura 119 — Ubicación Geográfica de Santa María de Chicmo	218
Figura 120 — Carretera Pucahuasi	219
Figura 121 — Carretera Pucahuasi	219
Figura 122 — Carretera Pucahuasi	219
Figura 123 — Carretera Pucahuasi	219
Figura 124 — Carretera Pucahuasi	220
Figura 125 — Carretera Pucahuasi	220
Figura 126 — Extracción y pesado de la muestra de la calicata 2; 50Kg de tierra a 1,5m de profundidad	220
Figura 127 — Extracción y pesado de la muestra de la calicata 1; 50Kg de tierra a 1,5m de profundidad	220
Figura 128 — Rebrote de árbol de Eucalipto talado en la carretera de Pucahuasi	221
Figura 129 — Recolección de desechos de la tala del árbol Eucalipto en la carretera de Pucahuasi	221
Figura 130 — Recolección de hojas de Eucalipto en la carretera de Pucahuasi	221
Figura 131 — Recolección de cenizas de hojas de Eucalipto del horno de una ladrillera de Chaccamarca-Andahuaylas	221
Figura 132 — Muestra del suelo extraído de la carretera de Pucahuasi	222
Figura 133 — Muestra de las cenizas de hojas de Eucalipto después de la incineración y secado en el horno	222
Figura 134 — Acoplo de las muestras antes de ser llevadas al laboratorio	222
Figura 135 — Acoplo de las muestras de tierra y cenizas de hojas de Eucalipto	222
Figura 136 — Pesado para el Contenido de humedad	222
Figura 137 — Muestras para el contenido de humedad	222
Figura 138 — Cuarteo de muestra de la calicata 1 para ensayo de granulometría	223
Figura 139 — Cuarteo de muestra de la calicata 3 para ensayo de granulometría	223
Figura 140 — Cuarteo de las 3 calicatas para su granulometría	223

Figura 141 — Análisis granulométrico por tamizado de la calicata 3	223
Figura 142 — Limite líquido y limite plástico suelo natural. C3	224
Figura 143 — Límite Líquido con cenizas de hojas de Eucalipto al 12% C1	224
Figura 144 — Limite liquido con cenizas de hojas de Eucalipto al 4%. C1	224
Figura 145 — Limite liquido con cenizas de hojas de Eucalipto al 4%. C2	224
Figura 146 — Pesado de la muestra para ensayo Proctor Modificado	225
Figura 147 — Suelo más adición de polvo de cenizas de hojas de eucalipto al 8%	225
Figura 148 — Ensayo de Proctor modificado	225
Figura 149 — Compactación del suelo para Proctor Modificado	225
Figura 150 — Ensayo CBR	226
Figura 151 — Ensayo CBR al 95%	226
Figura 152 — Molde con muestra con CBR al 95%	226
Figura 153 — Suelo con cenizas de hojas de Eucalipto para CBR; calicata 1	226
Figura 154 — Suelo con cenizas de hojas de Eucalipto para CBR; calicata 2	226
Figura 155 — Suelo con cenizas de hojas de Eucalipto para CBR; calicata 3	226
Figura 156 — Autorización para ejecución de tesis.	227
Figura 157 — Certificado de calibración 1	228
Figura 158 — Certificado de calibración 2	229
Figura 159 — Certificado de calibración 3	230
Figura 160 — Certificado de calibración 4	231
Figura 161 — Certificado de calibración 5	232
Figura 162 — Certificado de calibración 6	233
Figura 163 — Certificado de calibración 7	234
Figura 164 — Certificado de calibración 8	235
Figura 165 — Certificado de calibración 9	236
Figura 166 — Certificado de calibración 10	237
Figura 167 — Certificado de calibración 11	238

Figura 168 — Certificado de calibración 12	239
Figura 169 — Certificado de calibración 13	240
Figura 170 — Figura del plano topográfico de calicatas de la carretera a Pucahuasi - 1	241
Figura 171 — Figura del plano topográfico de calicatas de la carretera a Pucahuasi - 2	242



SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AASHTO — American Association of State Highway and Transportation Officials

ASTM — American Society for Testing and Materials

CBR — Relación de Soporte de California

CHE — Cenizas de Hojas de Eucalipto

COH — Contenido Óptimo de Humedad

DMS — Densidad Máxima Seca.

IP — Índice de Plasticidad

LL — Límite Líquido

LP — Límite Plástico

MDS — Máxima Densidad Seca del Suelo.

MTC — Ministerio de Transportes y Comunicaciones

NTP — Normas Técnicas Peruanas

SUCS — Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas para la construcción de una carretera es la estabilidad en el suelo que generalmente si no son bien analizados y estudiados nos conllevaran a deficiencias en nuestra carretera a construir, para ello durante el transcurso del tiempo se fueron utilizando materiales que al adicionarle o combinarlo con el suelo puedan dar una mejora en la estabilidad del suelo, particularmente tomaremos para esta investigación el ramal que conecta a la comunidad de Pucahuasi en el distrito de Chicmo, provincia de Andahuaylas del departamento de Apurímac- Perú.

En caso de inundaciones intensas, esta ruta en varios tramos se vuelve prácticamente intransitable, creando un aislamiento físico para los residentes que dependen de este tramo para viajar diariamente a sus hogares y centros de trabajo, mencionando también que es una conexión de muchas comunidades hacia la vía a Talavera. Esta La situación demuestra la necesidad urgente de implementar soluciones técnicas adecuadas para la mejora de los suelos en esta zona.

El objetivo principal en esta investigación es determinar los efectos de la estabilización de suelos mediante la adición de cenizas de hojas de Eucalipto para mejorar las propiedades geotécnicas de la subrasante en el sector de Pucahuasi, considerando aspectos técnicos, económicos y ambientales. Con esa problemática en la presente investigación se pretende tomar como muestra los antecedentes que ya se realizaron antes de estabilidad de suelos con diferentes materiales, en este caso se utilizara las hojas de eucalipto en forma de ceniza como estabilizador, tomando en cuenta que en dicho lugar hay una gran cantidad de árboles de Eucalipto que rodean la carretera, para ello se realizó el levantamiento topográfico del ramal que conecta a Pucahuasi como comunidad, seguidamente con la extracción de las muestras de suelo en tramos específicos y donde se puedan ver o realizar mejor estudio de suelo y así poder hacer la comparación utilizando luego las cenizas de las hojas de Eucalipto como un elemento que pretende ayudarnos a la estabilidad de suelos en dicho lugar.

La metodología empleada se basa en un diseño experimental que incluye la caracterización física y mecánica de los suelos de Pucahuasi, seguida por ensayos de laboratorio con diferentes proporciones de cenizas de hojas de Eucalipto como agente causante. Se evaluarán parámetros

fundamentales como el proctor modificado, índice de plasticidad, densidad seca máxima y capacidad de soporte (CBR) bajo diferentes porcentajes de adición. El estudio se fundamenta en teorías de estabilización química de suelos que explican cómo la ceniza de hojas de Eucalipto en combinación con el suelo natural genera reacciones que modifican favorablemente las propiedades físico-mecánicas del suelo, reduciendo su IP y aumentando su resistencia.

Esta investigación no solo busca resolver un problema local en Chicmo, sino que representa un aporte científico-técnico al proporcionar datos experimentales sobre una combinación innovadora de causantes derivados de los recursos que más abundan en el lugar, promoviendo la utilización de los recursos de la zona y así el desarrollo de infraestructura vial sostenible en regiones con condiciones geotécnicas desafiantes.

El presente informe está conformado por VI capítulos, repartidos tal como se indica a continuación:

Capítulo I: Planteamiento del problema. Se desarrolla la identificación y descripción de la problemática de los suelos en la carretera de Pucahuasi, formulación de preguntas de investigación, delimitación del alcance del estudio y justificación de la relevancia del proyecto en términos académicos, sociales y ambientales.

Capítulo II: Objetivos e hipótesis. Se detallan los objetivos generales y específicos de la investigación, las hipótesis planteadas y la operacionalización de las variables del estudio.

Capítulo III: Marco teórico referencial. Presenta los antecedentes nacionales e internacionales relevantes al tema, marco conceptual con definición de términos clave y fundamentos científicos y técnicos relacionados con la estabilización de suelos con aditivos.

Capítulo IV: Metodología. Se establece el diseño experimental de la investigación con enfoque cuantitativo, nivel descriptivo y de tipo aplicada. Se definen la población y muestra de estudio, técnicas e instrumentos de recolección de datos incluyendo ensayos de laboratorio, observación directa y análisis documental, así como los procedimientos para el procesamiento y análisis estadístico de los datos obtenidos.



Capítulo V: Resultados y discusión. Se presentan los resultados obtenidos, incluyendo las proporciones óptimas de cenizas de hojas de Eucalipto, especificaciones técnicas y procedimientos de aplicación para la estabilización de los suelos en el tramo de la carretera de Pucahuasi-Chicmo.

Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones. Se finaliza sobre el cumplimiento de los objetivos planteados y se determina la efectividad de la estabilización de suelos mediante cenizas de hojas de Eucalipto. Se establecen las conclusiones principales del estudio y se proponen recomendaciones prácticas para la implementación de la solución propuesta en el tramo de la carretera Pucahuasi-Chicmo, así como sugerencias para futuras líneas de investigación.



RESUMEN

El presente trabajo de investigación se centra en determinar los efectos en la estabilización del suelo en general al adicionarle las cenizas de hojas de Eucalipto (C.H.E) cuyas muestras fueron obtenidas en la carretera de Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas región Apurímac, el estudio utiliza como metodología el método deductivo, del tipo aplicada, de nivel explicativo y de diseño netamente experimental. Se pudo observar que en dicha zona existe una gran cantidad de árboles de la familia *Eucalyptus globulus*, cuyos residuos de tallos y hojas son tirados al borde de la carretera tras la tala de los mismos, dichos desechos fueron utilizados como una economía circular y sostenible en esta investigación. La metodología empleada corresponde a un diseño experimental con ensayos de laboratorio bajo estándares ASTM y normas del MTC. Se analizó una población de suelos en la carreta de Pucahuasi con una muestra de tres calicatas respecto a un tramo de 1,75Km en los lugares críticos y de manera alternada, evaluando diferentes proporciones de cenizas de hojas de Eucalipto.

Para esta investigación se realizó tres tipos de combinaciones de cenizas de hojas de Eucalipto de 4%,8% y 12% en combinación con el suelo natural por calicata. Se tuvo como resultados que el tipo de suelo según SUCS en la calicata 1 es (SC-MH), el tipo de suelo en la calicata 2 es (SC-OH), y el tipo de suelo en la calicata 3 es (SP-CL); teniendo como valores iniciales respecto al Índice de plasticidad de 21.92 %, 42.48 % y 27.68 % para C-01, C-02 y C-03 respectivamente que al combinarlas con (C.H.E) se obtuvieron reducciones significativas, las mayores reducciones se observaron en C-03 donde el índice de plasticidad disminuyó de a 19.90% siendo la combinación optima en este aspecto la de 12%C.H.E; en cuanto al CBR al 95% se obtuvo valores iniciales de 6.90 %, 9.20 % y 11.00 % para C-01, C-02 y C-03 respectivamente que al adicionarle (C.H.E) se incrementaron con el tratamiento óptimo del 8%C.H.E, alcanzando 12.60%, 13.65% y 17.10%. respectivamente Al 95% de compactación. El estudio concluye con que las (C.H.E) en aspecto general reduce la plasticidad del suelo y mejora la resistencia del suelo actuando como un aglomerante hídrico ya que tiene la capacidad al combinarse con el agua de endurecerse.

Palabras clave: *Cenizas de hojas de Eucalipto (C.H.E), estabilización de suelos.*



ABSTRACT

This research focuses on determining the effects of adding eucalyptus leaf ash (ELA) to soil stabilization. Samples were obtained from the Pucahuasi-Chicmo road in Andahuaylas, Apurímac region. The study employs a deductive, applied, explanatory, and purely experimental design. It was observed that the road becomes impassable during the rainy season, affecting more than 500 inhabitants. A large number of Eucalyptus globulus trees are present, and their stem and leaf waste is discarded along the roadside after logging. This waste was used in this research as part of a circular and sustainable economy. The methodology employed is an experimental design with laboratory tests conducted according to ASTM standards and MTC regulations. A soil population along the Pucahuasi road was analyzed using a sample of three soil pits along a 1.75 km stretch, placed alternately at critical locations. Different proportions of eucalyptus leaf ash were evaluated.

For this research, three combinations of eucalyptus leaf ash (4%, 8%, and 12%) were applied to the natural soil in each pit. The results showed that, according to the Unified Soil Classification System (USCS), the soil type in pit 1 was (SC-MH), the soil type in pit 2 was (SC-OH), and the soil type in pit 3 was (SP-CL). Initial values for the Plasticity Index were 21.92%, 42.48%, and 27.68% for C-01, C-02, and C-03, respectively. When combined with (C.H.E.), significant reductions were obtained. The greatest reductions were observed in C-03, where the Plasticity Index decreased to 19.90%, with the optimal combination being 12% C.H.E. Regarding the CBR at 95% compaction, initial values of 6.90%, 9.20%, and 11.00% were obtained for C-01, C-02, and C-03, respectively. With the addition of (C.H.E.), these values increased to 12.60%, 13.65%, and 17.10%, respectively, with the optimal treatment of 8% C.H.E. The study concludes that (C.H.E) generally reduces soil plasticity and improves soil strength by acting as a water binder, since it has the ability to harden when combined with water.

Keywords: *Eucalyptus leaf ash (ELA), soil stabilization.*



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

En el ámbito **internacional** (Abdelkader et al., 2021) en su investigación titulada “Influence of waste marble dust on the improvement of expansive clay soils” nos indican que los suelos expansivos son aquellos que presentan cambios importantes de volumen acompañados de cambios en el contenido de agua ya que se hincha cuando se le añade agua y se encoge cuando se evapora este comportamiento de hinchamiento se debe a la presencia de minerales arcillosos altamente reactivos como la montmorillonita y la esmectita. Asu vez, mencionan que los problemas del suelo expansivo han aparecido como agrietamiento, pavimentos, caminos; en ese sentido, los residuos sólidos minerales (polvo de cantera, polvo de mármol) son materiales de desecho directamente al medio ambiente esto puede causar daños ambientales. por tal motivo, los autores recomiendan reciclar los materiales de desecho en aplicaciones de ingeniería civil sostenibles ya que es de importancia universal, a nivel mundial se buscan nuevas formas de conservar los recursos naturales y reducir la cantidad de materiales de desecho que se envían a los vertederos.

En el ámbito **Europeo** (Arias Navarro et al., 2024) En un artículo publicado sobre el estudio de “El estado de los suelos en Europa” Mencionan que la estabilización de suelos en proyectos viales europeos debe cumplir con un marco regulatorio riguroso que prioriza la seguridad, calidad técnica y protección ambiental. Los materiales y procedimientos empleados suelen estar sujetos a **normas europeas (EN)** y directrices ambientales que restringen ciertos químicos o métodos que puedan presentar riesgos de contaminación o toxicidad, Estas normativas, junto con los objetivos de sostenibilidad de la Unión Europea, agregan complejidad al diseño y selección de técnicas de estabilización, ya que no sólo se trata de mejorar propiedades mecánicas, sino de garantizar la compatibilidad ambiental y conformidad legal.

En el ámbito **Sudamericano** tambien en un artículo publicado por nombre “Challenges in the Construction of Highways in the Brazilian Amazonia Environment – Part I” el cual



nos dice que Estudios en la región amazónica brasileña señalan que la naturaleza geológicamente joven de los suelos aluviales altamente plásticos, compresibles o expansivos constituye un obstáculo técnico para la construcción de carreteras, complicando la formación de subrasantes adecuadas y reduciendo la estabilidad estructural de los terraplenes. (de Souza Campelo et al., 2022)

En el ambito **nacional** en el Perú los eventos naturales son muy frecuentes especialmente en épocas de lluvias, a consecuencia de ello se causan daños en las carreteras y mas que nada por el tema economico y social no se dan un mantenimiento vial, esto afecta en la movilización para las diferentes actividades económicas en el país.

En el **Perú** en la (Norma Técnica E.050) se menciona que:

En las zonas donde sea evidente la ocurrencia de hundimientos debido a la existencia de suelos colapsables, el Profesional Responsable deberá incluir en su EMS un análisis basado en la determinación de la plasticidad del suelo NTP 339.129 (ASTM D4318), del ensayo para determinar el peso volumétrico NTP 339.139 (BS 1377) y del ensayo de humedad NTP 339.127 (ASTM D2216), con la finalidad de evaluar el potencial de colapso del suelo en función del Límite Líquido (LL) y del peso volumétrico seco (γ_d)”, y que “los resultados e investigaciones de campo y laboratorio, así como el análisis, conclusiones y recomendaciones del EMS, sólo se aplicarán al terreno y edificaciones comprendidas en el mismo. No podrán emplearse en otros terrenos, para otras edificaciones, o para otro tipo de obra”

En el ambito **local** en Pucahuasi, la red vial rural del sector Pucahuasi presenta carreteras no pavimentadas bajo la responsabilidad de la Municipalidad Provincial de Chicmo, esta vía que se extiende por 1.75 km con un ancho de 8.00 m, está conformada predominantemente por suelos con gravas mal gradadas, gravas limosas y arenas limosas, características desfavorables para su función como subrasante; durante las temporadas de lluvias intensas, estos caminos se transforman en lodazales prácticamente intransitables, generando grietas longitudinales de 1-5 mm de ancho y hasta 7 cm de profundidad, grietas transversales con separaciones de 2-5 cm, hundimientos de 7-15 cm de profundidad y deformaciones por ahuellamiento de hasta 10 cm, lo que genera un incremento considerable en los tiempos de desplazamiento y episodios de intransitabilidad total durante las precipitaciones, afectando directamente a aproximadamente 500 habitantes



del sector y de las diferentes comunidades que se conectan por dicha carretera que experimentan aislamiento crítico durante 3-4 días por cada evento de precipitación intensa.

Tenemos como diagnóstico que la carretera a Pucahuasi constituye una vía de acceso fundamental para la movilidad de personas, el transporte de productos agrícolas y el desarrollo socioeconómico de la zona. Sin embargo, esta vía presenta deficiencias estructurales recurrentes, tales como deformaciones, pérdida de capacidad portante, presencia de baches y fisuras prematuras, especialmente durante las épocas de lluvia. Estas fallas están directamente asociadas a las características geotécnicas desfavorables del suelo natural, el cual presenta baja resistencia al corte, elevada plasticidad y alta susceptibilidad a la humedad.

Una causa general podría ser el deficiente comportamiento del suelo de subrasante de la carretera a Pucahuasi frente a cargas vehiculares y condiciones climáticas, debido a la falta de estabilización adecuada, teniendo en cuenta también las demás causas como:

- Propiedades inadecuadas del suelo natural
 - Alta plasticidad y sensibilidad a la humedad.
 - Baja capacidad portante y resistencia al esfuerzo cortante.
 - Presencia de suelos finos que se deforman fácilmente.
- Ausencia de técnicas de estabilización de suelos
 - Uso del suelo natural sin tratamiento químico o mecánico.
 - Falta de incorporación de materiales estabilizantes alternativos.
- Condiciones climáticas adversas
 - Precipitaciones estacionales que incrementan la humedad del suelo.
 - Ciclos de humedecimiento y secado que generan expansión y contracción del terreno.
- Limitaciones económicas en infraestructura vial rural
 - Insuficiente presupuesto para la pavimentación con asfalto u otros métodos convencionales.
 - Prioridad reducida en mantenimiento preventivo de vías rurales.

- Desaprovechamiento de residuos locales
 - Abundancia de hojas de eucalipto sin un uso técnico adecuado.
 - Falta de investigaciones que validen su potencial como material estabilizante.

Paralelamente, en la región existe una abundante disponibilidad de hojas de eucalipto, las cuales, tras su caída y acumulación, no reciben un aprovechamiento adecuado y en muchos casos son quemadas de manera informal, generando impactos ambientales negativos. La calcinación controlada de estas hojas produce cenizas con potencial puzolánico, las cuales podrían ser empleadas como un material alternativo y sostenible para la estabilización de suelos.

Pese a que diversos estudios internacionales y nacionales han demostrado que las cenizas vegetales pueden mejorar propiedades como la resistencia, la trabajabilidad y la reducción del índice de plasticidad de los suelos, en la carretera a Pucahuasi no se cuenta con investigaciones específicas que evalúen los efectos técnicos de la adición de cenizas de hojas de eucalipto sobre el comportamiento mecánico del suelo local.

En consecuencia, existe un vacío de conocimiento técnico respecto a la viabilidad del uso de cenizas de hojas de eucalipto como estabilizante del suelo de la subrasante en esta vía, lo que limita la implementación de soluciones innovadoras, económicas y ambientalmente sostenibles. Esta situación evidencia la necesidad de realizar un estudio experimental que permita diagnosticar y cuantificar los efectos de la adición de cenizas de hojas de eucalipto en la estabilización del suelo, con el fin de mejorar el desempeño estructural de la carretera a Pucahuasi y contribuir al desarrollo de alternativas constructivas sostenibles para zonas rurales.

Por lo tanto, el problema general se enfocó en evaluar la eficacia de la estabilización de suelos mediante cenizas de hojas de Eucalipto para su aplicación en capas de subrasante en la zona de Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas considerando aspectos técnicos, económicos y ambientales.

En este contexto, la utilización de cenizas de hojas de eucalipto, un residuo vegetal abundante en la región, surge como una alternativa técnica, económica y ambientalmente sostenible para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo de la carretera. Sin



embargo, no se cuenta con estudios locales que evalúen de manera experimental los efectos reales de la adición de estas cenizas en el comportamiento del suelo, lo que limita su aplicación práctica en proyectos viales rurales de la zona.

1.2 Enunciado del problema

1.2.1 Problema general

- ¿Cuáles son los efectos de la adición de cenizas de hojas de Eucalipto (C.H.E.) en las propiedades físicas y mecánicas de los suelos de subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac – 2024?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es el efecto en las propiedades físicas de los suelos al adicionar cenizas de hojas de Eucalipto para estabilización en la subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac - 2024?
- ¿Cuál es el efecto en las propiedades mecánicas de los suelos al estabilizarlo con cenizas de hojas de Eucalipto en la subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas - 2024?
- ¿Cuál es el porcentaje óptimo de cenizas de hojas de Eucalipto para lograr la máxima estabilización de los suelos de subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac – 2024?

1.3 Justificación de la investigación

Tenemos la **Justificación teórica**, Desde el punto de vista teórico, la estabilización de suelos se basa en principios físico-químicos que explican la mejora de las propiedades mecánicas del suelo mediante la incorporación de aditivos. En este contexto, las cenizas de origen vegetal, como las cenizas de hojas de eucalipto, representan un material alternativo de interés debido a su contenido de sílice, alúmina y óxidos reactivos, los cuales forman reacciones puzolánicas cuando interactúan con el suelo, la investigación amplía el marco teórico existente sobre el uso de residuos agroforestales en la estabilización de suelos, un tema que aún presenta limitaciones en cuanto a estudios específicos, especialmente en zonas rurales y de difícil acceso. Al analizar los efectos de la adición de cenizas de hojas de eucalipto en propiedades



como el límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, CBR se aporta evidencia científica que permite explicar los mecanismos de interacción suelo–ceniza desde una perspectiva teórica y experimental. Asimismo, el estudio se fundamenta en teorías relacionadas con la ingeniería sostenible, ya que promueve el aprovechamiento de residuos orgánicos como alternativa a estabilizantes tradicionales (cal o cemento), contribuyendo a la reducción del impacto ambiental y a la generación de conocimiento orientado al desarrollo sostenible de la infraestructura vial. Desde esta perspectiva, la investigación permite enriquecer los modelos teóricos sobre el comportamiento de suelos estabilizados con materiales no convencionales, adaptándolos a condiciones locales como las presentes en la carretera a Pucahuasi – 2024.

Justificación **práctica** porque responde a una problemática real y recurrente en la infraestructura vial, especialmente en carreteras rurales como la vía a Pucahuasi, donde los suelos naturales presentan baja capacidad portante, elevada plasticidad y deterioro acelerado debido a la acción del tránsito y las condiciones climáticas. Estas características generan altos costos de mantenimiento, fallas prematuras del pavimento y dificultades en la transitabilidad.

En la práctica, los métodos tradicionales de estabilización de suelos, como el uso de cal o cemento, no siempre son viables debido a su alto costo, limitada disponibilidad en zonas rurales y requerimientos técnicos especializados. En este contexto, la utilización de cenizas de hojas de eucalipto, un residuo abundante en muchas regiones, representa una alternativa técnica y económicamente accesible para mejorar las propiedades del suelo de subrasante.

Los resultados de esta investigación permitirán evaluar experimentalmente el efecto de la adición de cenizas de hojas de eucalipto en parámetros clave del comportamiento del suelo, tales como el índice de plasticidad, resistencia y capacidad de soporte (CBR). Esta información será de utilidad directa para ingenieros, municipalidades y entidades responsables del mantenimiento vial, ya que proporcionará criterios técnicos para la aplicación de este material como estabilizante en proyectos similares.

Asimismo, la investigación ofrece una aplicación práctica inmediata, ya que los resultados podrán emplearse como referencia técnica para el diseño y mejoramiento de carreteras no pavimentadas o de bajo volumen de tránsito, contribuyendo a prolongar la vida útil de la vía y reducir la frecuencia de intervenciones correctivas. De este modo, se promueve una solución constructiva adaptada a las condiciones locales, tanto en términos de materiales disponibles como de limitaciones presupuestales.

Finalmente, la justificación práctica de esta tesis radica en que sus conclusiones podrán servir como base para futuras normativas, guías técnicas o manuales de estabilización de suelos con materiales alternativos, fomentando prácticas constructivas más eficientes y sostenibles en el ámbito de la ingeniería vial.

Justificación **social** tiene una relevante justificación social, ya que aborda una problemática recurrente en la carretera a Pucahuasi, relacionada con la deficiente estabilidad de los suelos, lo cual afecta directamente la seguridad vial, la transitabilidad y la calidad de vida de la población local. Las malas condiciones del suelo generan deterioro prematuro de la vía, incremento de accidentes de tránsito, mayores costos de mantenimiento y dificultades en el transporte de personas, productos agrícolas y bienes de primera necesidad. La adición de cenizas de hojas de eucalipto como material estabilizante propone una alternativa innovadora, sostenible y de bajo costo frente a los métodos tradicionales de estabilización de suelos, los cuales suelen requerir insumos industriales de difícil acceso para comunidades rurales. El aprovechamiento de residuos vegetales locales contribuye a reducir el impacto ambiental generado por la quema o disposición inadecuada de hojas de eucalipto, promoviendo prácticas de economía circular y gestión responsable de los recursos naturales. Asimismo, la mejora de las propiedades mecánicas del suelo permitirá aumentar la vida útil de la carretera a Pucahuasi, garantizando una vía más segura y accesible durante todo el año. Esto favorecerá el desarrollo socioeconómico de la zona al facilitar el acceso a servicios básicos como salud, educación y comercio.

Finalmente, los resultados de esta investigación podrán servir como referencia técnica y social para futuras intervenciones viales en zonas rurales con características similares, beneficiando a otras comunidades que enfrentan problemas de

infraestructura vial y limitaciones presupuestales, contribuyendo así al desarrollo sostenible y al bienestar social de la población.

Justificación **metodológica**, la presente investigación se justifica metodológicamente debido a que emplea un enfoque cuantitativo de tipo experimental, el cual permite analizar de manera objetiva y sistemática los efectos de la adición de cenizas de hojas de eucalipto en la estabilización de suelos utilizados en la carretera a Pucahuasi – 2024. Este enfoque es el más adecuado, ya que posibilita la medición precisa de los cambios físicos y mecánicos del suelo producto de la incorporación del material estabilizante.

Asimismo, el estudio adopta un diseño experimental de laboratorio, en el que se controlan variables como el porcentaje de cenizas añadidas, el contenido de humedad y la energía de compactación, garantizando la confiabilidad de los resultados. Mediante este diseño, se pueden establecer relaciones causa–efecto entre la variable independiente (cenizas de hojas de eucalipto) y las variables dependientes (propiedades geotécnicas del suelo).

Además, el uso de cenizas de hojas de eucalipto como material alternativo se sustenta en la aplicación de una metodología experimental innovadora, orientada al aprovechamiento de residuos orgánicos, contribuyendo a una ingeniería sostenible y de bajo costo, especialmente relevante para zonas rurales con limitaciones económicas para el uso de estabilizantes tradicionales.

Justificación **ambiental**, el propósito del uso de hojas de eucalipto es generar conciencia de que sus residuos pueden ser aprovechados, optando así por darle un uso diferente. Este estudio propone una solución para estabilizar este tipo de suelo mediante la búsqueda de un aditivo que lo mejore a largo plazo; El camino de 1,75 kilómetros hacia Pucahuasi está compuesto de grava mal nivelada, grava limosa y arena limosa que se vuelve casi intransitable durante la temporada de lluvias, afectando a más de 500 residentes y más de 200 vehículos que recorren el camino diariamente y dependen de él para su movilidad diaria. Durante las lluvias, la carretera se vuelve intransitable, provocando pérdidas económicas en los sectores agrícola y comercial, además de dificultar el acceso a servicios básicos como salud y

educación. La estabilización del subsuelo es una necesidad urgente para garantizar la transitabilidad a pie y mejorar la calidad de vida de la población. El estudio destaca porque ofrece una solución eficaz y sostenible para la estabilización de suelos en caminos rurales, lo que ayuda a mejorar la infraestructura vial en regiones geotécnicamente vulnerables. La propuesta está en línea con el objetivo del MTC de optimizar los caminos no pavimentados y está en línea con las estrategias de desarrollo sostenible promovidas a nivel nacional. Además, su aplicabilidad no se limita a la Carretera Pucahuasi, sino que puede replicarse en otras zonas con condiciones similares, promoviendo un uso más eficiente de los recursos naturales y reduciendo los costos de mantenimiento. Esta investigación no tiene precedentes en la región y ofrece un enfoque innovador utilizando ceniza de hoja de eucalipto como estabilizador del suelo. Esta investigación contribuye no sólo a la ingeniería de materiales sino también a la ingeniería vial como una nueva alternativa de estabilización con beneficios económicos y ambientales en el aspecto vial. El estudio se suma al conocimiento científico y técnico al proporcionar datos experimentales sobre el efecto de las hojas de eucalipto en las propiedades geotécnicas del suelo, donde se evaluó el índice de plasticidad, contenido de humedad óptimo, densidad seca máxima y capacidad portante (CBR) a diferentes porcentajes de adición, lo que permite determinar los parámetros de dosificación óptimos. Además, los resultados pueden utilizarse como referencia para futuras investigaciones sobre métodos alternativos de estabilización de suelos que contribuyan al desarrollo de infraestructuras viarias más sostenibles y promuevan una economía circular mediante el reciclaje de residuos orgánicos.



CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1 Objetivo general

- Determinar los efectos de la adición de cenizas de hojas de Eucalipto (C.H.E.) en las propiedades físicas y mecánicas de los suelos de subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac – 2024.

2.1.2 Objetivos específicos

- Determinar los efectos en las propiedades físicas de los suelos al adicionar cenizas de hojas de Eucalipto en la subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac – 2024.
- Determinar los efectos en las propiedades mecánicas del suelo estabilizado con cenizas de hojas de Eucalipto en la subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac – 2024.
- Identificar el porcentaje óptimo de adición de cenizas de hojas de Eucalipto que produce la mayor mejora en las propiedades físicas y mecánicas de los suelos de subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac - 2024.

2.2.1 Hipótesis

2.2.1 Hipótesis general

- La adición de cenizas de hojas de Eucalipto (C.H.E.) produce efectos estadísticamente significativos en las propiedades físicas y mecánicas de los suelos de subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac – 2024, reduciendo el índice de plasticidad e incrementando el CBR al 95% de la Máxima Densidad Seca.



2.2.2 Hipótesis específicas

- La adición de cenizas de hojas de Eucalipto (C.H.E.) produce una reducción estadísticamente significativa en el índice de plasticidad de los suelos de subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac – 2024.
- La adición de cenizas de hojas de Eucalipto tiene efectos significativos favorables en las propiedades mecánicas de los suelos al aumentar su resistencia en capacidad de soporte (CBR) en la subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac - 2024.
- El porcentaje óptimo de adición de cenizas de hojas de Eucalipto para la estabilización de los suelos de subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac - 2024 es del 8% respecto al peso seco del suelo.



2.3 Operacionalización de Variables

Tabla 1 — Variables de la investigación

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Cenizas de hojas de Eucalipto (C.H.E) (VI)	Las cenizas de hojas de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>) son un material pulverulento obtenido de la incineración controlada de las hojas y ramas residuales de la tala del árbol de eucalipto, especie forestal de crecimiento rápido ampliamente distribuida en la sierra peruana y abundante en la zona de Andahuaylas, Apurímac. Este material presenta propiedades puzolánicas, dado que contiene sílice y alúmina en estado amorfo que, en contacto con el agua, reaccionan con el óxido de calcio presente generando compuestos con propiedades cementosas (Flores et al., 2021). Su composición química — K_2O : 31.26%, MgO : 28.75%, CaO : 20.24%, Al_2O_3 : 6.53% y SiO_2 : 5.63%, determinada mediante fluorescencia de rayos X - le confiere la capacidad de actuar como conglomerante hidráulico natural al estabilizar suelos arcillosos, reduciendo su plasticidad y mejorando su capacidad de soporte (MTC, 2014)	Es la incorporación de cenizas de hojas de eucalipto en proporciones de 4%, 8% y 12% respecto al peso seco del suelo de la carretera a Pucahuasi, obtenidas mediante incineración controlada de residuos forestales locales y tamizadas por la malla N° 100 (abertura de 0.150 mm), evaluando sus efectos en las propiedades físicas y mecánicas del suelo mediante ensayos normalizados de laboratorio: límites de Atterberg (ASTM D4318), Proctor Modificado (ASTM D1557) y CBR al 95% de la Máxima Densidad Seca (ASTM D1883).	Dosificación de cenizas de hojas de Eucalipto (Dx1)	Porcentaje de ceniza respecto al suelo seco (%)	Balanza digital de precisión y ficha de registro de dosificación
			Composición química de las cenizas de hojas de Eucalipto (Dx2)	Contenido de óxidos principales (%): (K_2O) 31.26 % (MgO) 28.75 % (CaO) 20.24 % (Al_2O_3) 6.53 % (SiO_2) 5.63 %	
			Propiedades Físicas de C.H.E (Dx3)	Tamaño de partícula que pasa tamiz N°100	
Estabilización de suelos en la carretera de Pucahuasi (V.D)	Es el proceso de mejoramiento de las características físicas del terreno mediante procesos mecánicos y la adición de sustancias químicas, de origen natural o artificial. Estos tratamientos, habitualmente se ejecutan en terrenos de subrasante deficiente o limitada (MTC, 2014), en esta investigación la estabilización se realiza mediante la adición de cenizas de hojas de Eucalipto como agente estabilizante natural para mejorar los suelos de la carretera de Pucahuasi-Chicmo cuyos suelos presentaron valores entre 6.8% y 11% en CBR clasificándose como pobres o insuficientes según (MTC, 2014)	Es la mejora cuantificable de las propiedades físicas y mecánicas del suelo de la subrasante de la carretera a Pucahuasi – Chicmo mediante la adición de cenizas de hojas de eucalipto, evaluada a través del índice de plasticidad (ASTM D4318), densidad seca máxima y humedad óptima (ASTM D1557), y CBR al 95% de la Máxima Densidad Seca (ASTM D1883).	Propiedades físicas (Dy1)	Límite líquido (%)	Ficha de registro de ensayos de laboratorio
				Límite plástico (%)	
				Índice de plasticidad (%)	
			Propiedades mecánicas (Dy2)	Densidad seca máxima (g/cm^3)	
				Contenido de humedad óptimo (%)	
				Ensayo de CBR (%)	
FUENTE: Elaboración propia					

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

3.1.1 Antecedentes internacionales

Según (Pantoja Quiscualtud et al., 2024), en su investigación titulada “Estudio básico de suelos derivados de ceniza volcánica modificados con cemento (bajos contenidos de cemento)” nos dice que dicha La investigación se centra en suelos obtenidos a partir de ceniza volcánica de la ciudad de Popayán, estabilizados con un bajo porcentaje de cemento. Los resultados revelan la gran variabilidad de propiedades debido a cambios en la humedad, condición estructural y tiempo de curado. El estudio consistió en evaluar las propiedades físicas y mecánicas tanto en estado natural como modificado con 3%, 4% y 5% de cemento. Los resultados muestran que en su estado natural presentan malas condiciones, como soterramientos o terraplenes. Por lo tanto, se necesitan mejoras en varios casos. Al utilizar cemento como estabilizador se puede concluir que hay un ligero aumento en la resistencia mecánica y mejoras en las propiedades hidráulicas (suelo modificado con cemento) y esto no se puede comparar con un aumento significativo de las propiedades después de un porcentaje de 5% de estabilizador (suelo cemento).

Según (Okri Asfino Putra et al., 2022), en un artículo publicado con nombre “Effectiveness of waste paper ash for stabilization on clay soil” en su Este estudio utilizó tres métodos principales para investigar la efectividad de la estabilización de cenizas de papel en arcilla. En primer lugar, se estudiaron las propiedades físicas de la muestra de suelo. Además, se discute la fuente viable de mezclar diferentes proporciones de suelo. Finalmente, se probó la resistencia a la compresión con un dinamómetro de compresión de un solo lado. Al combinar cenizas de papel y muestras de suelo investigadas, se encontró que cuanto mayor era la proporción de cenizas de papel utilizadas, menor era la cantidad de desechos que pasaban por el tamiz No. 200 y menor el índice de plasticidad. Probablemente esto se deba a que los componentes químicos de la



ceniza de papel aplicada ya se están uniendo a las partículas. Mientras que la capacidad de hinchamiento disminuyó ligeramente al aumentar el contenido de cenizas de papel recuperado. De manera similar, la resistencia a la compresión aumentó con un aumento en el contenido de cenizas del papel reciclado en un 5% y un 10%.

Por otro lado (Villacís Troncoso et al., 2022), en su artículo con nombre “Estabilización de arcillas expansivas con ceniza volcánica y ceniza de cascarilla de arroz” El objetivo de dicho estudio fue determinar la comparación de las propiedades de muestras de arcilla expansiva natural y estabilizada y una mezcla de ceniza de cáscara de arroz y ceniza volcánica de Tungurahua (CV). Para el procedimiento se utilizó el método experimental, que incluyó el desarrollo de análisis físicos y mecánicos de tres muestras de suelo de arcilla expandida y su comparación con muestras de suelo estabilizadas. La estabilización se logra reemplazando el suelo con diferentes porcentajes de ceniza para monitorear los cambios de volumen. Por este motivo se utilizan 2 variedades de ceniza, las cuales se combinan en proporciones iguales (50% 50% en peso). El ensayo se realiza sobre muestras de suelo en las que se ha sustituido el 10%, 20% y 30% del suelo arcilloso por una mezcla de estabilizador y cenizas volantes. Las muestras estabilizadas son más resistentes al corte y tienen mayores ángulos de adhesión y fricción. El porcentaje óptimo de reposición de cenizas es del 20%. Esto se debe a que porcentajes más altos no reflejan mejoras en las características de la muestra. La muestra de reemplazo de ceniza tiene un índice de plasticidad reducido, lo que resulta en un índice y potencial de hinchamiento más bajos. Se concluyó que el uso de cenizas en la masa del suelo asegura una disminución de los efectos de cambio de volumen característicos de la arcilla expansiva pura, una disminución del límite líquido, una disminución de su peso, una disminución del exponente de hinchamiento, así como un aumento del movimiento, resistencia y consolidación.

Según (Ouedraogo, 2019), en su tesis “Étude de l'impact de la stabilisation au ciment sur la durabilité des briques de terre comprimée (BTC) : Approche multi-échelle” para doctorado nos dice en sus conclusiones que el uso de



cementos con menor impacto ambiental permitiría aumentar la dosificación del cemento, contrariamente a nuestra hipótesis inicial. En general, la estabilización de los ladrillos de tierra cruda debe ir acompañada de un análisis del ciclo de vida (como mínimo, una evaluación de la huella de carbono), como habíamos planeado al inicio de esta tesis (pero no se llevó a cabo por limitaciones de tiempo). Metodológicamente, nuestro trabajo ha demostrado que no existe una prueba universalmente aceptada para la resistencia al agua de los ladrillos de tierra cruda. Creemos que se necesitan avances significativos en el estudio de la durabilidad de los ladrillos de tierra cruda en relación con el agua, para establecer pruebas que sean representativas de situaciones reales (lluvias intensas) y fáciles de implementar, finalmente nos dice que sus investigaciones mineralógicas han mostrado sus limitaciones a la hora de explicar los cambios en ciertas propiedades con la estabilización de los suelos estudiados. De nuevo, debemos intentar profundizar en la comprensión de lo que ocurre a escala microscópica (o incluso a escala nanoscópica si consideramos las capas intersticiales de arcilla). Esto, sin duda, requerirá el uso de herramientas distintas a las que hemos utilizado hasta ahora.

Según (Baloochi et al., 2020), en su estudio titulado “Estabilización de suelos con cenizas volantes de papel usado: precauciones para su correcto uso” dicho artículo aborda la valorización de cenizas volantes de papel usado (WPFA) como aglutinante para la estabilización de suelos. La caracterización mineralógica muestra la presencia de cal libre, así como algunas fases no reactivas y cementosas. La hidratación de la cal es una reacción expansiva y puede ser problemática en la estabilización de suelos. Por lo tanto, para estudiar su efecto en suelos estabilizados, se propone un montaje experimental interno para medir la posible expansión. Además, para estudiar el efecto de la reducción de agua y el tiempo de retardo en la resistencia, se realizó una prueba de resistencia a la compresión simple con diferentes mezclas. Los resultados obtenidos mostraron que el uso de WPFA causa expansión en suelos estabilizados, pero un tiempo de retardo de 30 min, después de mezclar el material con agua y luego compactarlo, puede disminuir la expansión. Además, disminuir el contenido de agua en un punto Proctor puede ser esencial para mejorar la resistencia en muestras de suelo, incluso alcanzando los mismos



valores de resistencia que las muestras de control curadas a los 7 días. Finalmente, todos los resultados obtenidos en este estudio han demostrado que el WPFA es un material adecuado para su uso como ligante para la estabilización del suelo reduciendo su contenido óptimo de agua, añadiendo un tiempo de retardo adecuado y teniendo en cuenta el comportamiento expansivo del WPFA en el momento de su uso.

3.1.2 Antecedentes nacionales

Según (Gala Chumbes et al., 2021), en su tesis “Estabilización de suelos arcillosos incorporando ceniza de hoja de Eucalipto para el mejoramiento de subrasante en el distrito de Pilcomayo” En esta tesis se presenta como el problema general: ¿Cuál es el impacto en la estabilización de suelos arcillosos mediante la incorporación de ceniza de hoja de eucalipto para el mejoramiento del subsuelo en el distrito de Pilcomayo? El objetivo general es: determinar el impacto en la estabilización de suelos arcillosos mediante la incorporación de ceniza de hoja de eucalipto para el mejoramiento del subsuelo en el distrito de Pilcomayo. Y como hipótesis general, el efecto sobre la estabilización de suelos arcillosos de la incorporación de ceniza de hojas de Eucalipto para el mejoramiento del subsuelo será aceptable según el manual de caminos de poco tránsito. El método de investigación es un tipo de investigación científica, aplicada, nivel de explicación. Los resultados obtenidos describen dónde el IP disminuye en -12,56% con 10% de ceniza y disminuye en 18,68% con 15% de ceniza (en comparación con el suelo estándar, IP=10,49%). El MDS varía en -4,60% con 10% de ceniza y -5,53% con 15% de ceniza (en comparación con el suelo estándar, MDS= 2,153 gr/cm³), el valor de CBR varía en 470,91% con 10% de ceniza y de 647,27% con 15% de ceniza, de 5,5% a 5,5. insuficiente). Y finalmente se concluye que el efecto de la incorporación de cenizas de hojas de eucalipto sobre la estabilidad del suelo arcilloso para el mejoramiento del subsuelo en el distrito de Pilcomayo es beneficioso, con excelentes resultados al 10% de ceniza.

Según (Cristobal Gavancho et al., 2022), en su trabajo de investigación titulada “Estabilización de subrasante con cenizas de eucalipto, paraje turístico Piedra Parada, Concepción, Junín 2021” indica que la siguiente investigación su



objetivo fue determinar los cambios en la estabilización del subsuelo con la adición de ceniza de eucalipto en la zona turística de Piedra Parada, Concepción, Junín 2021. Se utilizó como metodología el método deductivo, dependiendo del tipo utilizado, nivel de explicación y diseño experimental. Los resultados fueron: El suelo con la adición de 10% de ceniza de eucalipto aumentó la densidad seca máxima en un 10.45%, el índice de plasticidad disminuyó en un 54.97%, el CBR aumentó en un 385.14% y el módulo elástico aumentó en un 157.94%. Al final del estudio, se puede ver que la estabilización del suelo difiere significativamente: el suelo con un 10% de aditivo de ceniza de eucalipto aumentó la densidad seca máxima en un 10,45%, el índice de plasticidad disminuyó en un 54,97% y el CBR aumentó en un 385,14%.

Según (Quispe Vilca, 2024), para obtener su título con el proyecto de investigación “Estabilización de la Subrasante en suelos arcillosos empleando cenizas de Eucalipto en la avenida tasa de la ciudad de Juliaca provincia de San Roman región Puno” dicha investigación Se enfoca en la estabilización de la subrasante en suelo arcilloso utilizando ceniza de Eucalipto en la Avenida Tasa de Juliaca, Estado San Román, Región Puno, ya que el suelo en esta zona presenta problemas de capacidad portante y expansión, lo que afecta negativamente la infraestructura vial. La investigación utiliza un enfoque cuantitativo y cuasiexperimental. Se tomaron muestras de suelo de las franjas Nodo, Espina y Ocoña de la ciudad de Juliaca, luego de una encuesta a los vecinos sobre la tasa de salida del Cusco. Se utilizó una técnica observacional y utilizamos como herramienta fichas de prueba elaboradas en laboratorio. Para este estudio se realizaron tres tipos de combinaciones de ceniza de eucalipto de 4%, 8%, 12% en combinación con la muestra natural. Los resultados arrojaron que el tipo de suelo es arcilloso de baja plasticidad, con un índice de plasticidad de 18.76%, y al combinar ceniza de eucalipto con 4%, 8%, 12% disminuyó con un índice de plasticidad de 14.97%, 11.18% y 6.28% CBR%, que fue de 1.0% y 6. combinando ceniza de eucalipto con 4%, 8%, 12%, su resistencia aumentó con los siguientes valores CBR de 100% de 7,02%, 7,38%, 8,06%. El estudio concluyó que la ceniza reduce la plasticidad, reduce la expansión y mejora la resistencia del suelo. Este estudio resalta la importancia de incorporar ceniza



de eucalipto para mejorar la infraestructura vial y abordar los desafíos que enfrentan los suelos arcillosos de la zona.

Según (García Cisneros et al., 2022), cuya tesis titulada “Adición del terrasil y ceniza de hojas de eucalipto para mejorar la subrasante del camino vecinal Socos – Yanayacu, Ayacucho, 2022” la cual tuvo como objetivo determinar el efecto de la adición de terrasil y ceniza de hojas de eucalipto sobre las propiedades físicas y mecánicas del suelo a nivel subsuperficial. Para determinar estas propiedades se utilizó el aditivo terrasil 0.80 lt/m³, 1.20 lt/m³ y 1.60 lt/m³, así como junto con ceniza de hoja de eucalipto al 5%, 10% y 15%. El presente estudio utiliza una metodología experimental experimental, la cual es cuasiexperimental, de tipo aplicado, y a nivel explicativo, la población de estudio fue el subsuelo del tramo vial local Socos - Yanayacu del distrito de Socos. Se obtuvieron resultados óptimos con una dosis de 1.20 lt/m³ de terrasil 10% CHE, donde se observó una disminución en la plasticidad de 17.5% a 14.5%, similar al OCH de 13.4% a 12.3%, un aumento en MDS de 1792 g/cm³ a 1930 g/cm³ y un aumento significativo en la capacidad final a 1930 g/cm³. Soporte de CBR desde el 3,5% de referencia al 19,8%, que se aplica al 95% de MDS y un diferencial de 0,1 pulgada. Se concluye que mejora las propiedades físicas y mecánicas, cambiando el subsuelo de categoría pobre a buena.

Según (Tupia Astocondor, 2021), para obtener su título en su trabajo de investigación cuyo nombre es “Estabilización de suelos en la subrasante con cenizas de hojas de eucaliptos en la avenida Juan Velazco – Carabayllo en Lima, 2021.”, la cual tuvo El objetivo general fue demostrar que la ceniza de hoja de eucalipto afecta la estabilización del suelo en la avenida Juan Velazco - Carabayllo en Lima, 2021, donde se muestra el método aplicado mediante un diseño experimental y cuasiexperimental con enfoque cuantitativo. La población utilizada fue el camino motorizado de la Avenida Juan Velazco del distrito de Carabayllo, con una muestra de 2.4 km de longitud con un ancho de 5.38 m, en la cual se realizaron 3 pozos con una profundidad de 1.5 m y pruebas de laboratorio: Límites de Atterberg, Proctor Modificado y CBR. Finalmente de acuerdo a los resultados obtenidos se obtuvo que la clasificación del suelo

según AASHTO es A-4 y según SUCS es CL, que es una arcilla inorgánica de baja plasticidad. Cuando se obtuvo el IP de la muestra estándar (C-2), mostró NP (no plástico), su OCH=15.5% y MDS=1.869gr/cm³, por lo que se agregó CHE en porcentajes de 4%, 7% y 11%; Para PI al 4%, 7% y 11% el resultado unánime fue NP (no plástico), OCH al 4% es 15.50% y MDS = 1.902gr/cm³, al 7% y 11% OCH = 15.70%, mientras que su MDS al 7%gr = 1%gr = 1 y 79%. MDS=1.973gr/cm³, por otro lado CBR al 95% de 4%=13.90%, 7%=24.40% y 11%=25.80%, por otro lado CBR al 100% de 4%=24.10%, 7%=32.0% y 33.91%. En conclusión, el % más favorable por parte del MTC según lo verificado por las pruebas realizadas es CBR 95% sobre 11% que se considera muy buen subsuelo.

Según (Mamani Gonzalo et al., 2023), en su artículo titulado “Estabilización de la subrasante con ceniza de quinua y cal en la Carretera Lago Sagrado, Puno, Perú” en el cual nos dice que las vías que conectan los centros poblados de la ciudad de Puno en Perú carecen de vías pavimentadas, la mayoría de las vías de conexión son senderos motorizados. Además, estas vías dificultan la circulación continua y segura de los vehículos debido a los baches y deformaciones provocadas por la lluvia. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue determinar qué tan efectiva es una combinación de ceniza de quinua y cal para la estabilización del suelo. El procesamiento de muestras y datos se realizó con metodología aplicada, diseño experimental puro y enfoque cuantitativo. Los resultados muestran una mejora en las propiedades cohesivas del suelo con la adición de ceniza de quinua y cal. La adición de 9% de ceniza de quinua y 5% de cal dio como resultado una pequeña diferencia en el contenido de líquido, el límite de plasticidad y el índice de plasticidad en relación con el suelo base. Para la densidad seca y el contenido de humedad, el mismo análisis dio como resultado una disminución del contenido de humedad óptimo al 9% y un aumento de la densidad seca a 1,902 g/cm³. El CBR aumentó y alcanzó valores de 32,0% al 100% de densidad seca y al 95% de densidad seca mostró un valor de 25,6%. Se concluyó que la adición de ceniza de quinua y cal mejora las propiedades mecánicas del suelo.



Según (Machado, 2023), en su tesis titulada “Estabilidad de la subrasante en suelos arcillosos adicionando ceniza de rastrojo de cebada, Carretera La Unión - Rondos, Huanuco-2023” nos dice que en su investigación el objetivo fue determinar cómo la adición de ceniza de rastrojo de cebada afecta la estabilidad de la base de la carretera La Unión-Rondos, Huánuco-2023, tipo aplicado con enfoque cuantitativo, nivel explicativo, diseño de investigación cuasi experimental, población 36.7 km carretera, se tomaron 14 muestras para la muestra; donde se recomendó utilizar ceniza de rastrojo de cebada en dosis del 5%, 7% y 9%. Los principales resultados estuvieron en el contenido de humedad, el cual se puede reducir en un 30.05% con 9% de ceniza de rastrojo de cebada en comparación con la muestra estándar (0%), además el mayor efecto en la densidad seca máxima (MDS) se logra aumentando la cantidad de ceniza en un 9%, logrando un efecto de 1.41% en 1.41% de muestra natural en comparación con 1% de muestra natural. g/cm³, la resistividad del suelo mejoró de un valor de CBR del 100% del 7% a un CBR del 11,4% añadiendo un 9% de cenizas volantes. Finalmente se mejoraron las propiedades físicas y mecánicas, a excepción del índice de plasticidad, el cual es indiferente a pesar de las adiciones en todas las dosis propuestas, determinando que la ceniza tiene efecto sobre la estabilidad del subsuelo a una dosis del 9%.

También tenemos a (Rojas et al., 2022), cuya tesis titulada para obtener su título fue “Comparación de la adición de ceniza del fruto de eucalipto y cemento para mejorar la subrasante, carretera Raqayraqayniyuq - Huacoto, Cusco – 2022”, dicho trabajo de investigación tuvo como finalidad evaluar cómo la adición de ceniza de frutos de eucalipto y cemento afecta las propiedades del subsuelo de la carretera Raqayraqayniyuq - Huacoto, para lo cual se utilizó una metodología aplicada, con un enfoque cuantitativo, diseño experimental y cuasiexperimental con nivel de investigación explicativo. La población de estudio fue la carretera Raqayraqayniyuq – Huacoto con una muestra de 4 km, las técnicas e instrumentos fueron la recolección de datos en los formatos definidos en este estudio. Como resultado, el suelo estándar fue clasificado como A 6(10) por AASHTO y CL por SUCS. y muestra un CBR de 4.88% al 95%, clasificando esta subrasante como inadecuada, y al agregar ceniza de fruto de eucalipto al 3% se pudo observar un aumento en el CBR de 6.33% al 95%, clasificando esta



subrasante como normal. La adición de 3% de cemento logró un CBR de 13.95% a 95%, clasificando el subsuelo como bueno por el MTC, el cual concluyó que la adición de ceniza de Eucalipto y cemento mejora las propiedades físico-mecánicas del suelo ya que el cemento mejora positivamente la resiliencia del suelo.

También nos dice (Espino Marquez, 2021), en su tesis titulada “Adición de Ceniza de madera de fondo en la Estabilización de suelos arcillosos y su aplicación a Subrasante” para optar el título profesional de ingeniería civil. La presente investigación tuvo como problema general: ¿Cómo afecta la adición de ceniza de madera de fondo en la estabilización del suelo arcilloso aplicado al subsuelo en Satipo? Los objetivos generales fueron: Determinar el efecto de un aditivo de fondo de cenizas de madera sobre la estabilización de suelos arcillosos aplicado al subsuelo; y la hipótesis general probada fue: La adición de ceniza de madera al suelo tiene un efecto significativo en la estabilización de los suelos arcillosos aplicados al subsuelo. El método de investigación fue de tipo científico, aplicado, con un nivel explicativo y un diseño experimental; La población estuvo compuesta por todo suelo arcilloso de las calles y calles de la provincia de Satipo, y la muestra estuvo compuesta por 360 kg de suelo arcilloso de la Av. Antonio Raimondi, Coviriali, Satipo. La principal conclusión fue que la adición de cenizas de madera al suelo tiene un efecto significativo en la estabilización de suelos arcillosos.

Nos dicen también (Osores Mendoza, 2023) en su tesis titulada “Adición de cal y cenizas de eucalipto en la subrasante de las vías del distrito de Carampoma - Huarochirí, 2022” para optar el título profesional de ingeniería civil, desarrollada con el objetivo de determinar si existe influencia de la cal y cenizas de eucalipto en la subrasante de las vías del distrito de Carampoma - Huarochirí. Este estudio fue un estudio de caso, diseño experimental, enfoque de nivel explicativo mixto, para su diseño se utilizaron pruebas Proctor y CBR principalmente. Se utilizaron tres muestras; el primero consiste en subsuelo sin aditivos, el segundo es una mezcla de subsuelo con 10% de ceniza de eucalipto (Sub Ce 10%) y el tercero ofrece subsuelo con 10% de cal (Sub Ca 10%). Los resultados mostraron que la subrasante alcanzó una densidad seca máxima de



1792 g/cm³, un contenido de humedad óptimo de 20.46% y un CBR 100% de 5.1%, lo que indica que la subrasante es muy pobre; La segunda muestra con 10% de ceniza de eucalipto logró una densidad seca máxima de 1837 g/cm³, un contenido de humedad óptimo de 18,7% y un CBR 100% de 16,1%; La tercera muestra con 10% de cal logró una densidad seca máxima de 1.907 g/cm³, un contenido de humedad óptimo de 17.43% y un CBR 100% de 29.6%. Sin embargo, concluyendo que tanto la ceniza de eucalipto como la cal afectan la estabilización profunda del suelo estudiado, la cal logró resultados un 10% mejores que la ceniza de eucalipto.

3.1.3 Antecedentes locales

Por otro lado (Altamirano Villena et al., 2023), en su tesis titulada “Influencia de la adición de ceniza de leño de ciprés en la subrasante arcillosa para la carretera Matapuquio-Collpa Andahuaylas 2022” la cual tuvo por finalidad evaluar el impacto de la adición de ceniza de tronco de ciprés en la subcapa de suelo arcilloso en la carretera Matapuquio - Collpa, Andahuaylas, 2022. Para el desarrollo del estudio se utilizó el método científico del enfoque cuantitativo, el estudio fue de tipo aplicado y de nivel explicativo. La población de estudio estuvo conformada por todo el recorrido de la carretera Matapuquio - Collpa, que comprende un total de km: 18.600, donde la muestra estuvo conformada por la zona más crítica de la vía por la presencia de grandes suelos arcillosos. Durante el experimento se desarrollaron pruebas de caracterización del suelo; Además, se obtuvieron el porcentaje óptimo de humedad, los límites de consistencia y el porcentaje de CBR tanto para la muestra sin modificar como para la muestra con adición de cenizas de troncos de ciprés. En la zona más crítica de la vía se excavaron 3 baches según manual de carreteras del MTC. Para la adición de ceniza se consideraron 3 tratamientos en diferentes porcentajes (T1 = 5%, T3 = 10% y T3 = 15% de ceniza de tronco de ciprés). Analizando los resultados se encontró que existe una mejora en el índice de plasticidad con T1 con 5% de ceniza, ya que $IP > 7$, lo que indica baja plasticidad del suelo en términos de CBR, T1 con 5% de ceniza mejora la resistencia del suelo en un 14.3%. Finalmente se concluyó que el porcentaje óptimo de reposición de cenizas es el 5% de ceniza de madera de ciprés, ya que



la mejora de las propiedades físico-mecánicas del suelo en diferentes muestras no indica un porcentaje mayor.

También tenemos (Enciso Ortiz, 2022), en su tesis titulada “Adición de ceniza de eucalipto para mejorar la estabilidad de la subrasante en la carretera Abancay - Huayllabamba, Apurímac, 2022” la cual tuvo como objetivo: Determinar en qué medida la adición de ceniza de eucalipto afecta el mejoramiento de la estabilidad del subsuelo de la carretera Abancay - Huayllabamba, Apurímac, 2022. El método fue: tipo: por enfoque cuantitativo y por el objetivo utilizado; diseño: cuasiexperimental y nivel: explicativo; población: Carretera Abancay - Huayllabamba, de 4 km de longitud; muestra: 3 hoyos 1 km de carretera y muestra: no posible; técnica: observación; herramienta de recolección de datos: fichas técnicas; validez: juicio de expertos y confiabilidad: certificados de calibración; El procedimiento fue el siguiente; Se realizaron investigaciones de tránsito vehicular, levantamientos topográficos, excavación y muestreo de pozos, preparación de cenizas de eucalipto, pruebas de laboratorio con muestras naturales y dosificadas. Los resultados obtenidos para la muestra más desfavorable son la fosa C-1 con dosis de 3, 6 y 8% de ceniza de eucalipto (CE): La capacidad de carga del suelo (CBR) a 0.2" al 100% de la muestra estándar fue de 8.58%, con 3% CE. La CBR a 0.2" fue de 9.6% CE con estándar 1% CE, con 9.6% CE. 0,2" al 100% fue 12,31% y con 8% CE el CBR a 0,2" al 100% fue 13,15%. Se concluyó que la adición de ceniza de eucalipto tiene un efecto positivo en mejorar la estabilidad del subsuelo; El pozo C-1, cuando se mejoró con 8% CE, tuvo una buena base como se muestra en la Tabla 44 del Manual de Carreteras del MTC (2014).

Por otro lado (Beltrán Ruiz, 2025), en su tesis “Adición de polvo de mármol y ceniza de sugarcane para estabilización de suelos arcillosos de subrasante de la carretera Tarampampa, Abancay – 2024” para obtener su título como ingeniero Civil nos dice que la infraestructura vial del Perú está organizada en tres categorías: la red vial nacional (27,109 km) bajo jurisdicción del MTC, la red vial regional (27,505 km) bajo responsabilidad de los gobiernos regionales y la red vial local (113,857 km) bajo responsabilidad de los municipios (COMEXPERU 2020). Abancay en la carretera Tarampampa tiene un subsuelo



compuesto por suelo arcilloso de baja capacidad portante, lo que afecta a más de 500 habitantes que enfrentan problemas de tránsito, especialmente durante la temporada de lluvias. El objetivo del estudio es analizar el efecto del polvo de mármol y de los residuos de ceniza de caña de azúcar en el mejoramiento de suelos arcillosos. El método utilizado corresponde al diseño experimental con pruebas de laboratorio según normas ASTM y regulaciones MTC. Se analizó una población de suelos arcillosos en la carretera Tarampampa con tres pozos ubicados cada 350 metros y se evaluaron diferentes proporciones de estabilizadores. Las pruebas se basan en las teorías de compactación del suelo y estabilización química utilizando Proctor Modificado, índice de plasticidad y CBR. Los resultados mostraron que la inclusión de un 7,5% de residuos de polvo de mármol y ceniza de caña de azúcar mejora la resistencia al rodamiento, alcanzando un 90% de CBR, superando el umbral del 20% establecido por el MTC. También se concluyó que la incorporación de estos residuos mejora significativamente la estabilidad del subsuelo, lo que constituye una alternativa viable a la infraestructura vial en zonas con condiciones geotécnicas similares.

3.2 Marco teórico

3.2.1 *Eucaliptus Globulus* (Eucalipto)

3.2.1.1 Eucalipto. En el Perú existe una gran variedad de eucaliptos, específicamente si hablamos de Apurímac para ser más específicos en la comunidad de Pucahuasi que está ubicado en el distrito de Santa María de Chicmo se pudo apreciar en mayor cantidad el eucalipto de la especie *Eucalyptus Globulus*, también se pudieron otras variedades como son *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus urograndis*.

Aunque los primeros investigadores europeos vieron eucaliptos en sus viajes, no existen colecciones botánicas registradas hasta 1770, cuando los naturalistas Joseph Banks y Daniel Solander arribaron a Botany Bay con James Cook. El género *Eucalyptus* fue descrito formalmente por el botánico francés **Charles Louis L'Héritier de Brutelle** a partir de la especie tipo *Eucalyptus obliqua* (L'Héritier de



Brutelle, 1789), cuyo nombre viene del griego que nos dice bien cubierto y obliqua nos dice que es inclinado, por la estructura de sus hojas un lado más largo que otro.

El **eucalipto** (principalmente *Eucalyptus globulus* y otras) es una de las especies exóticas más plantadas en el país en plantaciones comerciales y para recuperación de suelos; muchas plantaciones se manejan con talas cíclicas y rebrote como estrategia productiva (corte y rebrote cada 4–10 años en ciertos manejos). (Delgado, DM, 2018)

El eucalipto originario de Oceanía, Australia. Se data en Perú desde los años 1865 a través de la familia Ráez y Gómez sembrados en Huancayo, Junín. Se utilizaron gran cantidad de los troncos financiados por USAID en la minería y durante el Gobierno Militar de Juan Velasco Alvarado. Hoy en día es una de las plantas más medicinales por las mejorías en el sistema respiratorio. Es un buen fijador de dióxido de carbono a diferencia del Álamo y Roble. (Brescia, 2019)



FUENTE: Acosta Belen, 2020

Figura 1 — Hojas de *Eucalytus Globulus*

El eucalipto blanco o eucalipto común (*Eucalyptus globulus* Labill) es una especie arbórea perteneciente a la familia Myrtaceae, originaria del sureste de Australia y Tasmania (Wikipedia, 2024). Es actualmente el árbol de mayor tamaño que se puede encontrar en las regiones de clima frío en los Andes tropicales; un ejemplar maduro puede superar los 50 metros de altura y tener un tronco de más de 3 metros de diámetro, siendo el más difundido en la región andina de países como Colombia, Ecuador y Perú (Forestal Maderero, 2015) . Desde 1860, la reforestación en la sierra peruana se realizó principalmente con eucalipto, siendo esta especie la predominante en los programas de forestación de la región andina (Tropical Restoration Library, s.f.). En el Perú existen por lo menos unas 10 especies de eucalipto, siendo el *Eucalyptus globulus* el más conocido y extendido, utilizado con fines medicinales, para fabricar postes, maderas para construcción y como leña (Mongabay, 2022)

En la zona de Andahuaylas, región Apurímac, el eucalipto es una especie de tipo forestal abundante a lo largo de las carreteras rurales, cuyos residuos de tala y poda son habitualmente desechados al borde de la carretera, quemados o abandonados en la vía sin aprovechamiento económico alguno.

La especie fue introducida en la sierra a alturas entre 2,200 y 3,200 msnm, al interior del callejón interandino, condiciones que coinciden con las características climáticas y altitudinales de la carretera a Pucahuasi, distrito de Chicmo, provincia de Andahuaylas y departamento de Apurímac, a aproximadamente 3000 msnm.





FUENTE: Elaboración propia

Figura 2 — Hojas de Eucalytus Globulus en la comunidad de Pucahuasi



FUENTE: Elaboración propia

Figura 3 — Hojas de Eucalytus Globulus alrededor de la carretera a la comunidad de Pucahuasi

En la figura 3 podemos apreciar que la carretera que va hacia Pucahuasi esta o tiene en su entorno una gran variedad de eucaliptos de la familia de Eucalyptus Globulus.

Dichos eucaliptos son talados regularmente por la comunidad para pie derecho, madera o para su leña, después de talar los arboles de

eucalipto, las personas simplemente desechan los tallos y las hojas de Eucalipto en alrededores de la pista.

En esta investigación re utilizamos esos tallos y hojas de eucalipto desechados con fines de estabilizar el suelo de la misma carretera que se dirige a Pucahuasi.

La gran ventaja del Eucalyptus Gobulus es que tiende a rebrotar hasta en 4 oportunidades, haciendo que su tala no tenga un impacto grande en el medio ambiente ni en el aspecto forestal.

3.2.1.2 Cenizas de hojas de Eucalipto (C.H.E). La obtención de cenizas de hojas de Eucalipto se dio al calcinar las hojas de eucalipto en mayor cantidad juntamente con restos que son desechados después de la tala de árboles de Eucalipto por la carretera de la comunidad de Pucahuasi, las cuales incluyen a los tallos, frutos y en mayor cantidad a las hojas de eucalipto, las cuales fueron llevadas a los hornos donde se fabrican los ladrillos artesanales, donde se obtuvo las cenizas de hojas de eucalipto; obteniendo un porcentaje óptimo de un 20% a 40% de C.H.E respecto al peso original.



FUENTE: Elaboración propia

Figura 4 — Extracción de las cenizas de hojas de Eucalipto

Tabla 2 — Análisis químico por fluorescencia de rayos X

Propiedades químicas de las cenizas de hojas de Eucalipto	
Compuestos química	(%) resultado en porcentaje
Óxido de potasio (K_2O)	31.258%
Óxido de magnesio (MgO)	28.751%
Óxido de calcio (CaO)	20.239%
Trióxido de aluminio (Al_2O_3)	6.530%
Dióxido de Silicio (SiO_2)	5.625%
Pentóxido de fósforo (P_2O_5)	3.742%
Trióxido de hierro (Fe_2O_3)	2.785%
Óxido de manganeso (MnO)	0.357%
Trióxido de azufre (SO_3)	0.249%
Cloruro (Cl^-)	0.231%
Dióxido de titanio (TiO_2)	0.152%
Óxido de zinc (ZnO)	0.036%
Dióxido de zirconio (ZrO_2)	0.025%
Bromuro (Br^-)	0.020%
FUENTE: Carrillo Vera, 2018	

3.2.2 Estabilización de suelo

Según (Quezada Osoria, 2017) la estabilización del suelo se caracteriza por ser un tipo de técnica de construcción utilizada para el desarrollo de características adecuadas del suelo en áreas y tiene el objetivo de optimizar la trabajabilidad, características mecánicas y de estabilidad de ciertos materiales, y demostrando la resistencia al corte de los suelos procesados. En contraste, se considera la estabilidad en la corteza terrestre (terreno), cuando las limitaciones de la congestión y varias alteraciones en el clima o la temperatura están presentes, debido a la capacidad de los suelos para soportar cargas, resistencia sin mostrar alteraciones aceptables, ni fatiga temprana debido a la aplicación en la que los suelos están siendo trabajados. Sin embargo, cuando el terreno no muestra elementos que son esenciales para

trabajar correctamente con ellos, se utilizan diferentes opciones, entre las cuales tenemos las siguientes:

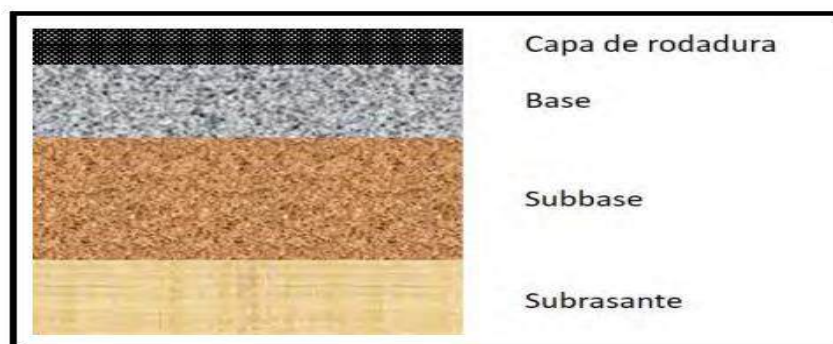
- Mezcla de los suelos.
- Cambio de las propiedades.
- Reemplazo de los suelos.

3.2.2.1 Fundamentos de pavimentos

El Pavimento “está compuesto por varias capas construida sobre la sub rasante del camino para soportar y distribuir esfuerzo originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito” (RD N°22-2013-MTC/14, 2013). El pavimento está diseñado de manera que pueda soportar las cargas del neumático del vehículo de tal forma que no exceda la capacidad soportante de la subrasante, por lo que asegura una resistencia apropiada al ahuellamiento y una calidad de manejo aceptable, deslizamiento y agrietamiento, así como niveles adecuados de reflexión de luz y un nivel bajo de sonido perturbador.

Los pavimentos pueden ser de tres tipos: flexibles (asfalto), rígidos (concreto) y los semirrígidos (compuestos), cuya definición se basa en cómo los materiales en los que las capas subsiguientes reciben las deflexiones y los esfuerzos de los pavimentos correspondientes.

El **Pavimento flexible** está compuesto por capas de sub base, base y una capa de rodadura (constituida con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y aditivos), las cuales se colocan en orden en función de su capacidad de carga. Resulta más económico en su periodo de vida no menor a 8 años pudiendo llegar a 20 años, pero requieren mantenimiento constante para cumplir con su periodo de vida.



FUENTE: Quezada Osoria, 2017

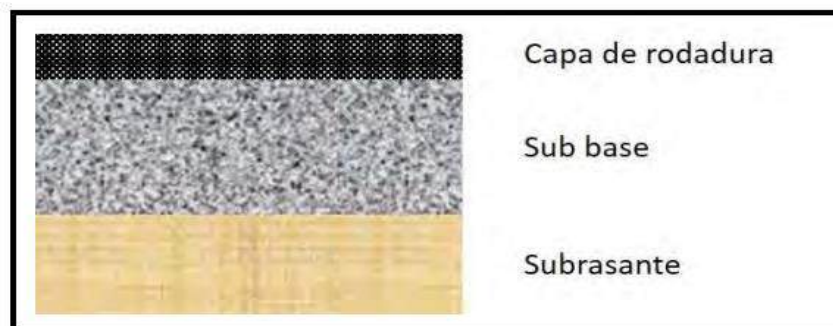
Figura 5 — Esquema de un Pavimento Flexible



FUENTE: Quezada Osoria, 2017

Figura 6 — Ejemplo de un pavimento flexible de asfalto

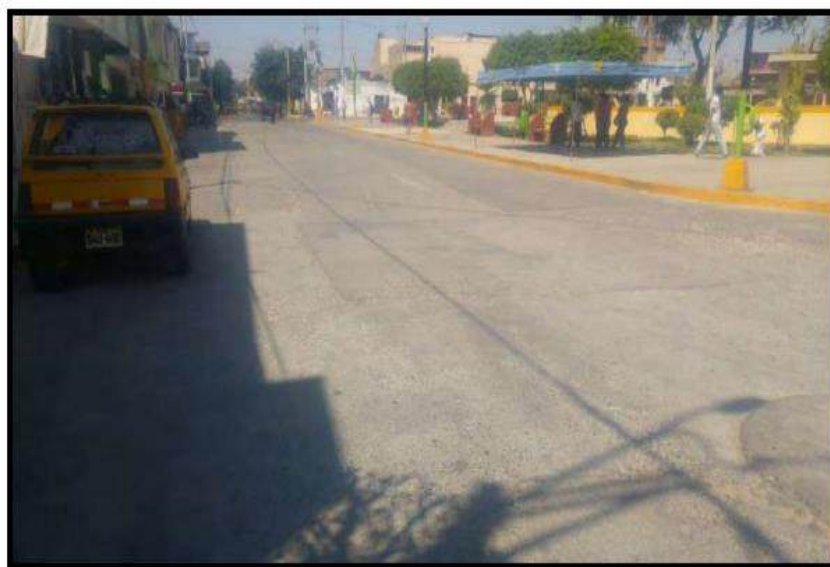
El **pavimento rígido** está formado por una capa de rodadura hecha con losa de concreto de cemento hidráulico y otra de subbase granular.



FUENTE: Quezada Osoria, 2017

Figura 7 — Esquema de un Pavimento rígido

En ocasiones, la base granular puede sustituir a la subbase granular o esta puede estabilizarse con cal, asfalto o cemento. Existen tres tipos de pavimento rígido: el pavimento de concreto que tiene juntas; el pavimento con juntas y refuerzo, ya sea en forma de mallas o fibras; y el pavimento reforzado de manera continua. El pavimento rígido, en comparación con el flexible, tiene un costo inicial más alto y una vida útil que oscila entre 20 y 40 años. Su mantenimiento es bajo y se lleva a cabo únicamente en las juntas de las losas.



FUENTE: Quezada Osoria, 2017

Figura 8 — Ejemplo de un pavimento rígido

El **pavimento semirrígido** se compone de capas asfálticas en caliente sobre base tratada con asfalto, cal o cemento. En un pavimento semirrígido se combinan tanto pavimento flexible como pavimento rígido, estando normalmente la capa rígida por debajo y la capa flexible por encima.



FUENTE: Quezada Osoria, 2017

Figura 9 — Esquema de un pavimento semirrígido



FUENTE: Quezada Osoria, 2017

Figura 10 — Vista de la capa de rodadura de asfalto de un pavimento



FUENTE: Quezada Osoria, 2017

Figura 11 — Ejemplo de un pavimento semirrígido, bloquetas de concreto

- a) **Capa de rodadura.** Es la parte más alta de un pavimento, que puede ser rígido (de hormigón de cemento Portland), flexible (bituminoso) o adoquinado, y su propósito es mantener el tránsito directamente. Su propósito principal es salvaguardar la estructura del pavimento, impermeabilizando la superficie para prevenir filtraciones de agua de lluvia que podrían empapar las capas subyacentes del pavimento.
- b) **Base.** Es la capa que se encuentra justo debajo de la capa de rodadura, y su función principal es soportar, distribuir y transferir las cargas que provoca el tráfico. La función fundamental de la base es absorber todos los esfuerzos generados por los vehículos y distribuir esos esfuerzos de manera equitativa hacia la sub base y la sub rasante. La base es la capa que soporta la mayoría de los impactos producidos por los vehículos que pasan sobre ella. La carpeta se coloca sobre esta capa ya que el material de la superficie tiene una baja capacidad de carga debido a la falta de confinamiento. Es crucial llevar a cabo una correcta compactación de la base, para que pueda aguantar todas las

cargas del tráfico sin deformarse y, al mismo tiempo, transmitir las de manera efectiva a las capas inferiores.

“En el Perú se recomienda que esta capa sea de material granular drenante, con un CBR mayor a 80% o será tratada con asfalto, cal o cemento” RD N°22-2013-MTC/14, 2013”

Tabla 3 — Requisitos de material pétreo para bases de pavimento

Capa	Base
Granulometría	Dentro de los usos granulométricos (A, B, C, D) establecidos por la Norma ASTM D 1241
Índice de Plasticidad IP	4% Máx.
CBR	80% Mín. para pavimentos con E.E. < 10 ⁶ 100% Mín. para pavimentos con E.E. > 10 ⁶
Equivalente de arena	35% Mín.
Partículas chatas y alargadas	10% Máx.
Caras fracturadas	80% Mín.
Sales solubles	1% Máx.
% de roca	45% Máx.
Abrasión	50% Máx.
FUENTE: RD N°22-2013-MTC/14, 2013	



FUENTE: Quezada Osoria, 2017

Figura 12 — Ejemplo de una capa de base

- c) **Sub base.** La sub base es la capa que se sitúa por encima de la subrasante. Está formada por material definido con un grosor determinado, y además sostiene tanto la base como la carpeta.

Sus funciones principales son: actuar como una capa de drenaje para el pavimento, regular o prevenir en la medida de lo posible alteraciones de volumen, elasticidad y plasticidad que podría experimentar el material de la subrasante y que resultaría dañino, y controlar la subida capilar contra los aumentos de volumen que ocurren durante las épocas de heladas. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. El material de la sub base debe ser seleccionado y tener mayor capacidad que el terreno de fundación. Esta capa puede ser de material granular con un CBR mayor o igual a 40% o tratada con asfalto, cal o cemento (RD N°22-2013-MTC/14, 2013). En

el Perú se suele esperar que cumpla con las siguientes especificaciones:

Tabla 4— Requisitos de material pétreo para sub base de pavimento

CAPA	Sub Base
Granulometría	Dentro de los usos granulométricos (A, B, C, D) establecidos por la Norma ASTM D 1241
Índice de Plasticidad IP	6% Máx.
CBR	40% Mín.
Equivalente de arena	25% Mín.
Partículas chatas y alargadas	10% Máx.
Caras fracturadas	80% Mín.
Sales solubles	1% Máx.
% de roca	35% Máx.
Abrasión	50% Máx.
FUENTE: RD N°22-2013-MTC/14, 2013	



FUENTE: Quezada Osoria, 2017

Figura 13 — Ejemplo de una capa de Sub base

- d) **Sub rasante.** Es la capa final de la carretera en la fase de movimiento de tierras, sobre la que se hace la construcción del pavimento. El grosor del pavimento, ya sea flexible o rígido, depende de la calidad de la subrasante. La calidad de esta capa está relacionada con las características del pavimento y la cantidad de tráfico, medida en número de ejes equivalentes que se acumulan a lo largo de la vida útil del pavimento. Hay manuales que proponen valores de CBR para evaluar la calidad del material de la subrasante, aunque no son decisivos. La calidad de la subrasante tiene un gran impacto en el proceso de construcción y en la efectividad de un pavimento, ya que es la que proporciona soporte a las cargas de la base y/o subbase.

Tabla 5 — CBR de sub rasantes por categoría

Categoría de sub rasante	CBR
Sub rasante inadecuada	CBR <3%
Sub rasante insuficiente	CBR $\geq$ 3% a CBR < 6%

Sub rasante regular	$\text{CBR} \geq 6\%$ a $\text{CBR} < 10\%$
Sub rasante buena	$\text{CBR} \geq 10\%$ a $\text{CBR} < 20\%$
Sub rasante muy buena	$\text{CBR} \geq 20\%$ a $\text{CBR} < 30\%$
Sub rasante excelente	$\text{CBR} \geq 30\%$
FUENTE: RD N°22-2013-MTC/14, 2013	



FUENTE: Quezada Osoria, 2017

Figura 14 — Ejemplo de una capa de sub rasante

3.2.3 Ensayos índices

- **Contenido de humedad.** Una prueba de laboratorio conocida como contenido de humedad se utiliza para medir la cantidad de agua en una muestra de suelo como porcentaje de su peso; El método consiste en calentar la muestra en un horno a una temperatura controlada de 110 ± 5 °C; Este proceso continúa hasta que el peso de la muestra se estabiliza, indicando que se ha extraído toda el agua que puede evaporarse; En la práctica, se cree que después de un tiempo de calentamiento de 12 a 18 horas (muchas veces dejando la muestra en el horno durante la noche), se alcanza este estado de peso constante; En este punto se registra el peso final, que representa la combinación del peso del suelo seco y el del recipiente empleado (Bowles, 1981).



FUENTE: Elaboración propia

Figura 15 — Muestras combinadas según porcentaje de C.H.E

- **Análisis granulométrico**

El análisis granulométrico implica clasificar las partículas del suelo en categorías basadas en su tamaño, utilizando mallas o tamices con aberturas de forma cuadrada. A través de métodos de vibración, se separan las partículas en diversas fracciones, las cuales se pesan y se expresan en porcentajes en relación a la masa total de la muestra. Aunque es físicamente imposible obtener el tamaño exacto de cada partícula, el método de granulometría permite organizarlas en categorías de tamaño. A nivel mundial, se ha establecido que la malla No. 200 (0,075mm) sirve como punto de referencia en la clasificación de suelos, dividiéndolos en finos y gruesos. (Botía, 2015)

Tabla 6 — Tamices y aberturas para análisis granulométrico.

Tamices	Abertura (mm)	Peso ret. (g.)	% Ret.	% Ret. acumulado	% Que pasa
3"	75,000				
2"	50,800				
1 ½"	38,100				
1"	25,400				
¾"	19,000				
3/8"	9,500				
N° 4	4,760				
N° 10	2,000				
N° 20	0,840				
N° 40	0,425				
N° 60	0,260				
N° 140	0,106				
N° 200	0,075				
FONDO					
FUENTE: RD N°22-2013-MTC/14, 2013					

- **Plasticidad de los suelos**

Es la habilidad de un suelo para conservar su estructura hasta un límite específico de humedad sin romperse; por lo tanto, la plasticidad de un suelo no se basa en sus partículas más grandes, sino solamente en las más pequeñas o finas. (MTC, 2014)

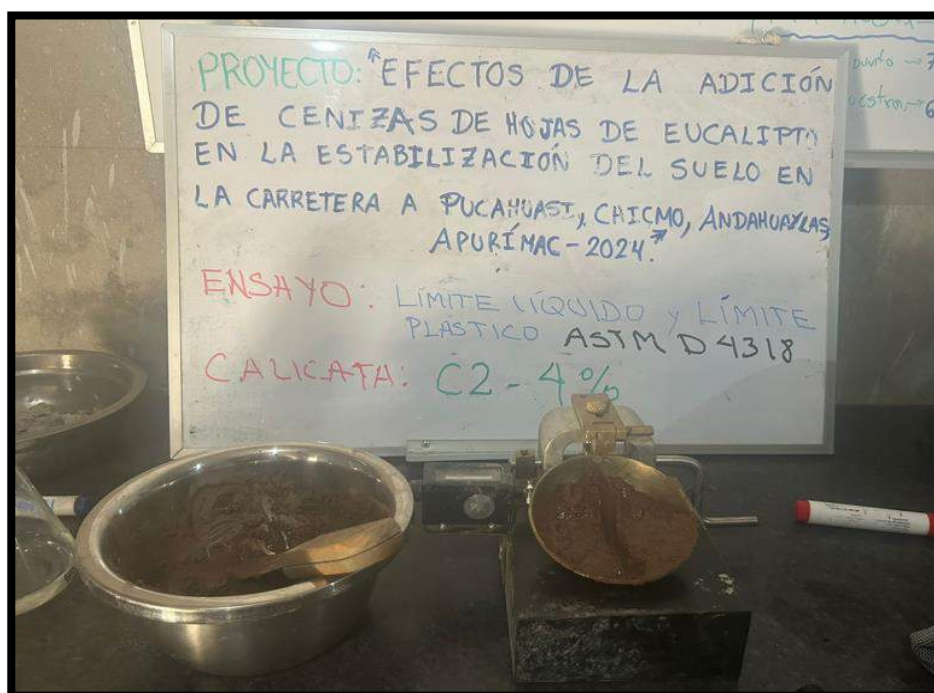
- ✓ **Límite líquido**

El límite líquido se define como el porcentaje de humedad que contiene el suelo, debajo del cual se observa un comportamiento plástico. Las muestras de donde se obtenga el material para el análisis deben ser representativas y su humedad natural debe mantenerse hasta justo antes de la prueba. Para obtener el límite líquido se requiere un material que pase a través del tamiz N°40 (425 µm) en una cantidad mínima de 150 g. (Botía, 2015)

Así mismo, según Botía, (2015) el proceso para el límite líquido es el siguiente:

- Cuando el material este listo, se coloca una cantidad en la cazuela y se presiona y distribuye con cuidado, asegurándose de no crear burbujas de aire y manteniendo una profundidad máxima cercana a 10 mm.

- La cazuela se activa a una velocidad aproximada de 2 impactos por segundo, se anota el número de impactos hasta que la pendiente de la hendidura se conecte a lo largo de 13 mm. La unión de la hendidura debe ocurrir por la fluidez del terreno, no por el deslizamiento del mismo sobre la cazuela.
- Se retira una parte del suelo de la cazuela, garantizando que se tome de ambos lados de la hendidura y se coloca en un recipiente con masa conocida y se cubre.
- El suelo que queda se lleva a la zona de mezcla y, con agua destilada, se ajusta su humedad según sea necesario para aumentar o disminuir el número de impactos.
- Se lava y desinfecta tanto la cazuela como el acanalador, y se realizan dos pruebas adicionales.
- Es importante que los datos de impactos estén dentro de los siguientes intervalos: 25-35, 20-30, 15-25.
- Se anota el peso del recipiente más la porción de suelo. Luego se seca en un horno a una temperatura de aproximadamente 110 °C y, al obtener un peso constante, se registra el peso del suelo seco junto al recipiente.



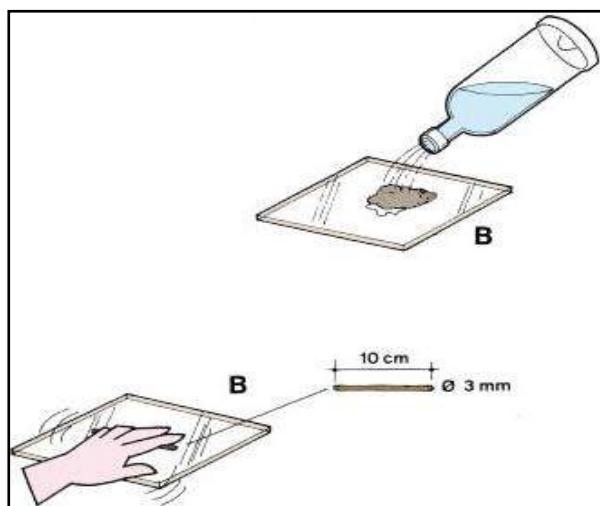
FUENTE: Elaboración Propia

Figura 16 — Desplazamiento y cierre del surco en Casagrande.

✓ Límite plástico

Atterberg definió el límite plástico como la línea divisoria entre los estados plástico y semisólido del suelo (Botía, 2015). De igual manera dice que el método para determinar el límite plástico es el siguiente:

- Se elige una porción de aproximadamente 1,5 – 2,0 g, de la muestra previamente preparada.
- Se hace rodar la porción de muestra entre la palma de la mano o los dedos y la placa de vidrio esmerilado, aplicando una presión uniforme y no mayor a la requerida para formar rollos.
- Se crea un cilindro de diámetro constante en la totalidad de su extensión, hasta que este alcance un grosor de aproximadamente 3,2 mm.
- Si al lograr este diámetro el cilindro no muestra fisuras y desintegración, se posee un material con humedad mayor a su límite plástico. En tal caso se reúne nuevamente todo el material conformando una esfera, manipulándola con las manos, generando así su pérdida de humedad.
- Se reiteran los pasos anteriores hasta conseguir que una vez el material logre el diámetro de 3,2 mm, se genere un agrietamiento y desintegración del mismo.
- Se depositan en un recipiente de masa conocida y se registra el peso de muestra más recipiente.



FUENTE: FAO, 2017

Figura 17 — Límite plástico

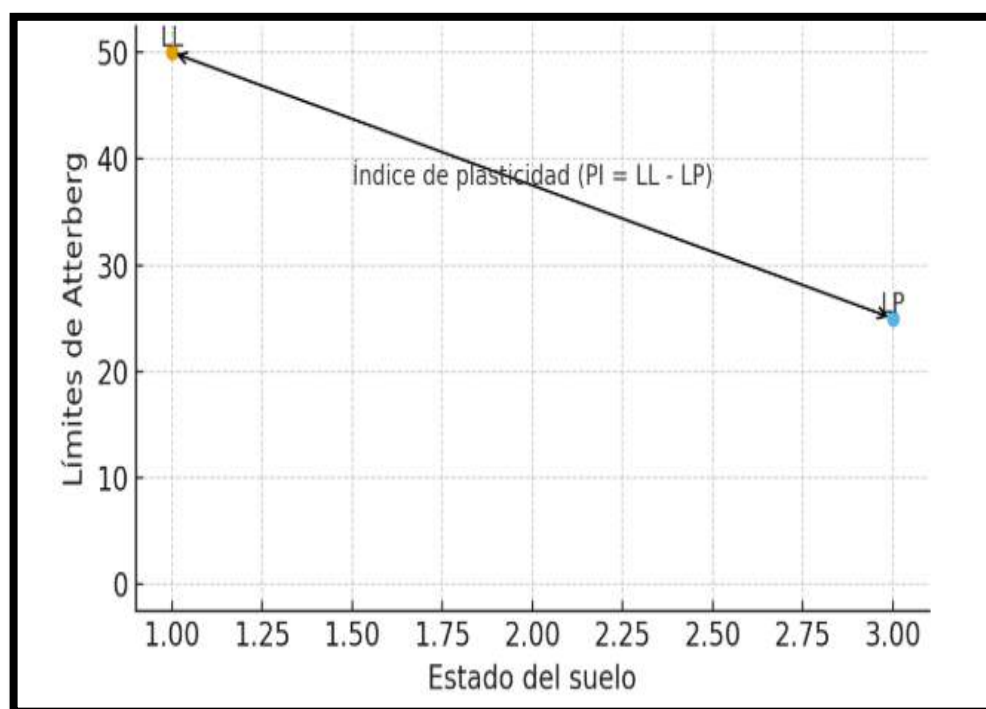
✓ Índice plasticidad

El índice de plasticidad muestra el rango de humedad en el que el terreno tiene una consistencia plástica y ayuda a clasificar el suelo de manera efectiva. Un IP elevado se relaciona con suelos con alta cantidad de arcilla; en cambio, un IP bajo es típico de suelos con baja presencia de arcilla. (MTC, 2014)

Tabla 7 — Clasificación de suelos según índice de plasticidad

Índice de plasticidad	Plasticidad	Característica
$IP > 20$	Alta	suelos muy arcillosos
$IP \leq 20$	Media	Suelos arcillosos
$IP > 7$		
$IP < 7$	Baja	Suelos poco arcillosos
$IP = 0$	No plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

FUENTE: MTC, 2014



FUENTE: Holtz et al., 2011

Figura 18 — Diagrama conceptual del Índice de Plasticidad

3.2.3.1 Clasificación de suelos

Los procedimientos para clasificar suelos agrupan estos materiales en categorías y subcategorías de acuerdo a características comunes en su comportamiento ingenieril, tales como la granulometría, el límite líquido y el límite plástico. Los dos principales sistemas de clasificación que se utilizan en la actualidad son:

- a) El sistema de la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras y Transporte (AASHTO).

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (que también es conocido como el método de la ASTM). El método AASHTO se utiliza principalmente para clasificar las capas del pavimento de las carreteras, pero no se aplica en la construcción de bases para edificaciones (Das, 2011).

- **Sistema de la AASHTO**

Sistema de clasificación de suelos AASHTO En la forma actual de este método, los suelos se pueden clasificar en ocho grupos principales, del A-1 al A-8, según su distribución del tamaño de grano, límite líquido e índice de plasticidad; Los suelos incluidos en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales de grano grueso, mientras que los incluidos en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 son materiales de grano fino; La turba, el limo y otros suelos altamente orgánicos se clasifican en el Grupo A-8 y se identifican mediante inspección visual (Das, 2011).

Tabla 8 — Clasificación de suelos – Método AASHTO

Clasificación general	Suelos granulares							Materiales limo arcillosos				
	35% Máximo que pasa por el tamiz de 0.075 mm (N° 200)							35% Máximo que pasa por el tamiz de 0.075 mm (N° 200)				
Clasificación de grupo	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Análisis granulométrico												
% que pasa por el tamiz de:												
2mm (N° 10)	máx. 50											
0.425 mm (N° 40)	máx. 30	máx. 50	máx. 51									
F: 0.0075mm (N° 200)	máx. 15	máx. 25	máx. 10	máx. 35	máx. 35	máx. 35	máx. 35	máx. 36	máx. 36	máx. 36	máx. 36	máx. 36
Características de la fracción que pasa el tamiz 0.425 (N° 40)												
Características de la fracción que pasa el tamiz (Ni 40)												
LL: Límite líquido				máx. 40	máx. 41	máx. 40	máx. 41	máx. 40	máx. 41	máx. 40	máx. 41	máx. 41
IP: Índice de plasticidad	máx. 6	máx. 6	NP	máx. 10	máx. 10	máx. 11	máx. 11	máx. 10	máx. 10	máx. 11	máx. 11(a)	máx. 11(b)
Tipo de material	Piedras, gravas y arenas		Arenas finas	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Estimación general del suelo como sub rasante	Excelente a bueno			Regular a insuficiente								

FUENTE: MTC, 2014

- **Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.)**

Según (Casagrande, 1942) adoptados más tarde, el Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos para la construcción de aeropuertos; Este método, con modificaciones menores, se utiliza actualmente en la mayoría de los países fuera de Estados Unidos; En Estados Unidos, este método es ampliamente utilizado por organizaciones como el Cuerpo de Ingenieros, la Oficina de Reclamaciones y, con modificaciones menores, la mayoría de las empresas consultoras.

DIVISIONES MAYORES		SIMBOLO		DESCRIPCIÓN
		SUCS	GRÁFICO	
SUELOS GRANULARES	GRAVA Y SUELOS GRAVOSOS	GW		GRAVA BIEN GRADUADA
		GP		GRAVA MAL GRADUADA
		GM		GRAVA LIMOSA
		GC		GRAVA ARCILLOSA
	ARENA Y SUELOS ARENOSOS	SW		ARENA BIEN GRADUADA
		SP		ARENA MAL GRADUADA
		SM		ARENA LIMOSA
		SC		ARENA ARCILLOSA
SUELOS FINOS	LIMOS Y ARCILLAS (LL<50)	ML		LIMO INORGÁNICO DE BAJA PLASTICIDAD
		CL		ARCILLA INORGÁNICO DE BAJA PLASTICIDAD
		OL		LIMO ORGÁNICO O ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD
	LIMOS Y ARCILLAS (LL>50)	MH		LIMO INORGÁNICO DE ALTA PLASTICIDAD
		CH		ARCILLA INORGÁNICA DE ALTA PLASTICIDAD
		OH		LIMO INORGÁNICO O ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		PT		TURBA Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS

FUENTE: MVCS, 2018

Figura 19 — Sistema de clasificación unificado de suelos

Así mismo, según (Botía, 2015), menciona que el sistema unificado de clasificación de suelos es el siguiente:

- **Gravas o arenas son:**

(GW, GP, SW o SP), cuando menos del 5% del material pasa por el tamiz No. 200; G = grava; S = arena; W = bien gradada; P = mal gradada. La clasificación como bien gradada o mal gradada se determina según dos parámetros característicos, Cu y Cc.

- **Gravas y arenas son:**

(GM, GC, SM o SC)

Pasan mas del 12% del material pasa por el tamiz No. 200; M = limo; C = arcilla. La clasificación como limo o arcilla se establece tras obtener los valores de los límites líquido y plástico de la fracción que pasa por el tamiz No. 40, aplicando los criterios de la carta de plasticidad. Este cuadro representa otra aportación de Casagrande al sistema, y la línea A que aparece en él es conocida como la línea A de Casagrande.

- **Las gravas y las arenas se pueden clasificar:**

GW – GC SW – SC GP – GC SP – SC

GW – GM SW – SM GP – GM SP – SM

Sí están dentro del rango 5 y 12 % del material pasa a través del tamiz No. 200.

- **Los suelos de grano fino (más del 50% pasa el tamiz N°. 200) son:**

(ML, OL, ó CL)

Cuando los límites líquidos resultan inferiores al 50%; M=limo; O = terrenos de naturaleza orgánica; C=arcilla.

- **Los suelos de grano fino son:**

(MH, OH, ó CH)

Cuando los límites líquidos resultan mayores al 50%; H = superior al 50%. Los límites líquido y plástico se desarrollan sobre material

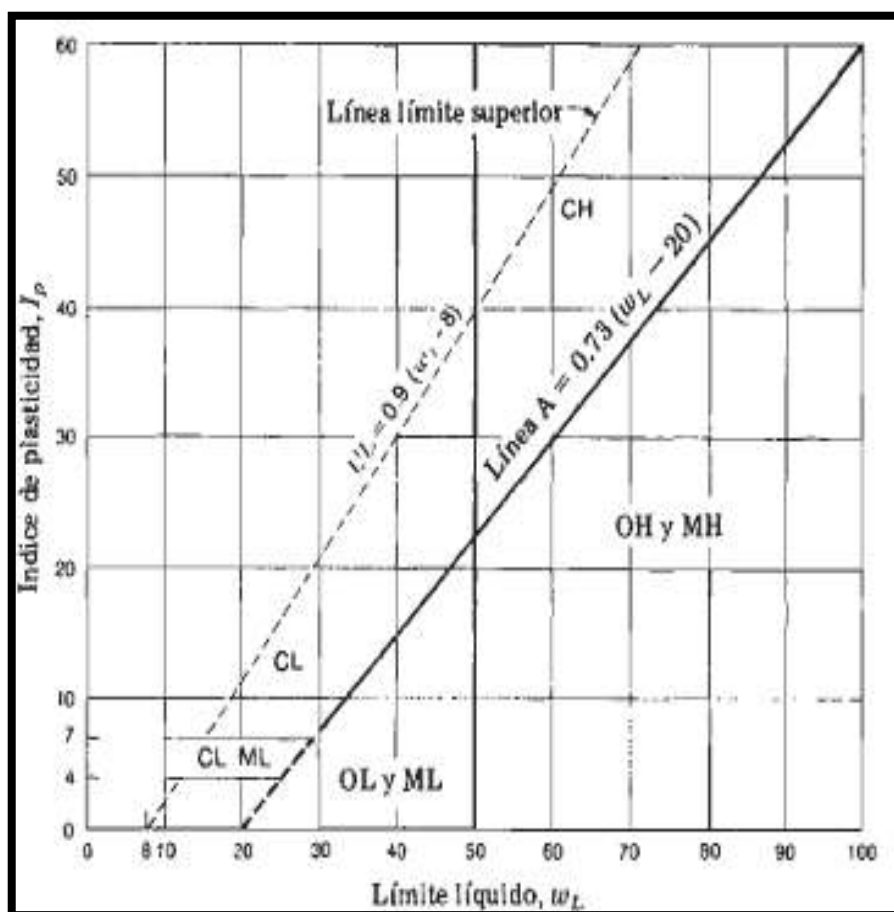
correspondiente a la fracción inferior del cedazo No. 40 de todos los terrenos, abarcando gravas, arenas, y terrenos finos.

Tabla 9 — Sistema unificado de clasificación de suelos

Divisiones mayores		Símbolo de grupo		Nombres típicos	Criterios de Clasificación para suelos granulares		
Suelos de grano grueso (mas del 50% del material es mayor en tamaño que	Gravas (mas del 50% de la	Gravas limpias	GW	Gravas bien graduadas, mezclas gravosas, poco o ningún fino	Cu=D60/D10 >4 Cc= 1 < (D30)2/D10 x D10 <3		
			GP	Gravas pobremente graduadas, mezclas grava-arena, pocos o ningún fino	No cumplir todos los requisitos de gradación para GW		
		Gravas con fino	GM	<i>d</i> <i>u</i>	Gravas limosas, mezcla grava-arena-limo	Limites de Atterbeg por debajo de la "línea A" o IP < 4	Los materiales sobre la "línea A" con 4 < IP < 7 se considera se considera de frontera y se les asigna doble símbolo
			GC	<i>d</i> <i>u</i>	Gravas arcillosas, mezcla grava-arena-arcillas	Limites de Atterbeg por encima de la "línea A" o IP > 7	
	Arenas (mas del 50% de la	Arenas limpias	SW	Arenas bien graduadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino	Cu = D60/D10 >4 Cc = 1 < (D30)2/D10 x D60 < 3		
			SP	Arenas pobremente graduadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino.	No cumplir todos los requisitos de gradación para SW		
		Arenas con finos	SM	<i>d</i> <i>u</i>	Arenas limosas, mezcla de arena-limo	Limites de Atterbeg por debajo de la "línea A" o IP< 4	Los materiales sobre la "línea A" con 4 < IP < 7 se considera se considera de frontera y se les asigna doble símbolo
			SC	<i>d</i> <i>u</i>	Arenas arcillosas, mezcla arena-arcilla	Limites de Atterbeg por encima de la "línea A" o IP > 7	
Suelos de grano fino (mas del 50% del material pasa por el tamiz N°.	Limos y arcillas (limite líquido LL<50)	ML		Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillas, o limos arcillosos con poca plasticidad.	1. Determinar el porcentaje de arenas y gravas de granulometría . 2. Dependiendo del porcentaje de fino (fracción menor que el matiz N°. 200 los suelos gruesos se clasifican como sigue: Menos del 5% = GW, GP,SW,SP Mas del 12% = GM, GC, SM,SC de 5 a 12% = casos de frontera que requieren doble signo.		
		CL		Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcilla limosa, arcillas magras.			
		OL		Limos inorgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad			
	Limos y arcillas (limite líquido LL>50)	MH		Limos inorgánicas, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos, suelos elásticos.			
		CH		Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas			
		OH		Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos			
	Suelos altamente orgánicos		Pt		Turba y otros suelos altamente orgánicos		

FUENTE: Bowles, 1981

FUENTE: Bowles, 1981



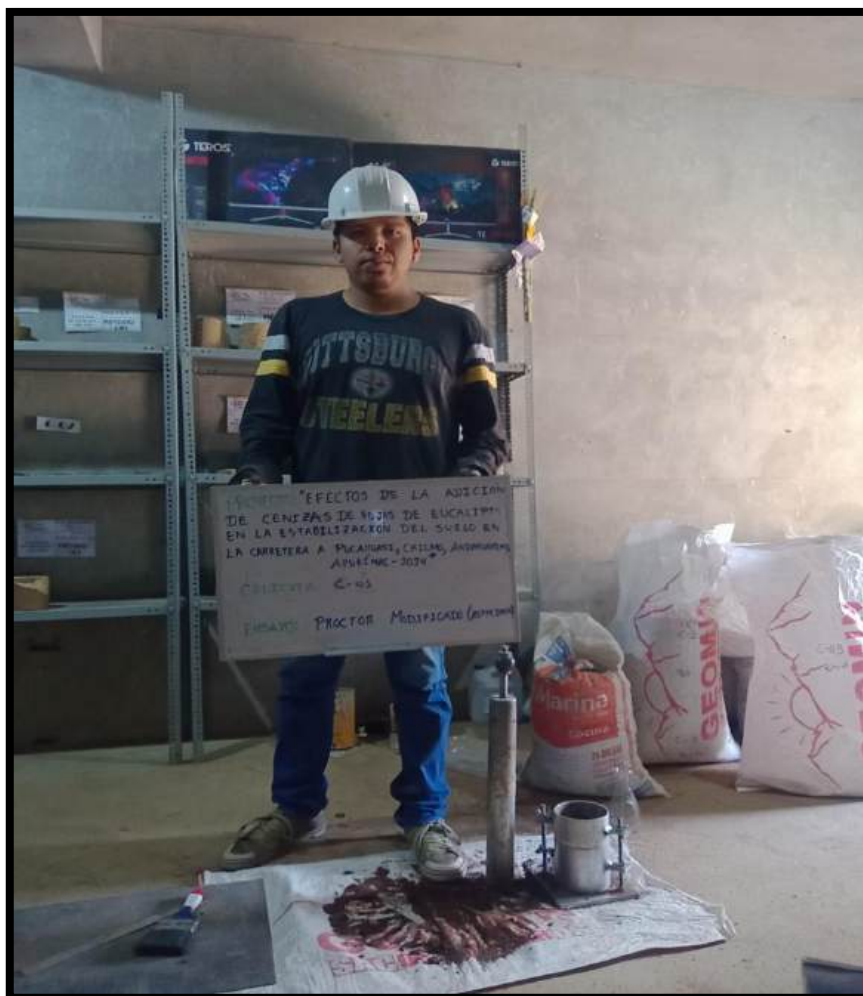
FUENTE: Bowles, 1981

Figura 20 — Carta de plasticidad de para la clasificación de suelos

3.2.3.2 Ensayos mecánicos

- **Proctor Modificado**

El proceso artificial Si las partículas del suelo se acercan más y, por lo tanto, crean más contacto entre ellas, lo que resulta en una disminución en su índice de vacíos, esto se llama compactación. Este proceso de compactación de los suelos mejora significativamente sus propiedades técnicas aumentando su resistencia al corte, reduciendo su deformabilidad, aumentando su densidad seca y mejorando el nivel de permeabilidad. Es importante señalar que las técnicas utilizadas para la compactación varían dependiendo de la naturaleza del suelo a compactar, ya que existe una amplia gama de equipos disponibles en la industria para este fin. (Botía, 2015)



FUENTE: Elaboración propia

Figura 21 — Proctor Modificado

Con los ensayos se pretende determinar los **parámetros óptimos de la compactación** que asegurarán las propiedades del terreno buscadas. Esto se traduce en determinar cuál es la humedad que se requiere para conseguir con una energía de compactación la densidad seca máxima que puede tener dicho terreno. Realizamos tomas de **densidades in-situ** y **ensayo Proctor Standard** para determinar la compactación del terreno. Cuando se nos pide un suelo compactado al **95% Proctor** significa que la compactación en obra debe obtener una densidad seca de al menos el 95% de la densidad seca máxima obtenida con los correspondientes ensayos. Para garantizar que esto ocurra se suele controlar la densidad mediante ensayos in situ durante o a posteriori del proceso de compactación.

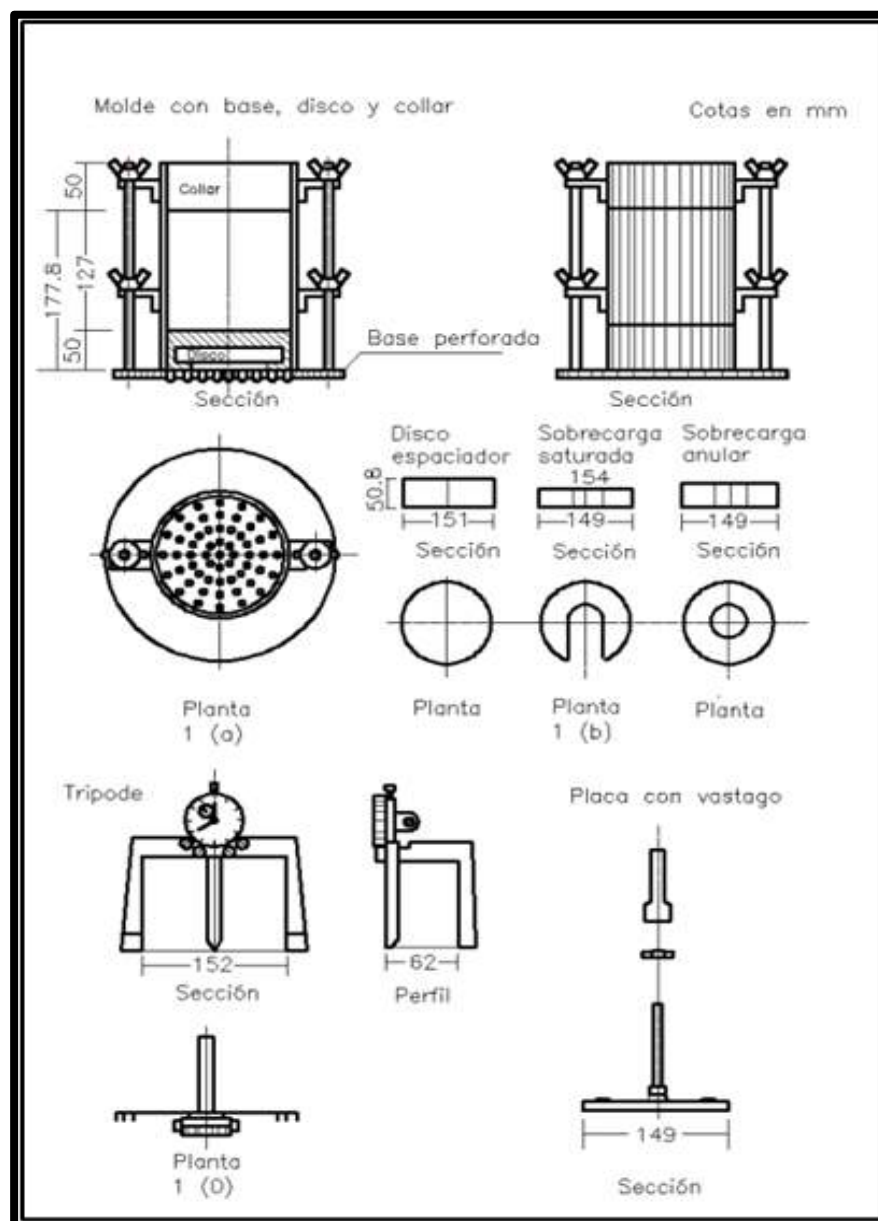
Tabla 10 — Especificaciones para la prueba Proctor Modificado

Concepto	Método A	Método B	Método C
Diámetro de molde	101.6 mm	101.6 mm	152.4 mm
Volumen de molde	944 cm ³	945 cm ³	2124 cm ³
Masa del pisón	4.54 kg	4.54 kg	4.54 kg
Altura de caída del pisón	457.2 mm	457.2 mm	457.2 mm
Nº de golpes del pisón por capa	25	25	56
Nº de capas de compactación	5	5	5
Energía de comparación	2700 kN*m/m ³	2701 kN*m/m ³	2702 kN*m/m ³
Compactación de suelo para usarse	Fracción que atraviesa el cedazo N°. 4 (4.57 mm). Aplicable cuando el 20% o menos en masa de material queda retenido en el cedazo N°. 4.	Fracción que atraviesa el cedazo de 9.5 mm. Puede emplearse cuando el terreno retenido en el cedazo N°. 4 supera el 20%, y el 20% o menor en masa se retiene en el cedazo de 9.5.	Fracción que atraviesa el cedazo de 19.0 mm (4/3 Pulg.). Utilizable cuando más del 20% en masa se retiene en el cedazo de 9.5 mm, y menos del 30% en masa en el cedazo de 19.0 mm.
FUENTE: Das, 2011			

- **Ensayo de la relación de soporte de california (CBR)**

La prueba CBR, conocida por ASTM como prueba de índice de carga, mide la resistencia al corte del suelo en condiciones controladas de humedad y densidad. Esta valoración permite obtener el valor del índice de soporte, aunque es obvio que este valor no es constante para un tipo de terreno concreto, ya que se refiere únicamente al estado del suelo en el momento del ensayo. El valor CBR, o simplemente CBR, se calcula como la relación de la carga unitaria (en libras por pulgada cuadrada) requerida para lograr una profundidad de penetración específica de una palanca (que tiene un área de 19,4 cm²) en una muestra de suelo compactada con un nivel de humedad y densidad específicos, en comparación con la carga unitaria de referencia requerida para una muestra penetrante de la misma profundidad de material triturado estándar. (Bowles, 1981)





FUENTE: MTC, 2016

Figura 22 — Esquema del equipo CBR

Así mismo, Bowle, 1981, nos dice:

$$CBR = \frac{\text{Carga unitaria del ensayo}}{\text{carga unitaria patrón}} \times 100 (\%)$$

El índice de CBR se emplea para determinar una correlación entre el comportamiento de los terrenos principalmente con propósitos de utilización como base y subrasante bajo pavimentos de carreteras y pistas de aterrizaje (Bowles, 1981)

Tabla 11 — Categorías de subrasante

N°. CBR	Clasificación general	Usos	Sistema unificado de clasificación	
			SUCS	AASHTO
0 - 3	Muy pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3 - 7	Pobre a regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7 - 20	Regular	Sub - base	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20 - 50	Bueno	Base, sub - base	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A3, A2-6
> 50	Excelente	Base	GW, GM	A1a, A2-4, A3
FUENTE: Bowles, 1981				

3.2.4 Caracterización de la subrasante

Para evaluar las características físico-mecánicas de los materiales de la sub rasante, se realizarán estudios mediante la excavación de pozos exploratorios o calicatas con una profundidad mínima de 1.5 m. (MTC, 2014)

- **Estabilización de suelos**

El proceso de tratamiento de suelos consiste en optimizar las propiedades físicas del suelo mediante técnicas mecánicas y la adición de compuestos químicos, tanto naturales como sintéticos.

Estas operaciones suelen realizarse en subsuelos que presentan condiciones inadecuadas o restringidas. En tales casos, se denominan tratamientos suelo-cemento, suelo-cal, suelo-asfalto y otros tipos según el aditivo utilizado. Por otro lado, si se intenta mejorar la subbase o base granular para mejorar su calidad, se

denomina subbase tratada o base granular tratada, especificando el aditivo utilizado, como cemento, cal o asfalto. (MTC, 2014)

3.2.5.2 Criterios geotécnicos para establecer la estabilización de suelos

De acuerdo con (MTC, 2014) se pueden identificar diversos parámetros para determinar la necesidad de estabilización de suelos:

- Se considerarán aptos para la sub rasante aquellos materiales cuyo índice CBR sea igual o mayor al 6%.
- Si la subrasante está constituida por arcilla o limo, que en estado húmedo es sensible a la absorción y contaminación en las capas superiores de gránulos, será necesario incorporar una capa protectora anticontaminación de 10 cm de espesor.
- La distancia mínima entre la superficie del subsuelo y el nivel freático variará en función de la calidad del suelo: 0,60 m para subsuelos excelentes y óptimos, 0,80 m para subsuelos de buena y media calidad, 1,00 m para subsuelos de capacidad limitada y 1,20 m para subsuelos. Si no se cumplen estas condiciones se procederá a la instalación de sistemas de drenaje, capas protectoras o elevación de rasante según sea necesario.
- En zonas que superen los 4.000 metros sobre el nivel del mar, se deberá evaluar el impacto de las heladas en el terreno; Este fenómeno suele estar asociado a la proximidad del nivel freático y a la susceptibilidad del terreno a las heladas. Si el nivel del agua es más profundo que 1,20 m, se estima que el efecto del hielo no amenazará la integridad de la capa superior del subsuelo.
- Para elegir el método de estabilización más adecuado, es necesario realizar previamente la caracterización del suelo existente; En esta zona predominan los suelos arcillosos, francos arenosos o combinaciones arenosas con presencia de limo o arcilla.

3.3 Marco conceptual

a) CBR

El índice de carga de California (CBR) estima la resistencia potencial de la base, la subrasante y el material de base en el suelo donde se planea construir pavimentos, (Eugenio Castro et al., 2021).

b) Ceniza de hojas de Eucalipto

Es un residuo químico ya que al ser quemado cambia su composición orgánica, el Eucalipto es una planta altamente común en nuestra sierra peruana, el cual desprende sus hojas en la época de otoño y cuya madera es utilizada en las construcciones para soporte como los pie derecho, encofrado, etc; también al ser utilizado solo su madera es muy común ver desperdicios al bordes de la carretera donde se realizó el estudio, cuyos desperdicios (hojas de eucalipto, tallos y frutos) fueron llevados a ser quemados en las ladrilleras cercanas para la obtención de las cenizas de hojas de Eucalipto.

c) Contenido de humedad

El contenido de humedad es una propiedad que expresa la cantidad de agua que contiene un material y su valor es inequívoco cuando se especifica la base de la masa usada, (Martines et al., 2010).

d) Contenido de Humedad Óptimo

Es el contenido de agua al que el suelo será compactado al peso unitario seco máximo utilizando un esfuerzo de compactación modificado (ASTM D1557, 2000).

e) Densidad seca máxima

Corresponde a la densidad máxima que puede lograr un terreno al ser densificado en la humedad óptima (Mamani Henry, 2020).

f) Suelos arcillosos

Los suelos arcillosos se definen como materiales cohesivos constituidos principalmente por partículas minerales menores a 0,002 mm y que tienen una estructura en capas y propiedades plásticas cuando contienen humedad. Están compuestos por minerales arcillosos como caolinita, illita y montmorillonita, los cuales inciden directamente en su comportamiento geotécnico (Das, 2013).



g) Estabilización de suelos

La estabilización de suelos es el proceso de cambiar las propiedades físicas, químicas o biológicas del suelo para mejorar su comportamiento y resistencia (CONARSAC, 2023).

h) Limite líquido:

El límite líquido se expresa como un porcentaje del contenido de humedad, que simboliza la transición entre el estado líquido y plástico del suelo (GIG, 2023).

i) Límite plástico

El límite plástico se expresa como un porcentaje del contenido de humedad, que simboliza la transición entre el estado plástico y semisólido del suelo (GIG, 2023).

j) Índice de plasticidad

El índice plástico es una medida de la plasticidad del suelo calculada como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico (StudySmarter, 2024).

k) Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas más importantes del suelo son aquellas que permiten caracterizar su composición, estructura y comportamiento físico, como la granulometría, límites de consistencia, densidad, permeabilidad y plasticidad, que determinan la respuesta del suelo a diversas condiciones de carga y humedad (Lambe et al., 1979).

l) Propiedades mecánicas de suelos

Las propiedades mecánicas más importantes del suelo son aquellas que permiten determinar leyes de resistencia y comportamiento, como la cohesión, el ángulo de fricción interna y su capacidad de expansión (González et al., 2024).



CAPITULO IV METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

La presente investigación corresponde al tipo aplicada, dado que busca generar conocimiento con una finalidad práctica orientada a la solución de un problema concreto (Hernández et al., 2018). En este estudio, el problema identificado fue la baja capacidad de soporte de la subrasante de la carretera a Pucahuasi – Chicmo, cuyos suelos presentaron valores de CBR al 95% de la Máxima Densidad Seca entre 6.9% y 11.0%, clasificándose como subrasante de categoría S1 (muy pobre) según el Manual de Carreteras del MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014). Para dar solución a este problema, se evaluó experimentalmente la aplicación de cenizas de hojas de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) un residuo forestal disponible localmente sin costo como agente estabilizante del suelo, aprovechando sus propiedades puzolánicas para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante. De este modo, la investigación no solo aporta conocimiento técnico sino también una solución sostenible bajo el principio de economía circular, transformando un residuo de desecho en un recurso de ingeniería.

En cuanto al nivel, la investigación es de carácter explicativo, dado que no se limitó a describir las propiedades del suelo, sino que estableció relaciones causales verificables entre la dosificación de cenizas de hojas de eucalipto y los cambios producidos en las propiedades físicas y mecánicas del suelo (Cabezas et al., 2018). Específicamente, se analizó cómo la variación en los porcentajes de adición de C.H.E. (0%, 4%, 8% y 12% respecto al peso seco del suelo) causa modificaciones en el índice de plasticidad, la densidad máxima seca, la humedad óptima y el CBR al 95% de la Máxima Densidad Seca. La significancia estadística de estas relaciones causales fue verificada mediante el Análisis de Varianza (ANOVA) bajo un Diseño en Bloques Completos al Azar (DBCA), obteniéndose resultados significativos para el CBR ($F = 25.17$, $p = 0.0008$) y el índice de plasticidad ($F = 15.68$, $p = 0.003$), lo que confirma que las C.H.E. son una causa real y medible de la mejora en las propiedades del suelo de la carretera a Pucahuasi.



4.2 Diseño de investigación

La investigación se desarrolló bajo un diseño experimental puro, dado que se manipuló deliberadamente la variable independiente porcentaje de cenizas de hojas de eucalipto bajo condiciones rigurosamente controladas en laboratorio, con el propósito de medir su efecto sobre las variables dependientes (Martínez, 2012). El diseño estadístico adoptado fue el Diseño en Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro tratamientos (0%, 4%, 8% y 12% de C.H.E.) y tres bloques correspondientes a las calicatas C-01 (Km 0+450), C-02 (Km 0+900) y C-03 (Km 1+200), dando un total de 12 unidades experimentales por variable de respuesta. Los ensayos fueron ejecutados siguiendo protocolos normalizados de geotecnia: Proctor Modificado (ASTM D1557), CBR (ASTM D1883) y Límites de Atterberg (ASTM D4318), garantizando la validez interna y reproducibilidad de los resultados. Este diseño permitió no solo identificar la existencia de efectos estabilizadores, sino también cuantificar su magnitud con mejoras de hasta 82.6% en el CBR de la calicata C-01 y determinar su significancia estadística, estableciendo al 8% de C.H.E. como el porcentaje óptimo de estabilización para los suelos de la carretera a Pucahuasi.

4.3 Descripción ética de la investigación

A nivel internacional, la ética en la investigación de ingeniería establece que los profesionales deben utilizar sus conocimientos para mejorar el bienestar humano y el medio ambiente, actuando con honestidad, imparcialidad y compromiso con el desarrollo sostenible (ASCE, 2017). En concordancia con estos principios, la presente investigación aprovechó residuos forestales de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) material de desecho sin valor económico disponible en la zona de Pucahuasi como agente estabilizante del suelo, contribuyendo a reducir el impacto ambiental generado por la quema indiscriminada de estos residuos en la vía y promoviendo una economía circular en beneficio de la comunidad.

A nivel nacional, el Código de Ética del Colegio de Ingenieros del Perú, en su Título III, Capítulo III, artículo 29, inciso d), establece que el ingeniero tiene la misión de conservar y potenciar los recursos naturales, promoviendo condiciones apropiadas para mejorar la calidad de vida de los pobladores (Colegio de Ingenieros del Perú, 2019). Esta investigación se alinea directamente con dicho mandato, al proponer una solución técnica que mejora la infraestructura vial de la carretera a Pucahuasi - Chicmo, cuya



deficiente transitabilidad afecta directamente el desarrollo económico y social de la comunidad de Chicmo, provincia de Andahuaylas.

A nivel local, la investigación fue desarrollada en estricto cumplimiento del Código de Ética para la Investigación del Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, establecido mediante Resolución N° 010-2018-VRINV-UNAMBA (UNAMBA, 2018). Se garantizó el rigor científico en todas las etapas del proceso: la recolección de muestras siguió protocolos normalizados del MTC, los ensayos de laboratorio fueron ejecutados conforme a las normas ASTM, los resultados se presentan con total transparencia incluyendo los valores que no resultaron estadísticamente significativos, y las fuentes fueron citadas conforme a la normativa ISO 690. La originalidad del documento fue verificada mediante el sistema Turnitin, garantizando la autenticidad e integridad académica de la presente investigación.

4.4 Población y muestra

4.4.1 Población

La población de estudio incluye todos los subsuelos que existen en la carretera Pucahuasi – Chicmo, ubicada en el distrito de Chicmo, provincia de Andahuaylas, región Apurímac. Según Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), una población está formada por un conjunto de elementos que comparten características comunes y de los que se espera sacar conclusiones a partir de los resultados obtenidos en un estudio.

La longitud aproximada de la vía investigada es de 1,75 km y el ancho promedio de plataforma es de 8,00 m, lo que representa una superficie de subsuelo aproximada de 14.000,00 m². Como parte de esta ampliación, se identificaron sectores que presentan problemas de estabilidad, deformaciones superficiales y baja capacidad portante, condiciones que afectan el desempeño estructural del pavimento y que constituyen el ámbito específico de análisis de este estudio. El bloque de análisis está formado por subsuelos en diferentes sectores viales, cuyas propiedades físicas y mecánicas serán evaluadas mediante ensayos de laboratorio para determinar su comportamiento geotécnico y el efecto del material estabilizador propuesto.



4.4.2 Muestra

Una muestra es una parte representativa de la población seleccionada para obtener información que permita el logro de los objetivos de la investigación (Hernández-Sampieri et al., 2014). En este estudio, la muestra estuvo compuesta por material de suelo obtenido de tres (03) pozos ubicados estratégicamente en el progresivo Km 0 450, Km 0 900 y Km 1 200 de la carretera Pucahuasi – Chicmo. La selección de estos sitios de muestreo se basó en un estudio técnico preliminar de campo, que identificó los sectores con las condiciones más críticas de inestabilidad, deformaciones y signos de baja capacidad portante del suelo. Asimismo, se colocaron pozos a lo largo del tramo estudiado con el objetivo de cubrir espacialmente las variaciones geotécnicas existentes y lograr una caracterización representativa de las condiciones del suelo. Cada pozo fue excavado con unas dimensiones de 1,00 m × 1,00 m y una profundidad de 1,50 m de acuerdo con los procedimientos establecidos en el Manual de Ensayos de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2016). Aprox. De cada excavación se obtuvieron 100 kg de material, cantidad suficiente para realizar las pruebas de granulometría, límites de Atterberg, índice de plasticidad, Proctor Modificado y California Bearing Ratio (CBR), incluyendo las repeticiones necesarias para garantizar la confiabilidad de los resultados. El tipo de muestreo utilizado no fue probabilístico, intencional ni basado en criterios técnicos. Este método se basa en la selección deliberada de unidades de muestreo que tienen características relevantes para el estudio, en lugar de procedimientos aleatorios. La selección de tres pozos cumplió con los siguientes criterios técnicos: (a) ubicación en sectores con signos de imperfecciones geotécnicas en el subsuelo; b) distribución longitudinal, que permite representar las condiciones predominantes en la sección estudiada; y (c) disponibilidad para trabajo de campo y muestreo.

Este tipo de muestreo es común en estudios de geotecnia y de ingeniería vial, ya que la ubicación de los puntos de estudio cumple con criterios técnicos, normativos y de comportamiento del terreno, tratando de caracterizar adecuadamente las condiciones más representativas y críticas del área de estudio. (Hernández et al., 2014).



Tabla 12 — Total de ensayos testeados

Ensayos	Suelo natural	Suelo Natural	Suelo Natural	Suelo Natural	Total
		+ 4% CHE	+ 8% CHE	+ 12% CHE	
Propiedades físicas					
Contenido de humedad natural	3.00	0.00	0.00	0.00	3.00
Análisis granulométrico	3.00	0.00	0.00	0.00	3.00
Límites de Atterberg	3.00	3.00	3.00	3.00	12.00
Propiedades mecánicas					
Proctor Modificado	3.00	3.00	3.00	3.00	12.00
CBR	3.00	3.00	3.00	3.00	12.00
					42.00
FUENTE: Elaboración propia					

FUENTE: Elaboración propia

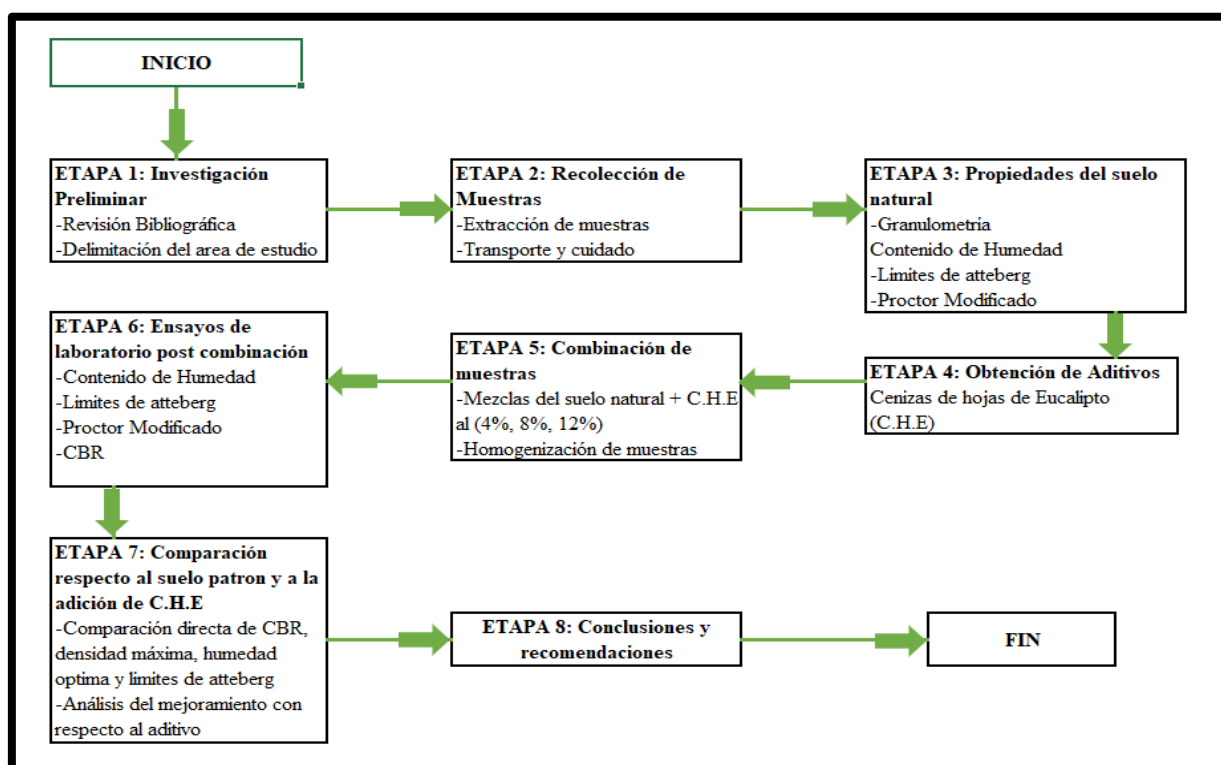
4.5 Procedimiento

El procedimiento de tratamiento de suelos en la carretera que conecta a Pucahuasi comienza con el registro bibliográfico y la determinación de los límites del territorio, seguido de la extracción, transporte y conservación de muestras representativas. Luego, el suelo natural se caracteriza mediante pruebas de contenido de humedad, granulometría, límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR para determinar los parámetros básicos. Se recolecta el aditivo estabilizante (ceniza de hoja de eucalipto) y se preparan mezclas homogéneas con diferentes porcentajes (4%, 8% y 12%) de cada aditivo. Estas mezclas se someten a pruebas de laboratorio para determinar sus límites Atterberg, Proctor Modificado y CBR, cuyos resultados se comparan directamente con suelo estándar para evaluar mejoras en CBR, densidad y humedad óptima, culminando en conclusiones técnicas sobre la efectividad de los aditivos en la estabilización de la subrasante.



FUENTE: Elaboración propia

Figura 23 — Levantamiento Topográfico y delimitación de la carretera en estudio, Pucahuasi



FUENTE: Elaboración propia

Figura 24 — Flujograma de procedimiento de investigación

4.6 Técnicas e instrumentos

4.6.1 Técnicas

En este estudio, se identificó como el método más importante la observación, complementada con pruebas de laboratorio de suelos especializadas. El método observacional "consiste en el registro sistemático, válido y confiable de conductas y situaciones observables utilizando un conjunto de categorías y subcategorías"(Hernández et al., 2018)

En este estudio se implementó específicamente la observación directa, registrando en detalle los cambios físicos del suelo durante las fases de preparación, mezclado y ejecución de los distintos ensayos.

En cuanto a los métodos de laboratorio, se utilizaron para evaluar la interacción entre la variable independiente (ceniza de hoja de eucalipto) y la variable dependiente (propiedades del suelo). Las pruebas realizadas incluyeron: determinación del contenido de humedad, análisis granulométrico, límites de Atterberg, Proctor y California Bearing Ratio (CBR) modificado, lo que

permite determinar científicamente cómo los aditivos estudiados cambian las propiedades mecánicas y físicas de los suelos arcillosos.

4.6.2 Instrumentos

El estudio garantizó la exactitud de los resultados mediante la implementación de una documentación estructurada y rigurosamente validada por evaluación especializada (evaluada por pruebas de expertos), logrando altos coeficientes de confiabilidad. Estos formatos facilitaron la recopilación sistemática de información relevante durante el proceso experimental.

- **Formatos manuales**

- 1) Formato de instrumento: Análisis granulométrico elaborado en base a la norma MTC E-107/ASTM D6913
- 2) Formato de instrumento: Contenido de humedad elaborado en base a la norma MTC E 108/ASTM D2216
- 3) Formato de instrumento: Límites de Atterberg elaborado en base a la norma MTC E-110/111/ASTM D4318
- 4) Formato de instrumento: Proctor modificado elaborado en base a la norma MTC E-115/ASTM D1557
- 5) Formato de instrumento: CBR elaborado en base a la norma MTC E-132/ASTM D1883

Tabla 13 — Validadores instrumentales

Nº	Experto	Especialidad	Grado Académico	Veredicto
1	Erick Alarcón Camacho	Ingeniero Civil	Doctor	Es aplicable
2	Gary Fernandez Paiva	Ingeniero Civil	Magister	Es aplicable
3	Jinmer Bravo Apaza	Ingeniero Civil	Magister	Es aplicable
4	Rómulo Gómez Noblega	Ingeniero Civil	Magister	Es aplicable
5	Wilson John Mollocondo Flores	Estadístico	Doctor	Es aplicable
FUENTE: Elaboración propia				



El análisis estadístico aplicado a los instrumentos de medición y su correspondiente evaluación métrica (detallado en el ANEXO 4) arrojó un índice de confiabilidad interna a través del coeficiente alfa de Cronbach correspondiente a 0.874, el cual, de acuerdo a los parámetros establecidos, refleja un nivel de validez catalogado como bueno. Este resultado confirma la validez metodológica y confirma la legitimidad científica de los instrumentos utilizados en este estudio.

4.7 Análisis estadístico

El análisis estadístico es fundamental para analizar los datos recopilados en la investigación científica de manera que se puedan organizar, resumir y tomar decisiones basadas en evidencia (Hernández et al., 2018) Se divide en:

- Estadística descriptiva
- Estadística Inferencial

- **Estadística descriptiva**

El propósito de la estadística descriptiva es describir las características básicas de un conjunto de datos sin hacer interpretaciones más allá de lo que muestran los datos; Afirma además que con esta estadística se pueden agregar datos utilizando medidas de tendencia central y dispersión. (Córdova Zamora, 2003)

- **Media**

Según (Triola, 2004) dice que la media es una forma de estimar la tendencia central que se obtiene sumando todos los valores de un grupo de datos y dividiendo el total por el número de elementos; Es un concepto estadístico básico que se utiliza a menudo en el análisis de datos y comúnmente se denomina media.

- **Medidas de dispersión**

Las medidas de dispersión son valores numéricos que indican qué tan lejos están los datos de un punto de referencia, que suele ser la media aritmética; Estas medidas ayudan a comprender la variabilidad del conjunto de datos, (Córdova Zamora, 2003). Las medidas de dispersión más importantes son la

varianza, la desviación estándar, la desviación media y otras medidas como frecuencias, momentos y áreas.

- **La varianza (S^2)**

La varianza se define como una medida estadística que representa la media de las diferencias al cuadrado entre cada conjunto de datos y su media aritmética; Esta métrica evalúa el grado de dispersión de los valores de una distribución indicando si los datos están concentrados cerca de la media o dispersos alrededor de ella (Córdova Zamora, 2003)

El objetivo de la estadística descriptiva es obtener datos de una muestra para poder extrapolarlos a la población de estudio. En este sentido, la idea básica detrás de todos los métodos estadísticos de análisis de datos es sacar conclusiones sobre una población examinando una muestra relativamente pequeña de ella. (Navidi, 2006)

- **Estadística inferencial**

Esta estadística hace predicciones sobre una población basándose en una muestra de datos. También permite sacar conclusiones sobre la población de la muestra (Hernández et al., 2018)

Este estudio utilizó estadísticas inferenciales para evaluar los efectos de la adición de ceniza de hojas de eucalipto en la estabilización del suelo en la carretera Pucahasi. Este enfoque cuantitativo nos permitió analizar las relaciones entre variables utilizando pruebas estadísticas para determinar si las diferencias observadas en las propiedades físicas y mecánicas del suelo fueron estadísticamente significativas.

- **Normalidad**

La prueba de normalidad según (Romero, 2016), indica que estos tests facilitan comprobar qué tipo de distribución siguen nuestros datos y por tanto qué análisis será (paramétrico o no) podemos realizar sobre el contraste estadístico.



Se utilizará la prueba de Shapiro-Wilk para determinar la normalidad de los datos si hay menos de 50 observaciones en la muestra. Para muestras más grandes se utilizará la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Si los datos muestran una distribución normal, se clasificarán como paramétricos y se realizará un análisis ANOVA. (Romero, 2016).

En caso contrario se utilizará una prueba no paramétrica, concretamente la prueba de Kruskal-Wallis. Además, se utilizó el software SPSS para procesar los resultados obtenidos en las pruebas estadísticas inferenciales. La inferencia estadística respaldada por este programa se utilizará para:

- La hipótesis general
- Las hipótesis específicas
- Los resultados de las figuras y las tablas
- Pasos para realizar las pruebas de hipótesis

- **Prueba de Hipótesis**

La prueba de hipótesis puede definirse, conforme a (Elorza, 2000), una prueba de hipótesis se puede definir como: Una regla convencional para probar o confrontar hipótesis estadísticas: establecer α (probabilidad de rechazar falsamente H_0) al menor valor posible; luego, bajo H_1 , seleccione una región de rechazo tal que la probabilidad de observar un valor de muestra en dicha región sea igual o menor que α si H_0 es verdadera.

- **Pasos para Realizar las Pruebas de Hipótesis**

- a) **Paso 1. Plantear la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alternativa (H_a)**

- **Hipótesis nula.** Afirmación o enunciado acerca del valor de un parámetro poblacional.
 - **Hipótesis alternativa.** Afirmación que se aceptará si los datos muestrales proporcionan amplia evidencia que la hipótesis nula es rechazada.



b) Paso 2. Seleccionar el nivel de significancia

El nivel de significancia es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera. Debe tomarse una decisión de usar el nivel 0.05 (nivel del 5%), el nivel de 0.01, el 0.10 o cualquier otro nivel entre 0 y 1. Generalmente, se selecciona el nivel 0.05 para proyectos de investigación en educación; el de 0.01 para aseguramiento de la calidad, para trabajos en medicina; 0.10 para las encuestas políticas. La prueba se hará a un nivel de confianza del 95 % y a un nivel de significancia de 0.05.

c) Paso 3. Calcular el valor estadístico de la prueba

En la tesis se aplicó la prueba ANOVA por las siguientes razones:

- 1. Comparación entre múltiples grupos:** Se evalúan diferentes dosificaciones de Cenizas de hojas de Eucalipto (0%, 4%, 8% y 12%) en las propiedades físicas y mecánicas del suelo, lo que requiere comparar más de dos grupos.
- 2. Variables cuantitativas y paramétricas:** Los parámetros como el CBR, límite líquido, índice de plasticidad, etc., son continuos y numéricos, y se verificó que cumplen con normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk.
- 3. Diseño experimental puro:** Se manipuló una variable independiente (porcentaje de adición) para observar su efecto sobre variables dependientes, lo cual encaja con el enfoque de ANOVA.
- 4. Homogeneidad de varianzas esperada:** Se asumió que las varianzas de los grupos son homogéneas, premisa importante para aplicar ANOVA y válida dada la naturaleza controlada del experimento.

Así mismo, en investigación se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) para contrastar las hipótesis de trabajo y evaluar la relación entre las variables estudiadas. ANOVA es una técnica estadística que permite determinar si existen diferencias significativas entre los grupos en función de una variable independiente, evaluando los efectos de la

adición de cenizas de hojas de Eucalipto en las propiedades físicas y mecánicas del suelo en la carretera de Pucahuasi.

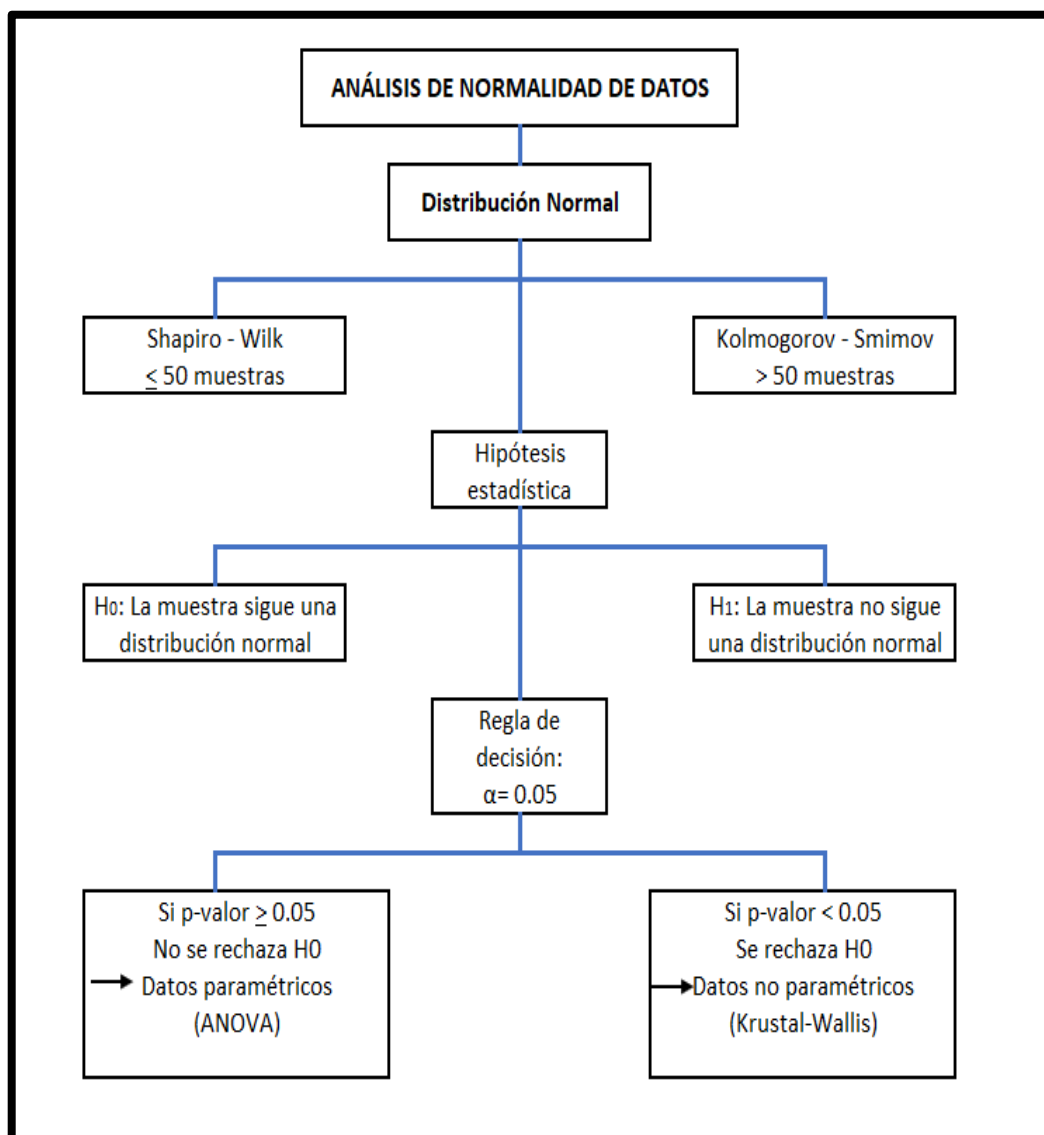
d) Paso 4. Formular la regla de decisión

Una regla de decisión constituye un enunciado de las condiciones bajo las cuales se acepta o se rechaza la hipótesis nula. La región de rechazo establece la ubicación de todos los valores que resultan excesivamente grandes o excesivamente pequeños, por lo que es muy remota la probabilidad de que se presenten según la hipótesis nula verdadera.

e) Paso 5. Tomar una decisión

Se confronta el valor observado de la estadística muestral con el valor crítico de la estadística de prueba. Posteriormente se acepta o se rechaza la hipótesis nula. Si se rechaza esta, se acepta la alternativa.





FUENTE: Romero, 2016

Figura 25 — Esquema de criterios de una distribución normal

CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Resultados

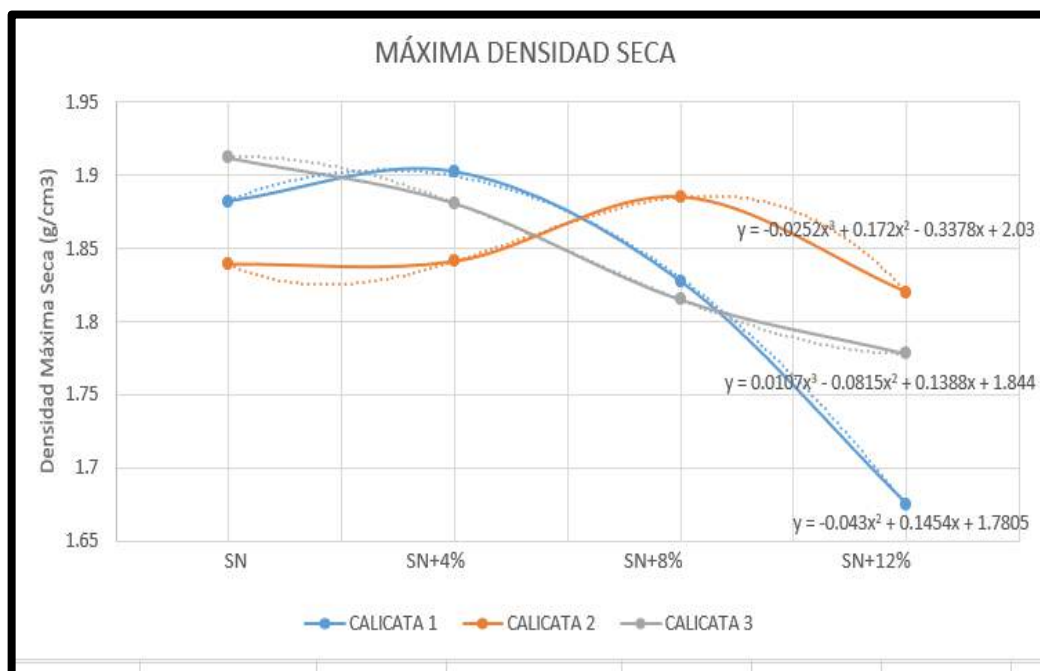
El análisis de los resultados obtenidos se presentará en relación con el objetivo general y objetivos específicos del estudio.

5.1.1 Resultados del objetivo general

El objetivo general de la investigación es determinar el efecto de la adición de cenizas de hojas de Eucalipto para la estabilización de suelos en la subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac – 2024.

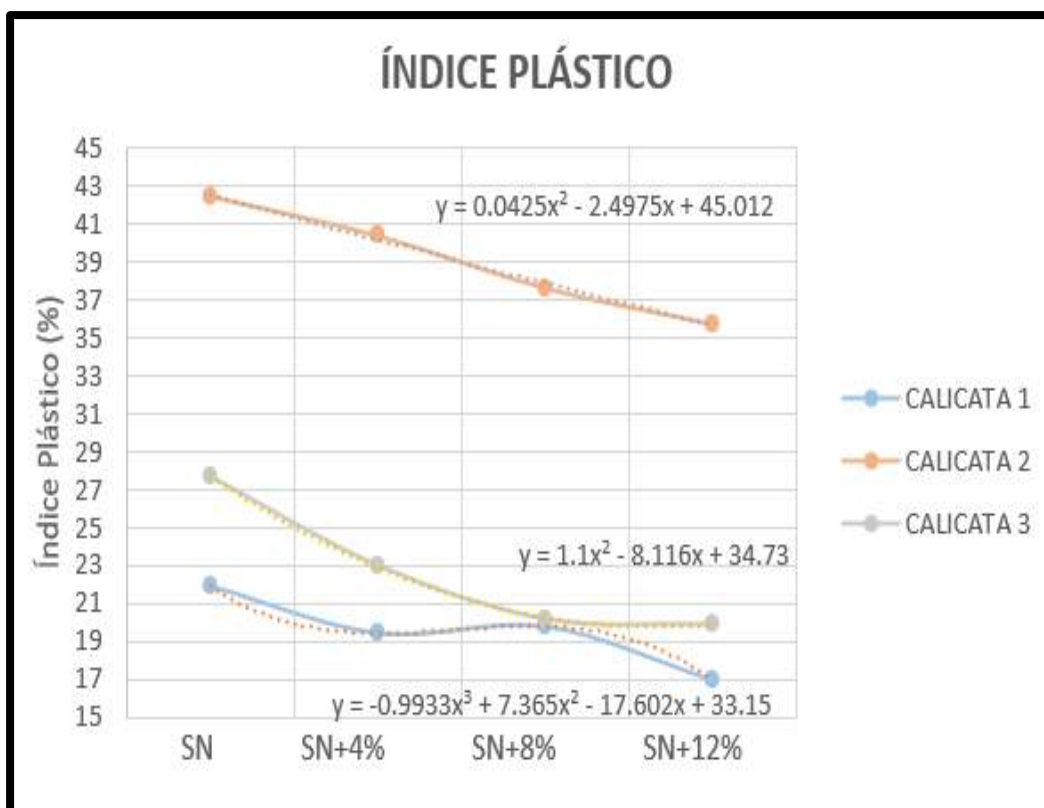
Los resultados de la investigación confirman que la adición de cenizas de hojas de Eucalipto tiene una influencia positiva y significativa en la estabilización de suelos de la subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, manifestándose esta influencia a través de mejoras sustanciales en las propiedades físicas del suelo mediante la reducción en el índice de plasticidad (transformando materiales de plasticidad media-baja en suelos más estables), la modificación favorable de los parámetros de compactación con incrementos del óptimo contenido de humedad y reducciones controladas de la densidad seca máxima, debido a reacciones químicas, así como en las propiedades mecánicas a través del incremento de la capacidad portante donde los valores de CBR se elevaron de rangos regulares o insuficientes (2-10%) a rangos buenos (10-20% al 100% de compactación), transformando suelos no aptos para subrasante en materiales de calidad superior incluso para bases granulares, siendo la dosificación óptima de 8% de cenizas de hojas de Eucalipto la que logra el mejor balance entre estabilidad física y capacidad mecánica mediante la combinación con el suelo donde la ceniza aporta propiedades puzolánicas, generando reacciones químicas que crean enlaces permanentes en la matriz del suelo y estableciendo esta técnica como una

alternativa técnicamente viable y altamente efectiva para el mejoramiento de subrasantes en la zona de estudio, mas no en las bases y sub bases.



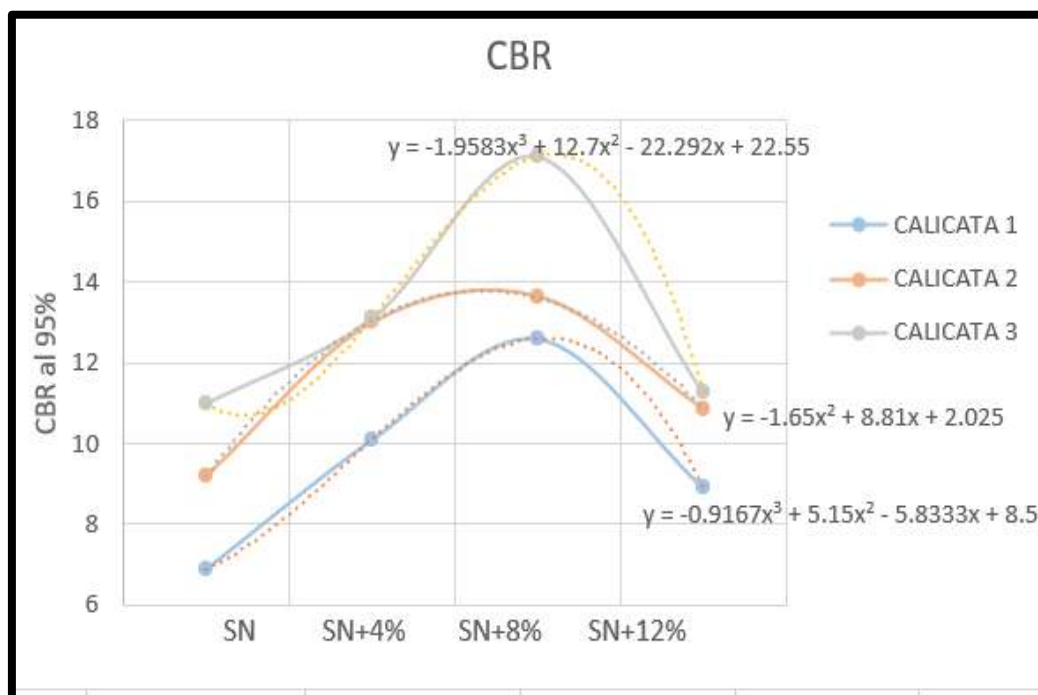
FUENTE: Elaboración propia

Figura 26 — Resultados de la densidad máxima seca en el aspecto general



FUENTE: Elaboración propia

Figura 27 — Resultados del índice de plasticidad en el aspecto general



FUENTE: Elaboración propia

Figura 28 — Resultados del CBR al 95% en el aspecto general.

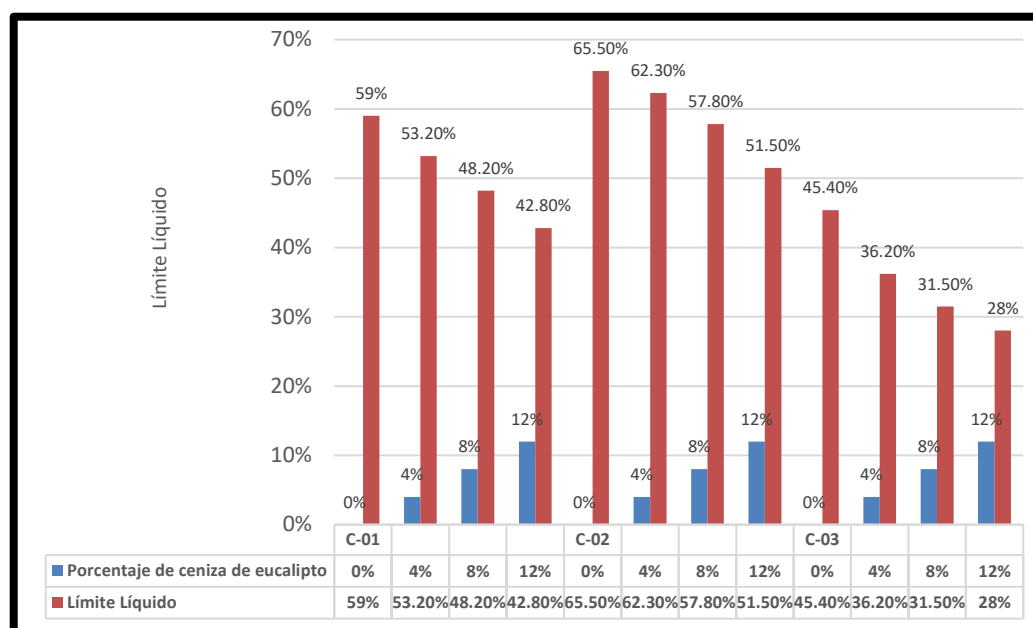
Las gráficas 26, 27 y 28 nos muestran mediante gráficos las variaciones respectivas de los suelos respecto a las calicatas y a sus adiciones, de las cuales se puede observar que hubo mejoras significativas en cada calicata de manera individual respecto a las dosificaciones de cenizas de eucalipto en dichas propiedades.

5.1.2 Resultados del objetivo específico 1

El objetivo específico 1 consistió en determinar los efectos en las propiedades físicas de los suelos al adicionar cenizas de hojas de Eucalipto en la subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac - 2024.

- **Determinación del Límite Líquido (LL)**

En la **figura 29** se muestra los resultados de las pruebas correspondientes a límite líquido adicionando en las mismas proporciones de 0%, 4%, 8% y 12% de cenizas de hojas de Eucalipto a las muestras extraídas en cada una de las excavaciones y/o calicatas ejecutadas bajo lo establecido en la norma (MTC E – 110).



FUENTE: Elaboración propia

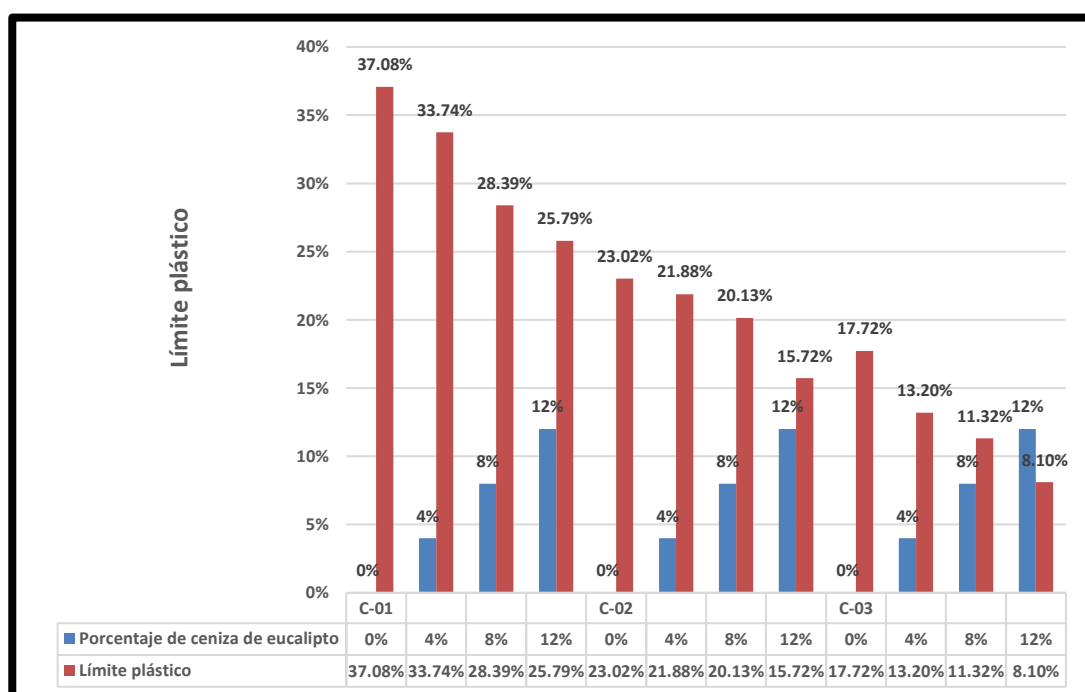
Figura 29 — Resultados del ensayo de Límite Líquido.

La figura 29, muestra los resultados del límite líquido del suelo, cuyos valores iniciales fueron de las calicatas C-01, C-02 y C-03 valores fueron de 59.0 %, 65.5 % y 45.4 %, respectivamente, mostrando una alta plasticidad para C-01 y C-02 y una plasticidad media para C-03. La adición de cenizas de hojas de eucalipto en proporciones de 4 %, 8 % y 12 % ha dado lugar a una reducción significativamente progresiva en los valores de plasticidad en las tres calicatas. En C-01, el líquido límite disminuyó de 59.0 % del suelo natural a 53.2 %, 48.2 % y 42.8 % para las proporciones de 4 %, 8 % y 12 % respectivamente, lo que significa una reducción de un total de 16.2 puntos porcentuales. Para C-02 se observa un comportamiento similar al anterior, ya que se ha pasado de 65.5 %, en el suelo natural, a 62.3 %, 57.8 % y 51.5 % para las proporciones de 4 %, 8 % y 12 %, nuevamente obteniendo una disminución de 14 puntos porcentuales. Por último, en C-03, la reducción es notoriamente mayor ya que los valores bajan de 45.4 % a 36.2 %, 31.5 % y 28.0 %, resultando en una variación de hasta 17.4 puntos porcentuales. Estos resultados indican que la adición de cenizas de hojas de eucalipto actúa como estabilizador, disminuyendo considerablemente la plasticidad del suelo, estableciendo una estructura más robusta, menos susceptible a cambios de humedad o variaciones volumétricas, así como también mejores condiciones de

comportamiento mecánico en los usos en subrasantes y capas de soporte de infraestructura vial

- **Determinación del Límite Plástico (LP)**

En la figura 30 se observan los resultados de las pruebas correspondientes a límite plástico adicionando en las mismas proporciones de 0%, 4%, 8% y 12% de cenizas de hojas de Eucalipto de las muestras extraídas en cada una de las excavaciones desarrolladas bajo lo establecido en la norma (MTC E – 111).



FUENTE: Elaboración propia

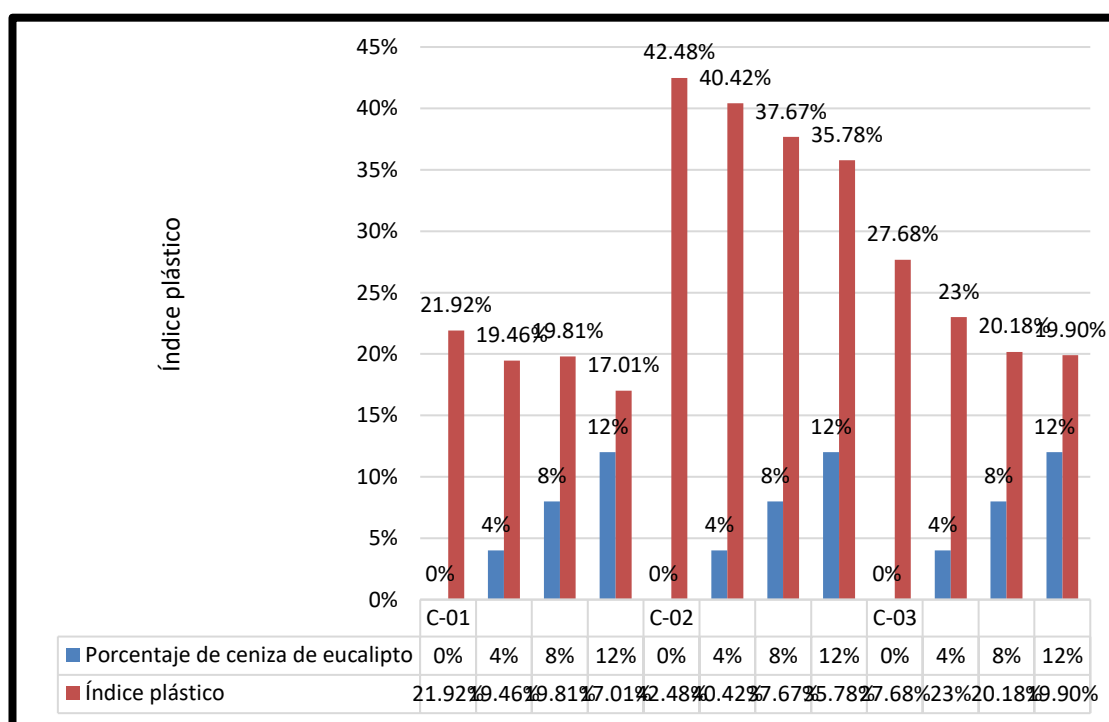
Figura 30 — Resultados de los ensayos de límite Plástico.

La figura 30 muestra los resultados del límite plástico, cuyos valores iniciales fue de 37.08 %, 23.02 % y 17.72 % para las calicatas C-01, C-02 y C-03 respectivamente, considerándose como plasticidad media a alta. La incorporación consecutiva de cenizas de hojas de eucalipto de 4 %, 8 % y 12 % produjo una disminución consistente y considerable en las tres calicatas. En C-01, el límite plástico disminuyó de 37.08 % a 33.74 %, 28.39 % y 25.79 %, lo que representa una reducción acumulada de 11.29 puntos porcentuales. En C-02, el valor inicial de 23.02 % se redujo a 21.88 % con 4 %, 20.13 % con 8 % y alcanzó 15.72 % con 12 %, reflejando una variación de 7.3 puntos porcentuales en total. En C-03, la reducción fue

aún más marcada, pasando de 17.72 % en el suelo natural a 13.20 %, 11.32 % y 8.10 % en los porcentajes de 4 %, 8 % y 12 % respectivamente, alcanzando una disminución de 9.62 puntos porcentuales. Los resultados obtenidos muestran que la incorporación de los porcentajes de cenizas de hojas de eucalipto que se han estado evaluando justamente contribuyen a reducir progresivamente la plasticidad de los suelos, e incremento que es aún mayor cuando se les incorpora porcentajes más elevados de cenizas.

- **Índice de plasticidad**

Los valores que se obtuvieron indican disminución notable en los índices de plasticidad en comparación con el suelo en su estado natural, lo cual se evidencia claramente en la figura presentada a continuación.

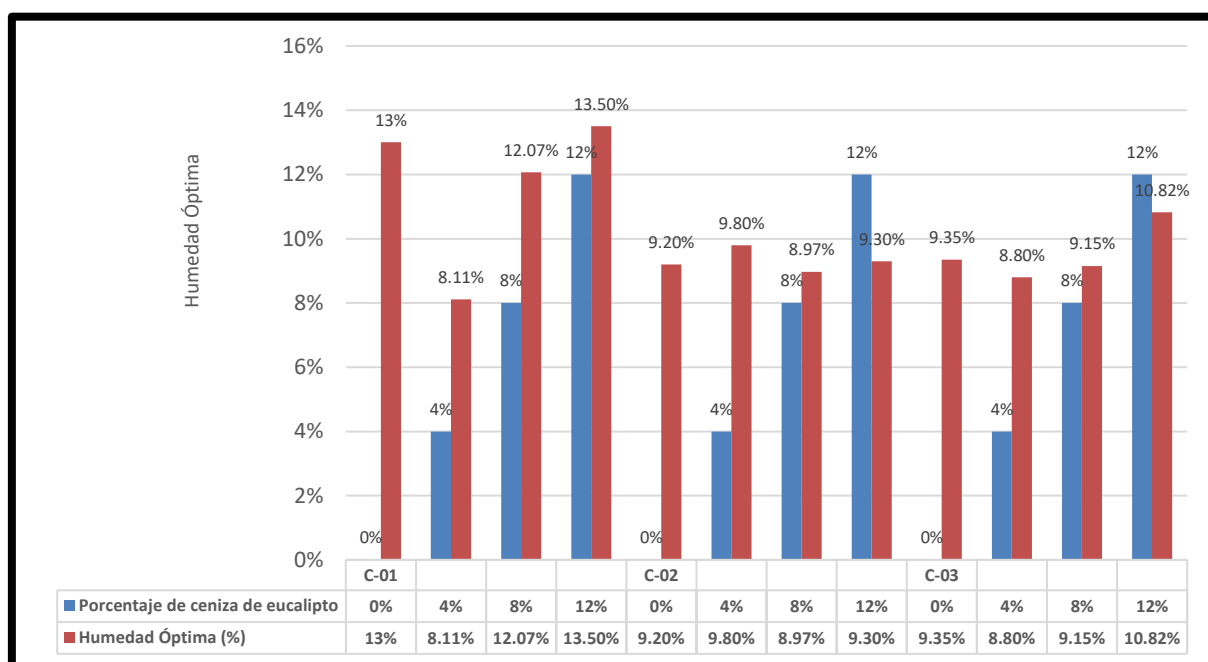


FUENTE: Elaboración propia

Figura 31 — Resultados de Índices de Plasticidad.

Los datos obtenidos del índice de plasticidad en el suelo natural evidencian determinados valores iniciales de 21.92 %, 42.48 % y 27.68 % para las calicatas C-01, C-02 y C-03, respectivamente, comprobándose a través de ello que C-02 presenta plasticidad muy alta, mientras que C-01 y C-03 presentan índices de plasticidad que oscilan entre media a alta. La adición consecutiva de cenizas de hojas de eucalipto con valores de 4 %, 8 % y 12

% fue responsable de una disminución sostenida en los valores de plasticidad de los tres tipos de calicatas. En C-01, el índice de plasticidad pasó de 21.92 % a 19.46 % y 19.81 % en 4 % y 8 %, y por último, se llegó a un índice de plasticidad de 17.01 % en la mezcla que contenía un 12 %, lo que responde a una variación de 4.91 puntos porcentuales. En C-02, el índice de plasticidad pasó de 42.48 % a 40.42 %, 37.67 % y 35.78% en 4 %, 8 % y 12 %, respectivamente, lo que determina una variación acumulada de 6.7 puntos porcentuales, lo que expresa un cambio importante en un suelo que tiene mezcla a plasticidad muy alta. En C-03, el índice de plasticidad pasó de 27.68 % en el suelo natural a 23.0 %, 20.18 % y 19.90 % en 4 %, 8 % y 12 %, con una disminución de 7.78 puntos porcentuales, lo cual denota el mayor impacto relativo de la adición de las cenizas de hojas de eucalipto. Estos resultados respaldan la idea argumentada anteriormente sobre la disminución de la plasticidad de los suelos a medida que se incorpora ceniza de hojas de eucalipto a las mezclas de suelo, lo que termina provocando suelos más estables, menos susceptibles a deformaciones volumétricas y con un mejor comportamiento geotécnico, todo ello para su posible utilización en capas de subrasante en infraestructura vial.

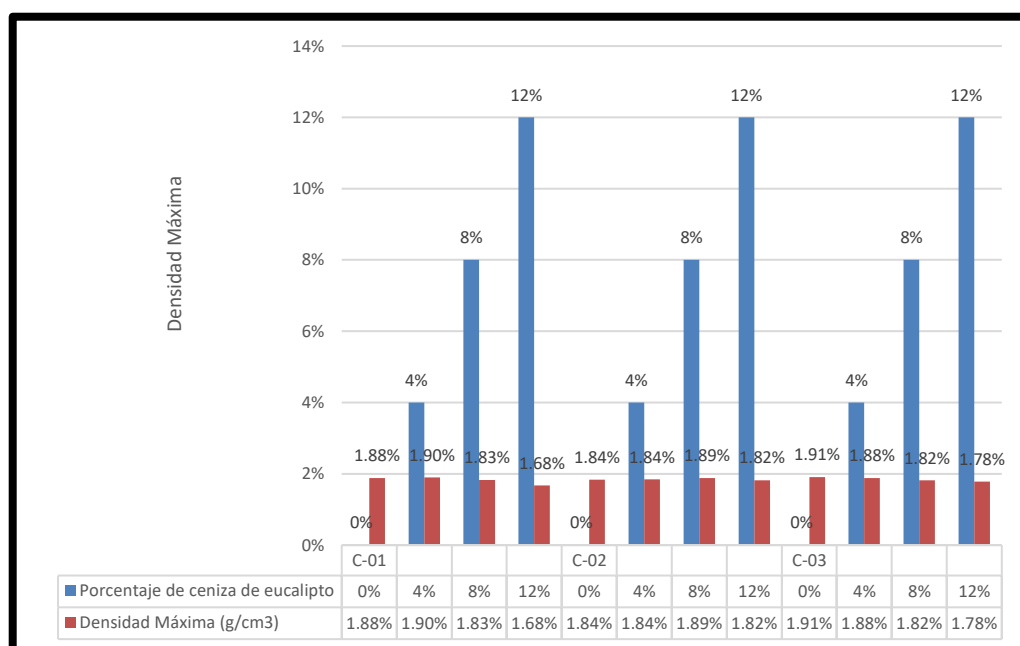


FUENTE: Elaboración propia

Figura 32 — Contenidos de humedad óptimos del ensayo de Proctor modificado

La figura 32 muestra los resultados de la humedad óptima, cuyos valores iniciales fueron 13.0 %, 9.20 % y 9.35 % para las calicatas C-01, C-02 y C-03 respectivamente, reflejando diferencias propias de la naturaleza del suelo en cada punto de muestreo. La incorporación progresiva de cenizas de hojas de eucalipto en proporciones de 4 %, 8 % y 12 % produjo variaciones diferenciadas en cada calicata. En C-01 se observa una disminución notoria al 4 % con un valor de 8.11 %, seguida de un incremento a 12.07 % y 13.50 % con 8 % y 12 % respectivamente, comportamiento que indica que dosis bajas generan mayor compactación con menor humedad, mientras que dosis altas elevan la demanda de agua para lograr la densificación. En C-02, la humedad óptima se mantiene relativamente estable, pasando de 9.20 % en el suelo natural a 9.80 % con 4 %, reduciéndose a 8.97 % en 8 % y volviendo a incrementarse levemente a 9.30 % con 12 %, lo cual refleja una tendencia equilibrada donde no se presentan cambios bruscos. En C-03, la humedad óptima inicial de 9.35 % se reduce a 8.80 % con 4 %, se mantiene en 9.15 % con 8 %, y se eleva a 10.82 % con 12 %, indicando que los porcentajes bajos y medios mejoran la eficiencia de compactación, pero porcentajes altos aumentan la necesidad de humedad. En conjunto, los resultados evidencian que la adición de cenizas de hojas de eucalipto puede reducir la humedad óptima en proporciones moderadas, favoreciendo un proceso de compactación más económico y eficiente, aunque dosis superiores (12 %) tienden a elevar la exigencia hídrica, lo que puede limitar su beneficio práctico en campo.





FUENTE: Elaboración propia

Figura 33 — Densidades Secas Máximas del ensayo de Proctor Modificado

Los resultados de la densidad máxima obtenida en el suelo natural muestran valores iniciales de 1.88 g/cm³, 1.84 g/cm³ y 1.91 g/cm³ para las calicatas C-01, C-02 y C-03 respectivamente, reflejando un comportamiento típico de suelos con características diferenciadas de compactación según su ubicación. La incorporación progresiva de cenizas de hojas de eucalipto en proporciones de 4 %, 8 % y 12 % evidenció variaciones en la respuesta del suelo en cada calicata. En C-01 se observa un ligero incremento de la densidad máxima hasta 1.90 g/cm³ con el 4 %, seguido de una disminución a 1.83 g/cm³ y 1.68 g/cm³ con el 8 % y 12 % respectivamente, indicando que el exceso de adición reduce la compactación óptima del material. En C-02, la respuesta se mantiene constante en 1.84 g/cm³ con 0 % y 4 %, alcanzando un máximo de 1.89 g/cm³ al 8 % y reduciéndose levemente a 1.82 g/cm³ al 12 %, comportamiento que señala un punto óptimo de estabilización en 8 %. Por su parte, en C-03 la densidad máxima inicial de 1.91 g/cm³ disminuye progresivamente a 1.88 g/cm³, 1.82 g/cm³ y 1.78 g/cm³ con el 4 %, 8 % y 12 %, evidenciando que en este caso la adición de cenizas no favorece el proceso de compactación. Estos resultados muestran que la incorporación de cenizas de hojas de eucalipto puede mejorar las condiciones de compactación en determinados tipos de suelo, particularmente en C-02 con

8 %, mientras que en otros escenarios una dosificación excesiva puede generar un efecto contrario al esperado, lo cual resalta la necesidad de definir porcentajes óptimos de estabilización para cada contexto geotécnico.

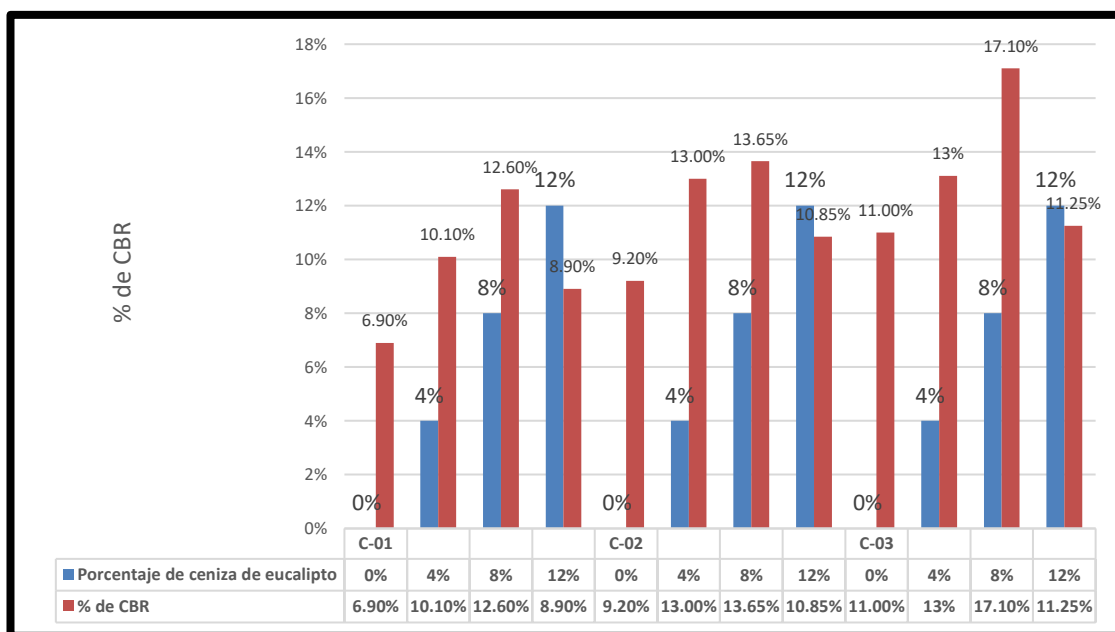
5.1.3 Resultados del Objetivo Específico 2

El objetivo específico 2 consiste en determinar el impacto en las propiedades mecánicas del suelo estabilizado con cenizas de hojas de Eucalipto en la subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac - 2024.

- **California Bearing Ratio CBR**

En la figura 34 se muestran los resultados del ensayo CBR de las muestras tomadas en las calicatas 01, 02 y 03 con adición de cenizas de hojas de Eucalipto; realizado bajo lo dispuesto en la norma (MTC E – 132).

En la evaluación de la capacidad de soporte CBR, realizada en esta investigación, se identificó un notable patrón de mejora tras la incorporación de los aditivos estabilizadores, los valores de CBR al 100% fueron registrados en profundidades de 0.1” 0.2” y de penetración.



FUENTE: Elaboración propia

Figura 34 — Diagrama de porcentajes de CBR al 95%

Los resultados del ensayo CBR (California Bearing Ratio) obtenidos en las tres calicatas ubicadas a profundidades de 1.50 m en las progresivas

0+450, 0+900 y 1+450 respectivamente, La figura muestra los resultados del CBR, en el suelo natural muestran valores iniciales de 6.90 %, 9.20 % y 11.00 % para las calicatas C-01, C-02 y C-03 respectivamente, evidenciando que en condición natural los suelos presentan una baja capacidad de soporte. La adición consecutiva de cenizas de hojas de eucalipto a razón de 4 %, 8 % y 12 % implicó un incremento favorable en la resistencia de los suelos, con variaciones según la calicata. En C-01, el CBR se incrementó de 6.90 % en el suelo natural a 10.10 % con 4 % alcanzando un máximo de 12.60 % con 8 %, reduciéndose a 8.90 % con 12 %, lo que señala un contenido óptimo cercano al 8 % de ceniza. En C-02, el comportamiento semejante, el valor inicial de 9.20 % aumentó a 13.00 % con 4 %, alcanzó el mayor valor de 13.65 % con 8 % y descendió a 10.85 % con 12 %, confirmando nuevamente que el 8 % constituye el porcentaje más adecuado de adición. En C-03 se observa el mayor efecto positivo, con un incremento de 11.00 % en el suelo natural a 13.00 % con 4 % y un máximo de 17.10 % con 8 %, seguido de una disminución a 11.25 % con 12 %. Este comportamiento corrobora el potencial de las cenizas como agente estabilizante, ya que favorecen la estructura granular del suelo, que significa una mayor resistencia a la penetración y mejor comportamiento mecánico para su aplicación en capas de subrasante y bases de carreteras.

5.1.4 Resultados del objetivo específico 3

Para determinar el porcentaje óptimo de C.H.E., se evaluaron comparativamente los efectos de los cuatro tratamientos (0%, 4%, 8% y 12%) sobre las propiedades físicas y mecánicas del suelo mediante la prueba de comparaciones múltiples de Tukey (HSD, $\alpha = 0.05$), aplicada a las variables que presentaron diferencias estadísticamente significativas en el ANOVA.

En cuanto al índice de plasticidad, la prueba de Tukey identificó que el tratamiento con 0% de C.H.E. presentó la media más alta (30.69%), ubicándose en el grupo A, mientras que los tratamientos con 8% y 12% presentaron las medias más bajas (25.89% y 24.23% respectivamente), ubicándose en el grupo

B, lo que confirma que a partir del 8% se logra la reducción más significativa de la plasticidad del suelo.

En cuanto al CBR al 95% de la Máxima Densidad Seca, la prueba de Tukey determinó que el tratamiento con 8% de C.H.E. obtuvo la media más alta (14.45%), ubicándose en el grupo A y siendo estadísticamente superior a todos los demás tratamientos. Los resultados por calicata fueron los siguientes: C-01 pasó de 6.9% (suelo natural) a 12.6% con 8% C.H.E., representando una mejora del 82.6%; C-02 pasó de 9.2% a 13.65%, con una mejora del 48.4%; y C-03 pasó de 11.0% a 17.1%, con una mejora del 55.5%. Con 12% de C.H.E. el CBR disminuyó respecto al 8%, confirmando que ese es el punto de declive donde el exceso de ceniza reduce la resistencia del suelo.

El tamaño del efecto calculado mediante Eta cuadrado ($\eta^2 = 0.93$) indica que el 93% de la variación del CBR es explicada por los tratamientos, evidenciando un efecto muy grande y estadísticamente robusto del porcentaje de C.H.E. sobre la resistencia del suelo.

5.2 Contrastación de hipótesis

5.2.1 Prueba de normalidad

Para la evaluación de la prueba de normalidad se hizo uso del Shapiro-Wilk, este se utiliza cuando los datos son menores iguales a 35 o 50 y en este caso cumple este criterio. Así mismo, se introdujeron los datos el software estadístico IBM SPSS, Infostat obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 14 — Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk)

Parámetro Evaluado	Prueba de Shapiro-Wilk	Valor p	Conclusión
Humedad	0.055	> 0.05	Distribución normal
Índice Plástico	0.4023	> 0.05	Distribución normal
Densidad	0.89	> 0.05	Distribución normal
CBR al 95%	0.2689	> 0.05	Distribución normal

FUENTE: Elaboración propia



- **Hipótesis nula (H_0):** Los datos se mantienen en una distribución normal.
- **Hipótesis alterna (H_i):** Los datos no se distribuyen normal, hay cambios.

Los resultados obtenidos de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk nos dice que todas las variables analizadas siguen una distribución normal, ya que los valores p son mayores que 0.05. Específicamente, los valores p para Humedad (0.055), Índice plástico (0.4023), Densidad (0.89), CBR95 (0.2689) son todos superiores a 0.05, lo que dice que no hay evidencia necesaria para rechazar la hipótesis nula de normalidad, no se notan cambios significativos. Esto significa que los datos de estas variables se ajustan a una distribución normal, lo que permite utilizar pruebas estadísticas paramétricas para la comparación de grupos como sería la prueba ANOVA.

5.2.2 Contrastación de Hipótesis General

5.2.2.1 Contrastación de hipótesis respecto a Hipótesis General

La adición de cenizas de hojas de Eucalipto tiene efectos significativos en las propiedades físicas y mecánicas de los suelos, logrando su estabilización en la subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac - 2024.

a) Formulación de hipótesis estadística

La hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alternativa (H_1) se definen de la siguiente manera:

- **Hipótesis nula (H_0):** La combinación de cenizas de *hojas de Eucalipto* NO influye significativamente en las propiedades físicas y mecánicas de los suelos para lograr su estabilización en la subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac-2024.
- **Hipótesis alterna (H_i):** La incorporación de cenizas de hojas de Eucalipto SÍ influye significativamente en las propiedades físicas y mecánicas de los suelos para lograr su estabilización en

la subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac-2024.

b) Nivel de Significancia

Se utilizo un nivel de confianza del 95% en la investigación, lo que se traduce en un valor de prueba de 0.05.

c) Regla de Decisión

Se acepta H_0 : si el nivel de significancia es mayor o igual a 0.05

Se rechaza H_0 : si el nivel de significancia es menor a 0.05.

En la tabla 15, 2 de 4 parámetros muestran influencias estadísticamente significativas, incluyendo los parámetros más críticos para la estabilización de suelos (plasticidad y capacidad de soporte).

Tabla 15 — Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

Tabla. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk)			
Parámetro evaluado	Estadístico Shapiro-Wilk	Valor p	Conclusión
Densidad máxima	0.97	0.8913	Distribución normal
Humedad óptima (%)	0.85	0.055	Distribución normal
Índice de plasticidad	0.92	0.4023	Distribución normal
CBR	0.9	0.2689	Distribución normal
FUENTE: Elaboración propia			

Tabla 16 — Parámetros físicos y mecánicos del suelo con adición de cenizas de hojas de Eucalipto

Tabla. Parámetros físicos y mecánicos del suelo con adición de cenizas de eucalipto.					
PARÁMETRO	% ADICIÓN	MEDIA	DESV. EST.	F (ANOVA)	VALOR P
Densidad Máxima	SN	1.88	0.04	3.33	0.0976
	4%	1.87	0.03		

	8%	1.84	0.04		
	12%	1.76	0.07		
Humedad Óptima	SN	10.5167	2.15	1.37	0.3375
	4%	8.9033	0.85		
	8%	10.0633	1.74		
	12%	11.2067	2.13		
Índice plástico	SN	30.6933	10.61	15.68	0.003
	4%	27.6267	11.22		
	8%	25.8867	10.21		
	12%	24.2300	10.11		
CBR	SN	9.0333	2.06	25.17	0.0008
	4%	12.0667	1.7		
	8%	14.4500	2.35		
	12%	10.3333	1.26		
FUENTE: Elaboración propia					

Tabla 17 — Parámetros físicos y mecánicos del suelo

Parámetro	%adición	Valor p
Humedad (%)	0%	0.3375
	4%	
	8%	
	12%	
Límites de Atterberg	0%	0.0030
	4%	
	8%	
	12%	
Densidad (kg/cm³)	0%	0.0976
	4%	
	8%	

	12%	
CBR (95%)	0%	0.0008
	4%	
	8%	
	12%	
FUENTE: Elaboración propia		

d) Análisis de ANOVA

El análisis ANOVA muestra que dos de los cuatro parámetros evaluados presentan diferencias estadísticamente significativas:

Atterberg limita con un valor p inferior a 0,0001, que está por debajo del nivel de significancia especificado (0,05), lo que indica que existen diferencias significativas entre los diferentes porcentajes de adición. CBR con un valor p de 0,0008, significativamente menor que 0,05, mostrando diferencias muy significativas en la capacidad de carga del suelo. Los parámetros de humedad y densidad no muestran diferencias estadísticamente significativas, pero esto no desmiente la hipótesis general, ya que los parámetros más críticos de estabilización (plasticidad y estabilidad) aportan mejoras significativas.

e) Análisis del tamaño del efecto (Eta cuadrado - η^2)

Para complementar el análisis de significancia estadística, se calculó el tamaño del efecto mediante η^2 según los criterios de (Cohen, 1988).

Criterios de interpretación:

$\eta^2 \geq 0.14$ (14%) = EFECTO GRANDE

$\eta^2 = 0.06$ (6%) = EFECTO MEDIANO

$\eta^2 = 0.01$ (1%) = EFECTO PEQUEÑO

$$\eta_p^2 = \frac{F \times gl_{trat}}{F \times gl_{trat} + gl_{error}}$$

Tabla 18 — Análisis estadístico en general

Propiedad	F (ANOVA)	p-valor	Cálculo η^2	% de varianza explicada	Interpretación
CBR	25.17	0.0008	0.929	93%	Efecto grande
Índice plástico	15.68	0.003	0.889	89%	Efecto grande
Densidad Máxima	3.33	0.0976	0.628	63%	Efecto grande
Humedad Óptima	1.37	0.3375	0.412	41%	Efecto grande
FUENTE: Elaboración propia					

Los dos parámetros que combinan significancia estadística con efecto muy grande (CBR y Límites de Atterberg) son precisamente los más críticos para la estabilización de suelos en aplicaciones de ingeniería vial.

El análisis del tamaño del efecto revela que:

CBR ($\eta^2 = 22\%$): La adición tiene un efecto grande en la resistencia del suelo.

Límites de Atterberg ($\eta^2 = 88\%$): La adición tiene un efecto muy grande en la plasticidad del suelo.

Estos resultados confirman que la influencia de los aditivos es altamente significativa tanto estadística como prácticamente.

f) Decisión estadística

Se RECHAZA la hipótesis nula (H_0) y se ACEPTA la hipótesis alterna (H_1) con base en los siguientes argumentos:

Dos de los cuatro parámetros evaluados presentan diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

Los parámetros críticos (CBR y plasticidad) presentan efectos muy grandes ($\eta^2 > 70\%$) según los criterios de Cohen (1988), confirmando que la influencia es altamente significativa.

La combinación de significancia estadística y tamaño de efecto muy grande en los parámetros más relevantes para estabilización de suelos proporciona evidencia robusta de la efectividad del tratamiento.

g) Conclusión estadística

Existe evidencia estadística suficiente para poder afirmar que la adición de cenizas de hojas de Eucalipto SÍ influye notablemente en las propiedades físicas y mecánicas de los suelos para lograr su estabilización en la subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac-2024. tiene un EFECTO MUY GRANDE ($\eta^2 > 70\%$) en las propiedades físicas y mecánicas críticas del suelo (CBR y plasticidad), confirmando que la influencia es ALTAMENTE SIGNIFICATIVA tanto estadística como prácticamente según los criterios de (Cohen, 1988).

5.2.3 Contrastación de hipótesis específicas

5.2.3.1 Contrastación de hipótesis respecto a Hipótesis Específica 1

La adición de cenizas de hojas de Eucalipto influye significativamente en las propiedades físicas de los suelos en la subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac - 2024.

- **Densidad Máxima**

1°. Verificar supuestos

A. Normalidad de errores

Hipótesis nula (H_0): Los residuos tienen una distribución normal; Hipótesis alterna (H_1): Los residuos no tienen una distribución normal.

Tabla 19 — Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para la densidad máxima seca del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto, carretera a Pucahuasi – Chicmo, Andahuaylas, Apurímac, 2024

	Shapiro-Wilk	
	Estadístico	Sig.
Densidad máxima	0.97	0.8913
FUENTE: Elaboración propia		

La tabla 19 muestra los resultados de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk aplicada a la densidad máxima del suelo

estabilizado con diferentes porcentajes de cenizas de hojas de eucalipto en la carretera a Pucahuasi. Dado que el valor de significación obtenido ($p = 0.8913$) es mayor que el nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), no se rechaza la hipótesis nula, la cual establece que los residuos presentan una distribución normal. Esto confirma que los datos correspondientes a esta propiedad mecánica del suelo cumplen el supuesto de normalidad de los errores, lo que permite continuar con el análisis de varianza (ANOVA).

B. Homogeneidad de varianzas

Para comprobar el cumplimiento del supuesto de homogeneidad de varianzas entre los grupos, se aplicó la prueba de Levene.

Hipótesis nula (H_0): Las varianzas de los tratamientos son iguales;

Hipótesis alternativa (H_1): Al menos una varianza es diferente a las de las demás.

Tabla 20 — Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para la densidad máxima seca del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto, carretera a Pucahuasi – Chicmo, Andahuaylas, Apurímac, 2024

	Estadístico de Levene	Sig.
Densidad Máxima	1.54	0.278
FUENTE: Elaboración propia		

La tabla 20 presenta los resultados de la prueba de Levene para la densidad máxima seca del suelo estabilizado con diferentes porcentajes de cenizas de hojas de eucalipto en la carretera a Pucahuasi. Dado que el valor de significación obtenido ($p = 0.278$) supera el nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), no se rechaza la hipótesis nula, la cual nos dice que las varianzas de los tratamientos son iguales. Esto indica que se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas, lo que permite continuar con el análisis de varianza (ANOVA).

2°. Análisis de varianza.

Hipótesis nula (H_0): La aplicación de cenizas de hojas de eucalipto no afecta significativamente a la densidad máxima del suelo;

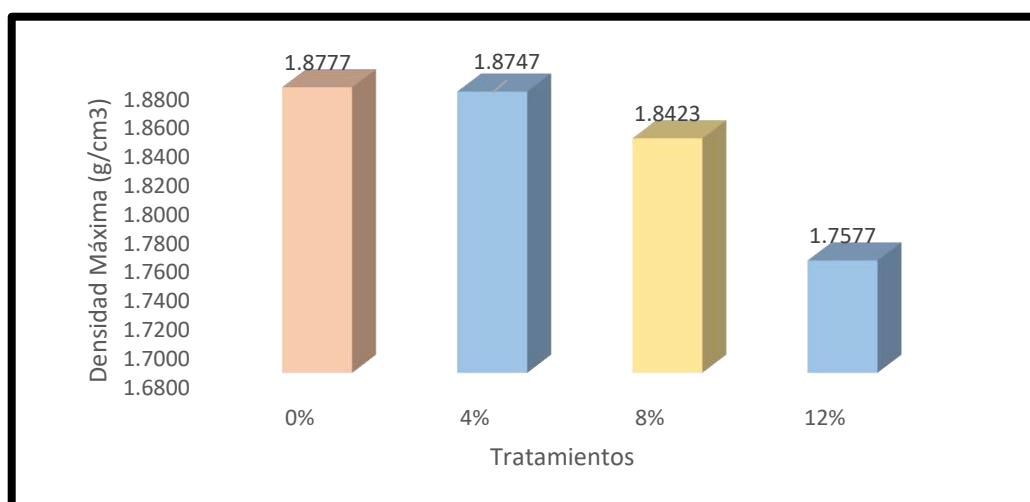
Hipótesis alternativa (H_1): La aplicación de cenizas de hojas de eucalipto afecta significativamente a la densidad máxima del suelo.

Tabla 21 — Análisis de varianza (ANOVA) para la densidad máxima seca del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Bloques	0.0017	2	0.0008	0.2930	0.7561
Tratamientos	0.0282	3	0.0094	3.3341	0.0976
Error	0.0169	6	0.0028		
Total	0.0467	11			
FUENTE: Elaboración propia					

La tabla 21 muestra los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para la densidad máxima seca del suelo estabilizado con diferentes porcentajes de cenizas de hojas de eucalipto en la carretera a Pucahuasi. En relación a los bloques, el análisis muestra un valor de significación de 0.7561, superior al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), lo que indica que no existen diferencias significativas entre bloques, manteniéndose una respuesta homogénea en esta fuente de variación.

Respecto al efecto de los tratamientos, la tabla muestra un valor de significación ($p = 0.0976$) superior al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$); por tanto, se rechaza la hipótesis alternativa (H_1) y se acepta la hipótesis nula, es decir que la aplicación de cenizas de hojas de eucalipto no afecta significativamente a la densidad máxima del suelo. Esto significa que la incorporación de diferentes porcentajes de cenizas de hojas de eucalipto no genera cambios estadísticamente significativos en esta propiedad mecánica del suelo.



FUENTE: Elaboración propia

Figura 35 — Densidad máxima seca del suelo estabilizado con C.H.E.

La figura 35 muestra que el valor más alto de densidad máxima seca corresponde al tratamiento con 0 % de ceniza (1.8777 g/cm³), seguido por el de 4 % (1.8747 g/cm³) y 8 % (1.8423 g/cm³), mientras que el valor más bajo se presenta en el tratamiento con 12 % de ceniza (1.7577 g/cm³). Aunque se aprecian diferencias en los valores, el análisis de varianza (ANOVA) indicó que estas diferencias no son significativas, lo que confirma que la incorporación de diferentes porcentajes de cenizas de hojas de eucalipto no modifica de manera significativa la densidad máxima seca del suelo.

- **Humedad Óptima (%)**

- 1°. **Verificar los supuestos:**

- a. **Normalidad de los errores**

Hipótesis nula (H_0): Los residuos tienen una distribución normal; Hipótesis alternativa (H_1): Los residuos no tienen una distribución normal.

Tabla 22 — Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para la humedad óptima del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto

	Shapiro-Wilk	
	Estadístico	Sig.
Humedad Óptima (%)	0.85	0.055

FUENTE: Elaboración propia

La tabla 22 muestra los resultados de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk aplicada a la humedad óptima del suelo estabilizado con diferentes porcentajes de cenizas de hojas de eucalipto en la carretera a Pucahuasi. Dado que el valor de significación obtenido ($p = 0.055$) es mayor que el nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), no se rechaza la hipótesis nula, la cual establece que los residuos presentan una distribución normal. Esto confirma que los datos correspondientes a esta propiedad mecánica del suelo cumplen el supuesto de normalidad de los errores, lo que permite continuar con el análisis de varianza (ANOVA).

b. Homogeneidad de varianzas

Para comprobar el cumplimiento del supuesto de homogeneidad de varianzas entre los grupos, se aplicó la prueba de Levene; Hipótesis nula (H_0): Las varianzas de los tratamientos son iguales; Hipótesis alternativa (H_1): Al menos una varianza difiere de las demás.

Tabla 23 — Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para la humedad óptima del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto

	Estadístico de Levene	Sig.
Humedad Óptima (%)	1.3	0.339
FUENTE: Elaboración propia		

La tabla 23 presenta los resultados de la prueba de Levene para la humedad óptima del suelo estabilizado con diferentes porcentajes de cenizas de hojas de eucalipto en la carretera a Pucahuasi. Dado que el valor de significación obtenido ($p = 0.339$) es mayor que el nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), no se rechaza la hipótesis nula, la cual establece que las varianzas de los tratamientos son iguales. Esto indica que se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas, lo que permite continuar con el análisis de varianza (ANOVA).

2°. Análisis de varianza

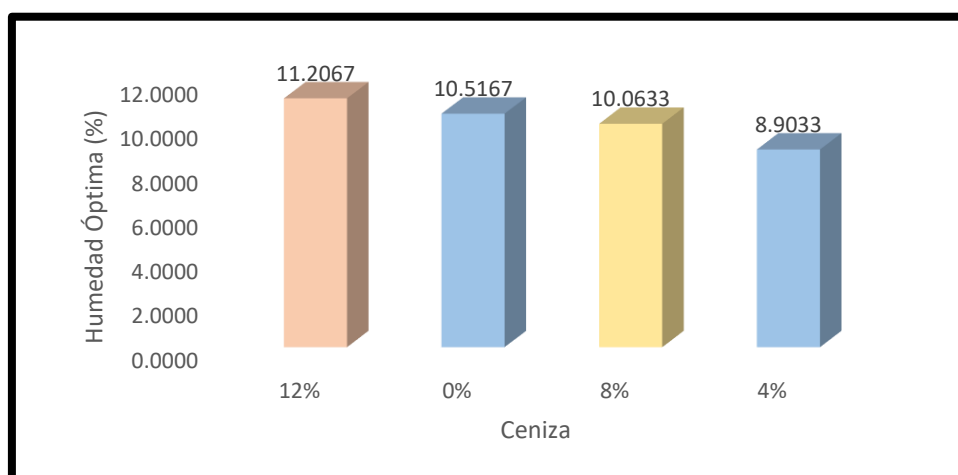
- **Hipótesis nula (H_0):** La aplicación de cenizas de hojas de eucalipto no afecta significativamente a la humedad óptima del suelo.
- **Hipótesis alternativa (H_1):** La aplicación de cenizas de hojas de eucalipto afecta significativamente a la humedad óptima del suelo.

Tabla 24 — Análisis de varianza (ANOVA) para la humedad óptima del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Bloques	13.5454	2	6.7727	3.3143	0.1072
Tratamientos	8.4320	3	2.8107	1.3754	0.3375
Error	12.2609	6	2.0435		
Total	34.2382	11			
FUENTE: Elaboración propia					

La tabla 24 presenta los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para la humedad óptima del suelo estabilizado con diferentes porcentajes de cenizas de hojas de eucalipto en la carretera a Pucahuasi. En relación a los bloques, el análisis muestra un valor de significación de $p = 0.1072$, superior al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), lo que indica que no existen diferencias significativas entre bloques, manteniéndose una respuesta homogénea en esta fuente de variación.

Respecto al efecto de los tratamientos, la tabla muestra un valor de significación de $p = 0.3375$, el cual es superior al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$); por tanto, se rechaza la hipótesis alternativa (H_1) y se acepta la hipótesis nula (H_0), es decir, que la aplicación de cenizas de hojas de eucalipto no afecta significativamente a la humedad óptima del suelo. Esto significa que la incorporación de diferentes porcentajes de cenizas de hojas de eucalipto no genera cambios significativos en esta propiedad mecánica del suelo.



FUENTE: Elaboración propia

Figura 36 — Humedad óptima del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto

La Figura 36 muestra que la humedad del suelo más alta óptima se obtuvo con el tratamiento que involucro 12 % de cenizas (11.2067 %), seguido del tratamiento sin cenizas (0 %) con 10.5167 %, 8 % con 10.0633 % y finalmente los valores más bajos con 4 % de cenizas (8.9033 %). Si bien se observan diferencias numéricas entre los tratamientos, el análisis de varianza (ANOVA) determinó que estas diferencias no son significativas, lo que indica que la adición de diferentes porcentajes de cenizas de hojas de eucalipto no modifica de forma significativa la humedad óptima del suelo.

- **Índice plástico**

- 1°. **Verificar los supuestos:**

- a. **Normalidad de los errores**

Hipótesis nula (H_0): El índice plástico respecto a porcentajes de C.H.E mantienen una distribución normal; Hipótesis alternativa (H_1): El índice plástico respecto a los porcentajes de C.H.E no tienen una distribución normal.

Tabla 25 — Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para el índice de plasticidad (IP) del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto

	Shapiro-Wilk	
	Estadístico	Sig.
Índice plástico	0.92	0.4023
FUENTE: Elaboración propia		

La tabla 25 muestra los resultados de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk aplicada al índice de plasticidad del suelo estabilizado con diferentes porcentajes de cenizas de hojas de eucalipto en la carretera a Pucahuasi. Dado que el valor de significación obtenido ($p = 0.4023$) es mayor que el nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), no se rechaza la hipótesis nula, la cual establece que los residuos presentan una distribución normal. Esto confirma que los datos correspondientes a esta propiedad física del suelo cumplen el supuesto de normalidad de los errores, lo que permite continuar con el análisis de varianza (ANOVA).

b. Homogeneidad de varianzas.

Para comprobar el cumplimiento del supuesto de homogeneidad de varianzas entre los grupos, se aplicó la prueba de Levene.

Hipótesis nula (H_0): Las varianzas de los tratamientos son iguales,

Hipótesis alternativa (H_1): Al menos una varianza difiere de las demás.

Tabla 26 — Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para el índice de plasticidad (IP) del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto.

	Estadístico de Levene	Sig.
Índice plástico	1.3	0.340
FUENTE: Elaboración Propia		

La tabla 26 presenta los resultados de la prueba de Levene para el índice de plasticidad (IP) del suelo estabilizado con diferentes porcentajes de cenizas de hojas de eucalipto. Dado que el valor de significación obtenido ($p = 0.340$) es mayor que el nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), no se rechaza la hipótesis nula, la cual establece que las

varianzas de los tratamientos son iguales. Esto indica que se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas, lo que permite continuar con el análisis de varianza (ANOVA).

2°. Análisis de varianza

Hipótesis nula (H_0): La aplicación de cenizas de hojas de eucalipto no afecta significativamente al índice de plasticidad del suelo; Hipótesis alternativa (H_1): La aplicación de cenizas de hojas de eucalipto afecta significativamente al índice de plasticidad del suelo.

Tabla 27 — Análisis de varianza (ANOVA) para el índice de plasticidad del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Bloques	880.6020	2	440.3010	301.4527	<0.0001
Tratamientos	68.6945	3	22.8982	15.6773	0.0030
Error	8.7636	6	1.4606		
Total	958.0601	11			
FUENTE: Elaboración propia					

La tabla 27 presenta los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el índice de plasticidad del suelo estabilizado con diferentes porcentajes de cenizas de hojas de eucalipto en la carretera a Pucahuasi. En relación a los bloques, el análisis muestra un valor de significación de $p < 0.0001$, inferior al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), lo que indica que existen diferencias significativas entre bloques.

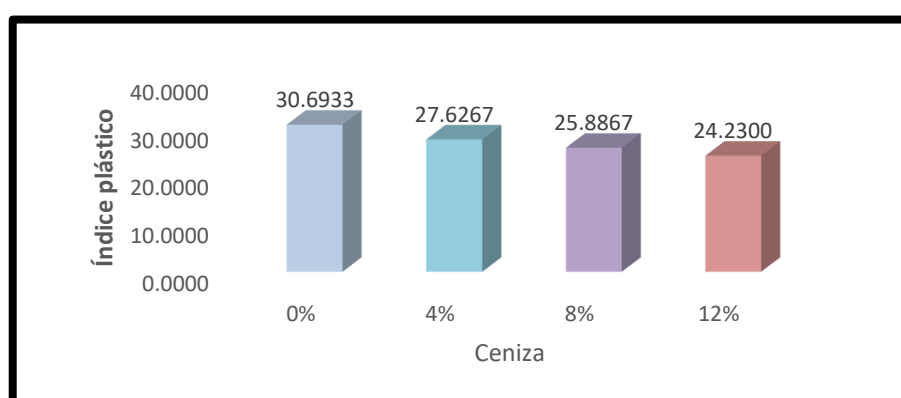
Respecto al efecto de los tratamientos, la tabla muestra un valor de significación de $p = 0.0030$, el cual es inferior al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$); por tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1), es decir, que la aplicación de cenizas de hojas de eucalipto afecta significativamente al índice de plasticidad del suelo. Esto indica que la incorporación de diferentes porcentajes de cenizas de hojas de eucalipto genera cambios significativos en esta propiedad física del suelo.

3°. Comparaciones múltiples

Tabla 28 — Prueba de Tukey para el índice de plasticidad del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto

Ceniza de Eucalipto (%)	Índice plástico	Agrupación
0	30.6933	A
4	27.6267	AB
8	25.8867	B
12	24.2300	B

FUENTE: Elaboración propia



FUENTE: Elaboración propia

Figura 37 — Índice de plasticidad del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto

La tabla 28 y figura 37 presenta los resultados de la prueba de Tukey para el índice de plasticidad del suelo estabilizado con diferentes porcentajes de cenizas de hojas de eucalipto, en la carretera a Pucahuasi.

En el suelo sin ceniza (0 %) se obtuvo el mayor índice de plasticidad (30.6933 %) y se ubicó en el grupo “A”, diferenciándose significativamente de los tratamientos con 8 % (25.8867 %) y 12 % (24.2300 %), ambos en el grupo “B”. El tratamiento con 4 % (27.6267 %) se ubicó en el grupo “AB”, y no diferencia ni de los suelos tratados sin ceniza ni de los porcentajes 8 % y 12 %. Esto indica que la incorporación de cenizas de hojas de eucalipto tiende a reducir el índice de plasticidad del suelo, siendo más notoria la disminución a partir del 8 % de adición.

5.2.3.2 Contratación de hipótesis respecto a Hipótesis Especifica 2

La adición de cenizas de hojas de Eucalipto influye significativamente en las propiedades mecánicas de los suelos aumentando su resistencia en capacidad de soporte (CBR) en la subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac - 2024.

- **CBR**

1° Verificar los supuestos:

a) Normalidad de los errores

Hipótesis nula (H_0): Los residuos tienen una distribución normal;

Hipótesis alternativa (H_1): Los residuos no son iguales y varían.

Tabla 29 — Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para el Índice de Soporte California (CBR) del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto

	Shapiro-Wilk	
	Estadístico	Sig.
CBR	0.9	0.2689
FUENTE: Elaboración propia		

La tabla 29 muestra los resultados de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk aplicada al Índice de Soporte California (CBR) del suelo estabilizado con diferentes porcentajes de cenizas de hojas de eucalipto. Dado que el valor de significación obtenido ($p = 0.2689$) es mayor que el nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), no se rechaza la hipótesis nula, la cual establece que los residuos presentan una distribución normal. Esto confirma que los datos correspondientes a esta propiedad mecánica del suelo cumplen el supuesto de normalidad de los errores, lo que permite continuar con el análisis de varianza (ANOVA).

b. Homogeneidad de varianzas

Para comprobar el cumplimiento del supuesto de homogeneidad de varianzas entre los grupos, se aplicó la prueba de Levene.

Hipótesis nula (H_0): Las varianzas de los tratamientos son iguales;



Hipótesis alternativa (H_1): Al menos una varianza difiere de las demás.

Tabla 30 — Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para el Índice de Soporte California (CBR) del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto

	Estadístico de Levene	Sig.
Tratamientos	0.52	0.681
FUENTE: Elaboración propia		

La tabla 30 presenta los resultados de la prueba de Levene para el Índice de Soporte California (CBR) del suelo estabilizado con diferentes porcentajes de cenizas de hojas de eucalipto. Dado que el valor de significación obtenido ($p = 0.681$) es mayor que el nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), no se rechaza la hipótesis nula, la cual establece que las varianzas de los tratamientos son iguales. Esto indica que se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas, lo que permite continuar con el análisis de varianza (ANOVA).

2°. Análisis de varianza.

Hipótesis nula (H_0): La aplicación de cenizas de hojas de eucalipto no afecta significativamente al CBR del suelo;

Hipótesis alternativa (H_1): La aplicación de cenizas de hojas de eucalipto afecta significativamente al CBR del suelo.

Tabla 31— Análisis de varianza (ANOVA) para el Índice de Soporte California (CBR) del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Bloques	24.5754	2	12.2877	18.7858	0.0026
Tratamientos	49.3973	3	16.4658	25.1733	0.0008
Error	3.9246	6	0.6541		
Total	77.8973	11			
FUENTE: Elaboración propia					

La tabla 31 presenta los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el Índice de Soporte California (CBR) del suelo estabilizado con diferentes porcentajes de cenizas de hojas de eucalipto en la carretera a Pucahuasi. En relación a los bloques, el análisis muestra un valor de

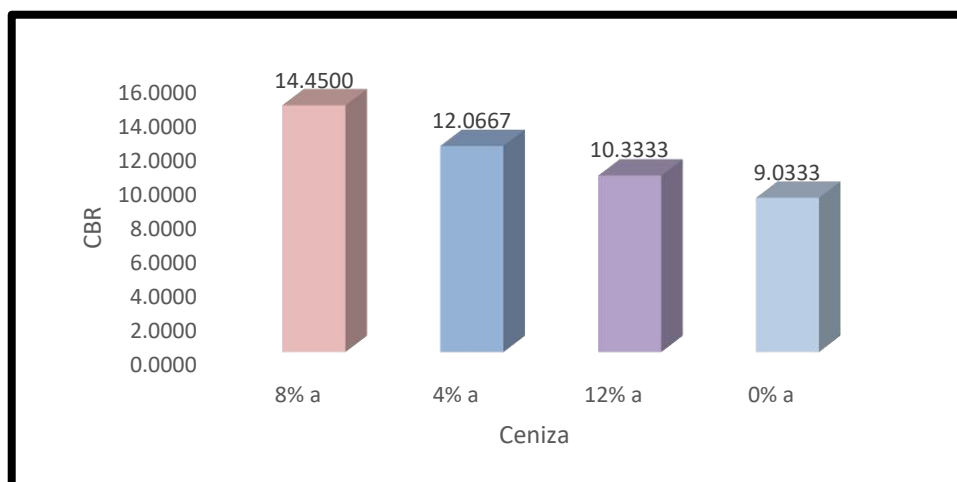
significación de $p = 0.0026$, inferior al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), lo que indica que existen diferencias significativas entre bloques.

Respecto al efecto de los tratamientos, la tabla muestra un valor de significación de $p = 0.0008$, el cual es inferior al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$); por tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1), es decir, que la aplicación de cenizas de hojas de eucalipto afecta significativamente al CBR del suelo. Esto indica que la incorporación de diferentes porcentajes de cenizas de hojas de eucalipto genera cambios estadísticamente significativos en esta propiedad mecánica del suelo.

3°. Comparaciones múltiples

Tabla 32 — Prueba de Tukey para el Índice de Soporte California (CBR) del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto

Ceniza de Eucalipto (%)	CBR	Agrupación
8	14.4500	A
4	12.0667	B
12	10.3333	BC
0	9.0333	C
FUENTE: Elaboración propia		



FUENTE: Elaboración propia

Figura 38 — Índice de Soporte California (CBR) del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto

La tabla 32 y figura 38 presenta los resultados de la prueba de Tukey para el Índice de Soporte California (CBR) del suelo estabilizado con diferentes porcentajes de cenizas de hojas de eucalipto en la carretera a Pucahuasi. Los tratamientos que comparten la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí, mientras que los que muestran letras distintas sí difieren significativamente.

El tratamiento con 8 % de ceniza presentó el mayor valor de CBR (14.4500 %) y se ubicó en el grupo “A”, diferenciándose significativamente de todos los demás tratamientos. El tratamiento con 4 % de ceniza (12.0667 %) se ubicó en el grupo “B”, diferenciándose del 8 % y del tratamiento sin ceniza (0 %), pero sin diferencias significativas con el de 12 %. El tratamiento con 12 % de ceniza (10.3333 %) se ubicó en el grupo “BC”, sin diferenciarse significativamente del 4 % ni del tratamiento sin ceniza, pero sí del 8 %. Finalmente, el tratamiento sin ceniza (0 %) registró el menor valor de CBR (9.0333 %) y se ubicó en el grupo “C”.

5.2.3.3 Contrastación de hipótesis respecto a Hipótesis Específica 3

La adición de ceniza de hojas de eucalipto al suelo de subrasante en porcentajes específicos mejora significativamente sus propiedades mecánicas en comparación con el suelo sin aditivo, teniendo un porcentaje óptimo (entre 8% y 12% en peso del suelo) que maximiza dicha mejora para

su uso en la subrasante de la carretera Pucahuasi – Chicmo – Andahuaylas 2024.

- **Determinación del porcentaje óptimo de C.H.E.**

1° Verificar los supuestos:

a. Normalidad de los errores

Hipótesis nula (H_0): Los residuos tienen una distribución normal;

Hipótesis alternativa (H_1): Los residuos no tienen una distribución normal.

Tabla 33 — Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para las variables de respuesta del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto

Variable	Shapiro-Wilk	
	Estadístico	Sig.
Densidad Máxima Seca (g/cm^3)	0.97	0.8913
Humedad Óptima (%)	0.85	0.0550
Índice de Plasticidad (%)	0.92	0.4023
CBR (95% MDS)	0.90	0.2689
FUENTE: Elaboración propia		

La tabla 33 muestra los resultados de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk aplicada a todas las variables de respuesta del suelo estabilizado con diferentes porcentajes de cenizas de hojas de eucalipto. En todos los casos, el valor de significación obtenido es mayor que el nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), por lo que no se rechaza la hipótesis nula, confirmando que los residuos de todas las variables presentan una distribución normal y permitiendo continuar con el análisis de varianza (ANOVA).

b. Homogeneidad de varianzas

Para comprobar el cumplimiento del supuesto de homogeneidad de varianzas entre los grupos, se aplicó la prueba de Levene.

Hipótesis nula (H_0): Las varianzas de los tratamientos son similares;

Hipótesis alternativa (H_1): Al menos una varianza difiere de las demás.

Tabla 34 — Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para las variables de respuesta del suelo estabilizado con cenizas de hojas de eucalipto

Variable	Estadístico de Levene	Sig.
Densidad Máxima Seca (g/cm ³)	1.54	0.278
Humedad Óptima (%)	1.30	0.339
Índice de Plasticidad (%)	1.30	0.340
CBR (95% MDS)	0.52	0.681
FUENTE: Elaboración propia		

La tabla 34 presenta los resultados de la prueba de Levene para todas las variables de respuesta del suelo estabilizado con diferentes porcentajes de cenizas de hojas de eucalipto. En todos los casos, el valor de significación obtenido es mayor que el nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), por lo que no se rechaza la hipótesis nula, confirmando que se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas en todas las variables y permitiendo continuar con el análisis de varianza (ANOVA).

2°. Análisis de varianza

Hipótesis nula (H_0): El porcentaje de adición de cenizas de hojas de eucalipto no influye significativamente en la determinación de un porcentaje óptimo de estabilización del suelo; Hipótesis alternativa (H_1): Existe un porcentaje óptimo de adición de cenizas de hojas de eucalipto que produce la mayor estabilización de los suelos de subrasante de la carretera Pucahuasi – Chicmo – Andahuaylas 2024.

Tabla 35 — Análisis de varianza (ANOVA) integrado para la determinación del porcentaje óptimo de C.H.E.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
CBR (95% MDS)					
Bloques	24.5754	2	12.2877	18.7858	0.0026
Tratamientos	49.3973	3	16.4658	25.1733	0.0008
Error	3.9246	6	0.6541		
Total	77.8973	11			
Índice de Plasticidad (%)					
Bloques	880.6020	2	440.3010	301.453	<0.0001
Tratamientos	68.6950	3	22.8983	15.677	0.0030
Error	8.7640	6	1.4607		



Total	958.0610	11			
FUENTE: Elaboración propia					

La tabla 35 presenta los resultados del análisis de varianza (ANOVA) integrado para la determinación del porcentaje óptimo de cenizas de hojas de eucalipto. Para el CBR al 95% de la Máxima Densidad Seca, el análisis muestra un valor de significación de $p = 0.0008$, inferior al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$); por tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1), confirmando que existe al menos un porcentaje de C.H.E. que produce un CBR estadísticamente diferente y superior a los demás. Para el índice de plasticidad, el valor de significación obtenido fue $p = 0.003$, también inferior a $\alpha = 0.05$, confirmando igualmente diferencias significativas entre tratamientos. Estos resultados indican que la incorporación de diferentes porcentajes de cenizas de hojas de eucalipto genera cambios estadísticamente significativos en las propiedades más críticas del suelo, permitiendo identificar un porcentaje óptimo de estabilización.

3°. Comparaciones múltiples

Tabla 36 — Prueba de Tukey para la determinación del porcentaje óptimo de C.H.E. según CBR.

Ceniza de Eucalipto (%)	CBR (%)	Agrupación
8 ÓPTIMO	14.4500	A
4	12.0667	B
12	10.3333	BC
0	9.0333	C
FUENTE: Elaboración propia		

Tabla 37 — Prueba de Tukey para la determinación del porcentaje óptimo de C.H.E. según Índice de Plasticidad

Ceniza de Eucalipto (%)	IP (%)	Agrupación
0 (Patrón)	30.6933	A
4	27.6267	AB
8	25.8867	B
12	24.2300	B

FUENTE: Elaboración propia

Las tablas 36 y 37 presentan los resultados de la prueba de Tukey para la determinación del porcentaje óptimo de cenizas de hojas de eucalipto. Los tratamientos que comparten la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí, mientras que los que muestran letras distintas sí difieren significativamente.

Respecto al CBR, el tratamiento con 8% de ceniza presentó el mayor valor (14.4500%) y se ubicó en el grupo "A", diferenciándose significativamente de todos los demás tratamientos. El tratamiento con 4% (12.0667%) se ubicó en el grupo "B", el de 12% (10.3333%) en el grupo "BC" y el suelo patrón sin ceniza (0%) registró el menor valor (9.0333%) ubicándose en el grupo "C". Cabe destacar que con 12% el CBR disminuyó respecto al 8%, confirmando la existencia de un punto óptimo con posterior declive, explicado por el fenómeno de saturación puzolánica donde el exceso de ceniza no encuentra suficiente Ca(OH)_2 disponible para completar las reacciones de cementación.

Respecto al índice de plasticidad, el suelo patrón (0%) presentó la media más alta (30.6933%) ubicándose en el grupo "A", mientras que los tratamientos con 8% y 12% comparten el grupo "B" con las medias más bajas (25.8867% y 24.2300% respectivamente), siendo ambos estadísticamente inferiores al suelo patrón. Dado que el 8% y 12% no difieren significativamente entre sí para el IP, y que el 8% presenta mayor CBR que el 12%, el criterio determinante para establecer el porcentaje óptimo integral es el CBR.

En consecuencia, integrando los resultados de ambas variables significativas, se determina que el **8% de C.H.E.** es el porcentaje óptimo de estabilización, por producir simultáneamente el mayor CBR promedio (14.45%), la mayor mejora estadística en resistencia (Grupo A en Tukey) y una reducción significativa del índice de plasticidad (Grupo B en Tukey), permitiendo que los suelos de la



carretera a Pucahuasi pasen de categoría S1 (pobre, CBR < 10%) a categoría S2-S3 (regular a buena) según el Manual de Carreteras del MTC (2014). Con esto, **se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1).**

5.3 Discusiones

5.3.1 Discusión en relación al objetivo general

Los resultados que se obtuvieron en esta investigación nos muestra que la adición de cenizas de hojas de Eucalipto (C.H.E.) produce efectos estadísticamente significativos en las propiedades físicas y mecánicas de los suelos de subrasante de la carretera Pucahuasi – Chicmo, confirmando la hipótesis general planteada ($F = 25.17$, $p = 0.0008$ para CBR; $F = 15.68$, $p = 0.003$ para índice de plasticidad). Estos resultados son consistentes con investigaciones previas que emplearon materiales similares.

En cuanto al CBR , los resultados obtenidos superan los reportados por (Pantoja Quiscualtud et al., 2024) quienes reportaron efectos similares utilizando ceniza volcánica en combinación con bajos contenidos de cemento; mientras que se obtuvo el incremento del CBR de rangos inadecuados (2-10%) a buenos (10-20%) dichos resultados superan considerablemente las mejoras reportadas por (Quispe Vilca, 2024) el cual tuvo un incremento del 6% al 8%, utilizando únicamente ceniza de *eucalipto*.

La dosificación óptima en esta investigación en general seria la del 8% de cenizas de hojas de Eucalipto se aproxima a los rangos reportados por (Garcia Cisneros et al., 2022) con 10% de cenizas de hojas de eucalipto +1.20 lt/m³ de terrasil, pero el estudio específico de cenizas de hojas de Eucalipto sin combinación con ningún otro material que pueda ayudar en la mejora de sus propiedades que representan una contribución original que aprovecha las propiedades cementantes y sus características puzolánicas de la ceniza de hojas de Eucalipto, obteniendo mejoras de suelos no aptos para subrasante en suelos de calidad superior en diferentes tipos de suelo, estableciendo esta combinación como una opción técnicamente buena y ambientalmente sostenible que utiliza materiales de desecho disponibles en busca de contrarrestar el impacto ambiental, coincidiendo con los principios de



desarrollo sostenible destacados por (Ouedraogo, 2019) sobre el uso de cementos con menor impacto ambiental.

5.3.2 **Discusión del objetivo específico 1: propiedades físicas**

Los resultados obtenidos en las propiedades físicas del suelo confirman que la adición de C.H.E. produce una reducción significativa del índice de plasticidad ($F = 15.68$, $p = 0.003$). El límite líquido disminuyó de 59.0%, 65.5% y 45.4% (calicatas C-01, C-02 y C-03 respectivamente) a valores menores con la dosificación de C.H.E., resultado que concuerda con investigaciones previas confirman la eficacia de esta combinación y encuentran apoyo en varios estudios previos. Se observó una disminución sistemática del límite líquido, donde los valores disminuyeron respecto a los intervalos iniciales. de 59.0%, 65.5% y 45.4% que son resultados obtenidos de las calicatas C1,C2,C3 respectivamente hasta 42.8%, 51.5% y 28.0% con la dosificación del 12% de C.H.E, concuerda con los hallazgos de (Gala Chumbes et al., 2021) quienes reportaron que "a medida que el porcentaje de cenizas de hojas de Eucalipto aumenta, el índice de plasticidad del suelo en general disminuye", mientras que la reducción simultánea del límite plástico desde valores iniciales de 37.08%, 23.02% y 17.72% que son resultados obtenidos de las calicatas C1,C2,C3 respectivamente hasta 25.79%, 15.72% y 8.10% encuentra sustento en los estudios de (Cristobal Gavancho et al., 2022), quienes determinaron que la ceniza de Eucalipto reduce el Índice de Plasticidad (IP), confirmando el efecto positivo de la adición de cenizas de hojas de eucalipto en el suelo en general.

La reducción del índice de plasticidad verificada, transformando suelos con IP inicial de 21.92%, 42.48% y 27.68% que son resultados obtenidos de las calicatas C1,C2,C3 respectivamente a valores finales de 17.01%, 35.78% y 19.90%, con la dosificación óptima del 12% de C.H.E, supera significativamente las mejoras reportadas por investigaciones nacionales como (Garcia Cisneros et al., 2022) quien con 1.20lt/m³ +10% de C.H.E de cenizas de hojas de eucalipto (C.H.E) logró reducir el IP pero no alcanzó los niveles de estabilización obtenidos en este estudio. Los incrementos observados en el óptimo contenido de humedad de 13.0%, 9.20% y 9.35%



inicial que son resultados obtenidos de las calicatas C1,C2,C3 respectivamente a 8.11% con el 4%C.H.E cuyos demás porcentajes tienden a incrementar respecto a la calicata 1, 8.97% con el 8%C.H.E respecto a la C2 y 8.80% con el 4%C.H.E respecto a la C3 el resultado obtenido nos dice que en estos respectivos porcentajes se obtiene un favorecimiento al proceso de compactación buscando valores cercanos al $\pm 3\%$ que es el OMC para los suelos en una carretera, mientras que la reducción controlada de la densidad seca máxima de rangos iniciales de 1.88g/cm^3 , 1.84g/cm^3 , 1.91g/cm^3 que son resultados obtenidos de las calicatas C1,C2,C3 respectivamente a valores finales de 1.90g/cm^3 con 4%C.H.E cuyos demás porcentajes de adición disminuyen para C1, 1.89g/cm^3 con 8%C.H.E para C2, 1.88g/cm^3 respecto a 4%C.H.E cuyos demás valores tienden a reducir progresivamente, se explica por las reacciones puzolánicas y de cementación que, aunque no aumenten notablemente o disminuyan ligeramente la densidad, generan enlaces químicos permanentes que mejoran sustancialmente la estabilidad del suelo, estableciendo que la dosificación óptima de 8% que muestra el mejor equilibrio de cada material cambiando las propiedades de aquellos materiales que son geotécnicamente más estables y menos propensos a cambios de volumen debido a cambios de humedad.

5.3.3 Discusión del objetivo específico 2: Propiedades mecánicas

Los resultados que se obtuvieron en las propiedades mecánicas del suelo en las calicatas de la carretera de Pucahuasi mediante la adición de cenizas de hojas de Eucalipto, demuestran incrementos contundentes en la capacidad portante que superan significativamente los hallazgos reportados en investigaciones previas que emplearon estos materiales de manera individual. La transformación de valores CBR iniciales inadecuados de 6.90%, 9.20% y 11% al 95% de compactación que son resultados obtenidos de las calicatas C1,C2,C3 respectivamente, hasta valores favorables para una subrasante de 12.60% con 8%C.H.E para C1, 13.65% con 8%C.H.E para C2, 17.10% con 8%C.H.E para C3 al 95%; las demás dosificaciones son menores, estas representan mejoras de hasta 2 veces el valor del inicio y supera notablemente las mejoras reportadas por (Enciso Ortiz, 2022) quien logró un "un aumento 8.58% al 13.15% de CBR utilizando ceniza de Eucalipto, así como los

hallazgos de (Rojas et al., 2022) que alcanzó el incremento de 6.33% de CBR cenizas de fruto de eucalipto al 3%, y los resultados de (Machado, 2023) quien trabajando solo con cenizas de *rastrojo de cebada* se observó pequeñas mejoras pero sin alcanzar los niveles obtenidos en este estudio.

La progresión sistemática de mejora observada tuvo mejor resultado respecto al CBR inicial de hasta un 82% respecto a su valor inicial transformándola en una subrasante buena confirma que la adición de cenizas de hojas de Eucalipto(C.H.E) genera reacciones químicas de cementación y puzolánicas que crean enlaces químicos permanentes en la matriz del suelo, transformando materiales inadecuados para subrasante ($\text{CBR} < 6\%$) en suelos de calidad para subrasante de calidad buena ($\text{CBR} > 10\%$), estableciendo que la dosificación del 8% de las cenizas de hojas de Eucalipto representa el punto óptimo en este estudio donde se maximiza la eficiencia de estas reacciones químicas y se logra los mejores resultados, coincidiendo con los principios de mejoramiento de suelos mediante materiales puzolánicos (Pantoja Quiscualtud et al., 2024).

5.3.4 **Discusión del objetivo específico 3. Porcentajes óptimos de C.H.E**

Los resultados obtenidos confirman que el 8% de C.H.E. es el porcentaje óptimo de estabilización para los suelos de la carretera a Pucahuasi, resultado que es consistente con los antecedentes revisados. Altamirano y Utani (2023), en su investigación con cenizas de ciprés en Andahuaylas, también identificaron un porcentaje óptimo en rangos similares, reportando mejoras significativas en CBR con porcentajes intermedios de adición. Asimismo, la investigación de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez en Juliaca (UANCV, s.f.), que utilizó exactamente los mismos porcentajes de 4%, 8% y 12% de cenizas de eucalipto, reportó resultados concordantes, con el 8% como el porcentaje de mayor eficiencia estabilizante.

El comportamiento no lineal observado — donde el CBR mejora hasta el 8% y luego disminuye con el 12% — se explica por el efecto de saturación puzolánica: al superar el porcentaje óptimo, el exceso de material fino no encuentra suficiente $\text{Ca}(\text{OH})_2$ disponible para reaccionar, actuando como



material de relleno inerte que reduce la densidad de la matriz del suelo en lugar de cementarla. Este fenómeno es consistente con lo reportado por Villacís et al. (2022), quienes observaron comportamientos similares con cenizas volcánicas al superar el porcentaje óptimo de adición.

Desde el punto de vista técnico normativo, el tratamiento con 8% de C.H.E. permite mejorar la clasificación de la subrasante de categoría S1 (muy pobre, $\text{CBR} < 10\%$) a categoría S2 o S3 (regular a buena, CBR entre 10% y 20%) según el Manual de Carreteras del MTC (2014), lo que demuestra la viabilidad técnica de esta solución para la mejora de la infraestructura vial rural de la carretera Pucahuasi – Chicmo, Andahuaylas.

5.3.5 Análisis Crítico de los Resultados

Los resultados obtenidos en el estudio indican un importante avance en la estabilización de suelos en ingeniería vial, creando una nueva alternativa de utilización de residuos industriales y agrícolas para la resolución de problemas geotécnicos. Comparado con antecedentes nacionales, se demuestra que nuestros resultados obtenidos son mejores que los valores reportados en estudios similares realizados en el Perú, como los estudios de (Enciso Ortiz, 2022) quien utilizó ceniza de eucalipto, logrando mejoras en un suelo con CBR inicial de 8.58% a un CBR de 13.15%, valores menores a nuestros resultados iniciales y finales en aspecto general. El método utilizado, basado en normas técnicas nacionales (MTC) e internacionales (ASTM), garantiza la confiabilidad y reproducibilidad de los resultados.

Por otro lado, el diseño experimental con tres dosis permitió determinar la combinación óptima que mejora los beneficios sin comprometer la estabilidad del material. Los resultados obtenidos, especialmente el aumento del CBR , que transforma suelos inadecuados en materiales de calidad para el subsuelo, pero no para el subsuelo y el subsuelo, confirman la eficacia de la adición de ceniza de hoja de eucalipto en términos de combinación inmediata, lo que se confirma mediante pruebas estandarizadas que muestran la formación permanente de enlaces químicos en la matriz del suelo.



El alcance del estudio se centró en la evaluación de propiedades geotécnicas en condiciones controladas de laboratorio de corto plazo, sin tomar en cuenta el efecto de la persistencia prolongada en el tiempo sobre las propiedades del suelo, determinando los parámetros básicos para la aplicación de esta técnica de estabilización. Este estudio crea una base sólida que abre posibilidades para futuros estudios adicionales que incluyen durabilidad a largo plazo, análisis de variabilidad temporal, estudios de sostenibilidad ambiental, análisis comparativo de costo-beneficio, las condiciones climáticas y geológicas específicas de la región de Apurímac como ventajas adicionales para la aplicación del método.



CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Del Objetivo general se concluye: La adición de ceniza de hoja de Eucalipto muestra un efecto significativo en la estabilización del suelo en los subsuelos de la Carretera Pucahuasi. Los resultados muestran que la combinación óptima corresponde al 8% de ceniza de hoja de Eucalipto, la cual transformó el suelo inicialmente normal ($6\% < \text{CBR} < 10\%$) en materiales de suelo base de buena calidad, logrando valores de CBR al 95% de compactación de 12.6%, 13.65% y 17.10% para las fosas C-01 y C-0, C-0, C, respectivamente. Los hallazgos respaldan estadísticamente esta mejora significativa, y las pruebas ANOVA para CBR al 95 % ($p=0,0008$) confirman diferencias estadísticamente significativas entre los porcentajes de adición, con un 8 % de C.H.E con el mejor rendimiento en cualquier tipo de suelo estudiado en este estudio. Esta evidencia estadística muestra que la adición de ceniza de hoja de eucalipto como estabilizador produce reacciones químicas de cementación y puzolánicas que mejoran significativamente la capacidad portante de los suelos arcillosos.
- Del objetivo Específico 1 se concluye: Los datos descriptivos muestran una disminución drástica y gradual del índice de plasticidad en todas las muestras, los valores iniciales de 21.92%, 42.48% y 27.68% para C-01, C-02 y C-03 respectivamente se redujeron significativamente con el tratamiento óptimo de 12% C.H.E y la mayor reducción se observó a partir de C-03. 27,68% a 19,90%. , los datos inferidos respaldan estadísticamente esta mejora, y la prueba ANOVA ($p=0,0030$) rechaza la hipótesis nula, mostrando que existen diferencias estadísticamente significativas entre diferentes porcentajes de suma dentro de los límites de Atterberg. De las propiedades de compactación, los datos descriptivos para el contenido de humedad óptimo muestran una disminución sistemática de 13.0%, 9.20% y 9.35%, oscilando entre 0.23% y 4.9% a tasas de adición de 4% C.HE y 8% C.HE en los pozos C1 y C2 C1 y C2, respectivamente. (reducción del 38%). Sin embargo, los hallazgos mediante ANOVA ($p=0,1072$) muestran que no



existen diferencias estadísticamente significativas entre los porcentajes de humedad evaluados. Respecto a la densidad seca máxima, los datos descriptivos muestran una tendencia decreciente inicialmente 1.88 g/cm³, 1.84 g/cm³ y 1.91 g/cm³, los datos inferidos confirman que no existen diferencias estadísticamente significativas en la densidad (ANOVA $p=0.0976$), que es el resultado esperado de esta disminución.

- Del objetivo Específico 2 y 3 se concluye: Relación de rodamiento de California (CBR): Los datos del CBR muestran incrementos en ambos niveles de compactación. Los valores iniciales del suelo natural al 95% de compactación fueron de 6.90 %, 9.20 % y 11.00 % para C-01, C-02 y C-03, respectivamente, y estos aumentaron con el tratamiento óptimo del 8% de C.H.E, alcanzando 12.60%, 13.65% y 17.10%. Al 95% de compactación, estos valores crecieron a 82.6%, 48.4% y 55.45% de sus valores iniciales, respectivamente. Los datos estadísticos respaldan estas mejoras, ya que la prueba ANOVA ($p=0.0008$) refuta la hipótesis nula, confirmando la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los porcentajes, siendo el 8% el que presenta el mejor rendimiento. Estos resultados estadísticos indican que las reacciones químicas de las cenizas de hojas de Eucalipto con el suelo no solamente incrementan la capacidad de carga, sino que esta mejora se intensifica cuando se logra la compactación óptima, transformando suelos inadecuados en materiales de alta calidad para aplicaciones geotécnicas avanzadas.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda a las Municipalidades Distritales y Provinciales de Apurímac, especialmente a la Municipalidad Distrital de Chicmo, a los alcaldes, incorporar la estabilización con cenizas de hojas de eucalipto (C.H.E.) como alternativa técnica en sus planes de mantenimiento y mejoramiento de carreteras vecinales y caminos rurales, dado que el eucalipto es abundante en la zona y sus residuos están disponibles sin costo, constituyendo una solución económicamente viable para gobiernos locales con presupuestos limitados.
- Se recomienda a los ingenieros civiles, empresas contratistas y consultoras dedicadas al diseño y construcción de infraestructura vial evaluar la aplicación de cenizas de hojas de eucalipto (C.H.E.) como estabilizante de subrasantes en proyectos de caminos de bajo volumen de tránsito, realizando previamente los



ensayos de laboratorio correspondientes para verificar su comportamiento según las condiciones particulares de cada proyecto.

- Se recomienda a los formuladores de proyectos, consultores e ingenieros responsables del diseño de infraestructura vial rural considerar la estabilización de suelos con cenizas de hojas de eucalipto (C.H.E.) como una alternativa técnicamente viable y de bajo costo frente a estabilizantes convencionales, evaluando su aplicación mediante estudios de laboratorio que permitan optimizar los costos de construcción y promover el aprovechamiento de residuos forestales locales.
- Se recomienda a la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac y a otras instituciones de educación superior continuar investigaciones sobre la estabilización de suelos con C.H.E., evaluando la evolución de sus propiedades mecánicas mediante ensayos Proctor y CBR a los 7, 14, 28 y 90 días de curado, con el fin de determinar el efecto de las reacciones puzolánicas a lo largo del tiempo y fortalecer el sustento técnico de futuras investigaciones.
- Se recomienda al Colegio de Ingenieros del Perú – Consejo Departamental Apurímac difundir los resultados de esta investigación mediante jornadas técnicas, seminarios o capacitaciones dirigidas a los profesionales de ingeniería civil, con el propósito de promover el uso de materiales estabilizantes de origen local como alternativa sostenible frente a estabilizantes tradicionales, contribuyendo a la reducción de costos y al aprovechamiento de recursos disponibles en la región.
- Se recomienda a los investigadores, docentes y estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac y de otras universidades del país desarrollar investigaciones que amplíen el estudio de la estabilización de suelos con cenizas de hojas de eucalipto (C.H.E.), evaluando diferentes porcentajes de dosificación, tipos de suelo y condiciones de curado, con la finalidad de generar mayor evidencia científica que, en el futuro, pueda servir de base para la incorporación de esta alternativa en documentos técnicos del sector transporte.



- Se recomienda a los propietarios de plantaciones de eucalipto, asociaciones de productores forestales y responsables del manejo de residuos vegetales evaluar el aprovechamiento de las hojas de eucalipto como fuente para la obtención de cenizas destinadas a la estabilización de suelos, siguiendo prácticas ambientalmente adecuadas y la normativa vigente, con el propósito de dar valor agregado a un residuo forestal que normalmente es desaprovechado.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABC Geotechnical Consulting. 2006.** *Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada.* 2006.
- ABDELKADER, H, Hussein, M. y YE, H. 2021.** *Influence of waste marble dust on the improvement of expansive clay soils.* Wuhan : Hindawi, 2021. Vol. 2021.
- ACOSTA Belen. 2020.** *Tipos de Eucalipto.* Ecología Verde, s.l. : 2020.
- ALTAMIRANO VILLENA Jhon Yeroivi y UTANI HUASCO Fredy. 2023.** *Influencia de la adición de ceniza de leño de ciprés en la subrasante arcillosa para la carretera Matapuquio-Collpa Andahuaylas 2022.* Universidad Continental, Huancayo, Perú : 2023.
- ARIAS NAVARRO, Cristina, y otros. 2024.** *El estado de los suelos en Europa.* Comisión Europea, s.l., Europa : 2024.
- ASCE . 2020.** *Report Card for America's Infrastructure.* Reston : ASCE, 2020.
- ASCE. 2017.** *Code of Ethics.* American Society of Civil Engineers, Virginia, Estados Unidos : 2017.
- ASTM D1557-00. 2000.** *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³)).* West Conshohocken, PA : ASTM International, 2000.
- BELTRÁN RUIZ Arnold. 2025.** *Adición de polvo de mármol y ceniza de sugarcane para estabilización de suelos arcillosos de subrasante de la carretera Tarampampa, Abancay – 2024.* Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, Abancay, Perú : 2025.
- BOTÍA, W. 2015.** *Manual de procedimientos de ensayos de suelos y memoria de cálculo.* Bogota : Universidad Militar Nueva Granada, 2015.
- BOWLES, J. 1981.** *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil.* Mexico : McGRAW-HILL, 1981. 968-451-046-2.
- BRESCIA Carlo. 2019.** *Plantas medicinales: El eucalipto.* Perú Desconocido, s.l., Perú : 2019.
- CABEZAS, E., ANDRADE, D. y TORRES, J. 2018.** *Introducción a la metodología de la.* Sangolquí : Universidad de las Fuerzas Armadas, 2018.



BENDEZÚ, Ymber Flores. 2021. *Caracterización y viabilidad del uso de cenizas de biomasa vegetal en mortero*. 2, s.l. : ALCONPAT, 2021, Vol. 11.

CARRILLO VERA Rony Rafael. 2018. *sustitución del cemento por 8% y 16% en combinación del molusco trachy cardium procerum (pata de mula) y de hoja de eucalipto en mortero y determinar su resistencia*. universidad san pedro, chimbote, Perú : 2018.

CASAGRANDE , A. 1942. *Quinto informe sobre la marcha de los trabajos de investigación triaxial*. Universidad de Harvard : Universidad de Harvard, 1942.

CIP. 2019. *Código de Ética del Colegio de Ingenieros del Perú*. Lima : CIP, 2019.

COHEN, Jacob. 1988. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Hillsdale : Lawrence Erlbaum Associates, 1988. 0-8058-0283-5.

COMACSA - Cía. Minera Agregados Calcáreos S.A. *Análisis químico por fluorescencia de rayos X: polvo de mármol*. Lima : s.n. LAB-PR-007.

COMEXPERU. 2020. *Infraestructura vial: gobiernos subnacionales estancados*. Lima : COMEXPERU, 2020.

CONARSAC. 2023. *¿Qué es la estabilización del suelo y cómo se hace?* 2023.

COOPERSCONSULT INGENIERÍA Y LABORATORIO. 2023. *Contenido de humedad*. Huancayo : s.n., 2023.

CÓRDOVA ZAMORA, Manuel. 2003. *Estadística descriptiva e Inferencial Aplicaciones 5 Ed.* Lima : Editorial Moshera, 2003.

DAS, Braja M. 2013. *Fundamentos de ingeniería geotécnica Cuarta edición*. Ciudad de México : Cengage Learning, 2013. 978-1-111-57675-2.

DAS, Braja M. 2011. *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*. Santa Fe : Cengage., 2011. 98-7607-481-823-9.

DE SOUZA CAMPELO, Nilton, y otros. 2022. *Challenges in the Construction of Highways in the Brazilian Amazonia Environment – Part I*. IntechOpen, Amazonia, Brasil : 2022.

DELGADO, DM. 2018. *Estimación de volúmenes maderables de Eucalyptus globulus en Perú*. INIA, Lima, Perú : 2018.

E.050, Norma Técnica. NTE E.050 SUELOS Y CIMENTACIONES. PLATAFORMA DEL ESTADO PERUANO, PERÚ : s.n.



ELORZA, Haroldo. 2000. *Estadística para las ciencias sociales y del comportamiento.* México : Oxford University Press, 2000. 970-613-181-7.

ENCISO ORTIZ, Claver. 2022. *Adición de ceniza de eucalipto para mejorar la estabilidad de la subrasante en la carretera Abancay - Huayllabamba, Apurímac,.* Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú : 2022.

ESPINO MARQUEZ, Yhon Marcial. 2021. *adición de ceniza de madera de fondo en la estabilización de suelos arcillosos y su aplicación a subrasante.* universidad peruana los andes, huancayo, Perú : 2021.

Maderero, Forestal. 2015.*EUCALIPTO: Eucalyptus globulus.* [ed.] DFM (Directorio Forestal Maderero). octubre de 2015.

ESCOBAR, Ramiro. 2022.*Eucalipto: una especie exótica que causa controversia en el Perú.* America del Sur : MONGABAY, 2022.

EUGENIO CASTRO Keila Stefani y VENTURA QUISPE Geraldine Gabriela. 2021. *determinación de la relación de soporte de california (cbr) a partir de las propiedades de los suelos para pavimentos de bajo volumen.* lima : universidad ricardo palma, 2021.

FAO. 2017. *Consistencia del suelo.* s.l. : FAO, 2017.

Fiorella Patricia CRISTOBAL GAVANCHO y Monica Milagritos QUINTE BALTAZAR. 2022. *Estabilización de subrasante con cenizas de eucalipto, paraje turístico Piedra Parada, Concepción, Junín 2021.* Universidad Continental, Huancayo, Junin, Perú : 2022.

GABRIEL MAMANI Henry Luis. 2020. *Influencia del látex reciclado molido y las cenizas de cáscara de arroz en la resistencia al esfuerzo cortante, humedad óptima y densidad seca máxima de suelos arcillosos a nivel subrasante Lima-Norte 2020.* Lima : Universidad Privada del Norte, 2020.

GALA CHUMBES, Yerzon Jan Carlos y HUAMAN CUYUTUPAC Laura Cecilia. 2021. *estabilización de suelos arcillosos incorporando ceniza de hoja de eucalipto para el mejoramiento de subrasante en el distrito de pilcomayo.* universidad peruana los andes, huancayo, Perú : 2021.

GARCIA CISNEROS, Alicia Mónica y LUDEÑA CARDENAS, Wilinton Fillol. 2022. *Adición del terrasil y ceniza de hojas de eucalipto para mejorar la.* Universidad Cesar Vallejo, Yanayacu, Ayacucho, Perú : 2022.



GEOSUPORT. 2013. *Descriptores geotécnicos (5): plasticidad, límites de Atterberg y consistencia.* Barcelona : GEOSUPORT, 2013.

GIG. 2023. *¿Cómo determinar el Límite Líquido del suelo?* Lima : GIG, 2023.

GONZÁLEZ , M y PÉREZ, M. 2024. *Análisis de las propiedades mecánicas de un suelo expansivo para la autoconstrucción de una vivienda de interés social.* Querétaro : ALCONPAT , 2024. 2007-6835.

GRISELDA MAMANI Gonzalo, y otros. 2023. *Estabilización de la subrasante con ceniza de quinua y cal en la Carretera Lago Sagrado, Puno, Perú.* Revista Infraestructura Vial, Puno, Puno, Perú : 2023.

HANI BALOOCHI, Diego Aponte y MARILDA BARRA. 2020. *Estabilización de suelos con cenizas volantes de papel usado: precauciones para su correcto uso.* MDPI o Multidisciplinary Digital Publishing Institute, Girona, España : 2020.

HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P. 2014. *Metodología de la investigación.* Mexico : McGrawHill, 2014.

HERNÁNDEZ, Roberto y MENDOZA, Christian M. 2018. *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.* México : McGraw Hill, 2018.

HOLTZ R.D, KOVACS W.D y SHEAHAN, T.C. 2011. *An Introduction to Geotechnical Engineering.* 2.^a ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, Nueva Jersey, Estados Unidos : 2011.

HOSAMANI, S y HULAGABALI, A. 2016. *Comparative study on stabilization of expansive soil using fly ash, rice husk ash, bagasse ash & marble dust.* Bangalore : Conferencia Internacional sobre Suelo y Medio Ambiente,, 2016.

L'HÉRITIER DE BRUTELLE, Charles Louis. 1789. *Plantae rariores quae in hortis juxta Londinum.* Sertum Anglicum, París : 1789.

LAMBE, William y WHITMAN, Robert. 1979. *Mecánica de suelos.* Nueva York : Limusa, 1979.

MARTINES L Enrique y LIRA C Leonel. 2010. *Análisis y aplicación de las expresiones del contenido de humedad en sólidos.* Querétaro : Centro Nacional de Metrología (CENAM), 2010. 690-2.

MARTÍNEZ, M. 2012. *Metodología de la investigación científica.* s.l. : Editorial Trillas, 2012.



Mercedes VILLACÍS TRONCOSO, y otros. 2022. *Estabilización de arcillas expansivas con ceniza volcánica y ceniza de cascarilla de arroz*. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental (FICA), Quito, Ecuador : Revista Tecnológica ESPOL, 2022.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES . 2023. *Anuario Estadístico*. Lima : Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2023.

MTC. 2014. *Manual de carreteras suelos geología, geotecnia y pavimentos seccion suelos y pavimentos*. Lima : Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014. 2014-08985.

—. **2016.** *Manual de ensayo de materiales*. Lima : Ministerio de transportes y comunicaciones, 2016.

MVCS. 2018. *Norma técnica E.050 suelos y cimentaciones*. Lima : El Peruano, 2018.

NAVIDI, Willian. 2006. *Estadística para ingenieros y científicos*. México : Mcgraw Hill Interamericana, 2006. 970-10-5629-9.

NEELADHARAN, C., y otros. 2018. *Estabilización de suelos mediante polvo de mármol con silicato de sodio como aglutinante*. Vellore : Revista internacional de tendencias de investigación avanzada en ingeniería y tecnología, 2018. Vol. 5. 2394-3785.

NTP 339.127. 2019. *Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo*. Lima : INACAL, 2019.

NTP 339.128. 2019. *Método de ensayo para el análisis granulométrico*. Lima : INACAL, 2019.

NTP 339.129. 2000. *Métodos de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos*. Lima : INACAL, 2000.

NTP 339.134. 199. *Método para la clasificación de los suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS)*. Lima : INACAL, 199.

NTP 339.141. 2014. *Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2,700 kN-m/m³(56 000pie-lbf/pie³))*. Lima : INACAL, 2014.

NTP 339.145. 2015. *Método de ensayo de CBR (Relacion de Soporte de California) suelos compactados en laboratorio*. Lima : INACAL, 2015.

Okri ASFINO PUTRA, y otros. 2022. *Effectiveness of waste paper ash for stabilization on clay soil*. Revista Ingeniería de Construcción, Indonesia, Indonesia : 2022.



OSORES MENDOZA, KENNY ANDERSON. 2023. *Adición de cal y cenizas de eucalipto en la subrasante de las vías del distrito de Carampoma - Huarochirí, 2022.* Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú : 2023.

Otilia PANTOJA QUISCUALTUD, Lucio CRUZ VELASCO y Valentina MUÑOZ MENDEZ. 2024. *Estudio básico de suelos derivados de ceniza volcánica modificados con cemento (bajos contenidos de cemento).* Revista UIS Ingenierías, Cauca, Colombia : 2024.

OUEDRAOGO, Kouka Amed Jérémy. 2019. *Étude de l'impact de la stabilisation au ciment sur la durabilité des briques de terre comprimée (BTC) : Approche multi-échelle.* Universidad de Toulouse, Toulouse, Francia : 2019.

QUEZADA OSORIA Santiago. 2017. *ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON VALVAS DE MOLUSCOS PARA PAVIMENTACIÓN.* Universidad de Piura, Piura, Perú : 2017.

QUISPE VILCA, Melany Xihomara. 2024. *Estabilización de la Subrasante en suelos arcillosos empleando cenizas de Eucalipto en la avenida tasa de la ciudad de Juliaca provincia de San Roman región Puno.* Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, Juliaca, Perú : 2024.

QUISPE, D. 2021. *Estabilización de suelos expansivos con ceniza de mazorca de maíz en la ciudad del Cusco.* Cusco : Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, 2021. 2709-8219X.

RD N°22-2013-MTC/14. 2013. *MANUAL DE CARRETERAS: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN.* Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Lima, Perú : 2013.

RODRIGO ROJAS, Clever y Yucra Segundo, Marse. 2022. *Comparación de la adición de ceniza del fruto de eucalipto y cemento para mejorar la subrasante, carretera Raqayraqayniyuq - Huacoto, Cusco - 2022.* Universidad Cesar Vallejo, Cusco, Perú : 2022.

ROMANELLI. *La viabilidad de la estabilización del suelo con cemento.* ROMANELLI, s.l., BRASIL : s.n.

ROMERO, SALDAÑA Manuel. 2016. *Metodología de la investigación Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal.* Madrid : Revista Enfermería del Trabajo, 2016.

SANZ, J. 1975. *Mecanica de suelos.* Barcelona : EDITIONS EYROLLES, 1975. 84-7146-165-X.



SEBASTIAN MACHADO, Bily Ronaldiño. 2023. *Estabilidad de la subrasante en suelos arcillosos adicionando ceniza de rastrojo de cebada, Carretera La Unión - Rondos, Huanuco-2023.* Universidad Cesar Vallejo, Huánuco, Perú : 2023.

StudySmarter GmbH. 2024. *Índice plástico: definición y cálculo.* Múnich : StudySmarter, 2024.

TRIOLA, Mario F. 2004. *Elementary Statistics.* México : Pearson Educación, 2004. 970-26-0519-9.

TUPIA ASTOCONDOR, Gladys Karla. 2021. *Estabilización de suelos en la subrasante con cenizas de hojas de eucaliptos en la avenida Juan Velazco – Carabayllo en Lima, 2021.* Universidad Cesar Vallejo, Carabayllo, Lima, Perú : 2021.

UNAMBA. 2018. *Código de ética para la investigación.* Abancay : Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, 2018.

VILLALAZ, C. 2004. *Mecánica de suelos y cimentaciones.* Limusa : NORIEGA EDITORES, 2004. 968-18-6489-1.

WFEO. 2023. *Engineering for Sustainable Development: Global Challenges and Solutions.* Paris : WFEO, 2023.



ANEXOS

Anexo A

Tabla 38 — Matriz de consistencia

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos	Método	
General	General	General	Cenizas de hojas de Eucalipto (V.I)	Dosificación de cenizas de hojas de Eucalipto (Dx1)	Porcentaje de cenizas respecto al suelo seco del suelo (%)	Balanza digital de precisión y ficha de registro	NIVEL	
• ¿Cuál es la influencia de la adición de cenizas de hojas de Eucalipto para estabilización de suelos de subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac – 2024?	• Evaluar el efecto de la adición de cenizas de hojas de Eucalipto para la estabilización de suelos en la subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac – 2024.	• La adición de cenizas de hojas de Eucalipto mejora las propiedades físicas y mecánicas de los suelos, logrando su estabilización en la subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac - 2024.		Composición química de las cenizas de hojas de Eucalipto (Dx2)	Contenido de óxidos principales: (K ₂ O) 31.26 % (MgO)28.75% (CaO)20.24 % (Al ₂ O ₃) 6.53% (SiO2) 5.63 %		Aplicada	
				Propiedades Físicas de C.H. E (Dx3)	Tamaño de partícula que Pasan tamiz N°100		DISEÑO	
				Específicos	Específicos		Específicas	Estabilización de suelos en la carretera de Pucahuasi(V.D)
• ¿Cuál es el efecto en las propiedades físicas de los suelos al adicionar cenizas de hojas de Eucalipto para estabilización en la subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac - 2024?	• Identificar la influencia en las propiedades físicas de los suelos al adicionar cenizas de hojas de Eucalipto en la subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac - 2024.	• La adición de cenizas de hojas de Eucalipto optimiza las propiedades físicas de los suelos en la subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac - 2024.	Límite líquido (LL%)	MÉTODO				
			Índice de plasticidad (IP%)	Deductivo				
• ¿Cuál es el efecto en las propiedades mecánicas de los suelos al	• Analizar los efectos en las propiedades mecánicas del suelo	• La adición de cenizas de hojas de Eucalipto (C.H.E.) incrementa de		Propiedades mecánicas (Dy2)			ENFOQUE	

estabilizarlo con cenizas de hojas de Eucalipto en la subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas - 2024?	estabilizado con cenizas de hojas de Eucalipto en la subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac - 2024.	manera estadísticamente significativa el Índice de Soporte California (CBR) al 95% de la Máxima Densidad Seca de los suelos de subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac - 2024.	Estabilización de suelos en la carretera de Pucahuasi(V.D)		Densidad seca máxima (DSM) (g/cm ³)	Ficha de registro de ensayos de laboratorio	
					Contenido de Humedad Óptima (%)		
¿Cuál es el porcentaje óptimo de cenizas de hojas de eucalipto que produce el mayor mejoramiento en las propiedades mecánicas del suelo para su uso en subrasante de la carretera Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas - 2024?	Determinar el porcentaje óptimo de ceniza de hojas de eucalipto que produzca la mayor mejora en las propiedades mecánicas del suelo de subrasante (como resistencia a la compresión, índice de plasticidad, densidad máxima y CBR) para su uso en el proyecto vial Carretera Pucahuasi – Chicmo – Andahuaylas 2024.	La adición de ceniza de hojas de eucalipto al suelo de subrasante en porcentajes específicos mejora significativamente sus propiedades mecánicas en comparación con el suelo sin aditivo, teniendo un porcentaje óptimo (entre 8% y 12% en peso del suelo) que maximiza dicha mejora para su uso en la subrasante de la carretera Pucahuasi – Chicmo – Andahuaylas 2024.			Ensayo de CBR (%)		

Anexo B

Instrumentos de recolección de datos



LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
ENGINEERING AND CONSTRUCTION
RUC : 20609203570

997374826 / 985190489
AV. EL ARCO S/N

PROYECTO :	*Efectar de la adición de conizar de hajar de Eucalipto en la estabilización del suelo en la carretera a Pucahuari, Chichma, Andahuaylar, Apurímac-2024*	
LUGAR :	PUCAHUASI-CHICMO	
SOLICITA :	Bach. Zamy Walter Alarcón Marcara	FECHA : Oct-24

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO
INTP 339.0371 ASTM D2216 IMTC E1081

CONTENIDO DE HUMEDAD					CALICATA C-01 PROMEDIO
		T1	T2	T3	
1	Tara N°				
2	Peso de la tara + Peso del suelo húmedo (gr)				
3	Peso de la tara + Peso del suelo seco (gr)				
4	Peso del agua contenida (gr) (2) - (3)				
5	Peso de la tara (gr)				
6	Peso del suelo seco (gr) (3) - (5)				
7	Contenido de humedad (%) (4) / (6)				

Figura 39 — Formato de instrumento del Contenido de Humedad del Suelo



LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
ENGINEERING . CONSTRUCTION

RUC : 20609203570



997374826 / 905190489
MAUCACALLE - SANJAY MZ B N°2, ABAJCAY, PERU

PROYECTO : "Efectos de la adición de cenizas de hojas de Eucalipto en la estabilización del suelo en la carretera a Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurimac-2024"

LUGAR : PUCAHUASI

UBICACIÓN: CHICMO

SOLICITA : Bach. Zamy Walter Alarcón Marcano

MUESTRA : C-01

FECHA : Oct-24

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

NTP 339.128, MTC E 107, ASTM D422, AASHTO T 97

TAMIZ	ABERTURA [mm]	Pasa Retenido	X Pasa Retenido	X Retenido Acumulados	X % PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
4"	101.600					C-01
3"	76.200					PESO TOTAL :
1 1/2"	38.100					TAMAÑO MAX :
3/4"	19.050					LÍMITE LIQUIDO :
3/8"	9.525					LÍMITE PLÁSTICO :
N° 4	4.750					ÍNDICE PLÁSTICIDAD :
N° 8	2.360					
N° 16	1.190					SUCS :
N° 30	0.590					
N° 50	0.297					
N° 100	0.149					
N° 200	0.075					
< N° 200						Cu- Cc-
			0.0			

Página 1

CURVA GRANULOMÉTRICA

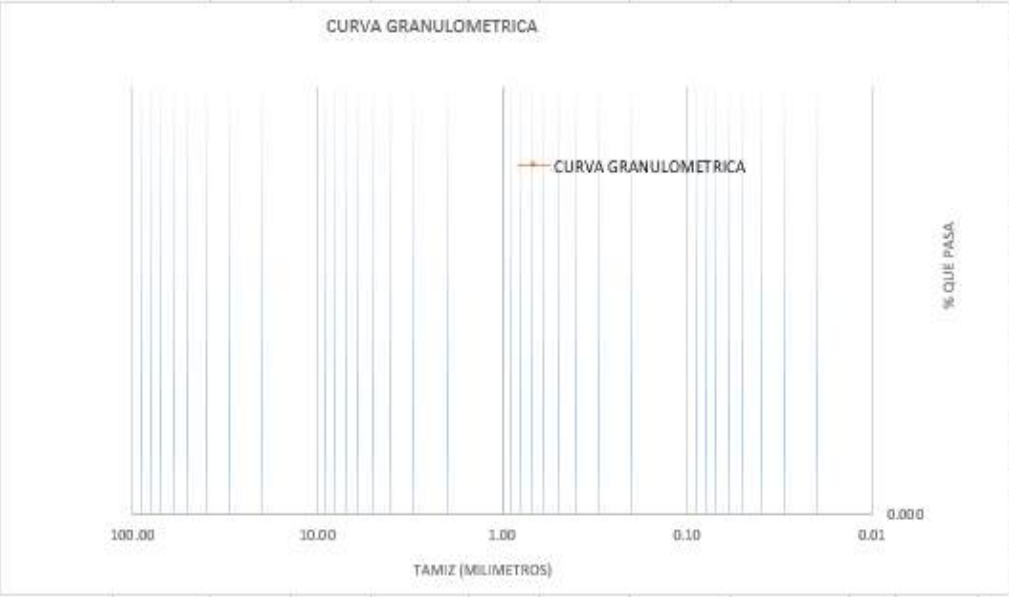


Figura 40 — Formato de instrumento de análisis granulométrico de suelos por tamizado.



LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
ENGINEERING . CONSTRUCTION

RUC : 20609203570



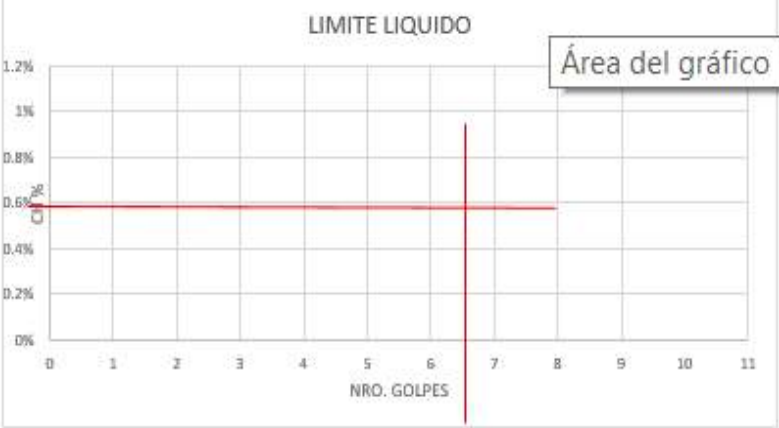
997374026 / 985190489
MAUCACALLE - SANJAY MZ B N°2, ABAÑAY, PERU

PROYECTO :	"Efectar de la adición de cenizas de hajar de Eucalipto en la estabilización del suelo en la carretera a Pucahuari, Chicma, Andahuaylar, Apurímac-2024"	MUESTRA :	C-01
LUGAR :	PUCAHUASI		
UBICACIÓN:	CHICMO		
SOLICITA :	Boch.Zamy Walter Alarcón Marcara	FECHA :	0ct-24

DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO
MTG E 110, MTG E111, NTP 339.129

Ensayo N°	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	1	2	3	1	2
# de Tara	T1	T2	T3	TP1	TP2
Peso de Tara					
Peso de Tara + M. Húmeda					
Peso de Tara + M. Seca					
Peso del Agua					
Peso de M.					
Contenido de Humedad					
# de Golpes					
RESULTADO					

LIMITE LIQUIDO



LL	
LP	
IP	

Figura 41 — Formato de instrumento de LL, LP e IP del suelo



LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
ENGINEERING - CONSTRUCTION
MAUCACALLE - SANJAY MZ B 072, ABAICAY, PERU
RUC : 20609703570



ENSAYO DE COMPACTACION
PROCTOR MODIFICADO - ASTM D-1557 - MTC E 115

PROYECTO	"Efectos de la adición de cenizas de hojas de Eucalipto en la estabilización del suelo en la carretera a Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac-2024"
UBICACIÓN	PUCAHUASI-CHICMO
SOLICITA	Bach. Zamy Walter Alarcón Moscoso
CALICATA	C1
FECHA	OCTUBRE, 2024

N° de Capas: 5	
N° de golpes por capa: 25	Volumen Mold 945
Metodo	A

Muestra	I	II	III	IV
Capa	2	4	6	8
Wcap.				
Wcap+zh.				
Wcap+zz.				
Wxx.				
Wu.				
%CH.				
%CH.				
Wmaldo				
Wzh+maldo				
Wzh.				
Densidad Humeda				
Densidad Seca				

Densidad Seca Maxima(g/cm³):
 Contenido Optimo de Agua(%):

GRAFICO COMPACTACION C1-M1

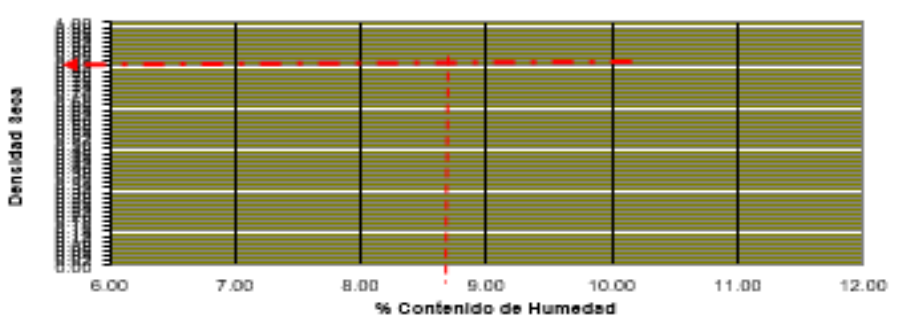


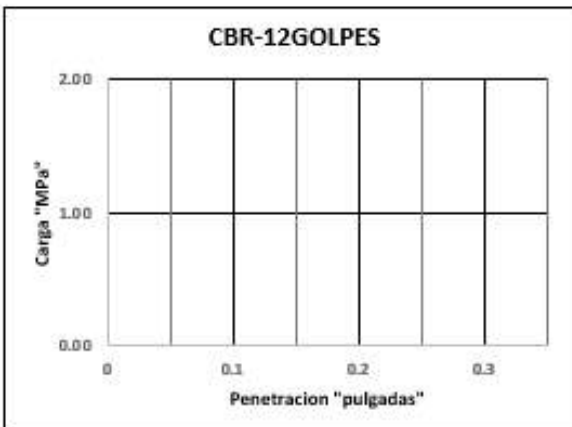
Figura 42 — Formato de instrumento: Ensayo Proctor Modificado

 LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO ENGINEERING - CONSTRUCTION 997374826 / 985190489 MAUCACALLE - SANHUAY MZ 9 N°2, ABANCAY, PERU												
RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA												
ASTM 1833 - 73												
PROYECTO	"Efectos de la adición de cenizas de hojas de Eucalipto en la estabilización del suelo en la carretera a Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac-2024"											
UBICACIÓN:	DIST : CHICMO			C1								
	PROV: ANDAHUAYLAS			Humedad Optima(%).								
	DPTO: APURIMAC			Densidad Seca Maxima(g/cm3)								
				95% de la Densidad Seca								
	DIMENSIONES DE MOLDE			Diametro	Altura	Area	Diametro	Altura	Area	Diametro	Altura	Area
				15.20	11.85	181.46	15.20	11.75	181.46	15.30	11.73	183.85
	N° DE GOLPES POR CAPA			12			25			56		
	CONDICIONES DE LA MUESTRA			SIN MOJAR			SIN MOJAR			SIN MOJAR		
	Peso del molde(gr).											
	Volumen de la Muestra(cc).											
	Muestra Humeda + Molde(gr).											
	Muestra Humeda(gr).											
	Densidad Humeda(g/cm3).											
	CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA			ABAJO			ABAJO			ABAJO		
	Peso de la capsula(gr).											
	Muestra Humeda + Capsula(gr).											
	Muestra Seca+ Capsula(gr).											
	Muestra Seca(gr).											
	Contenido de Agua(gr)											
	Contenido de Humedad(%).											
	Promedio de Contenido de Humedad(%).											
	Densidad Seca(g/cm3).											
	% Compactación											
PENETRACION "PULGADAS"		CAR G.	FACTOR CARGA		CBR	FACTOR CARGA		CBR	FACTOR CARGA		CBR	
			IND(KG)	CARGA	12	IND(KG)	CARGA	25	IND(KG)	CARGA	56	
ENSAYO DE PENETRACION												

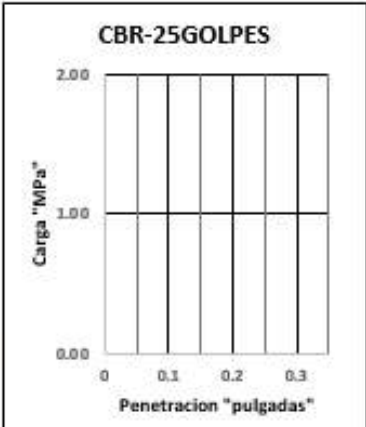
Figura 43 — Formato de instrumento de ensayo de CBR

 LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO ENGINEERING - CONSTRUCTION 997374026 / 985180489 MAUCACALLE - SANJAY MZ D N°2, ABAÑAY, PERU			
PROYECTO :	“Efectos de la adición de cenizas de hojas de Eucalipto en la estabilización del suelo en la carretera a Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac-2024”		
UBICACIÓN	PUCAHUASI-CHICMO	ENSAYO	C1
		C.B.R.	0.00
			0.00
			0.00

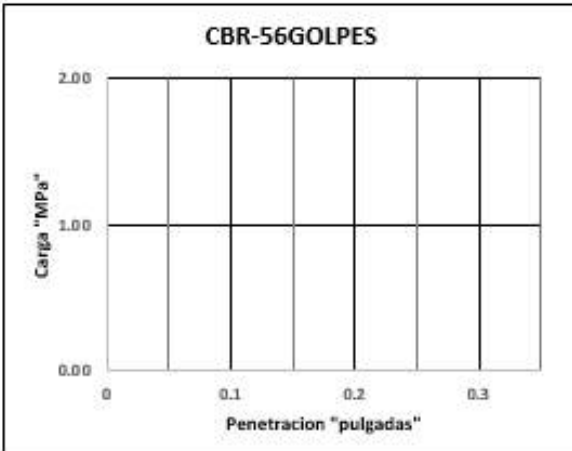
CBR-12GOLPES



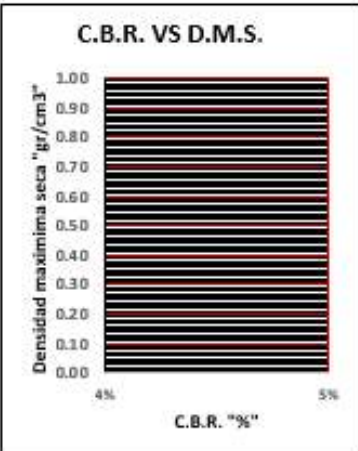
CBR-25GOLPES



CBR-56GOLPES



C.B.R. VS D.M.S.



GOLPES	W%	MDS	EXPANS. %	C.B.R. %	C.B.R. 95% - 100%
12	0.00	0.00	0.00	0.00	C.B.R. - 95% 0.00
25	0.00	0.00	0.00	0.00	C.B.R. - 100% 0.00
56	0.00	0.00	0.00	0.00	

Figura 44 — Formato de instrumento de ensayo de CBR grafica de esfuerzo vs penetración.

Anexo C. Resultados.

A. Datos Originales de Laboratorio

Tabla 39 — Resumen de resultados de contenido de humedad natural

N°	Calicata	Progresiva (Km)	Profundidad(m)	Promedio W%
1	Calicata 1	0+450	1.50	13%
2	Calicata 2	0+900	1.50	9.20%
3	Calicata 3	1+1200	1.50	9.35%
FUENTE: Elaboración propia				

Tabla 40 — Resumen de resultados de límites de Atterberg

N °	Calicata	Prof. (m)	Suelo Natural	% de Cenizas de hojas de Eucalipto	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice de Plasticidad
1	C-01	1.50	SN+	0%C.H.E	59%	37.08%	21.92%
				4%C.H.E	53.20%	33.74%	19.46%
				8%C.H.E	48.20%	28.39%	19.81%
				12%C.H.E	42.80%	25.79%	17.01%
2	C-02	1.50	SN+	0%C.H.E	65.50%	23.02%	42.48%
				4%C.H.E	62.30%	21.88%	40.42%
				8%C.H.E	57.80%	20.13%	37.67%
				12%C.H.E	51.50%	15.72%	35.78%
3	C-03	1.50	SN+	0%C.H.E	45.40%	17.72%	27.68%
				4%C.H.E	36.20%	13.20%	23%
				8%C.H.E	31.50%	11.32%	20.18%
				12%C.H.E	28%	8.10%	19.90%
FUENTE: Elaboración propia							

Tabla 41 — Resumen resultados de análisis granulométrico

N°	Calicata	SUCS	AASHTO	Descripción del suelo
1	C-1	SC-MH	A-2-7	Arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla, limos inorgánicas y elásticos.
2	C-2	SC-OH	A-2-7	Arena arcillosa con Limos y arcillas orgánicas de alta compresibilidad
3	C-3	SP-CL	A-2-7	Arenas mal gradadas, mezcla de arena y arcilla, arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad
FUENTE: Elaboración propia				

Tabla 42 — Datos de Proctor Modificado (Densidad Máxima Seca y Humedad Óptima) por calicata y tratamiento.

Calicata	% Ceniza eucalipto	Densidad Máx. (g/cm ³)	Humedad Óptima (%)
C-01	0 %	1.880	13.0
C-01	4 %	1.902	8.11
C-01	8 %	1.827	12.07
C-01	12 %	1.675	13.50
C-02	0 %	1.840	9.2
C-02	4 %	1.841	9.80
C-02	8 %	1.885	8.97
C-02	12 %	1.820	9.30
C-03	0 %	1.910	9.35
C-03	4 %	1.880	8.80
C-03	8 %	1.815	9.15

C-03	12 %	1.778	10.82
FUENTE: Elaboración propia			

Tabla 43 — Datos de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad por calicata y tratamiento

Calicata	% Ceniza eucalipto	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico (%)
C-01	0 %	59.0	37.08	21.92
C-01	4 %	53.2	33.74	19.46
C-01	8 %	48.2	28.39	19.81
C-01	12 %	42.8	25.79	17.01
C-02	0 %	65.5	23.02	42.48
C-02	4 %	62.3	21.88	40.42
C-02	8 %	57.8	20.13	37.67
C-02	12 %	51.5	15.72	35.78
C-03	0 %	45.4	17.72	27.68
C-03	4 %	36.2	13.20	23.00
C-03	8 %	31.5	11.32	20.18
C-03	12 %	28.0	8.10	19.90
FUENTE: Elaboración propia				

Tabla 44 — Datos de CBR por calicata y tratamiento

Calicata	% Ceniza eucalipto	CBR 95% MDS (%)
C-01	0 %	6.9
C-01	4 %	10.1
C-01	8 %	12.6
C-01	12 %	8.9
C-02	0 %	9.2
C-02	4 %	13.0
C-02	8 %	13.65
C-02	12 %	10.85
C-03	0 %	11.0
C-03	4 %	13.1
C-03	8 %	17.1
C-03	12 %	11.25
FUENTE: Elaboración propia		

B. Verificación de Supuestos

B.1. Prueba de Normalidad – Shapiro-Wilk

Tabla 45 — Prueba de normalidad Shapiro-Wilk – InfoStat

Variable	n	Estadístico W	p-valor	Normalidad
Densidad máxima seca	12	0.97	0.8913	Sí
Humedad óptima (%)	12	0.85	0.0550	Sí
Índice de plasticidad	12	0.92	0.4023	Sí
CBR (95% MDS)	12	0.90	0.2689	Sí
FUENTE: Elaboración propia				

B2. Prueba de Homogeneidad de Varianzas – Levene

Tabla 46 — Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene – InfoStat

Variable	F de Levene	gl1	gl2	p-valor
Densidad máxima seca	1.54	3	8	0.2780
Humedad óptima (%)	1.30	3	8	0.3390
Índice de plasticidad	1.30	3	8	0.3400
CBR (95% MDS)	0.52	3	8	0.6810
FUENTE: Elaboración propia				

C. Análisis de Varianza – Diseño en bloques completos al azar (DBCA)

Modelo: $Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$ | $k = 4$ tratamientos | $r = 3$ bloques (calicatas) | $\alpha = 0.05$

Tabla 47 — ANOVA – Diseño en Bloques Completos al Azar: Densidad máxima seca (g/cm³) – InfoStat

Fuente de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloques	0.0017	2	0.0008	0.293	0.7561
Tratamientos	0.0282	3	0.0094	3.334	0.0976
Error	0.0169	6	0.0028	—	—
Total	0.0467	11	—	—	—
FUENTE: Elaboración propia					

Tabla 48 — ANOVA – Diseño en Bloques Completos al Azar: Humedad óptima (%) – InfoStat

Fuente de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloques	13.545	2	6.773	3.314	0.1072
Tratamientos	8.432	3	2.811	1.375	0.3375
Error	12.261	6	2.044	—	—
Total	34.238	11	—	—	—
FUENTE: Elaboración propia					

Tabla 49 — ANOVA – Diseño en Bloques Completos al Azar: Índice de plasticidad (%) – InfoStat

Fuente de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloques	880.602	2	440.301	301.453	<0.0001
Tratamientos	68.695	3	22.898	15.677	0.0030
Error	8.764	6	1.461	—	—
Total	958.060	11	—	—	—
FUENTE: Elaboración propia					

Tabla 50 — ANOVA – Diseño en Bloques Completos al Azar: CBR – 95% MDS (%) – InfoStat

Fuente de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloques	24.575	2	12.288	18.786	0.0026
Tratamientos	49.397	3	16.466	25.173	0.0008
Error	3.925	6	0.654	—	—
Total	77.897	11	—	—	—
FUENTE: Elaboración propia					

D. Comparaciones múltiples – Prueba de Tukey (HSD)

Aplicada únicamente a variables con diferencias significativas en el ANOVA ($p < 0.05$).
Medias con distinta letra difieren significativamente.

Tabla 51 — Prueba de Tukey (HSD, $\alpha = 0.05$): Índice de plasticidad (%) – InfoStat

Tratamiento (% ceniza)	Media	Desv. Est.	n	Grupo Tukey
0 %	30.693	10.61	3	A
4 %	27.627	11.22	3	AB
8 %	25.887	10.21	3	B
12 %	24.230	10.11	3	B
FUENTE: Elaboración propia				

Tabla 52 — Prueba de Tukey (HSD, $\alpha = 0.05$): CBR – 95% MDS (%) – InfoStat

Tratamiento (% ceniza)	Media	Desv. Est.	n	Grupo Tukey
8 %	14.450	2.35	3	A
4 %	12.067	1.70	3	B
12 %	10.333	1.26	3	BC
0 %	9.033	2.06	3	C
FUENTE: Elaboración propia				

E. Tamaño del Efecto – Eta Cuadrado (η^2)

Fórmula: $\eta^2 = SC_{\text{tratamientos}} / SC_{\text{total}}$ | Criterio: $\eta^2 \geq 0.14$ = efecto grande (Cohen, 1988)

Tabla 53 — Tamaño del efecto (Eta cuadrado, η^2) – InfoStat

Variable	F (ANOVA)	p-valor	Cálculo η^2	η^2	Efecto
CBR (95% MDS)	25.17	0.0008	$(25.173 \times 3) / (25.173 \times 3 + 6) = 75.52 / 81.52$	0.93	Grande
Índice de plasticidad	15.68	0.0030	$(15.677 \times 3) / (15.677 \times 3 + 6) = 47.03 / 53.03$	0.89	Grande
Densidad máxima	3.33	0.0976	$(3.334 \times 3) / (3.334 \times 3 + 6) = 10.00 / 16.00$	0.63	Grande
Humedad óptima	1.38	0.3375	$(1.375 \times 3) / (1.375 \times 3 + 6) = 4.13 / 10.13$	0.41	Grande
FUENTE: Elaboración propia					

Anexo C. Certificados de laboratorio.

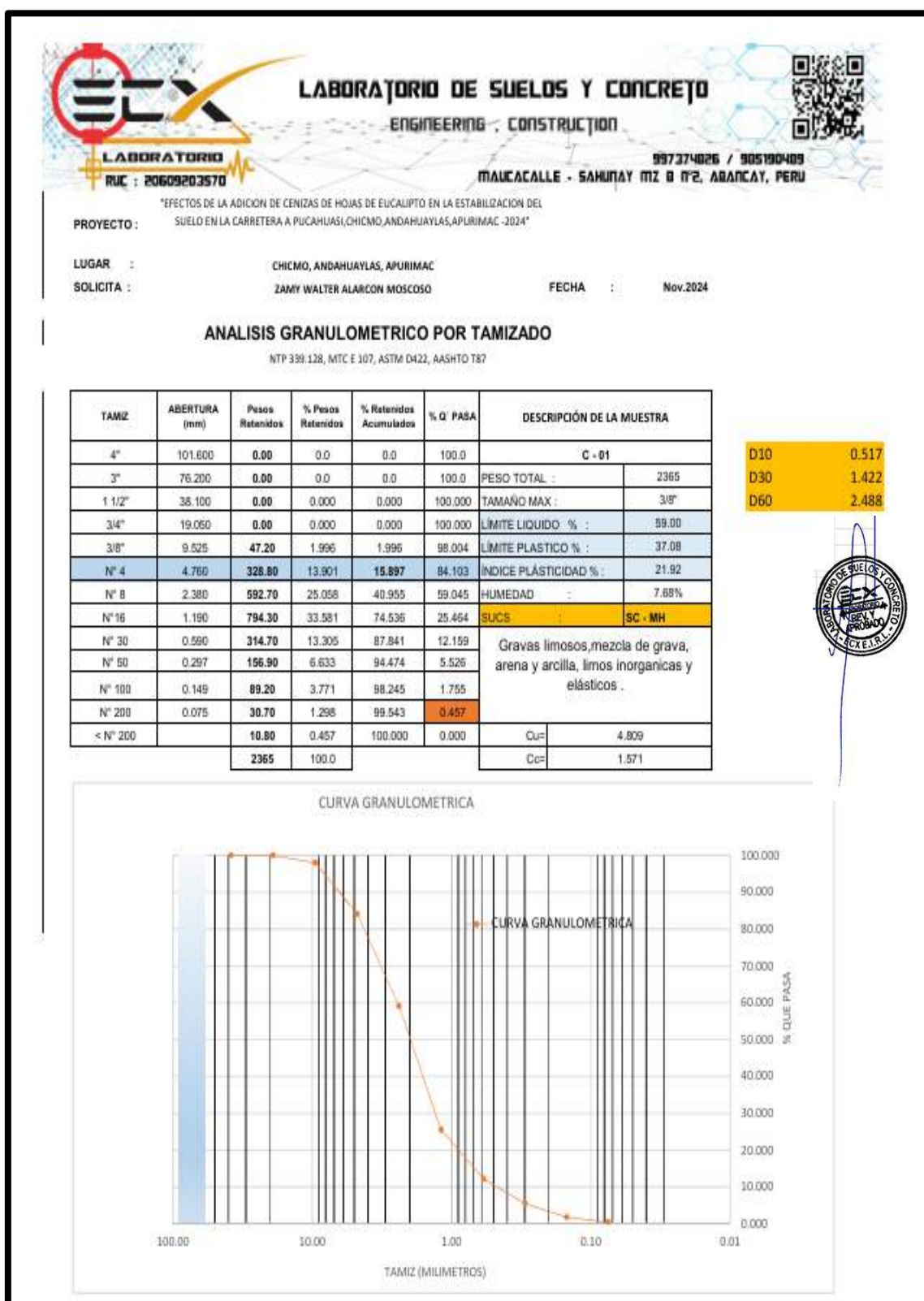


Figura 45 — ASTM D-422 Análisis Granulométrico de la Calicata 1

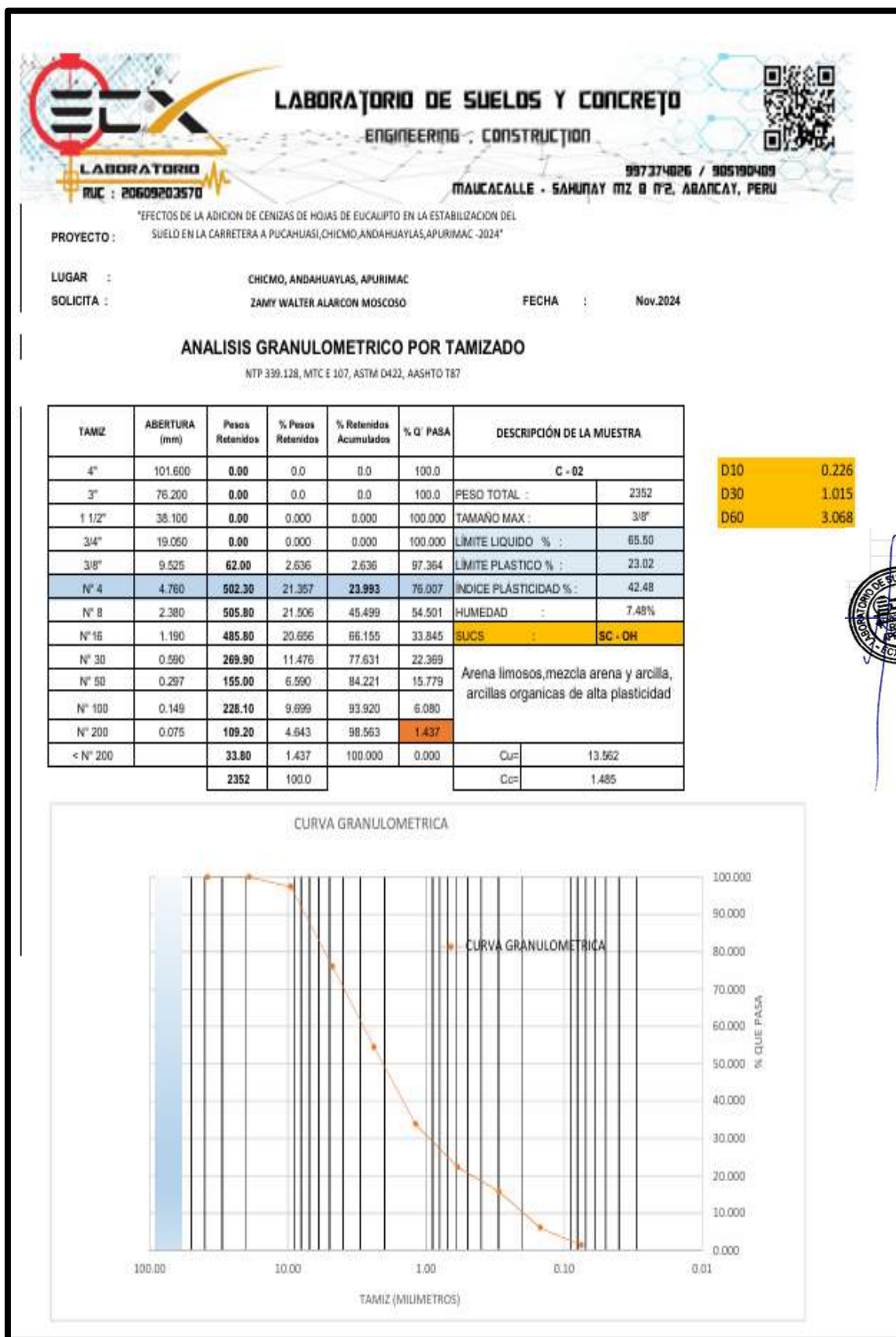


Figura 46 — ASTM D-422 Análisis Granulométrico de la Calicata 2

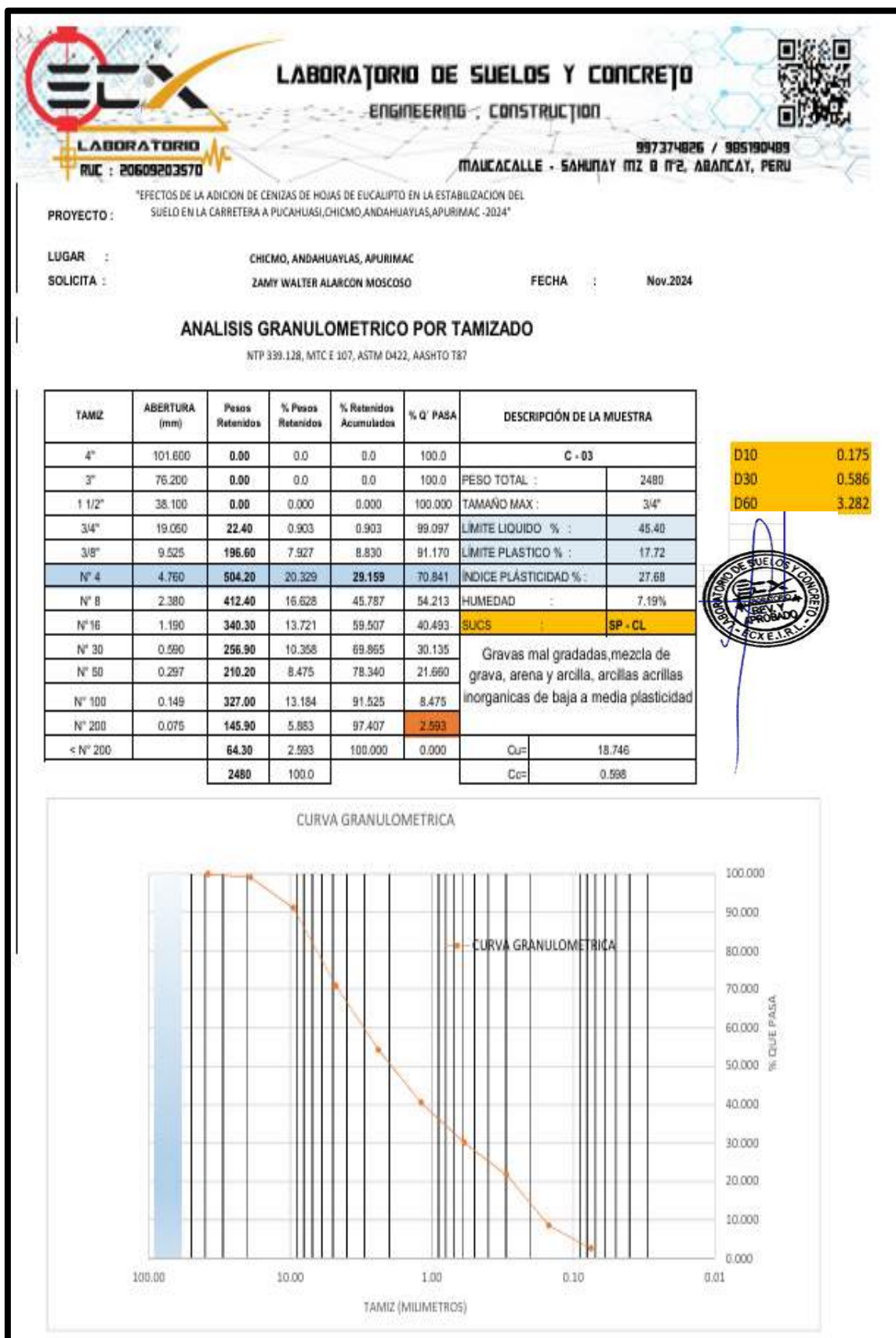


Figura 47 – ASTM D-422 Análisis Granulométrico de la Calicata 3

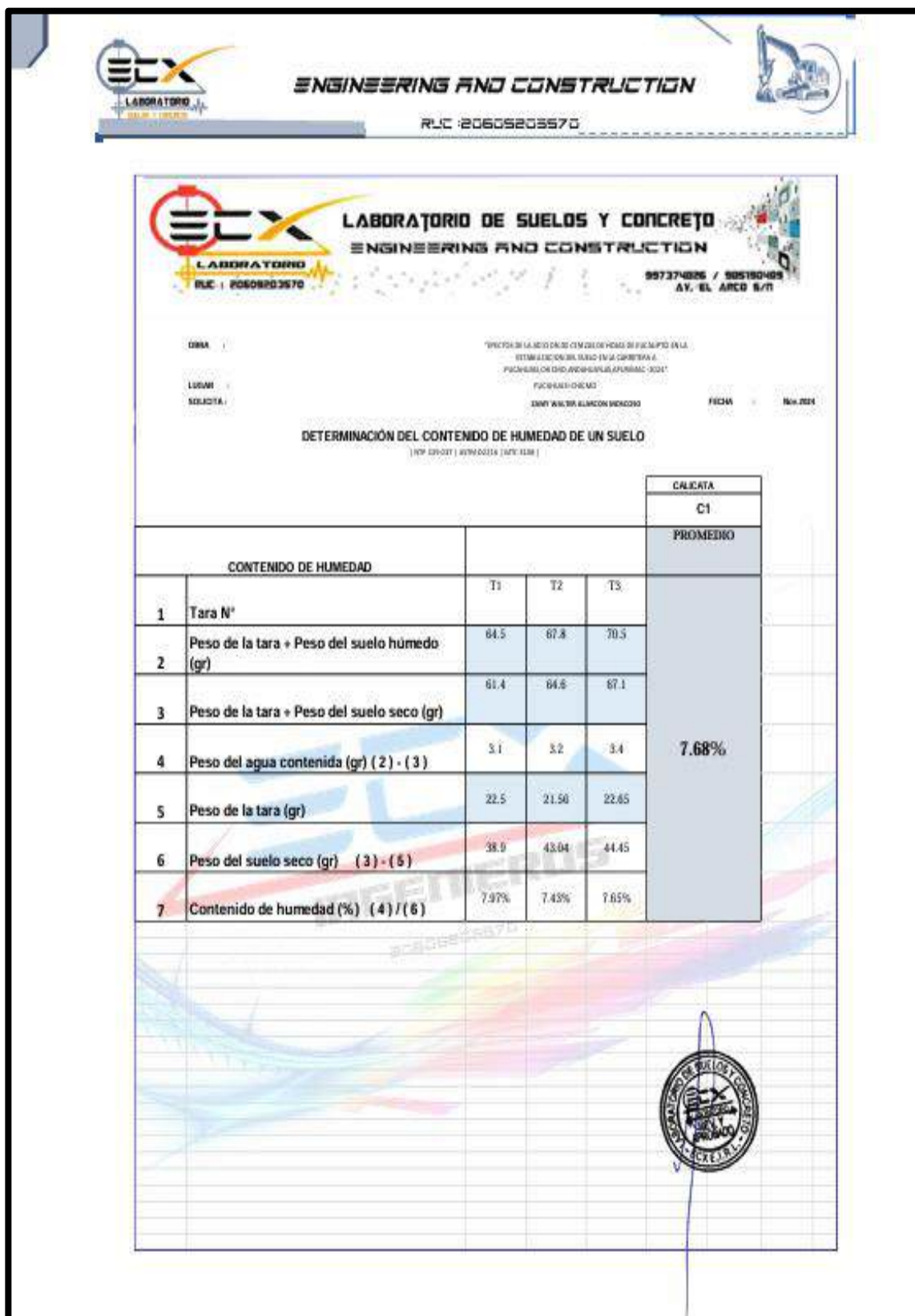


Figura 48 – ASTM D 2216-19 Contenido de Humedad de Calicata 1


ENGINEERING AND CONSTRUCTION
 RUC : 20609205570




LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
ENGINEERING AND CONSTRUCTION
 RUC : 20609205570

997374826 / 985190489
 AV. EL ARCO 5/0

OBRA : EFECTOS DE LA ADICION DE CENIZAS DE HOJAS DE EUCALIPTO EN LA ESTABILIZACION DEL SUELO EN LA CARRETERA A PUCALLI (C/NO. ANDAHUAYLAS APURIMAC - 2024)
 LUGAR : PUCALLI - CHICO
 SOLICITA : ZAMY WALTER ALARCON MOSCOSO

FECHA : Nov. 2024

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO
(NTP 219.037 | ASTM D2216 | MITC E108)

CONTENIDO DE HUMEDAD		T1	T2	T3	C2 PROMEDIO
1	Tara N°				
2	Peso de la tara + Peso del suelo húmedo (gr)	61.4	65.25	68.25	
3	Peso de la tara + Peso del suelo seco (gr)	59	62.4	64.8	
4	Peso del agua contenida (gr) (2) - (3)	2.4	2.85	3.45	7.48%
5	Peso de la tara (gr)	23.5	23.5	23.5	
6	Peso del suelo seco (gr) (3) - (5)	35.5	38.9	41.3	
7	Contenido de humedad (%) (4) / (6)	6.76%	7.33%	8.35%	



Figura 49 — ASTM D 2216-19 Contenido de humedad de Calicata 2



ENGINEERING AND CONSTRUCTION

RUC : 20605203570





LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
ENGINEERING AND CONSTRUCTION

RUC : 20609203570

997374826 / 985180489
AV. EL ARCO 5/7

OBRA : EFECTOS DE LA ADICION DE CENIZAS DE HOIAS DE EUCALIPTO EN LA ESTABILIZACION DEL SUELO EN LA CARRETERA A PUCHIHUAS, CHOWO, ANDINHUAS, APURIMAC - 2024

LUGAR : PUCHIHUAS - CHOWO

SOLICITA : ZARY WALTER ALARCON MOSCOSO

FECHA : Nov. 2024

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

|| NTP 339.037 || ASTM D2216 || MITC 0108 ||

CONTENIDO DE HUMEDAD		T1	T2	T3	PROMEDIO
1	Tara N°				
2	Peso de la tara + Peso del suelo húmedo (gr)	63	66.2	68.9	
3	Peso de la tara + Peso del suelo seco (gr)	60.22	63.12	66.25	
4	Peso del agua contenida (gr) (2) - (3)	2.78	3.08	2.65	7.19%
5	Peso de la tara (gr)	23.54	23.53	23.57	
6	Peso del suelo seco (gr) (3) - (5)	36.68	39.59	42.68	
7	Contenido de humedad (%) (4) / (6)	7.58%	7.78%	6.21%	



Figura 50 — ASTM D 2216-19 Contenido de Humedad de Calicata 3

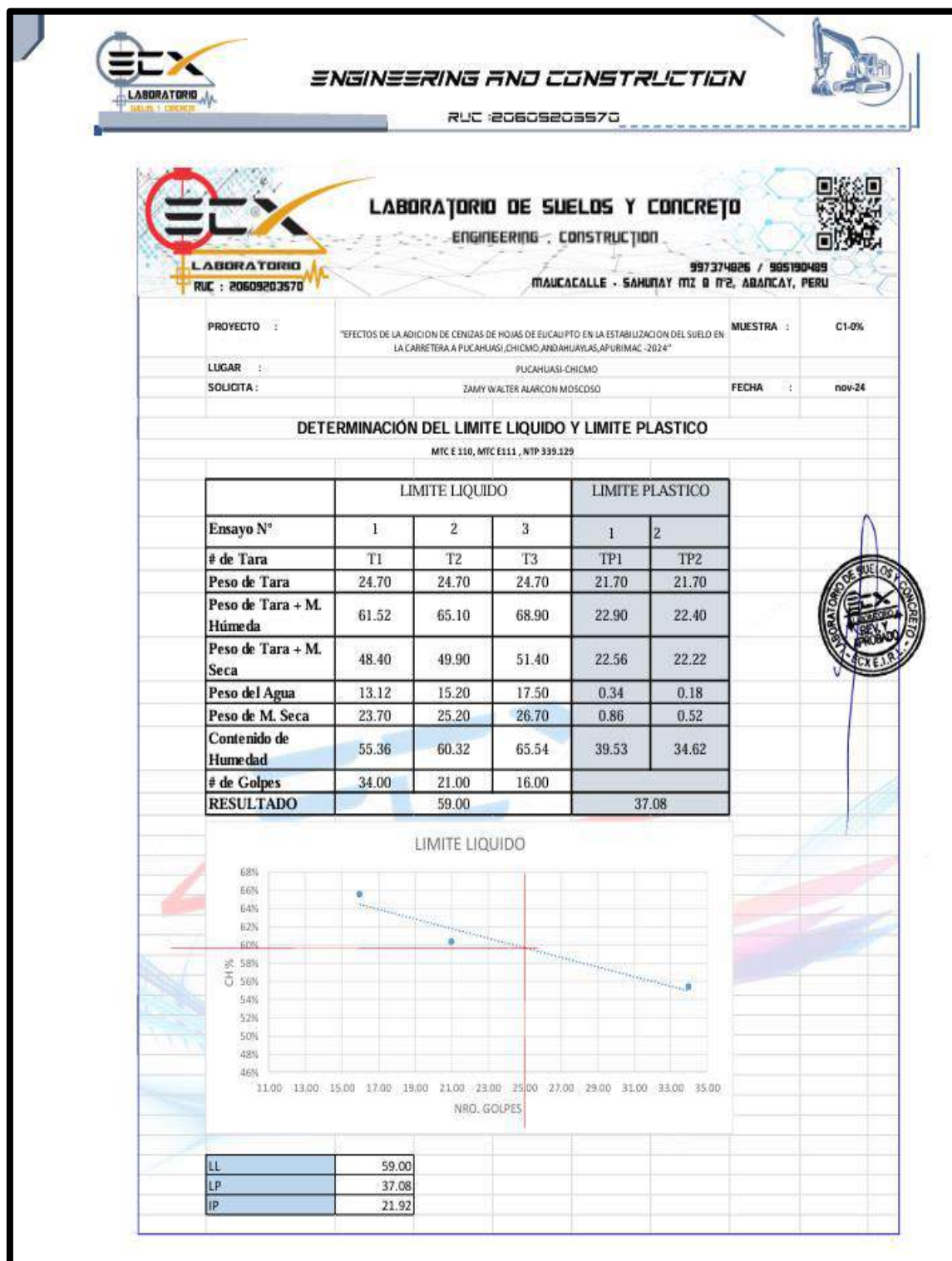


Figura 51 — ASTM D4318 Determinación del Límite Líquido y Límite Plástico de C-1 - 0%CHE

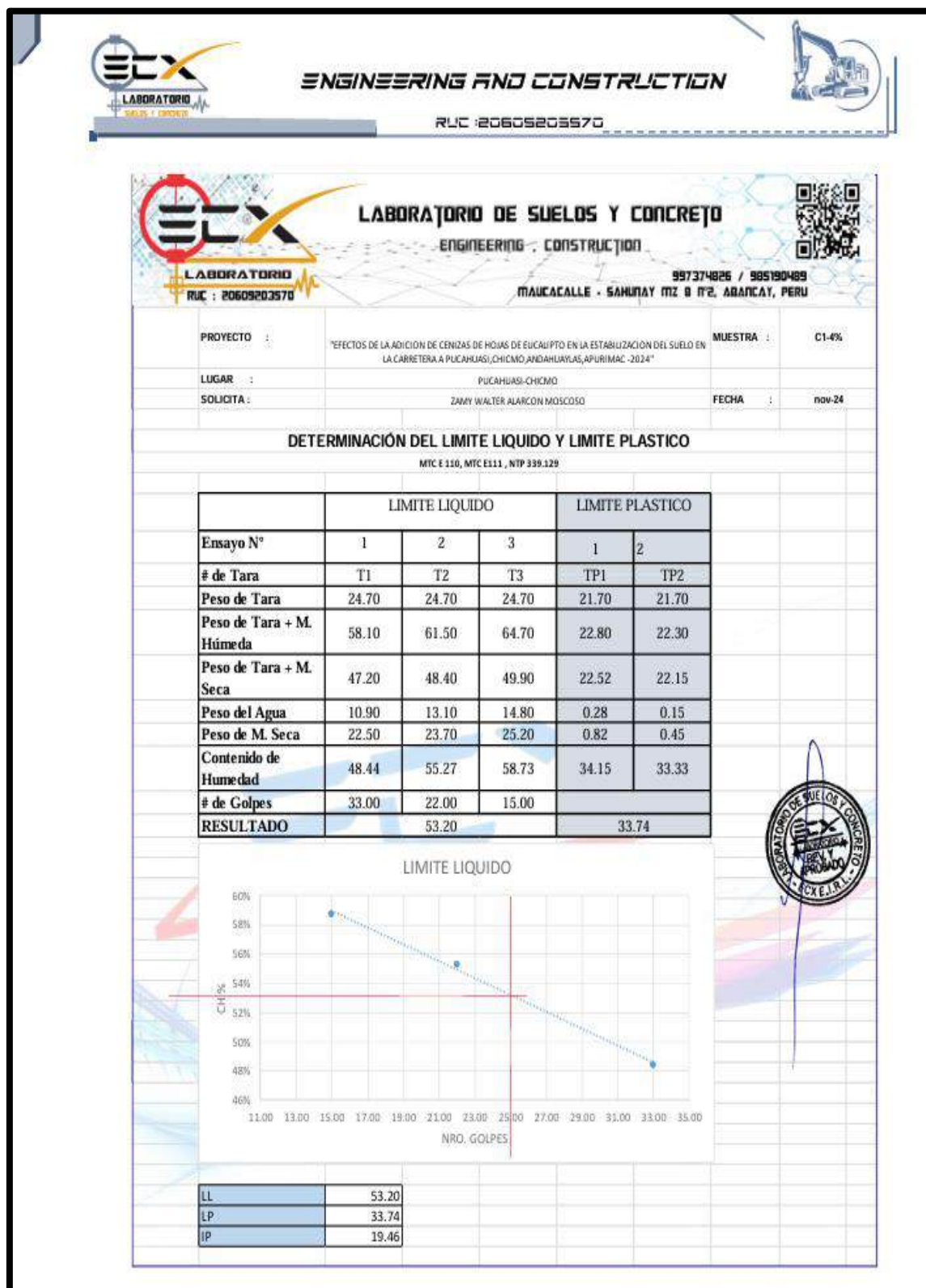


Figura 52 — ASTM D4318 Determinación del Límite Líquido y Límite Plástico de C-1 - 4%CHE

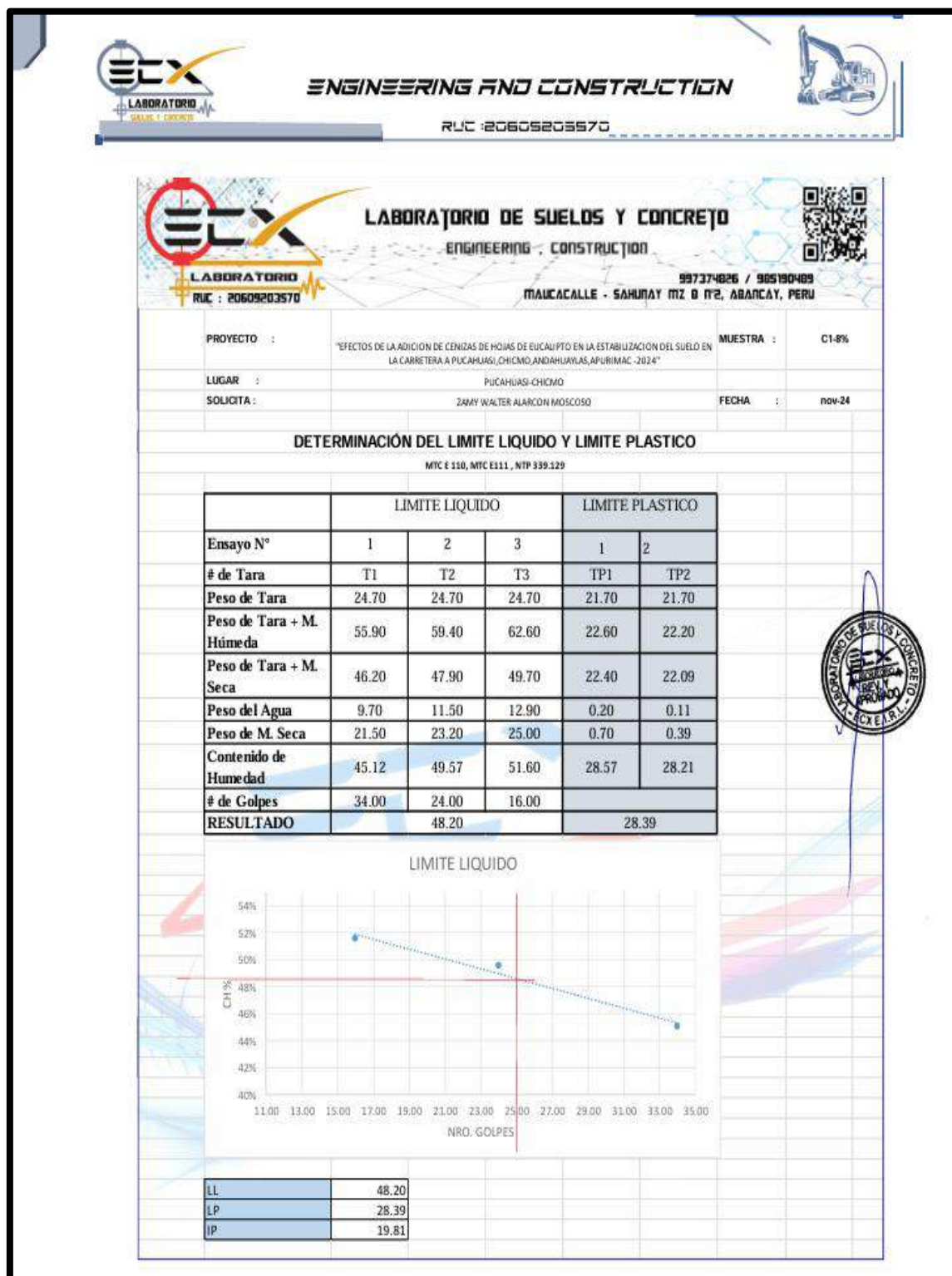


Figura 53 — ASTM D4318 Determinación del Límite Líquido y Límite Plástico de C-1 - 8%CHE

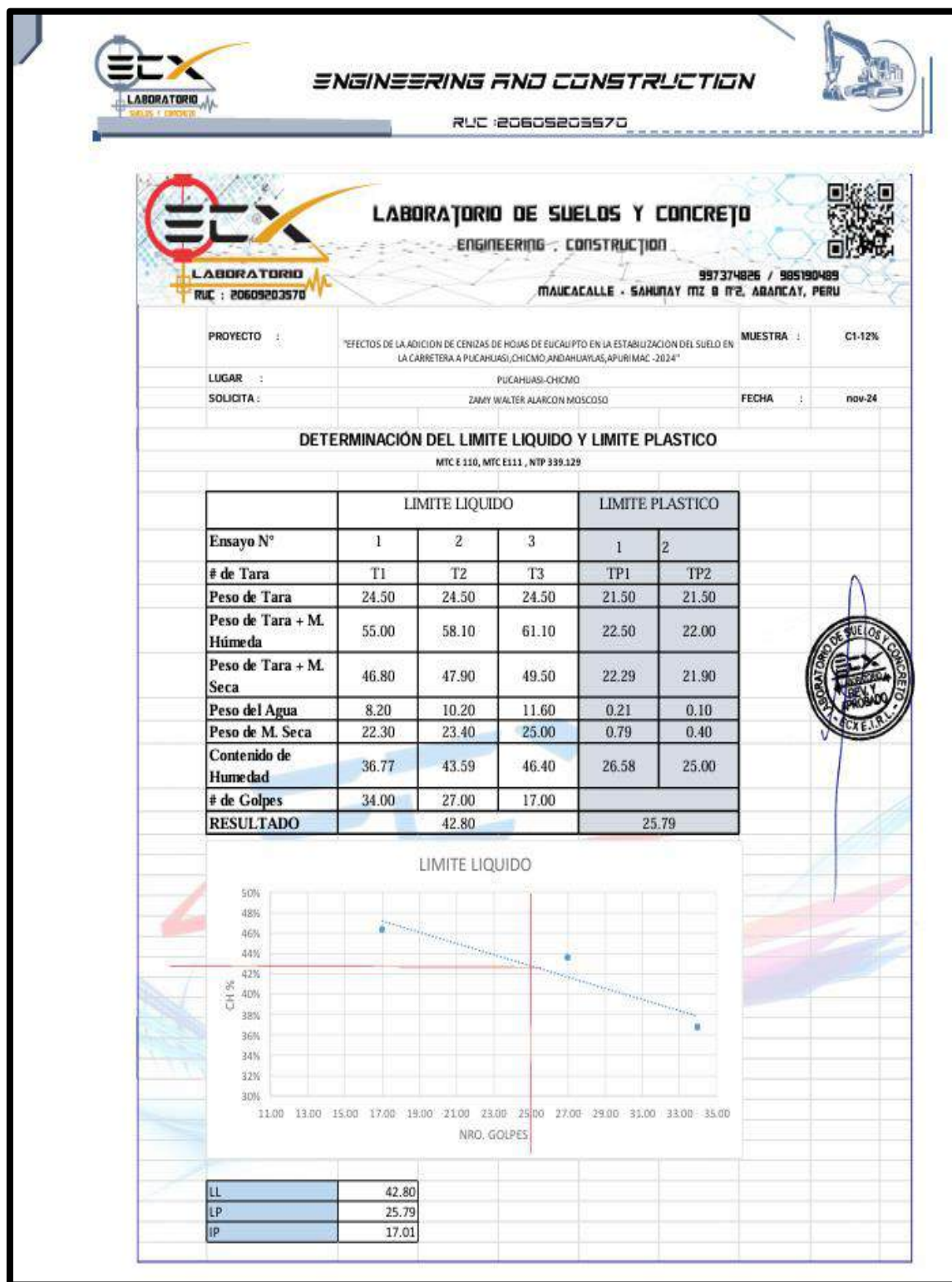


Figura 54 — ASTM D4318 Determinación del Límite Líquido y Límite Plástico de C-1 - 12%CHE

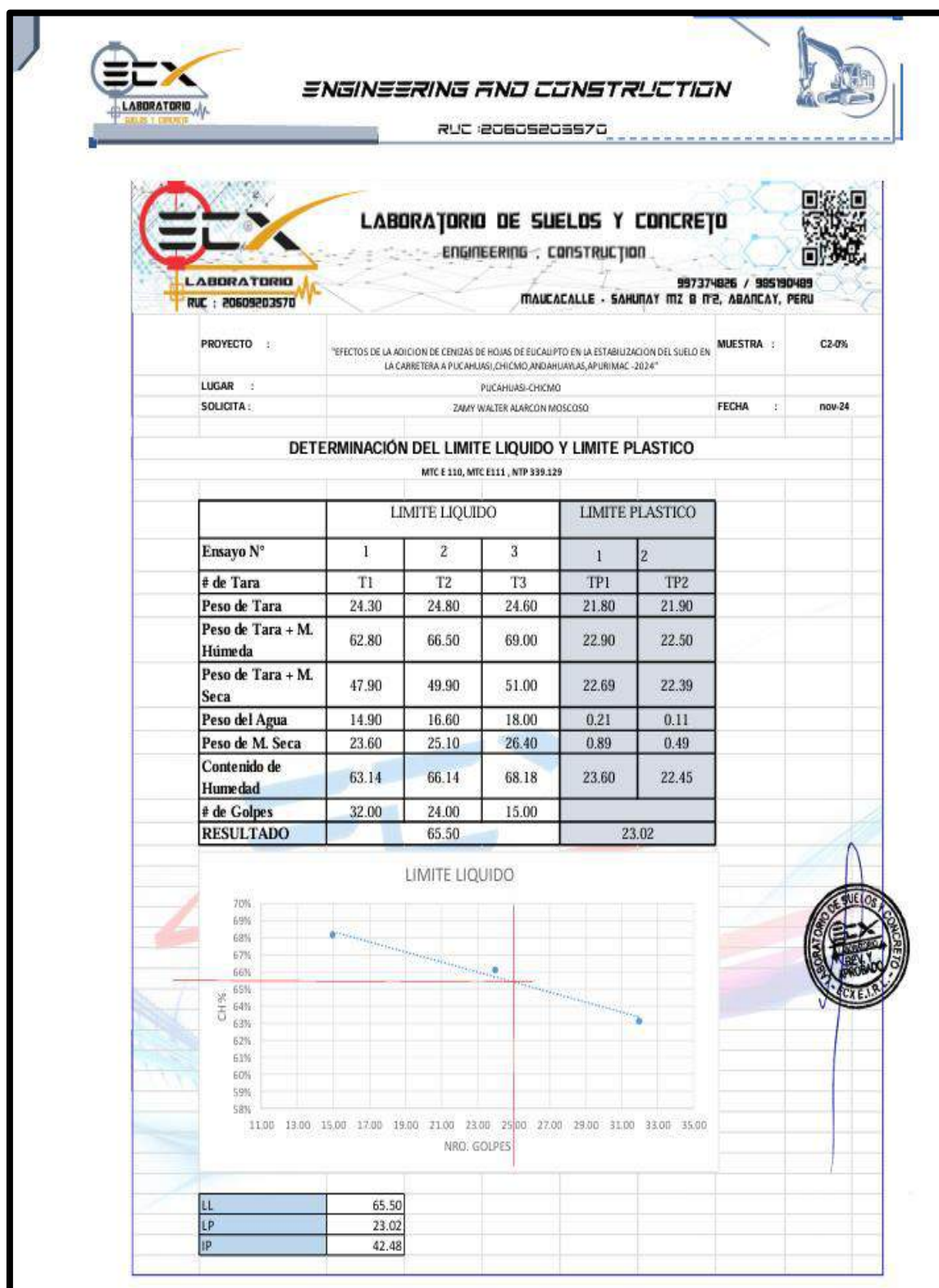


Figura 55 — ASTM D4318 Determinación del Límite Líquido y Límite Plástico de C-2 - 0%CHE

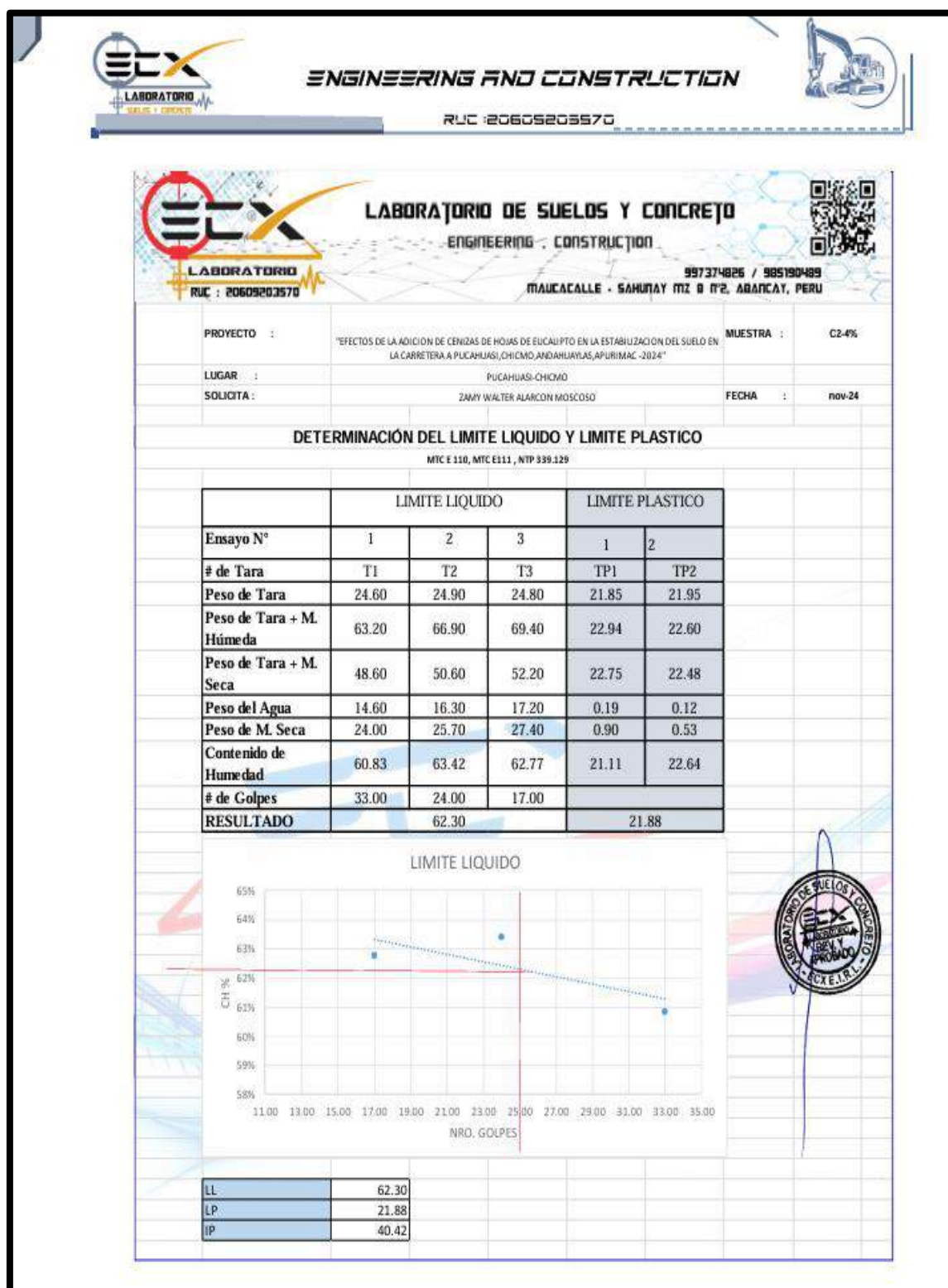


Figura 56 — ASTM D4318 Determinación del Límite Líquido y Límite Plástico de C-2 - 4%CHE

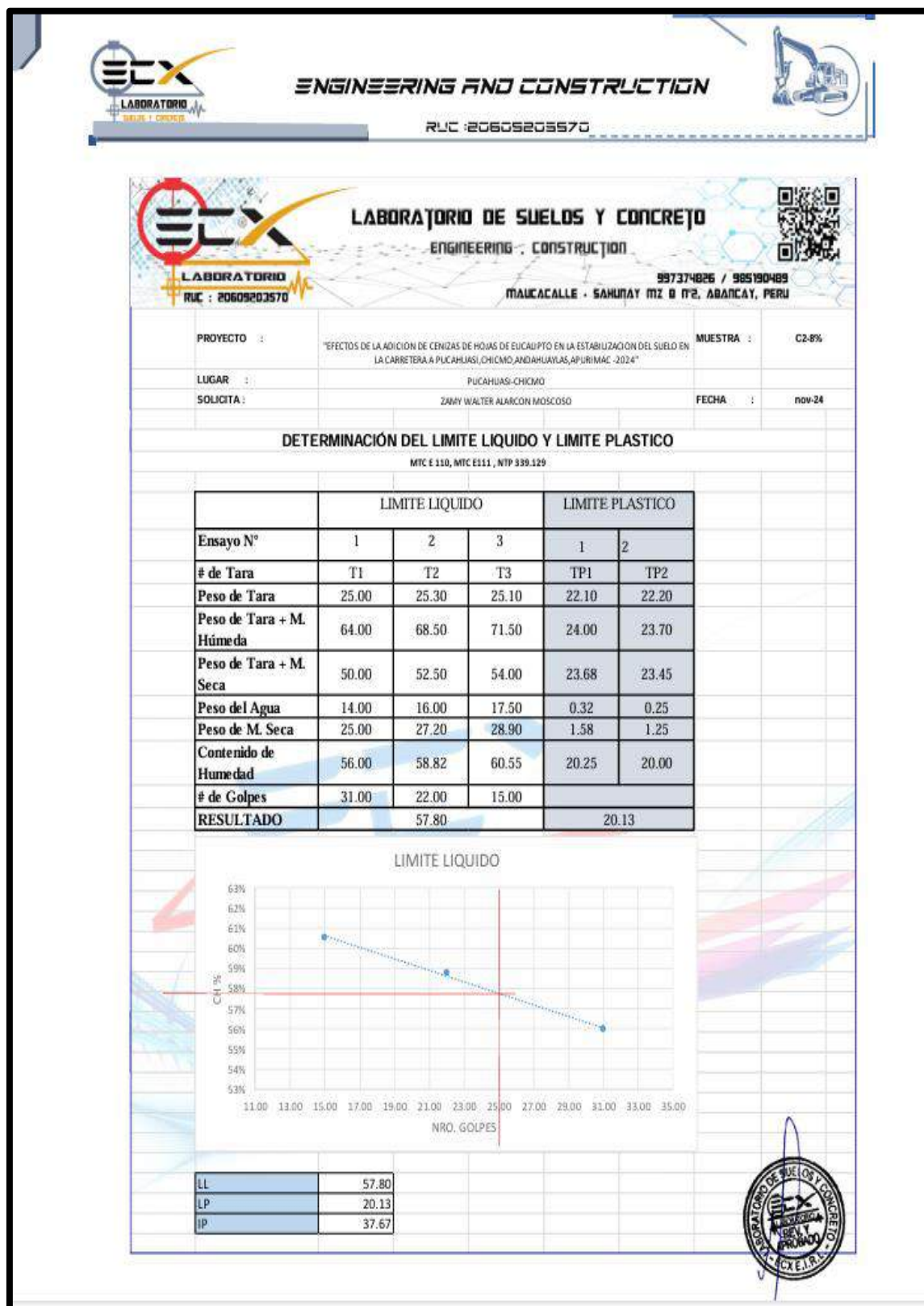


Figura 57 — ASTM D4318 Determinación del Límite Líquido y Límite Plástico de C-2 - 8%CE

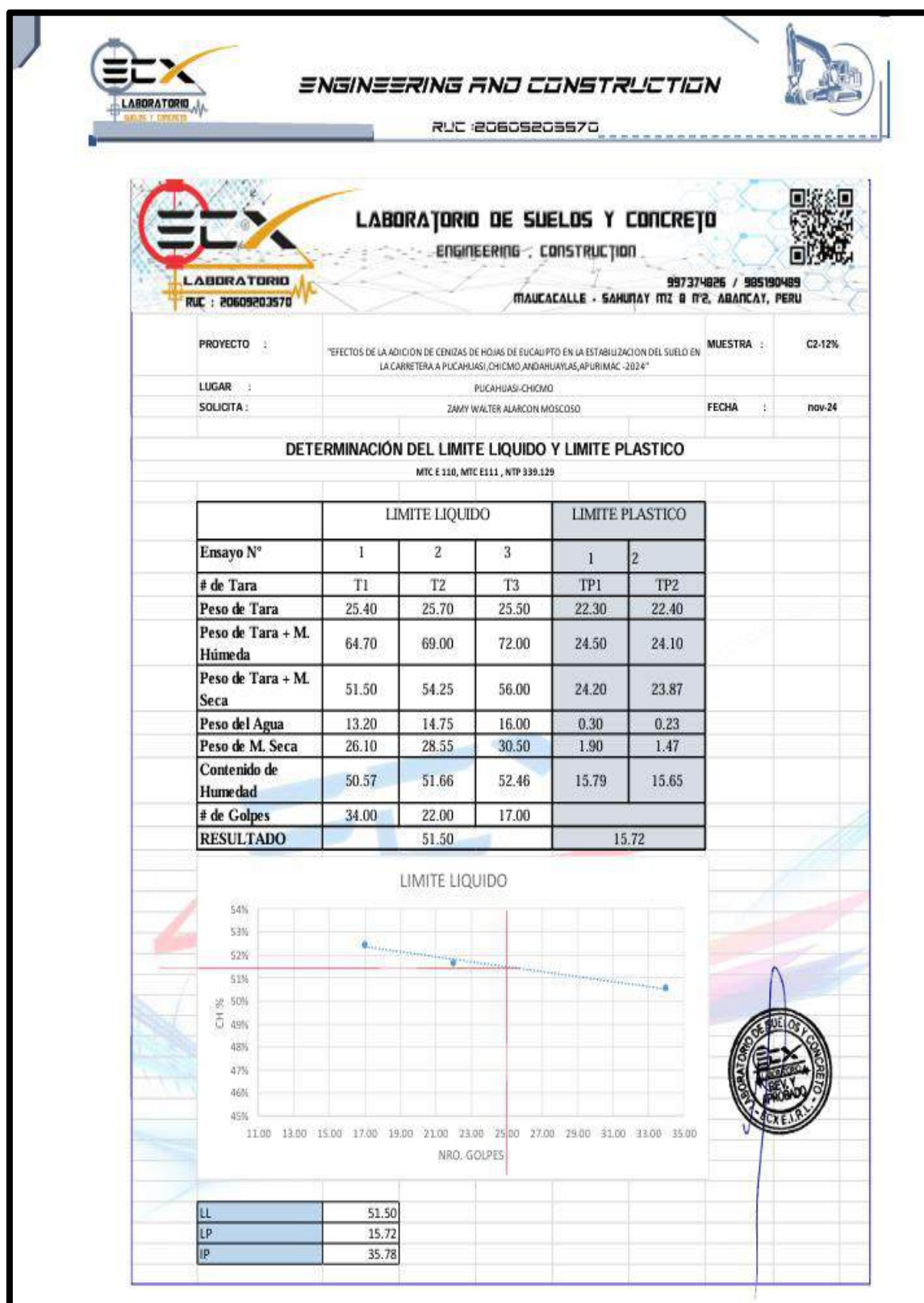


Figura 58 — ASTM D4318 Determinación del Límite Líquido y Límite Plástico de C-2 - 12%CHE

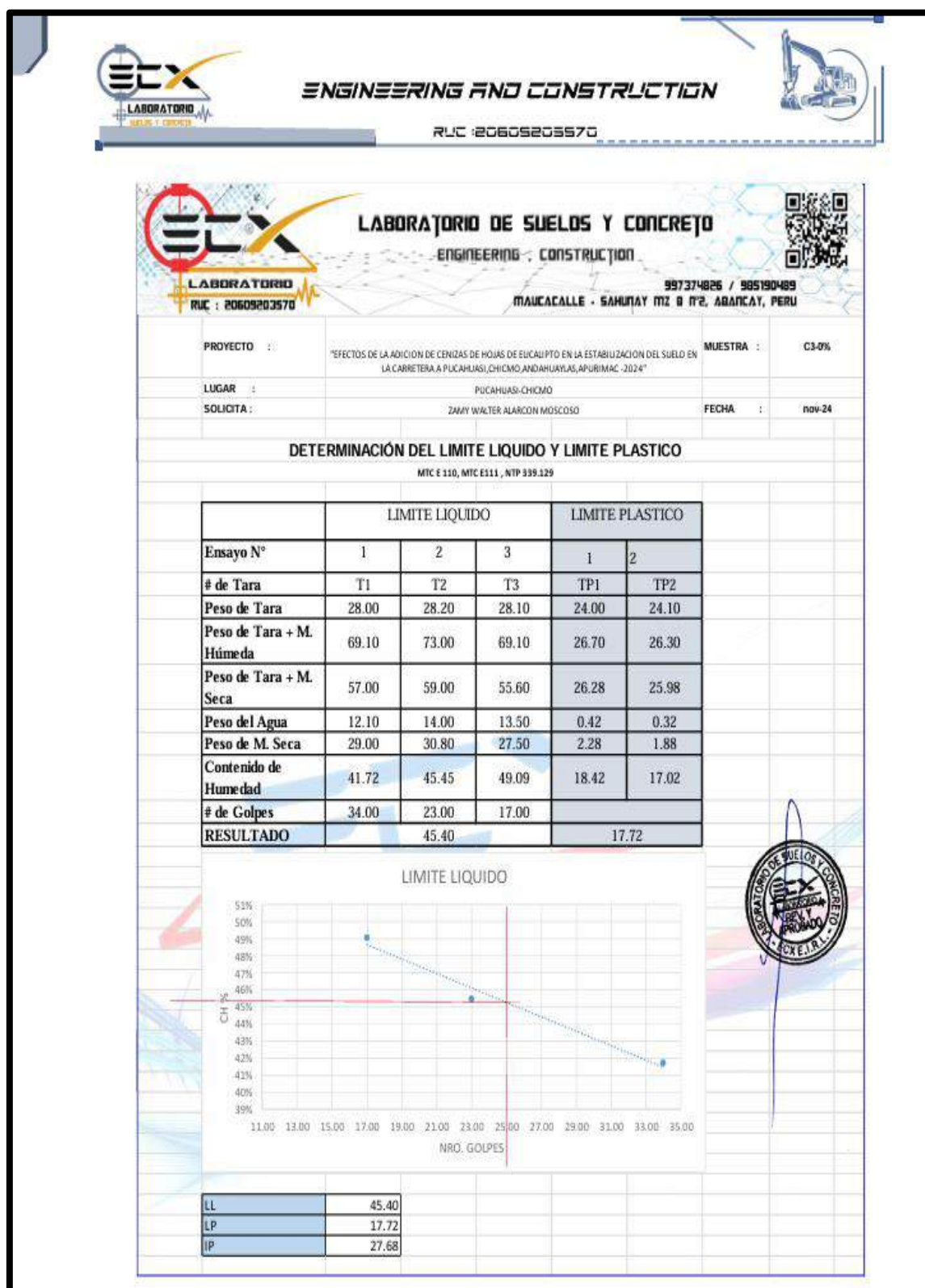


Figura 59 — ASTM D4318 Determinación del Límite Líquido y Límite Plástico de C-3 - 0%CHE

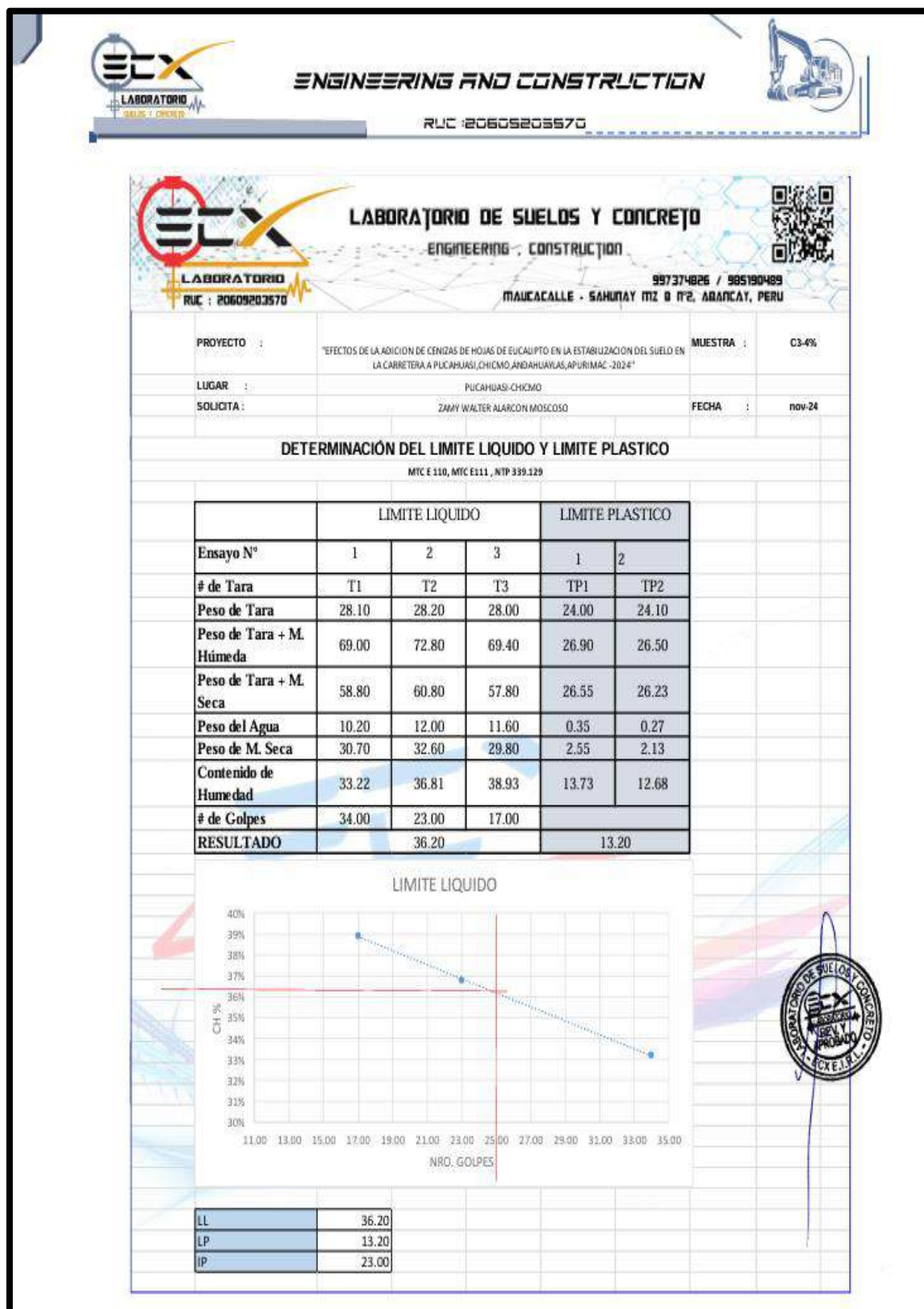


Figura 60 — ASTM D4318 Determinación del Límite Líquido y Límite Plástico de C-3 - 4%CHE

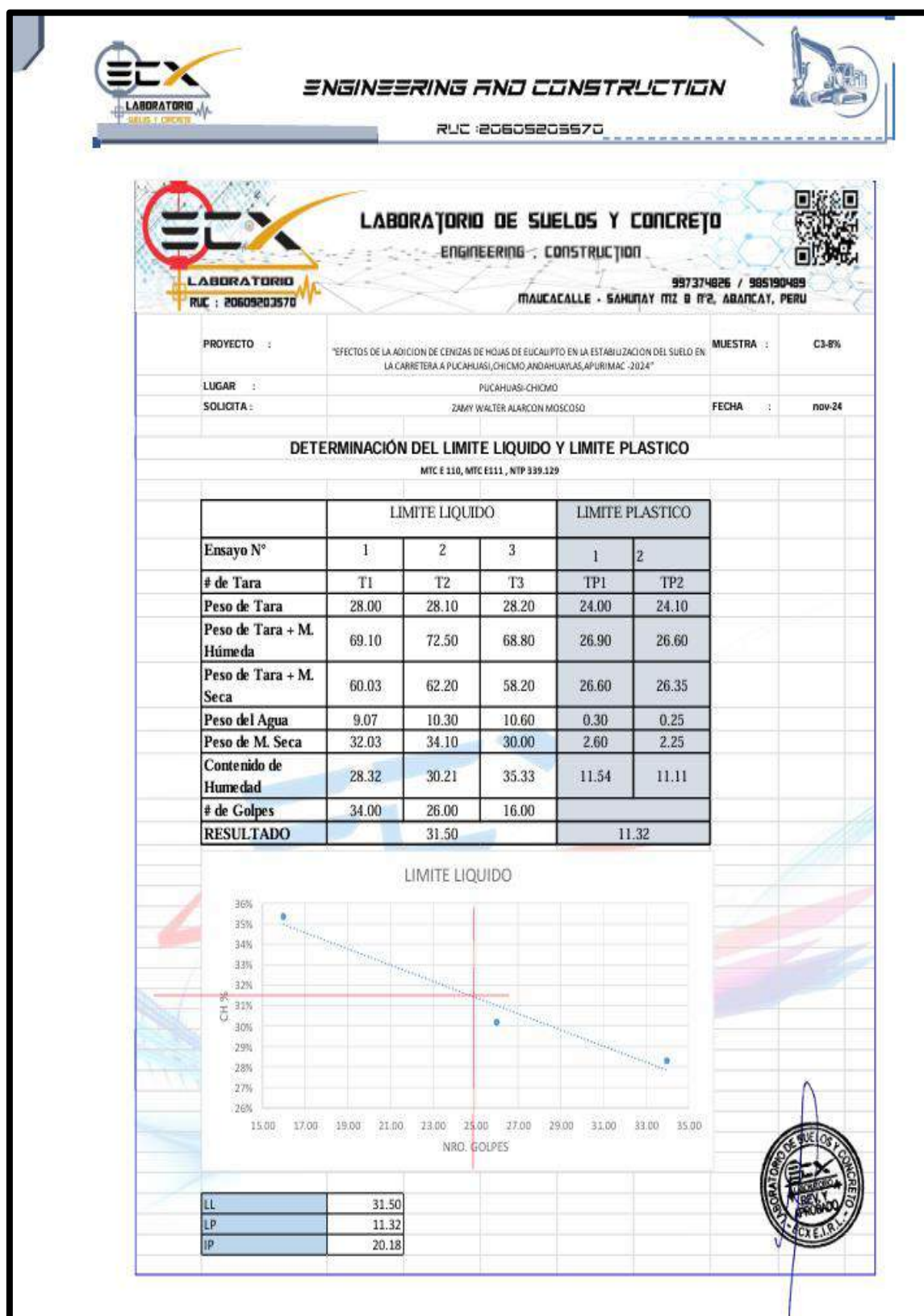


Figura 61 — ASTM D4318 Determinación del Límite Líquido y Límite Plástico de C-3 + 8%CHE

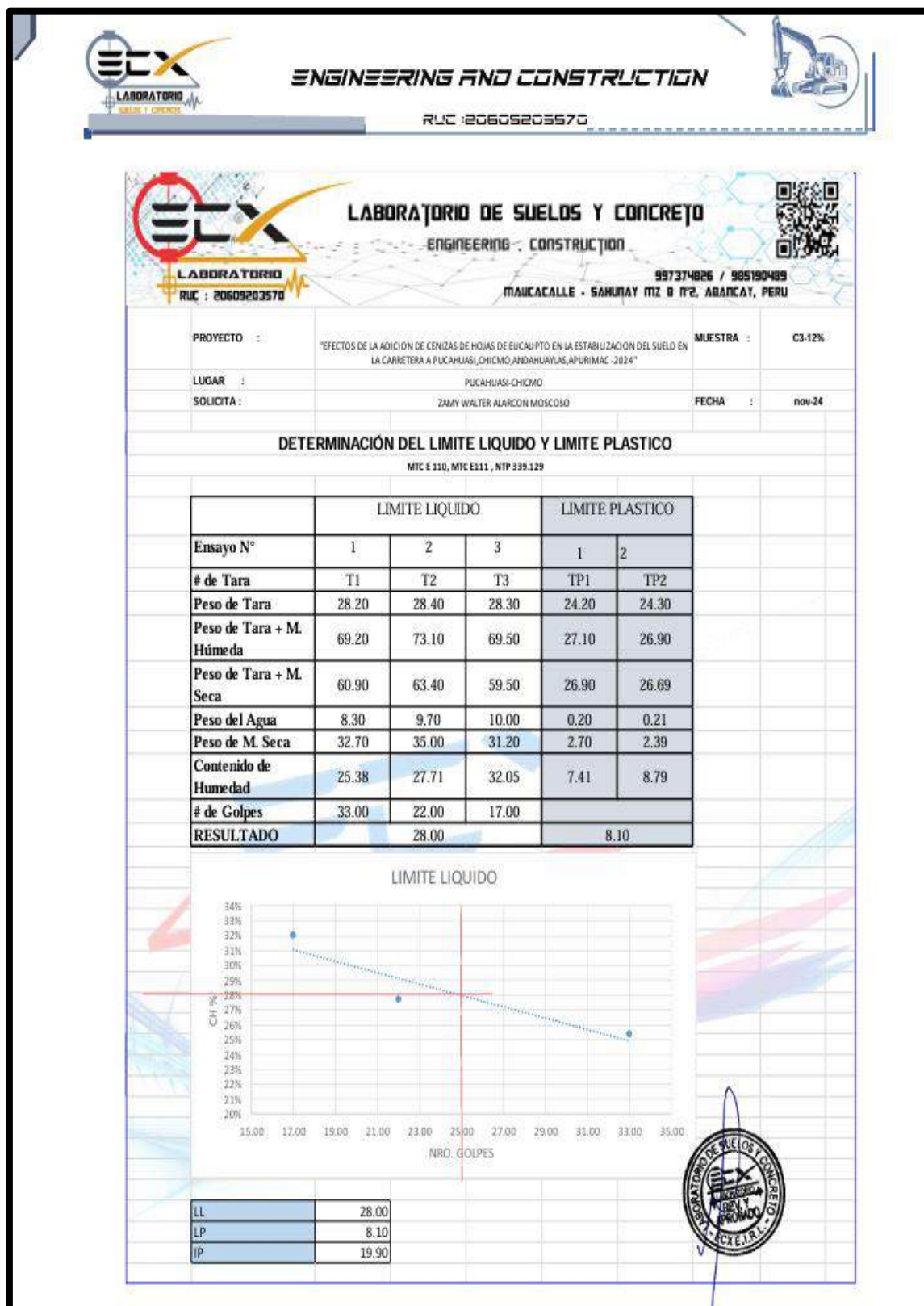


Figura 62 — ASTM D4318 Determinación del Límite Líquido y Límite Plástico de C-3 + 12%CHE

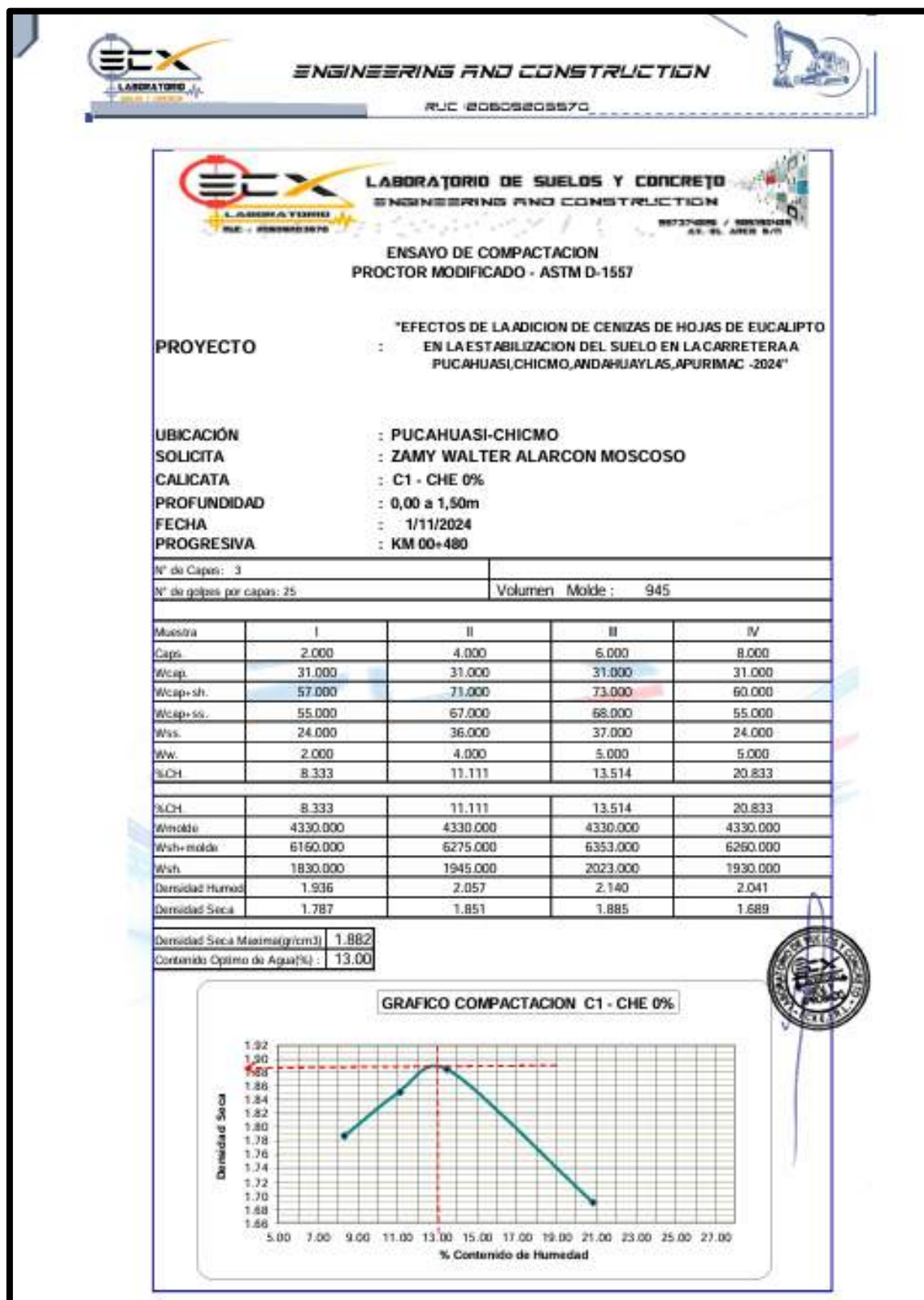


Figura 63 — ASTM D-1557 Ensayo de Compactación, Proctor Modificado C-1 + 0% CHE

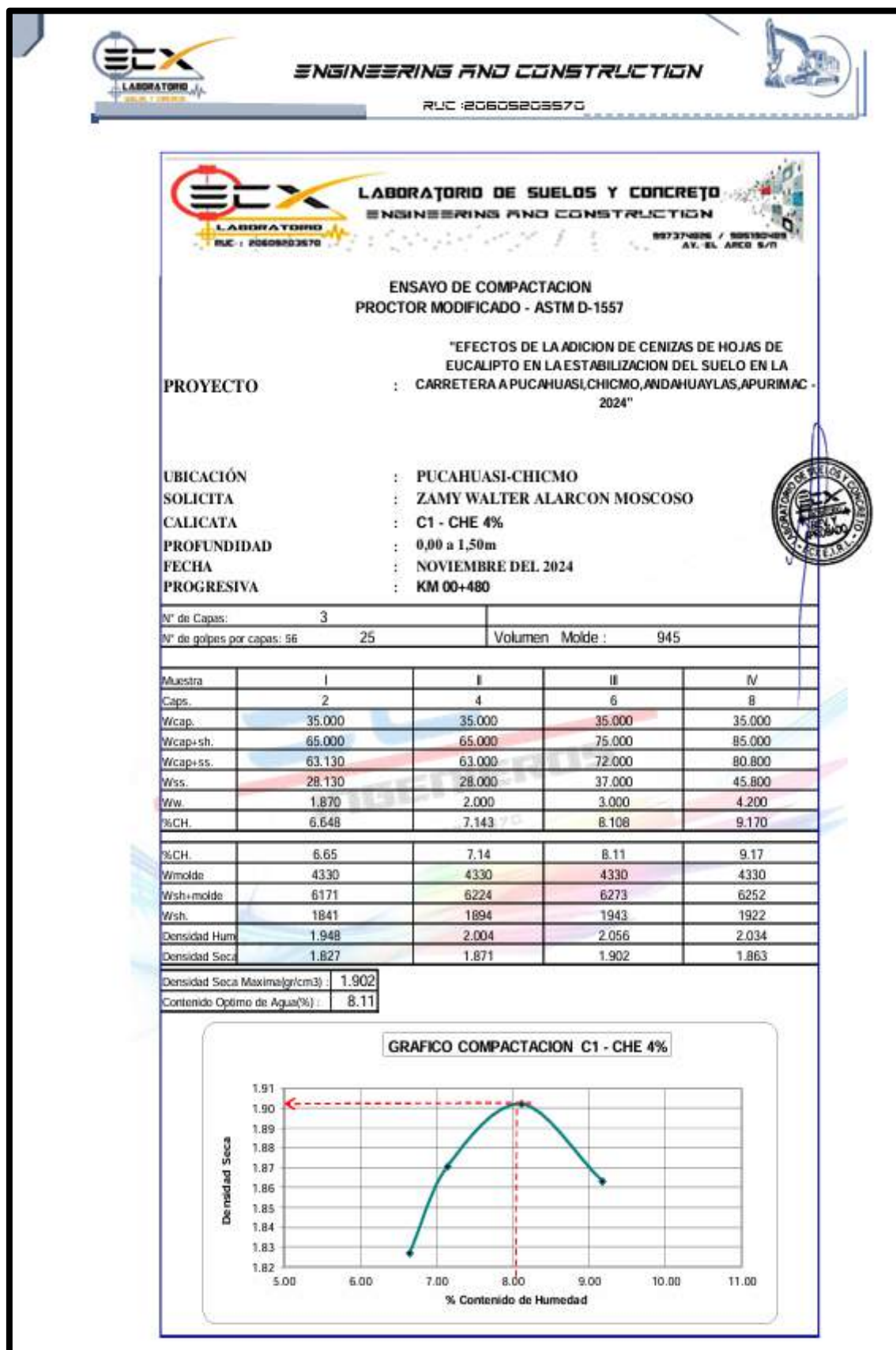


Figura 64 — ASTM D-1557 Ensayo de Compactación, Proctor Modificado C-1 + 4% CHE

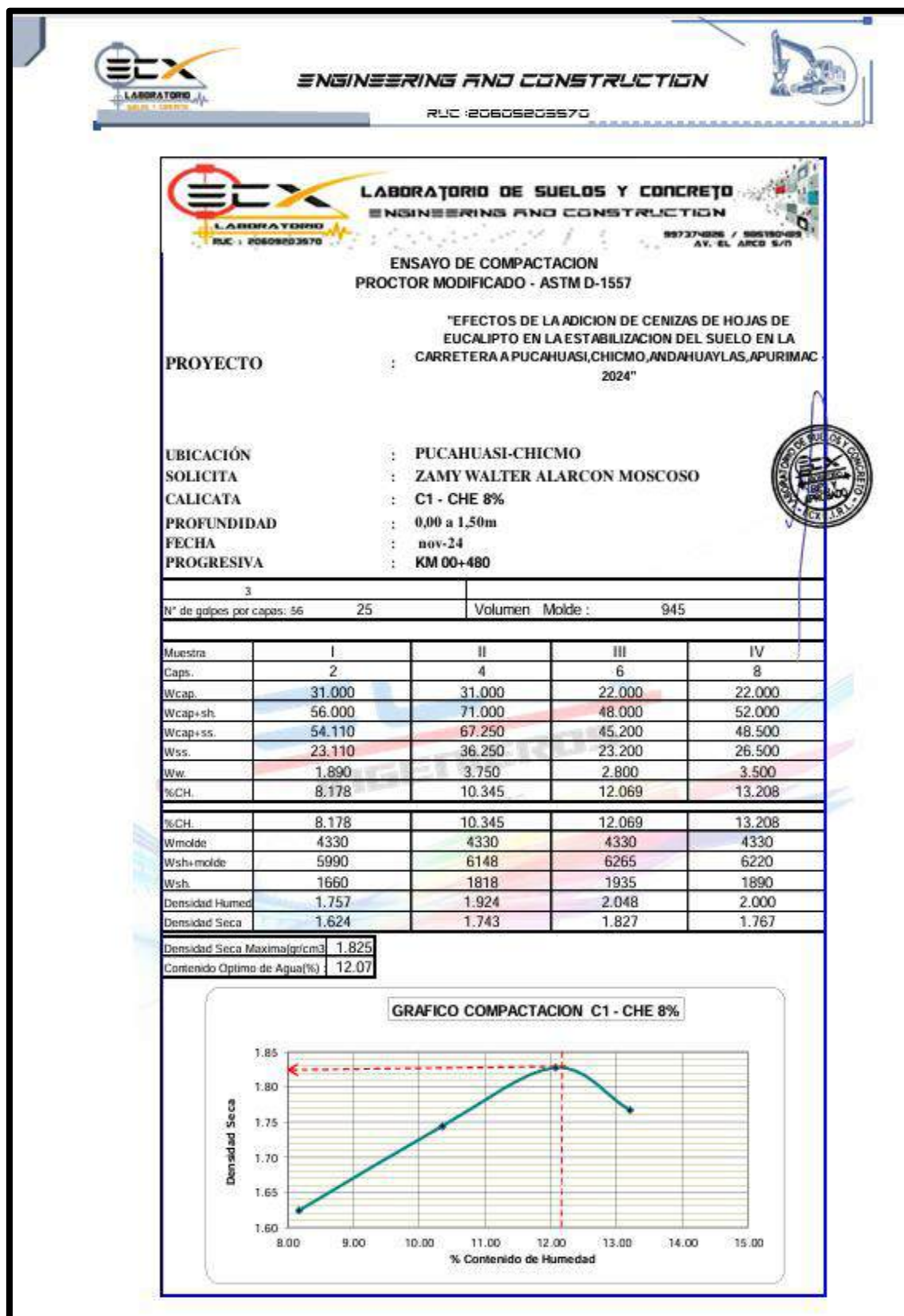


Figura 65 — ASTM D-1557 Ensayo de Compactación, Proctor Modificado C-1 + 8%CHE

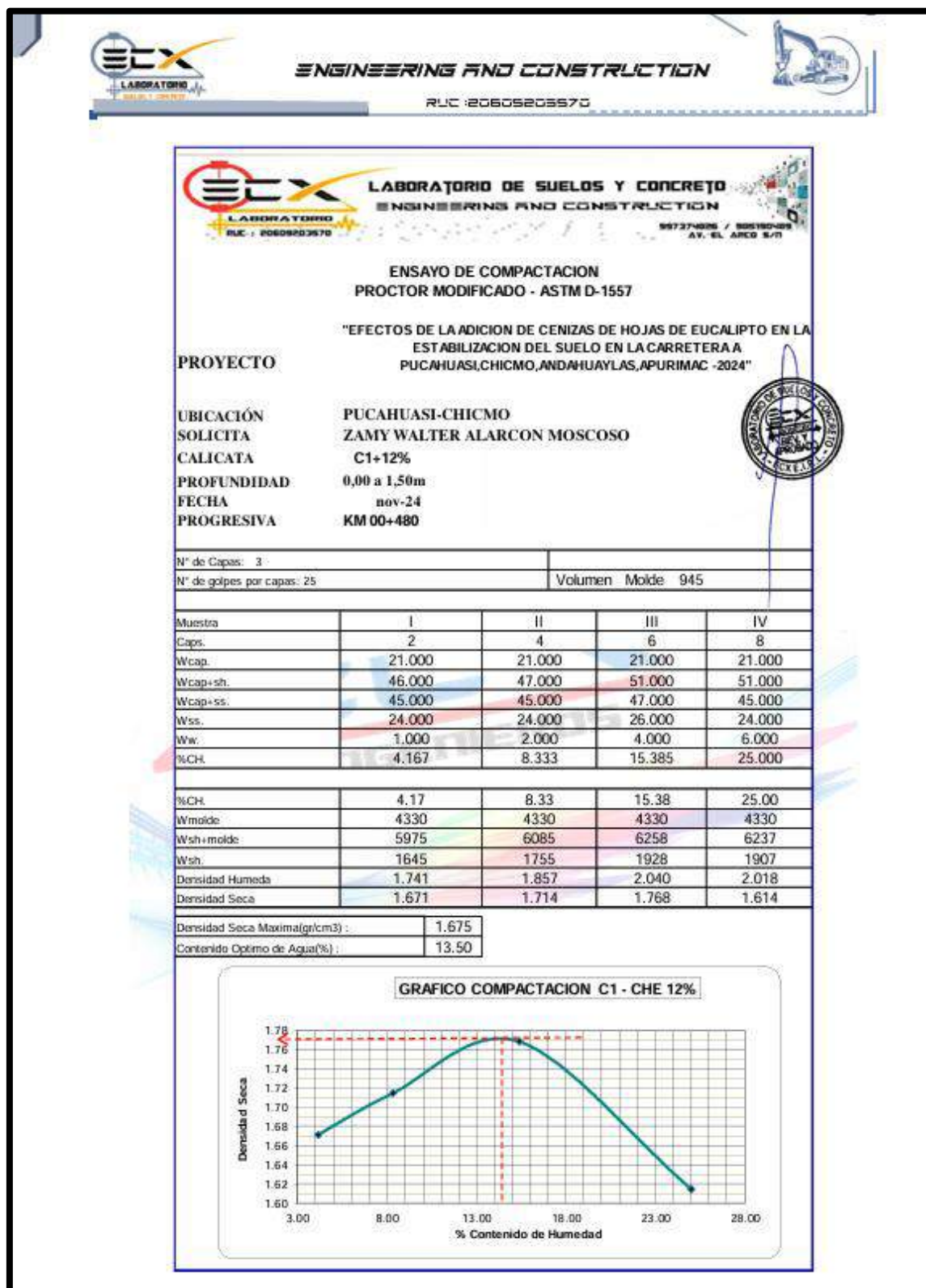


Figura 66 — ASTM D-1557 Ensayo de Compactación, Proctor Modificado C-1 + 12%CHE

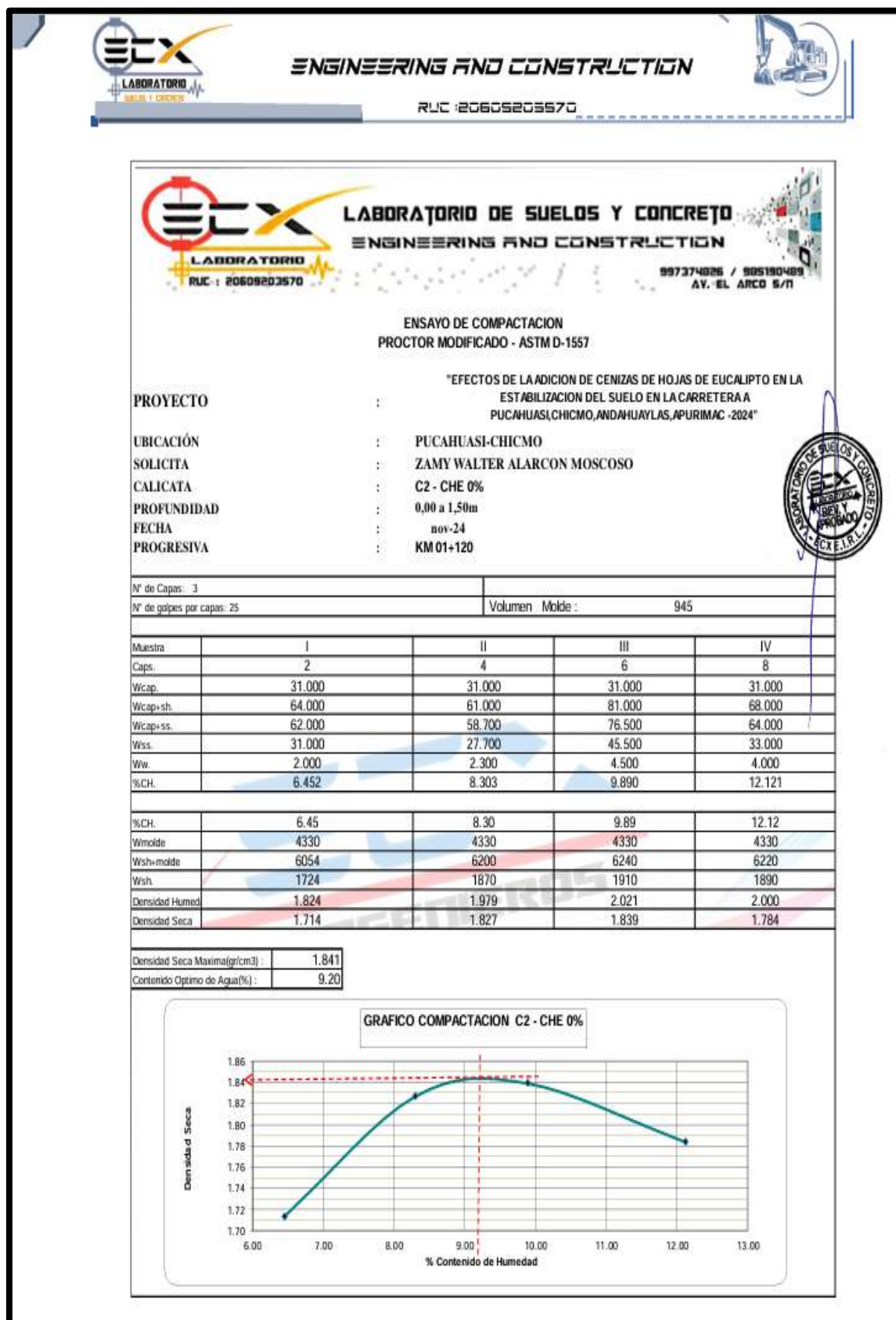


Figura 67 — ASTM D-1557 Ensayo de Compactación, Proctor Modificado C-2 + 0%CHE

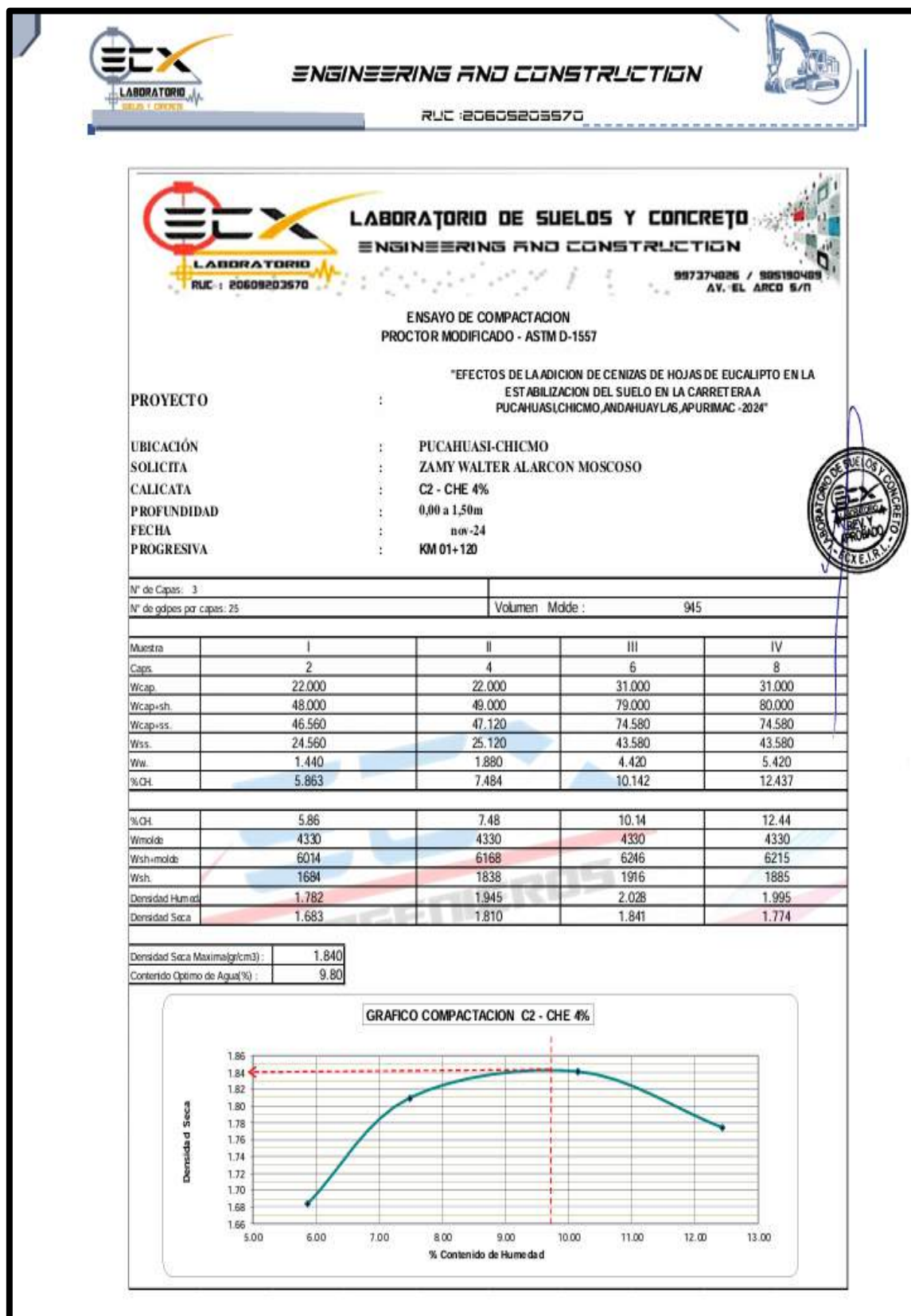


Figura 68 — ASTM D-1557 Ensayo de Compactación, Proctor Modificado C-2 + 4%CHE

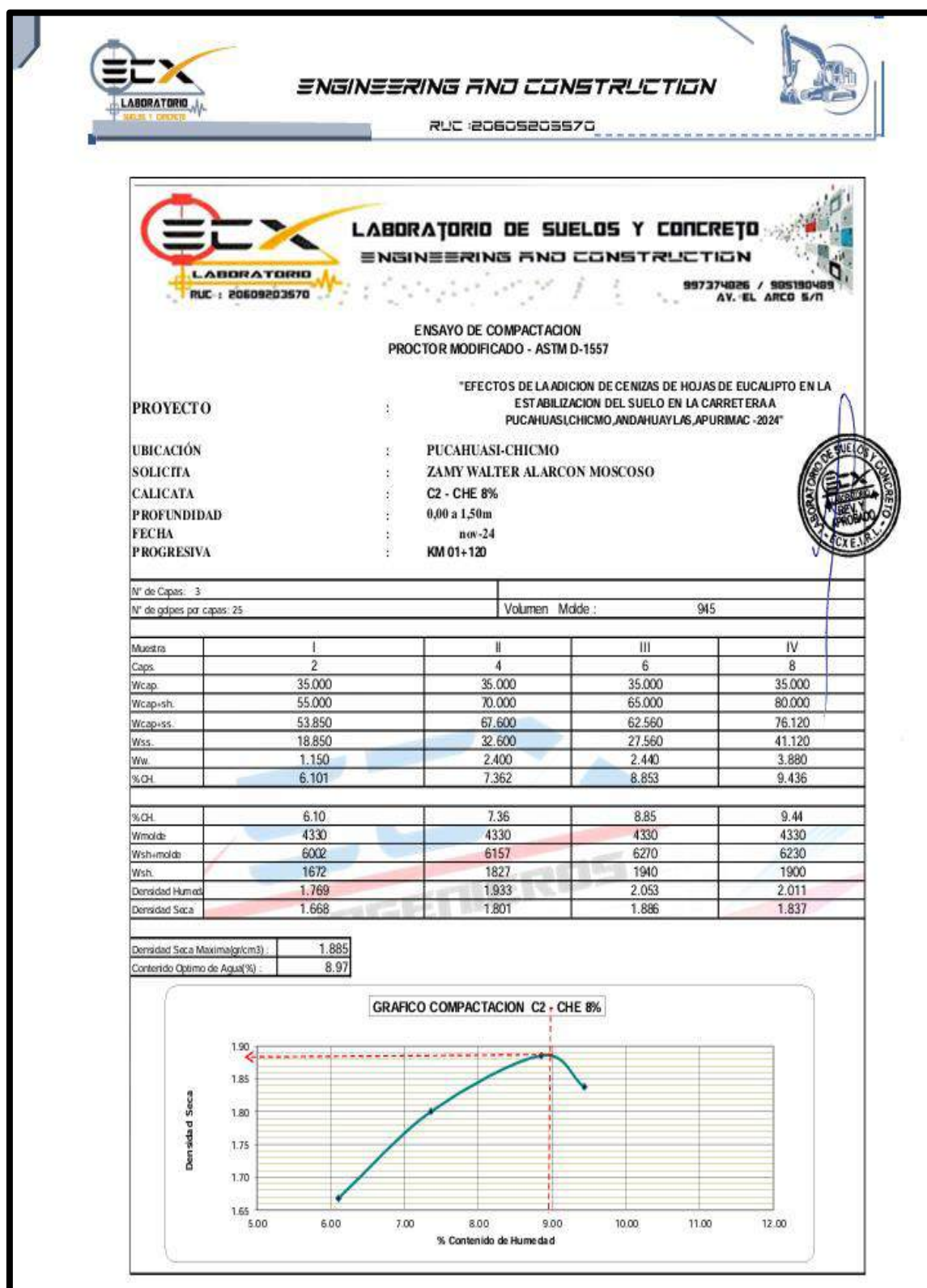


Figura 69 — ASTM D-1557 Ensayo de Compactación, Proctor Modificado C-2 + 8%CHE

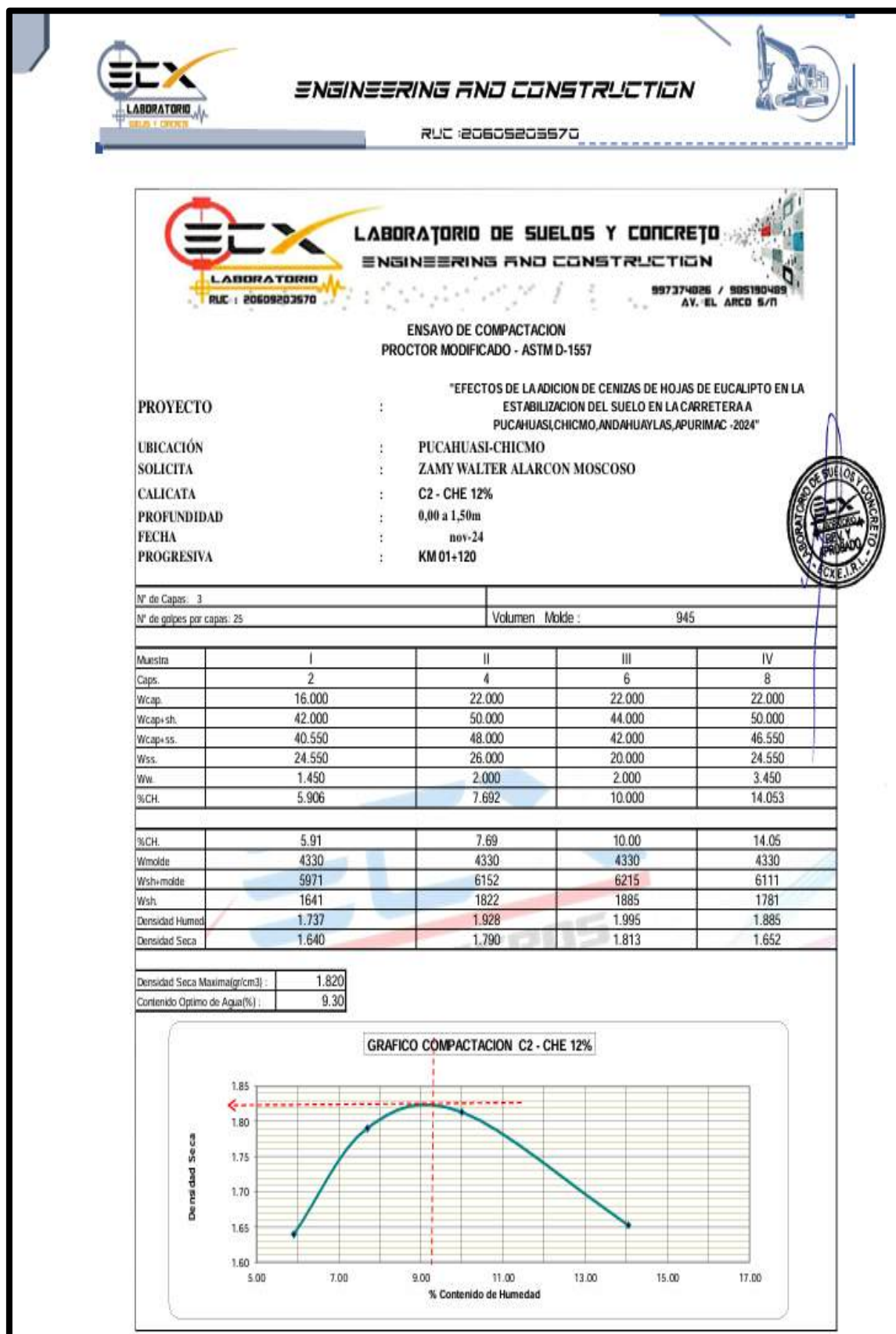


Figura 70 — ASTM D-1557 Ensayo de Compactación, Proctor Modificado C-2 + 12%CHE

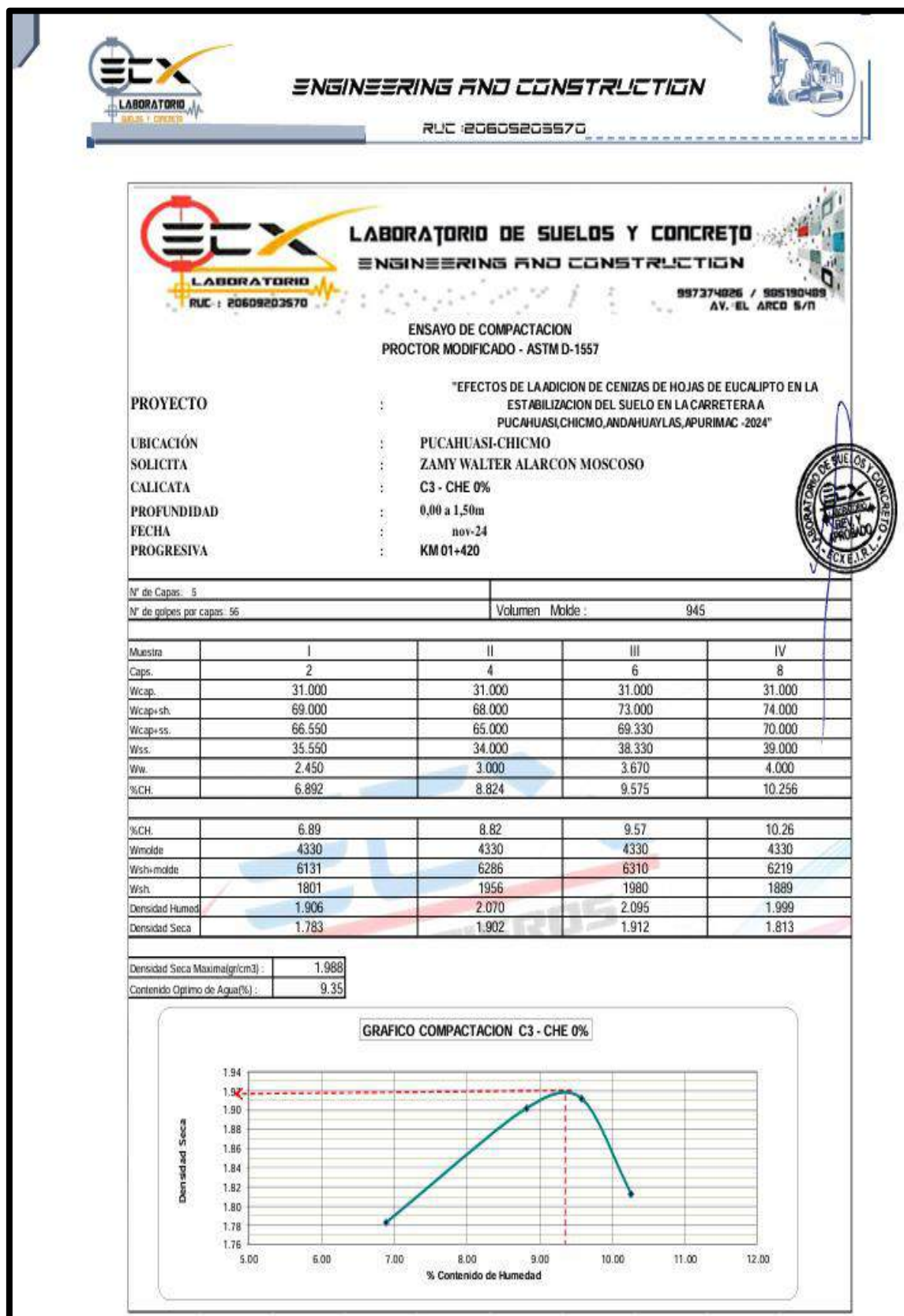


Figura 71 — ASTM D-1557 Ensayo de Compactación, Proctor Modificado C-3 + 0%CHE

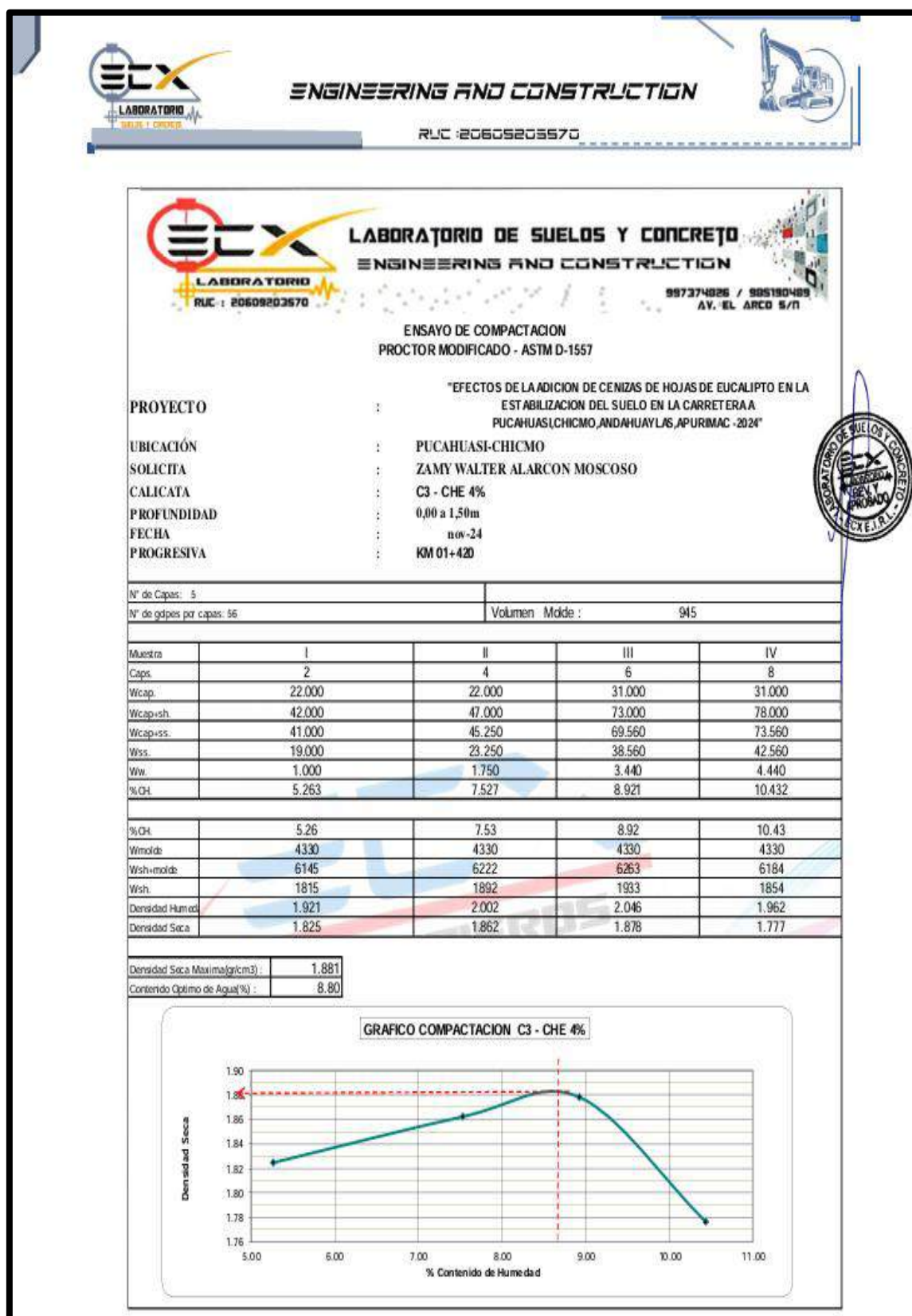


Figura 72 — ASTM D-1557 Ensayo de Compactación, Proctor Modificado C-3 + 4%CHE

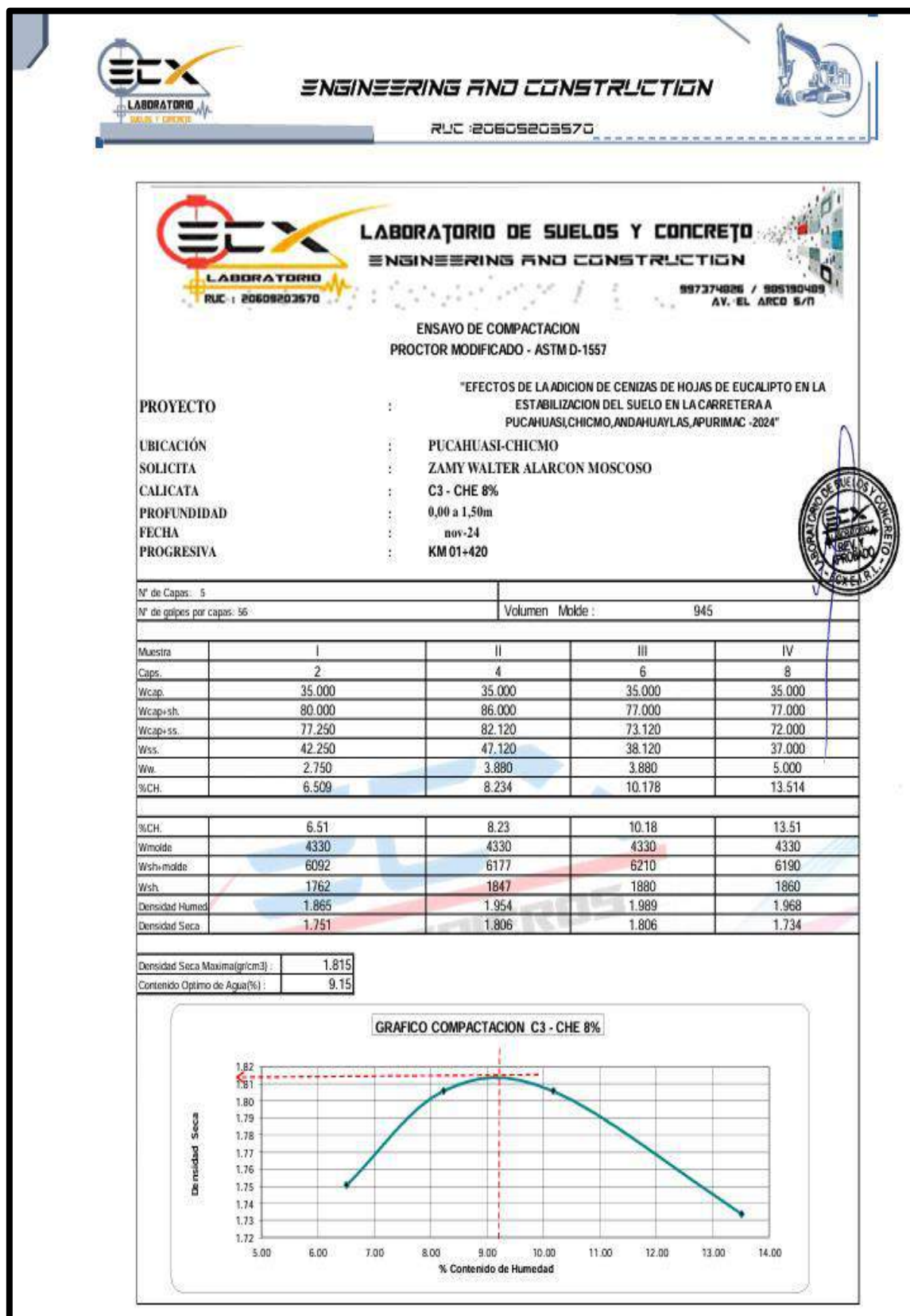


Figura 73 — ASTM D-1557 Ensayo de Compactación, Proctor Modificado C-3 + 8%CHE

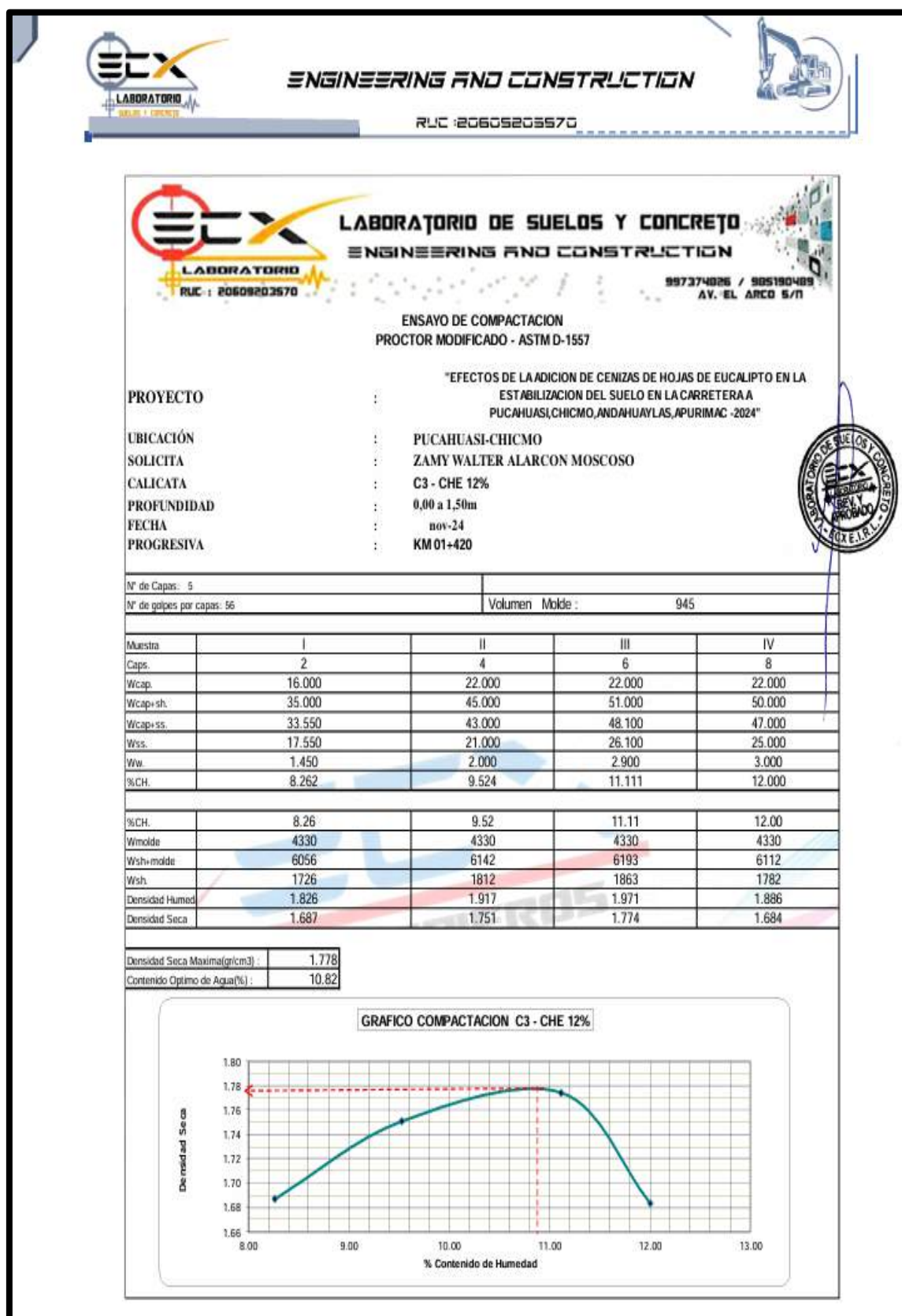


Figura 74 — ASTM D-1557 Ensayo de Compactación, Proctor Modificado C-3 + 12%CHE

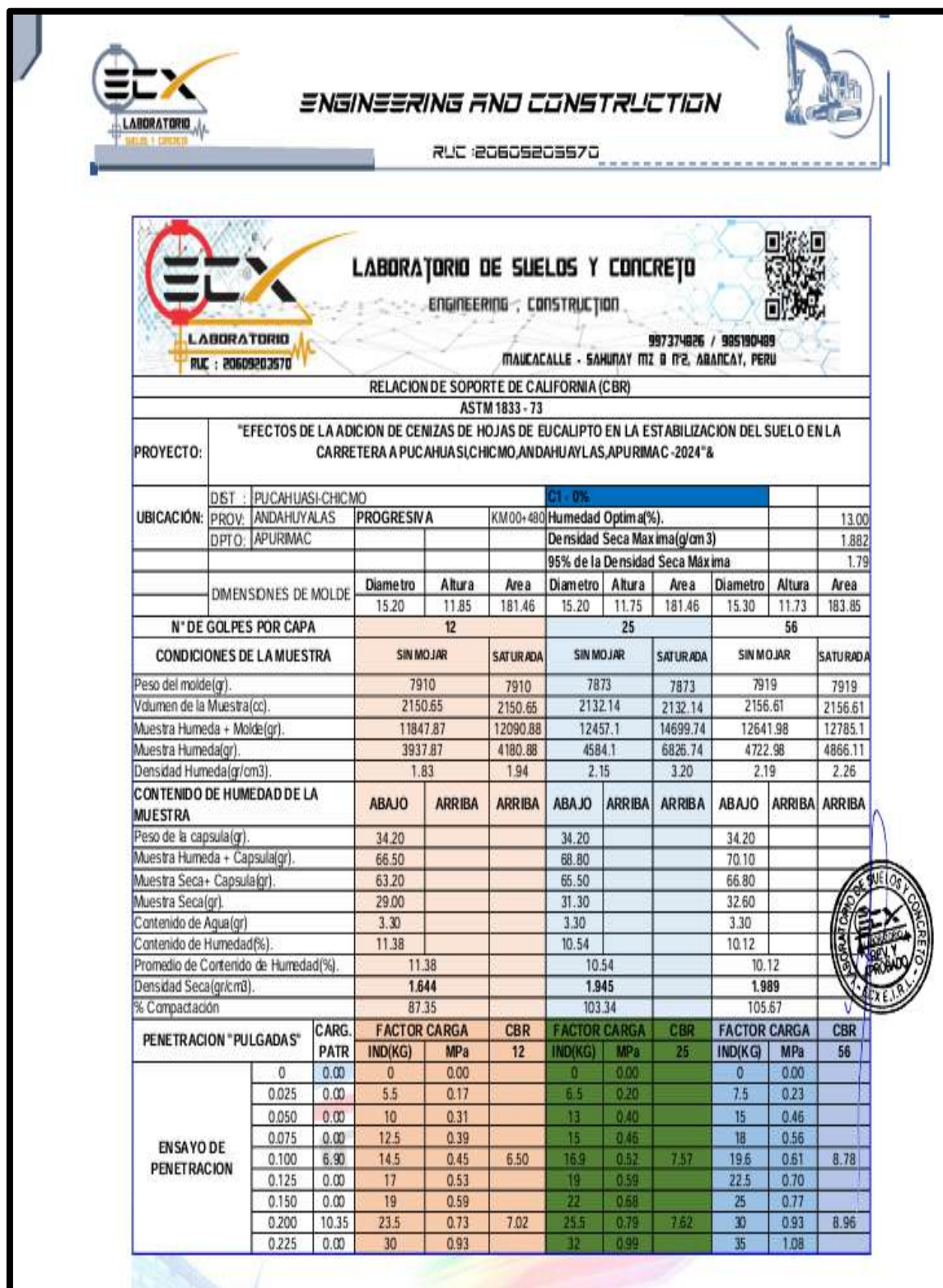


Figura 75 — ASTM D 1883 Relación de soporte de California(CBR) C-1 + 0%CHE

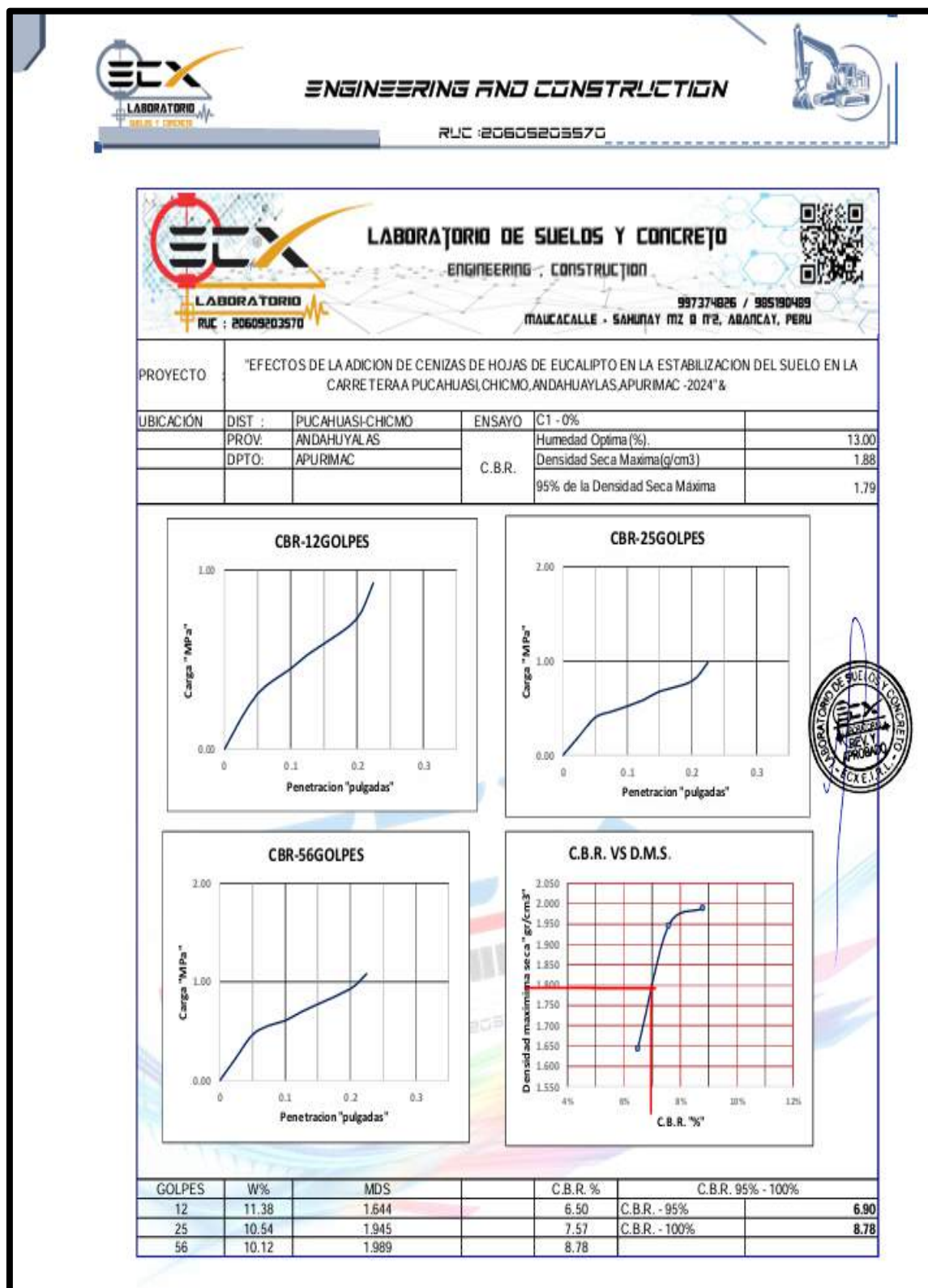


Figura 76 — ASTM D 1883 Graficas por golpes del soporte de California(CBR) C-1 + 0%CHE

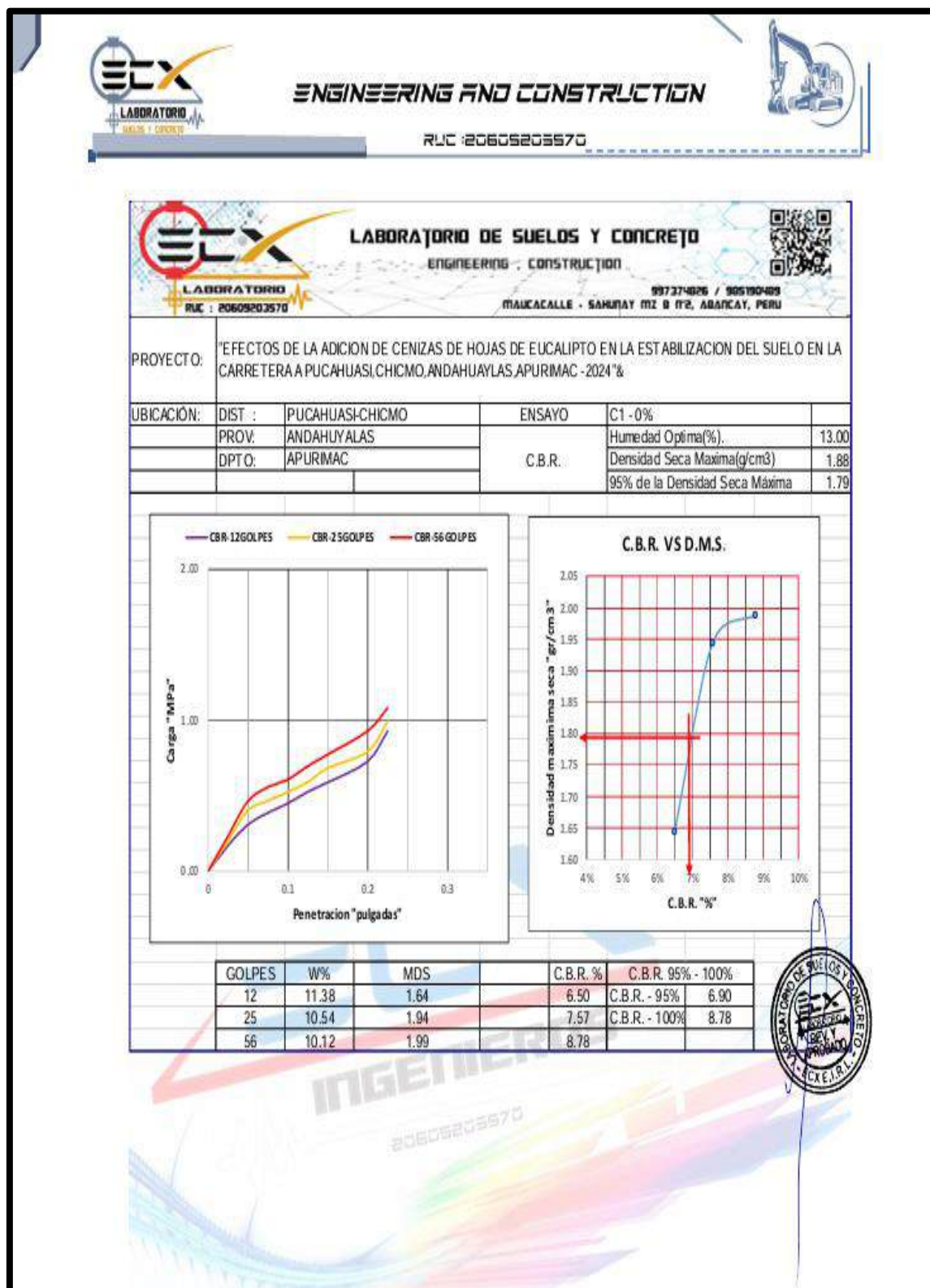


Figura 77 — ASTM D 1883 Graficas de la Relación por golpes del soporte de California(CBR) C-1 + 0%CHE

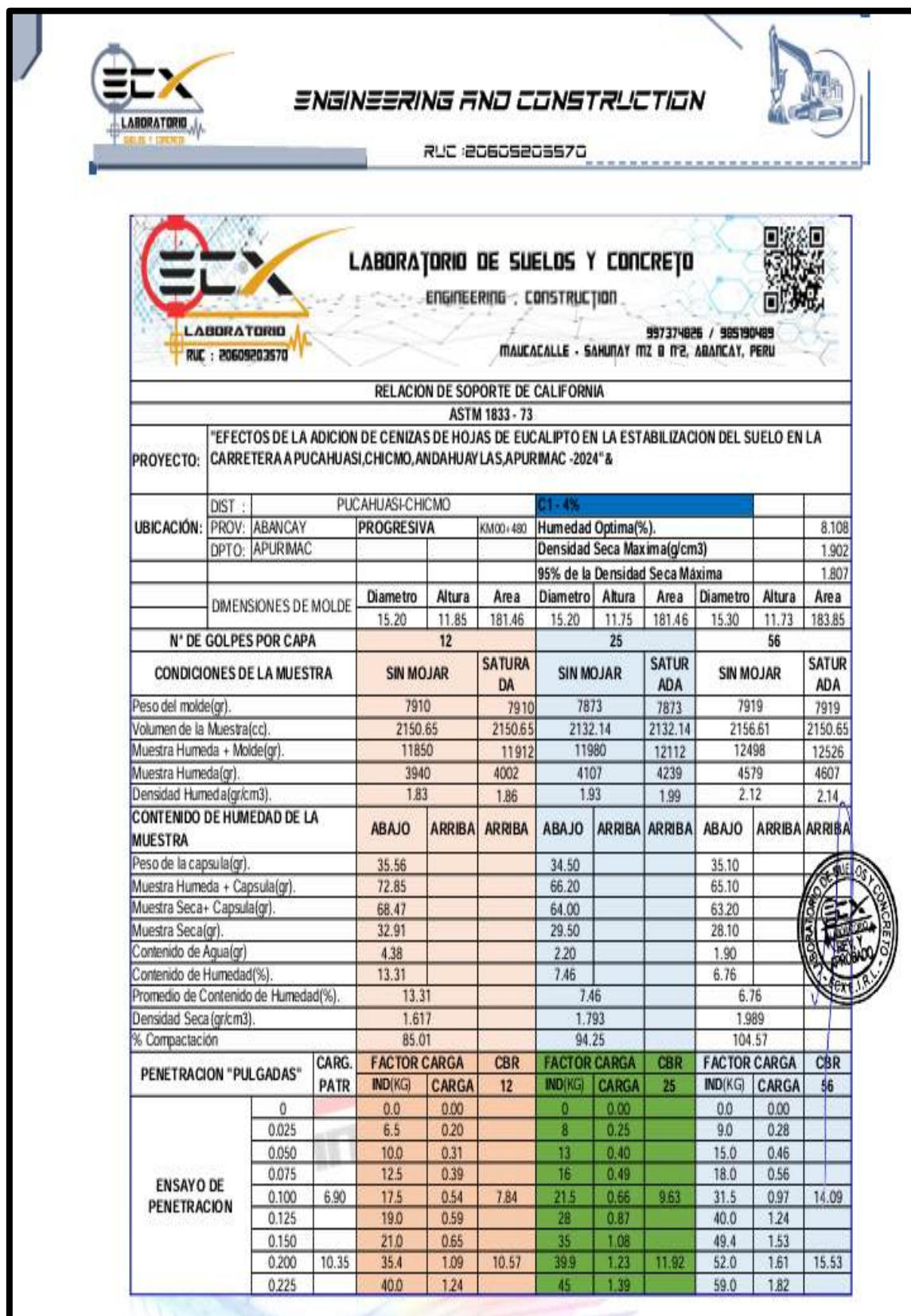


Figura 78 — ASTM D 1883 Relación de soporte de California(CBR) C-1 + 4%CHE

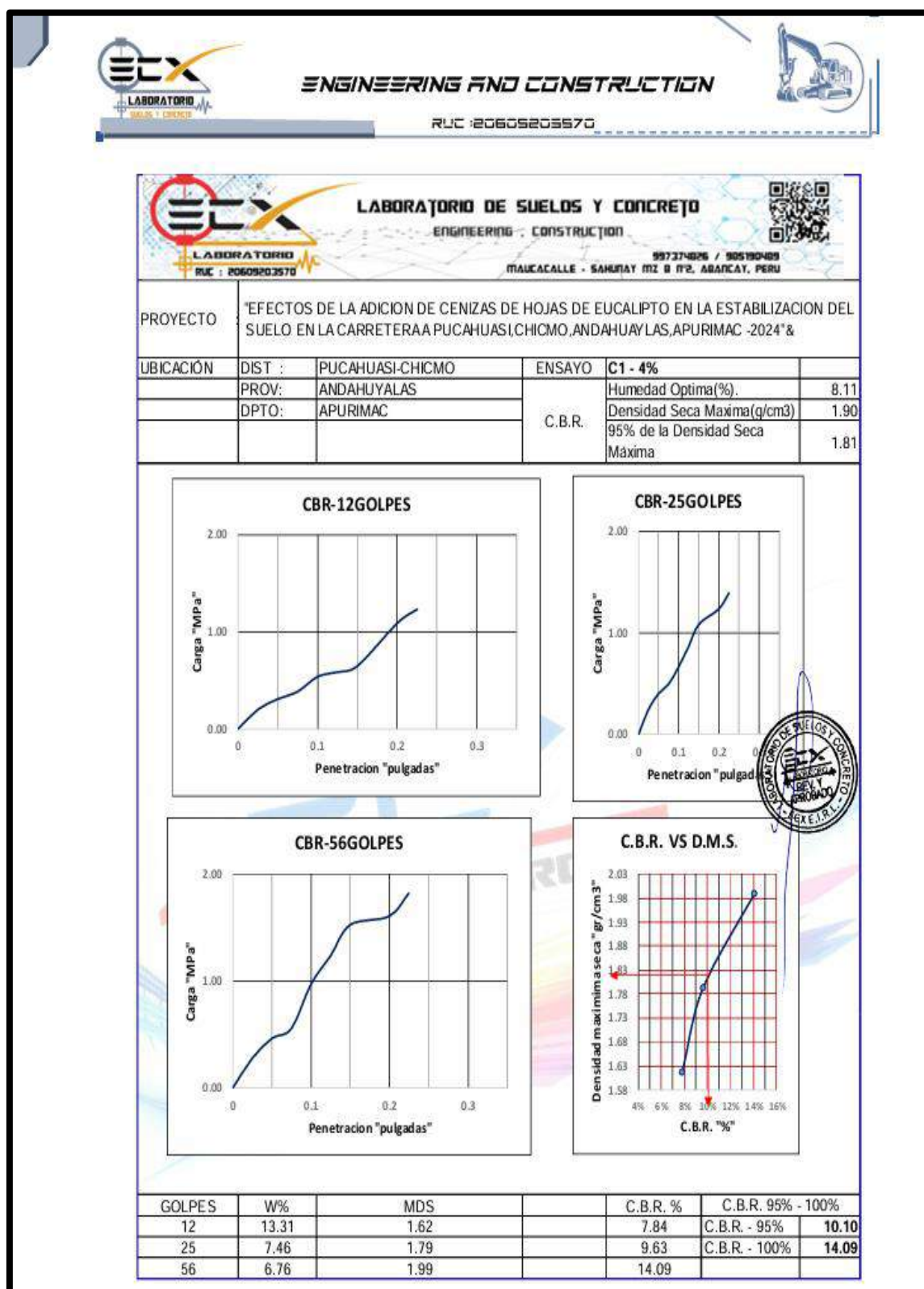


Figura 79 — ASTM D 1883 Graficas por golpes del soporte de California(CBR) C-1 + 4%CHE

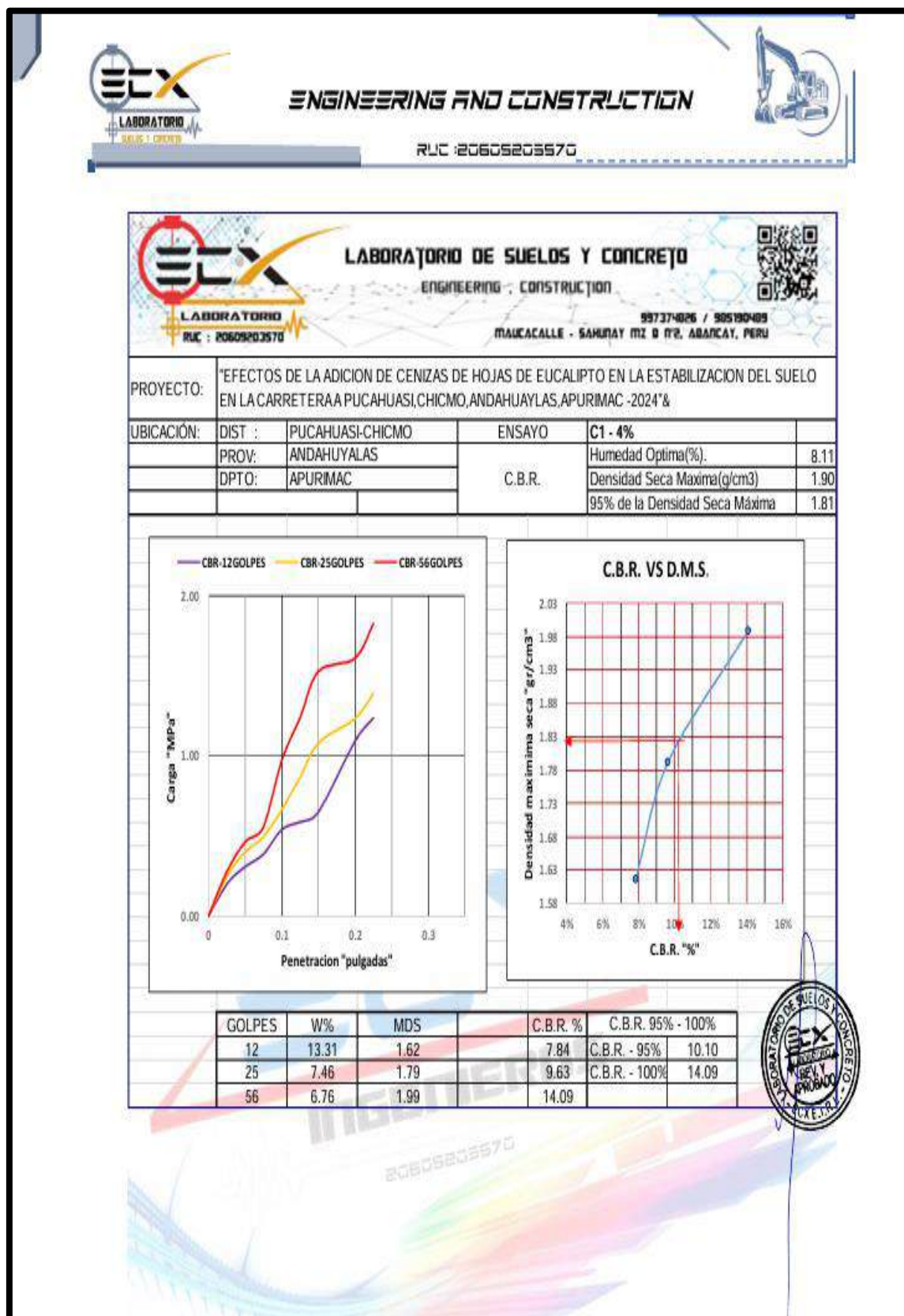


Figura 80 — ASTM D 1883 Graficas de la Relación por golpes del soporte de California(CBR) C-1 + 4%CHE

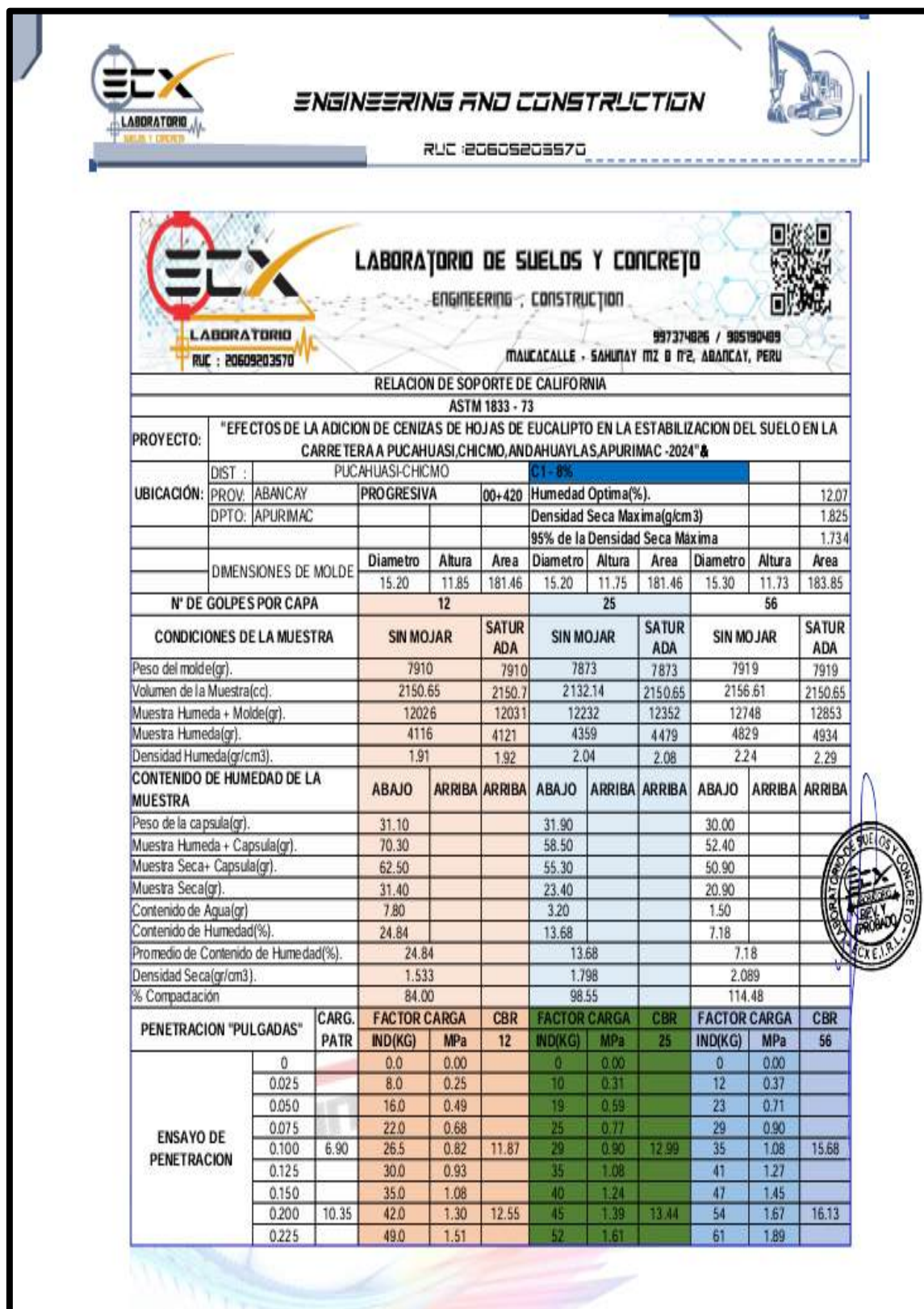


Figura 81 — ASTM D 1883 Relación de soporte de California(CBR) C-1 + 8%CHE

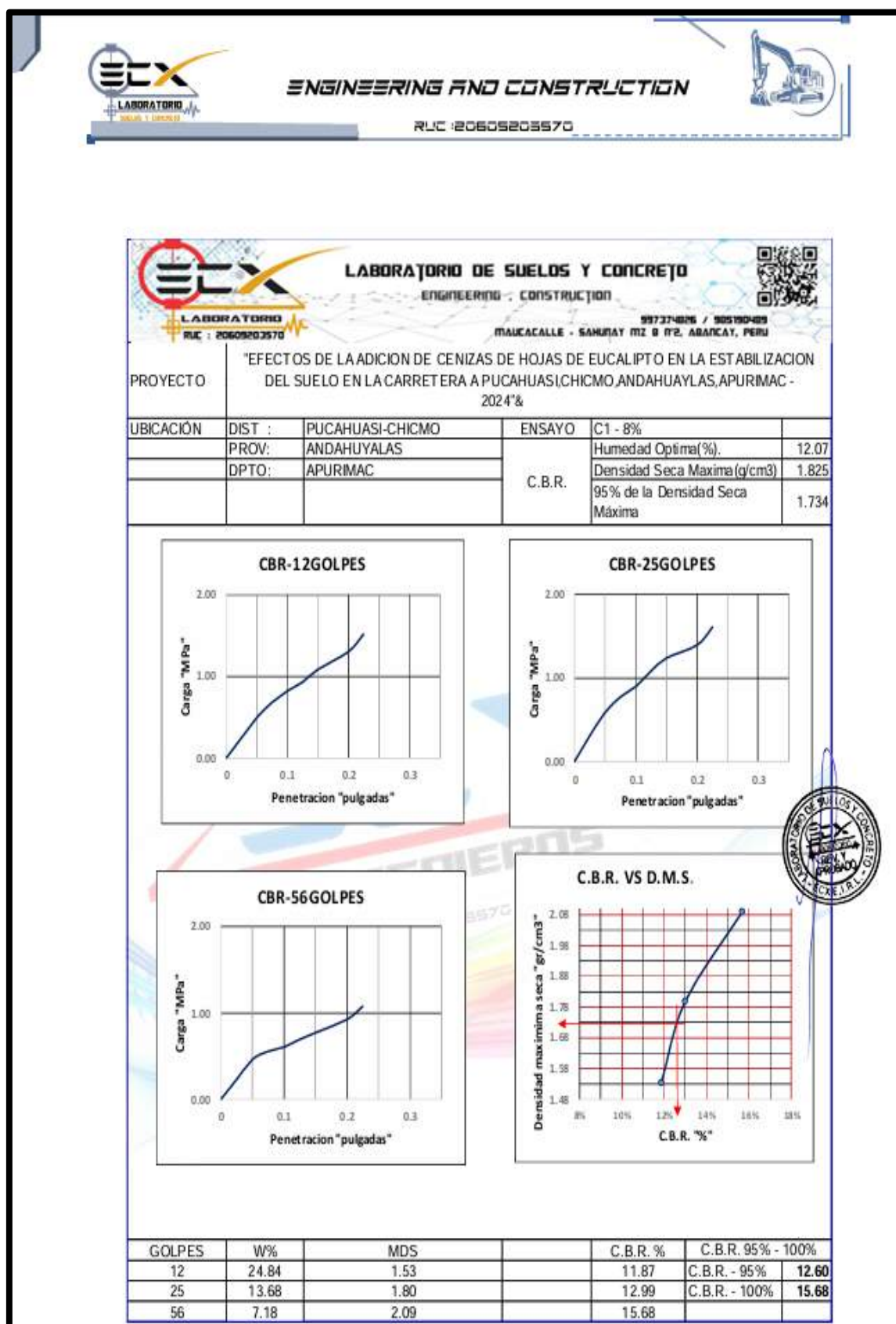


Figura 82 — ASTM D 1883 Graficas por golpes del soporte de California(CBR) C-1 + 8%CHE

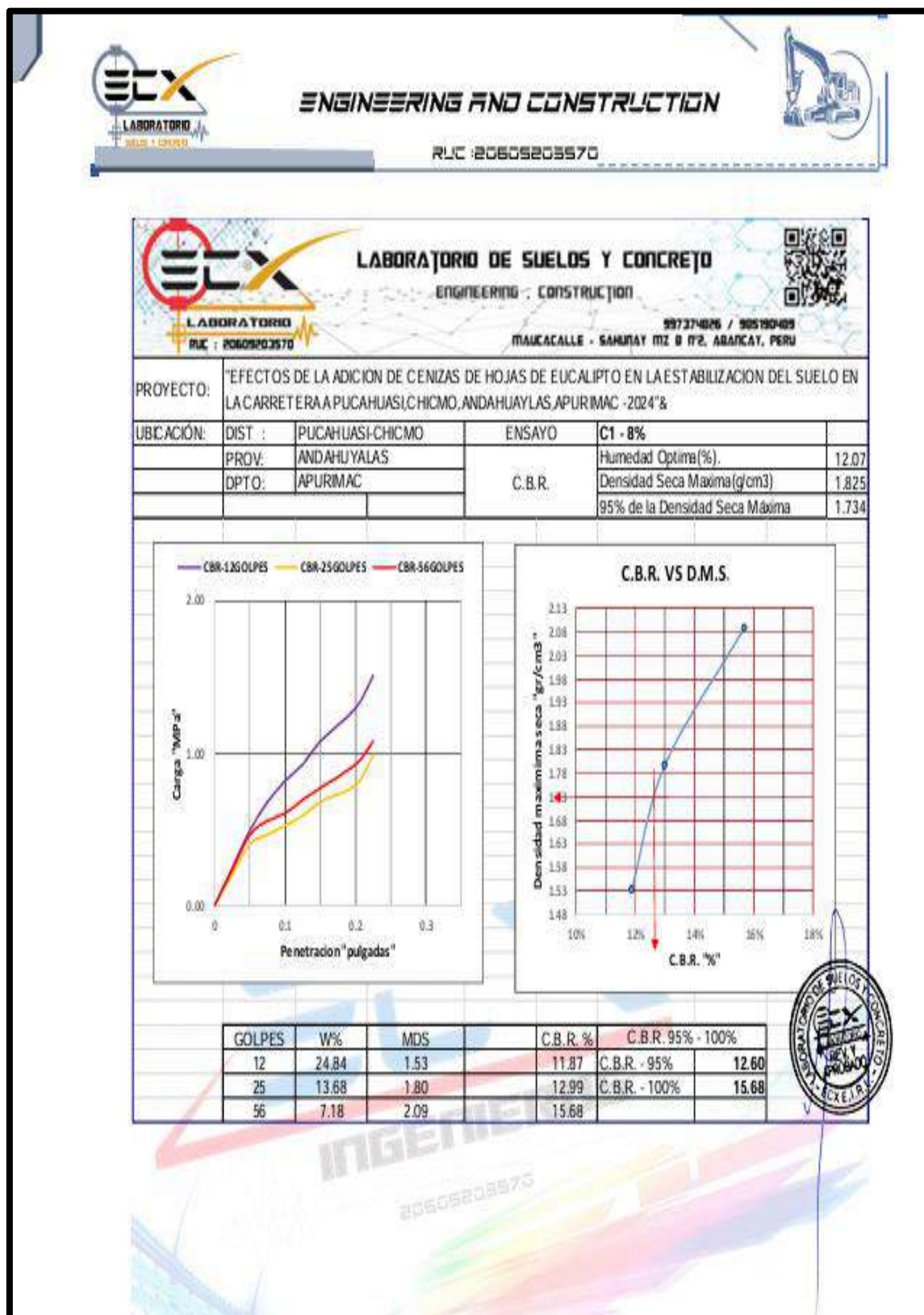


Figura 83 — ASTM D 1883 Graficas de la Relación por golpes del soporte de California(CBR) C-1 + 8%CHE

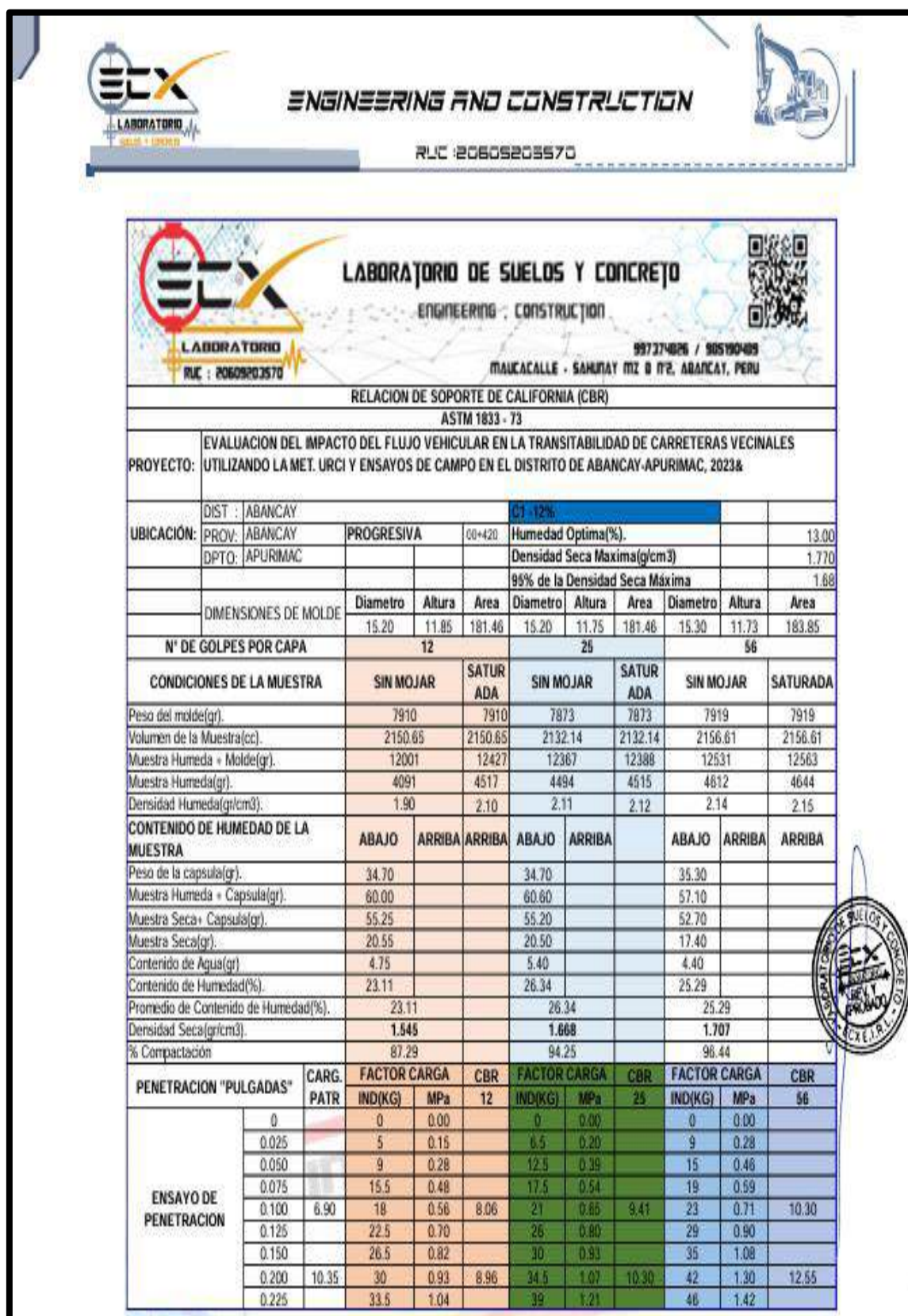


Figura 84 — ASTM D 1883 Relación de soporte de California(CBR) C-1 + 12%CHE

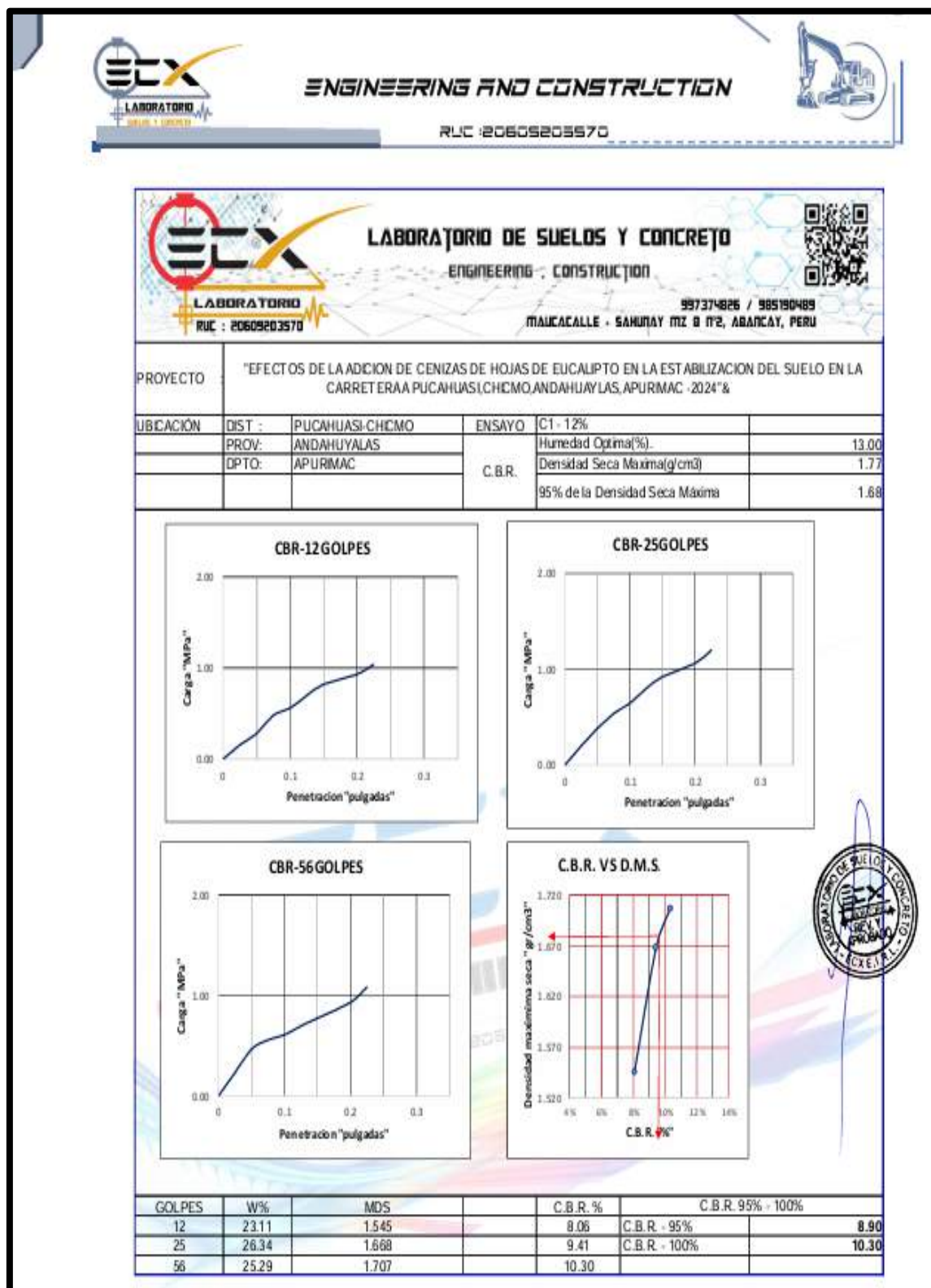


Figura 85 — ASTM D 1883 Graficas por golpes del soporte de California(CBR) C-1 + 12%CHE

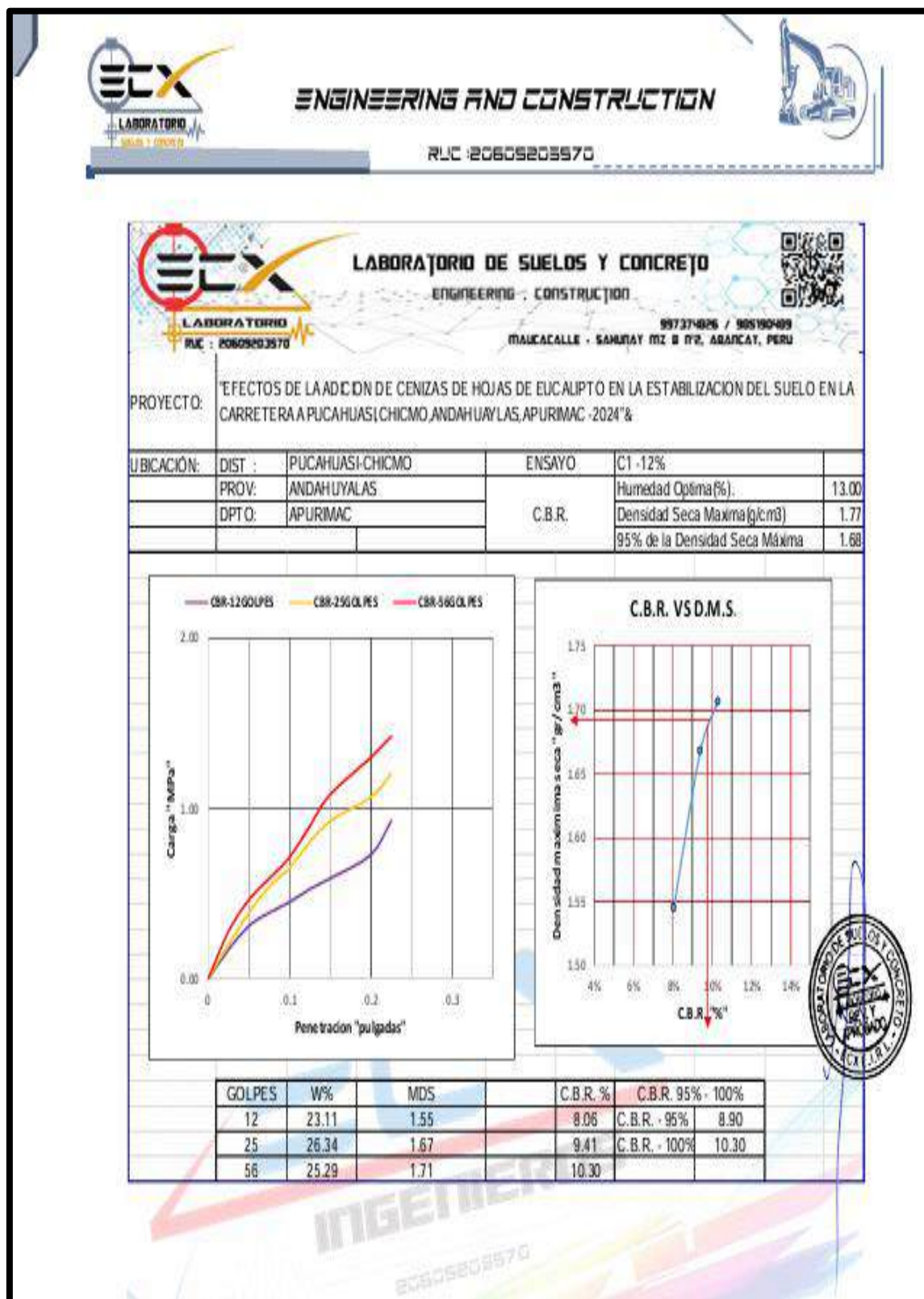


Figura 86 — ASTM D 1883 Graficas de la Relación por golpes del soporte de California(CBR) C-1 + 12%CHE

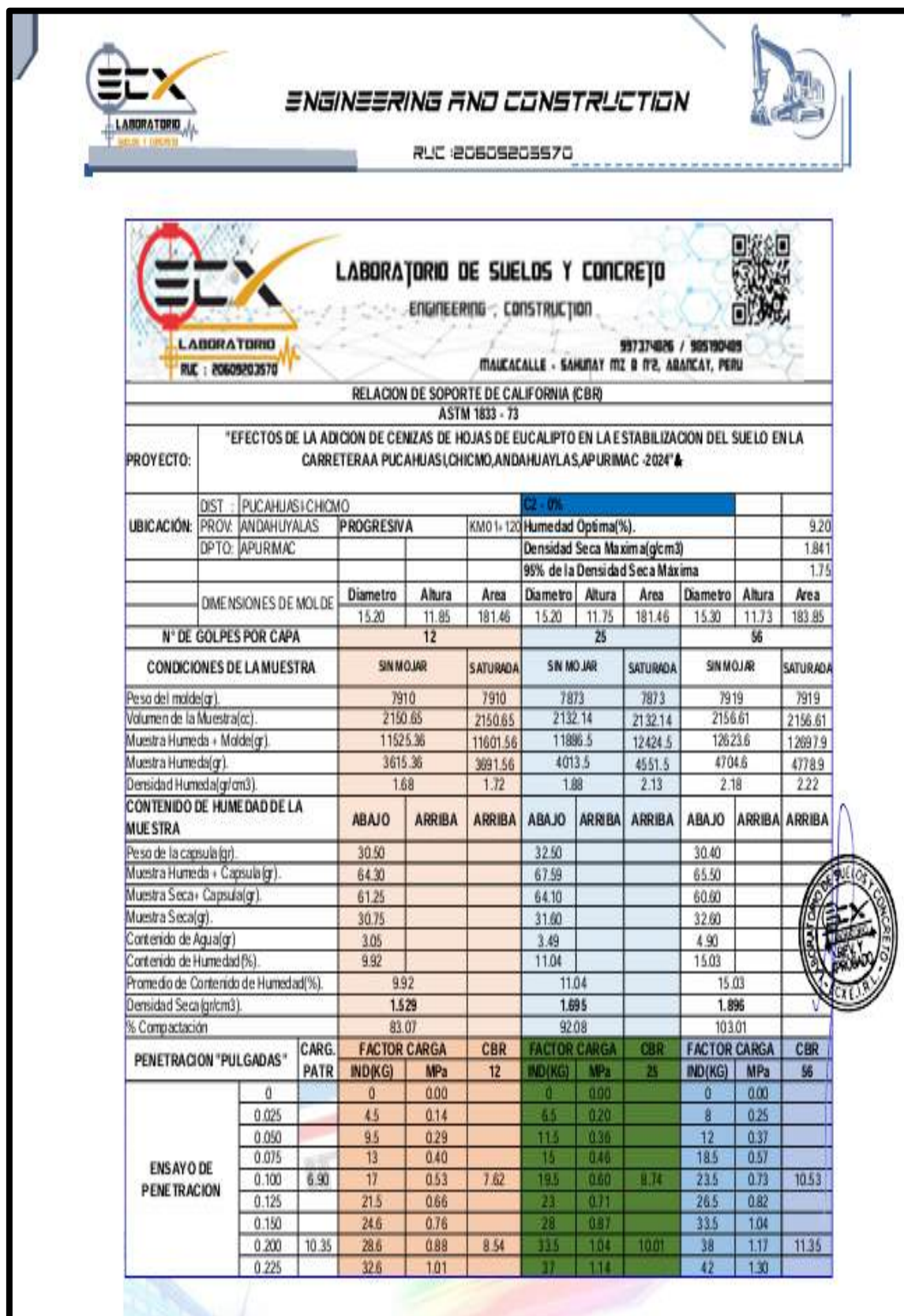


Figura 87 — ASTM D 1883 Relación de soporte de California(CBR) C-2 + 0%CHE

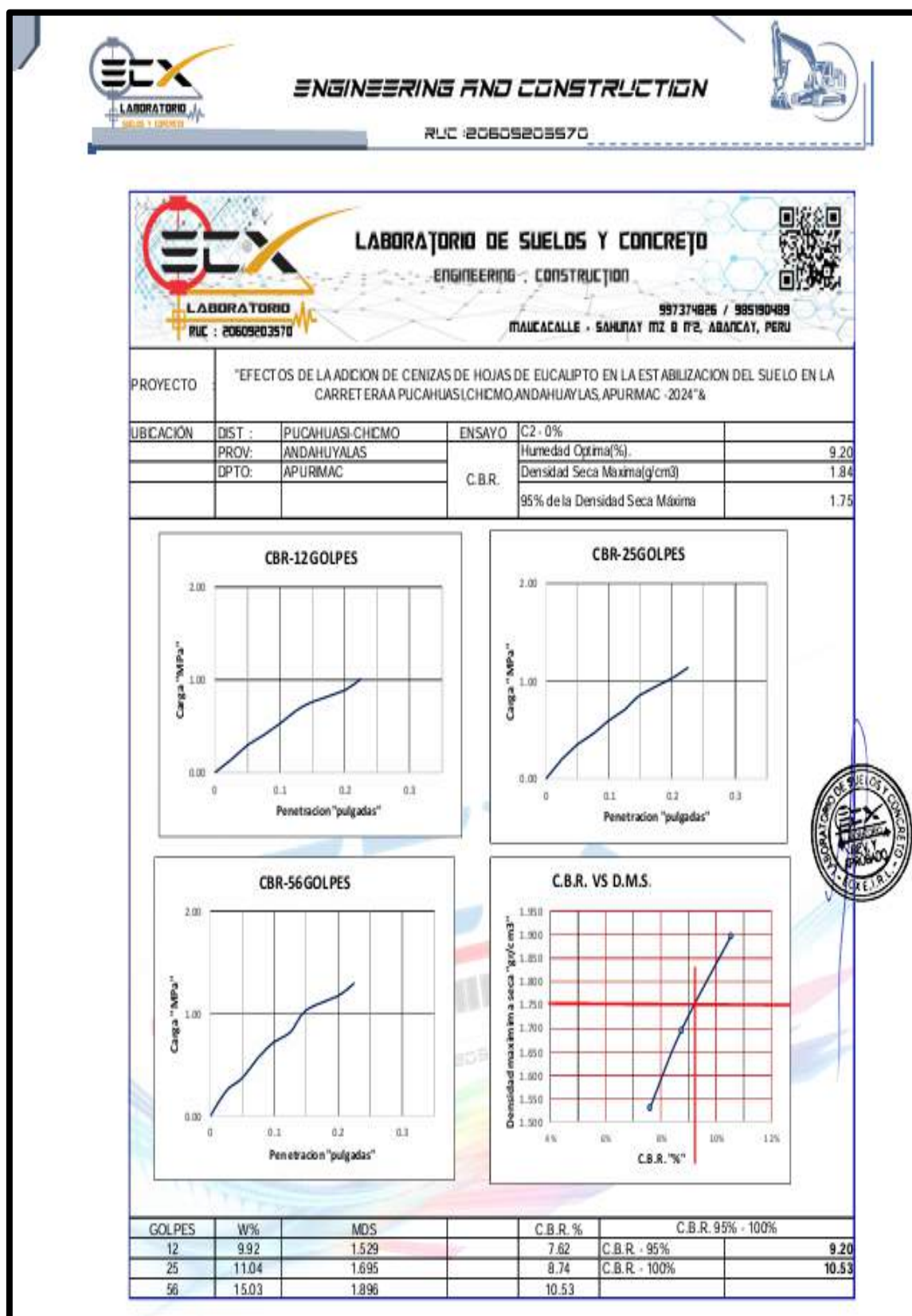


Figura 88 — ASTM D 1883 Graficas por golpes del soporte de California(CBR) C-2 + 0%CHE

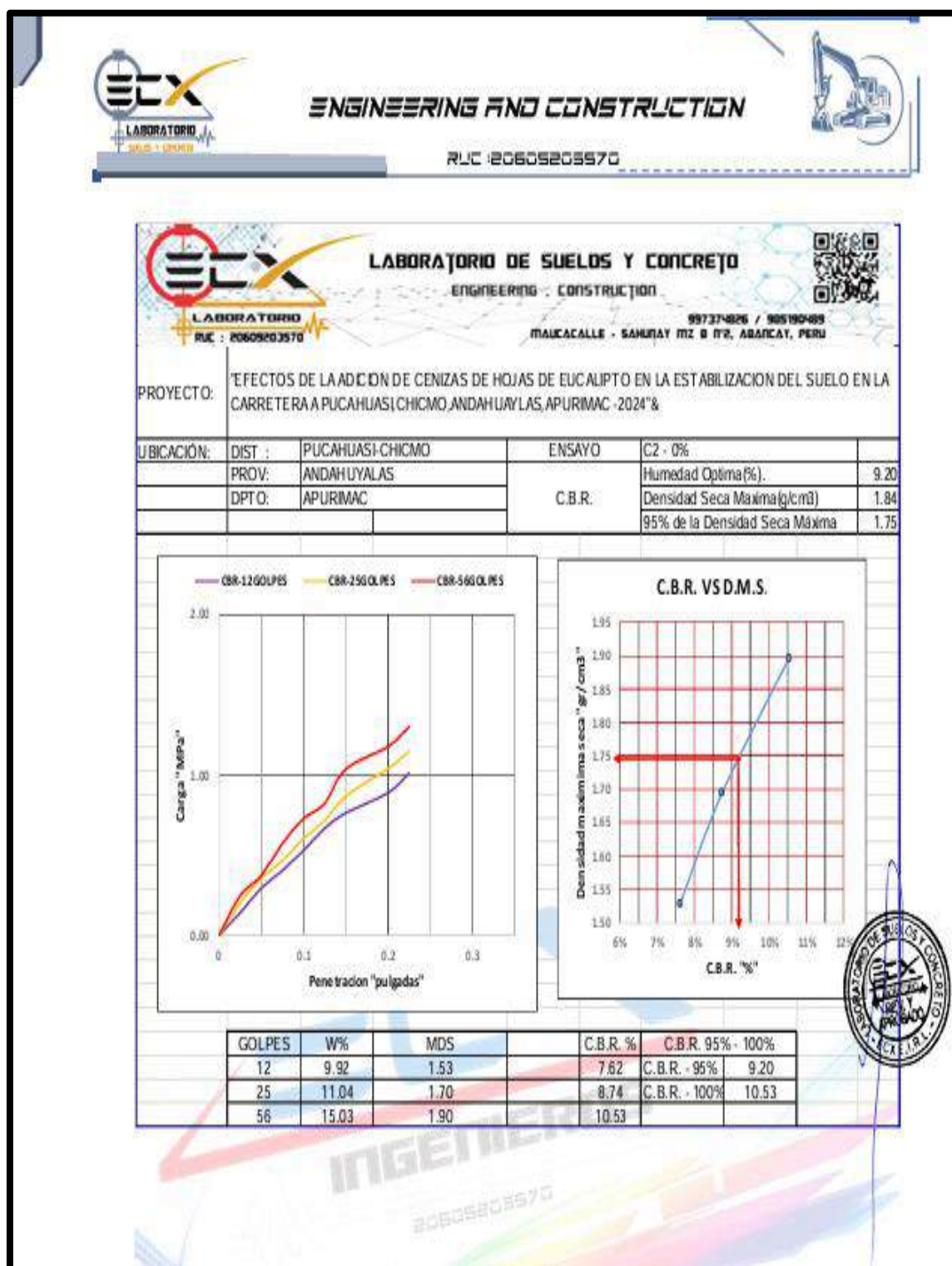


Figura 89 — ASTM D 1883 Graficas de la Relación por golpes del soporte de California(CBR) C-2 + 0%CHE

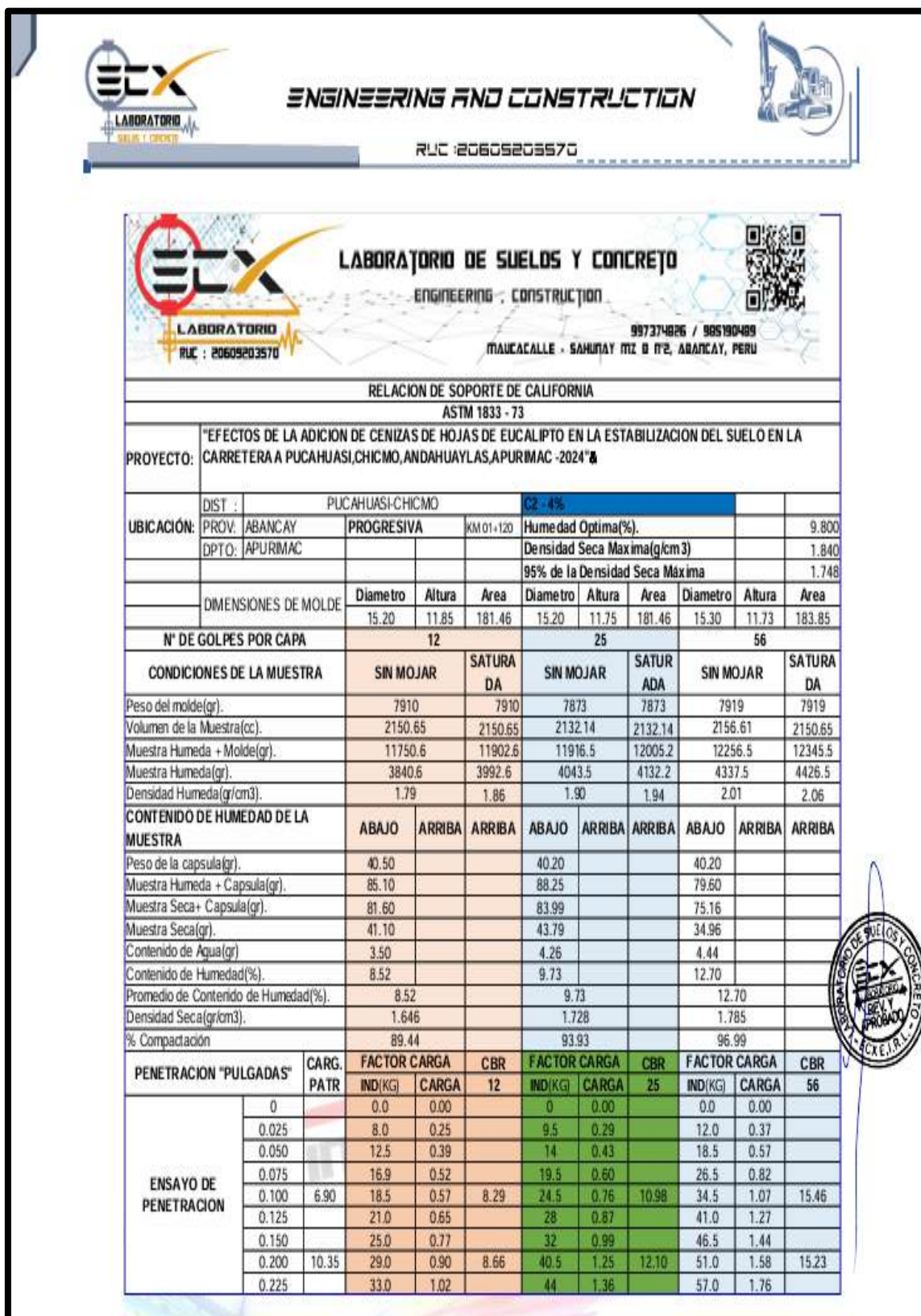


Figura 90 — ASTM D 1883 Relación de soporte de California(CBR) C-2 + 4%CHE

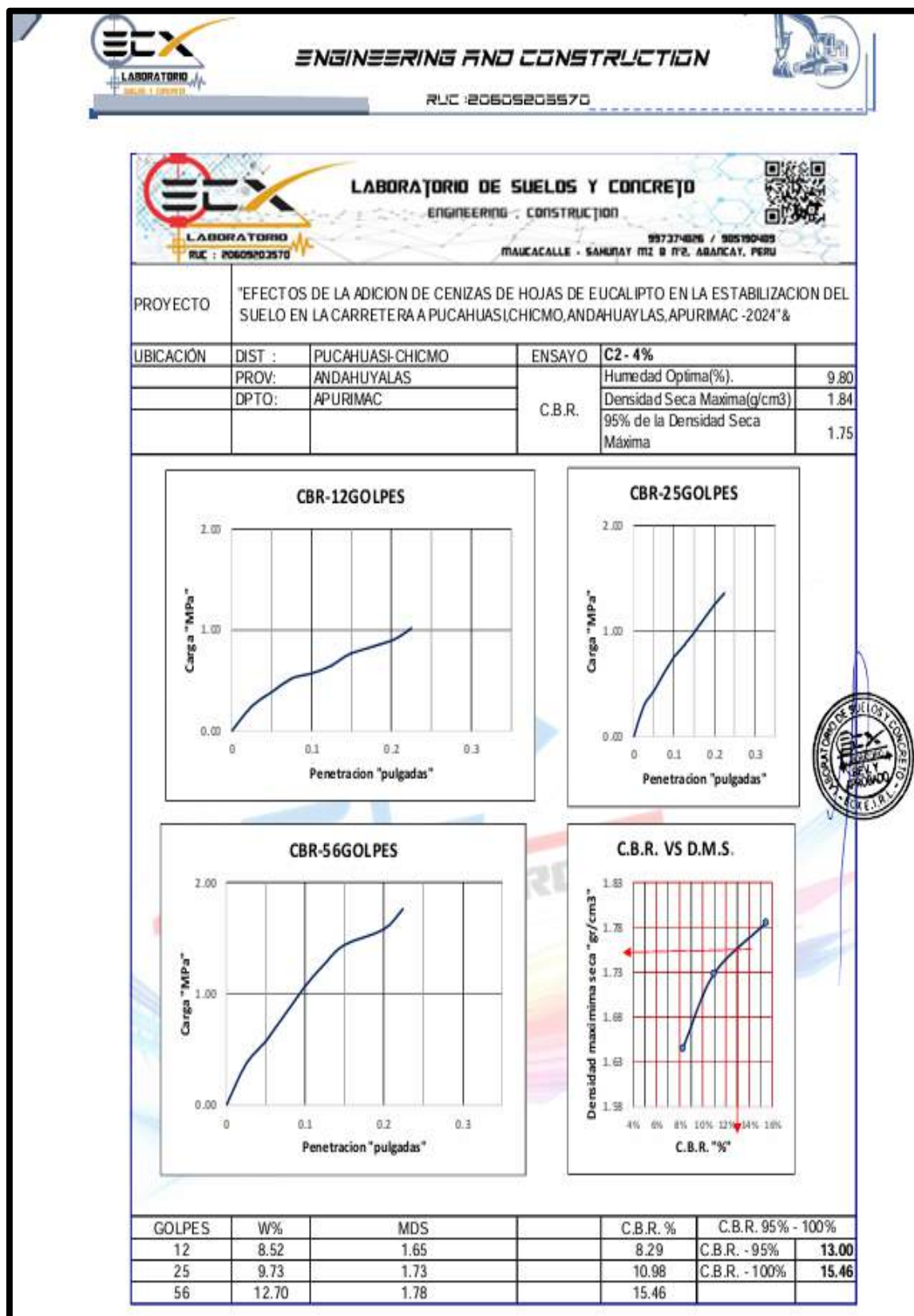


Figura 91 — ASTM D 1883 Graficas por golpes del soporte de California(CBR) C-2 + 4%CHE

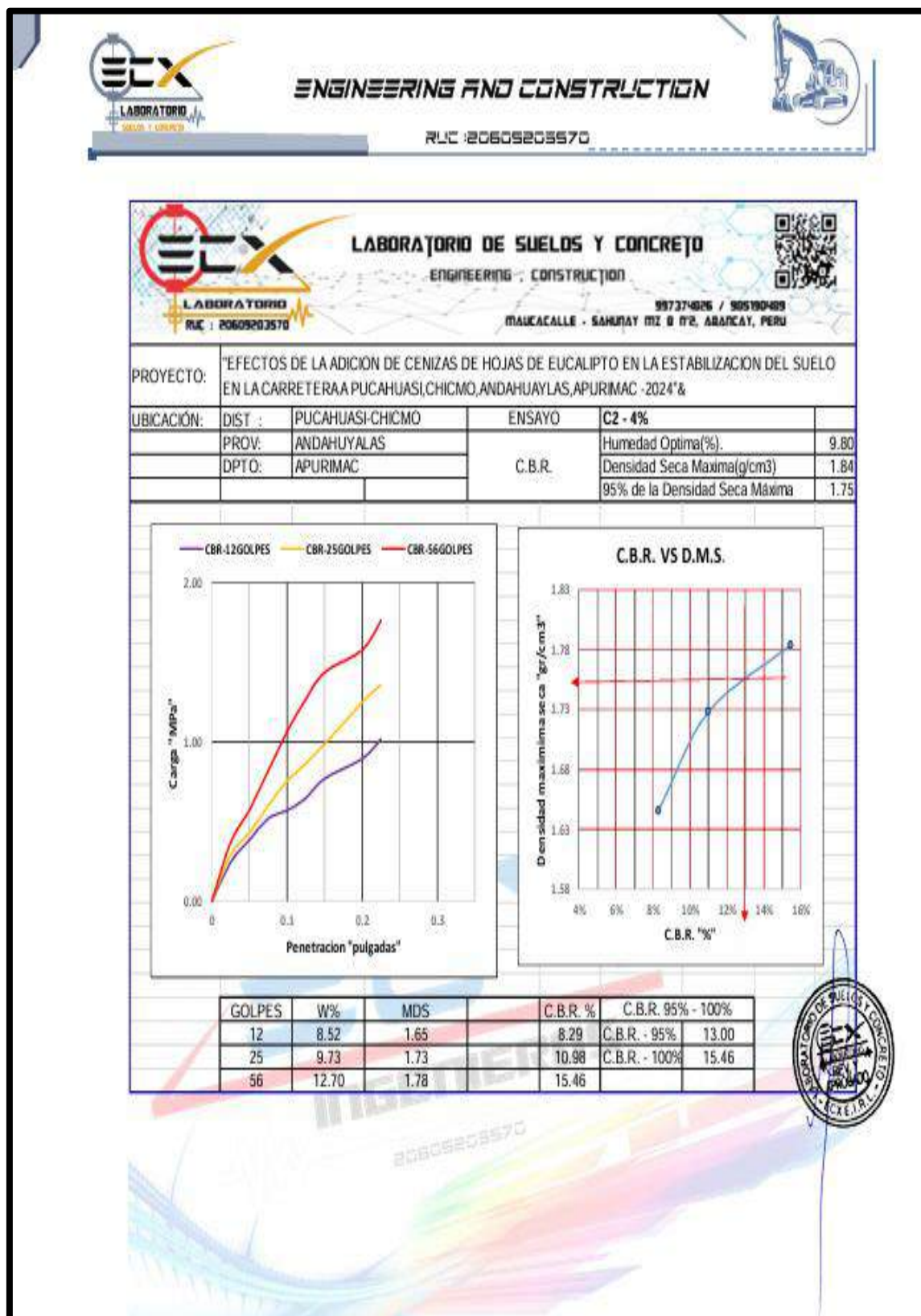


Figura 92 — ASTM D 1883 Graficas de la Relación por golpes del soporte de California(CBR) C-2 + 4%CHE

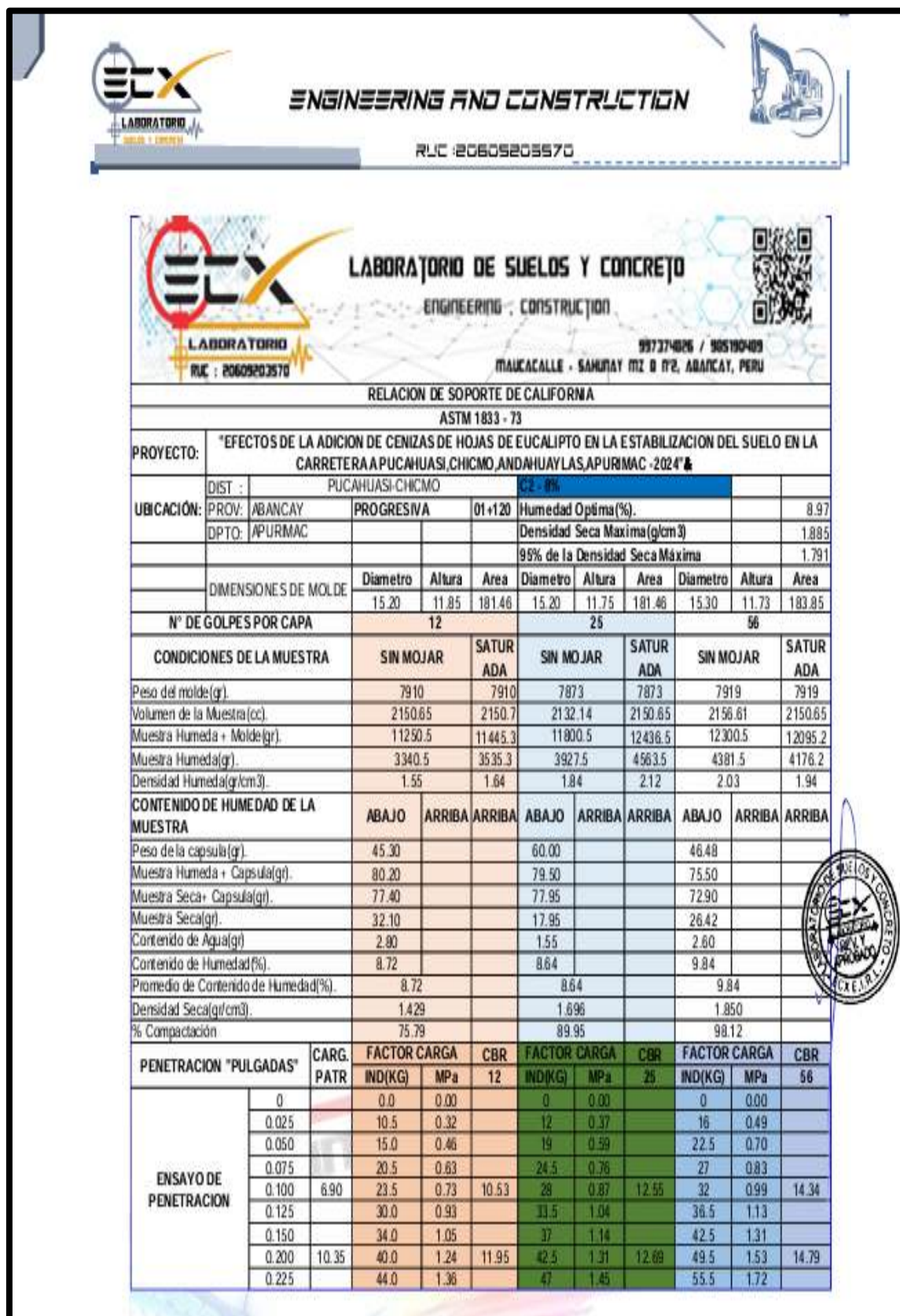


Figura 93 — ASTM D 1883 Relación de soporte de California(CBR) C-2 + 8%CHE

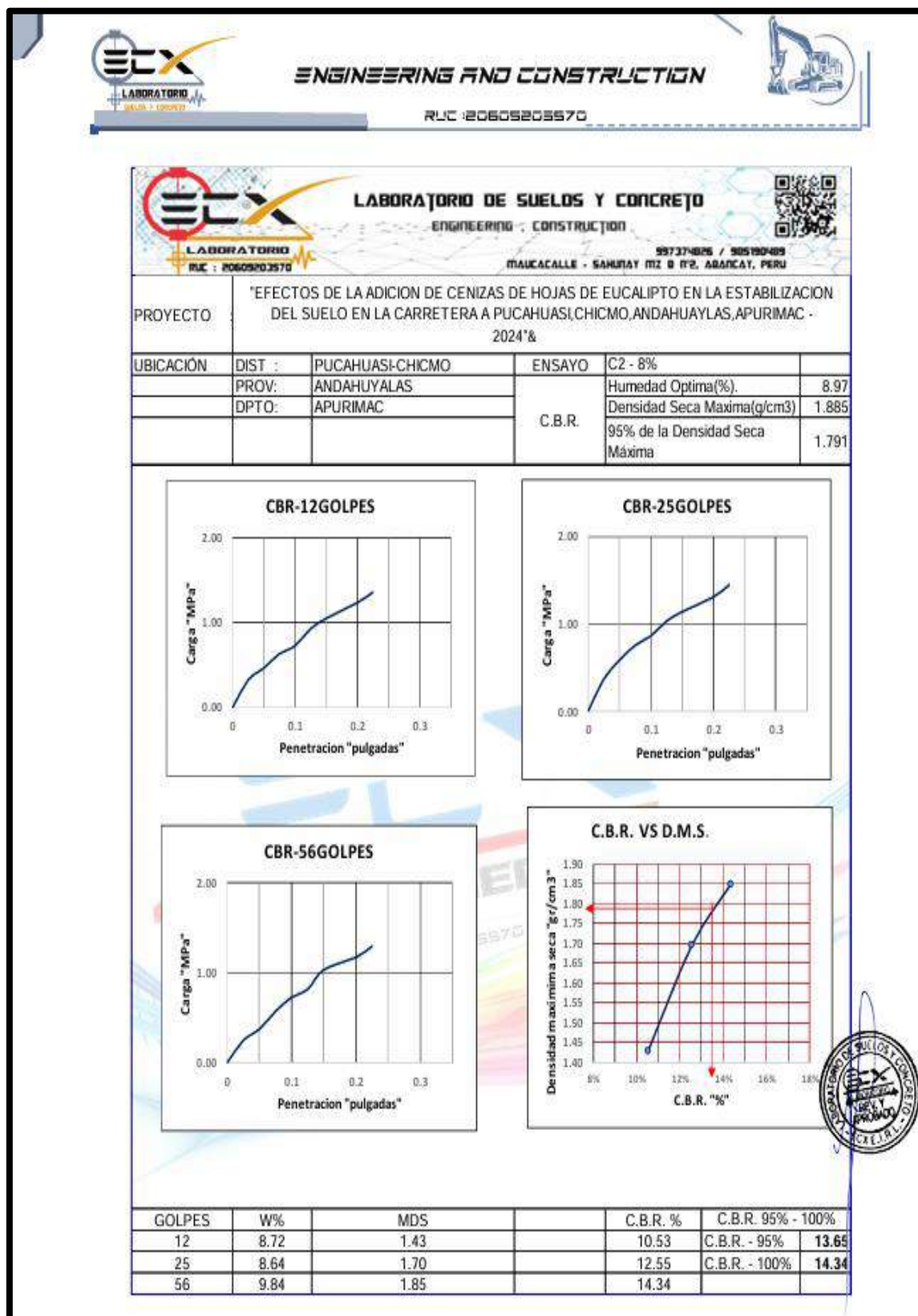


Figura 94 — ASTM D 1883 Graficas por golpes del soporte de California(CBR) C-2 + 8%CHE

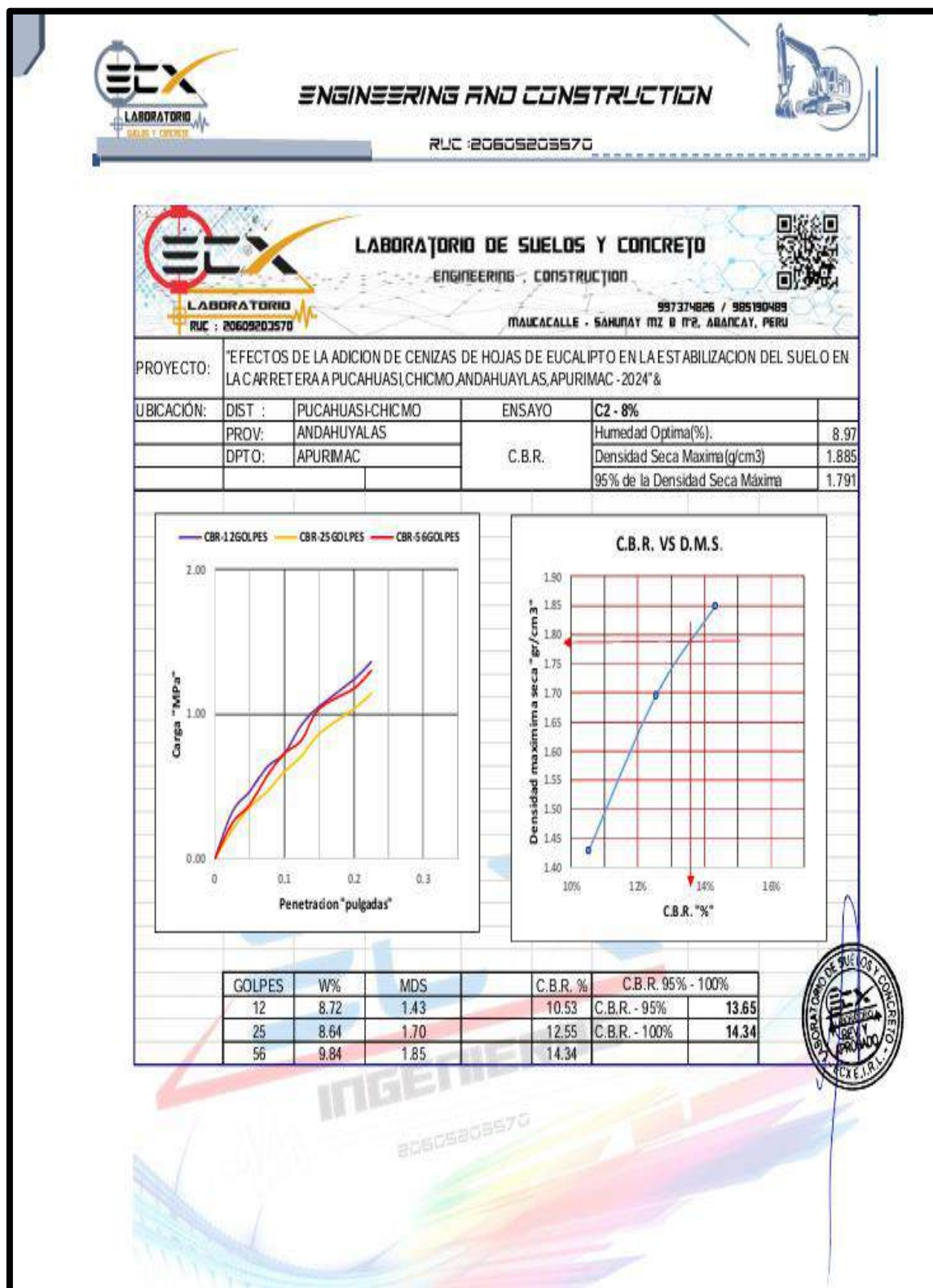


Figura 95 — ASTM D 1883 Graficas de la Relación por golpes del soporte de California(CBR) C-2 + 8%CHE

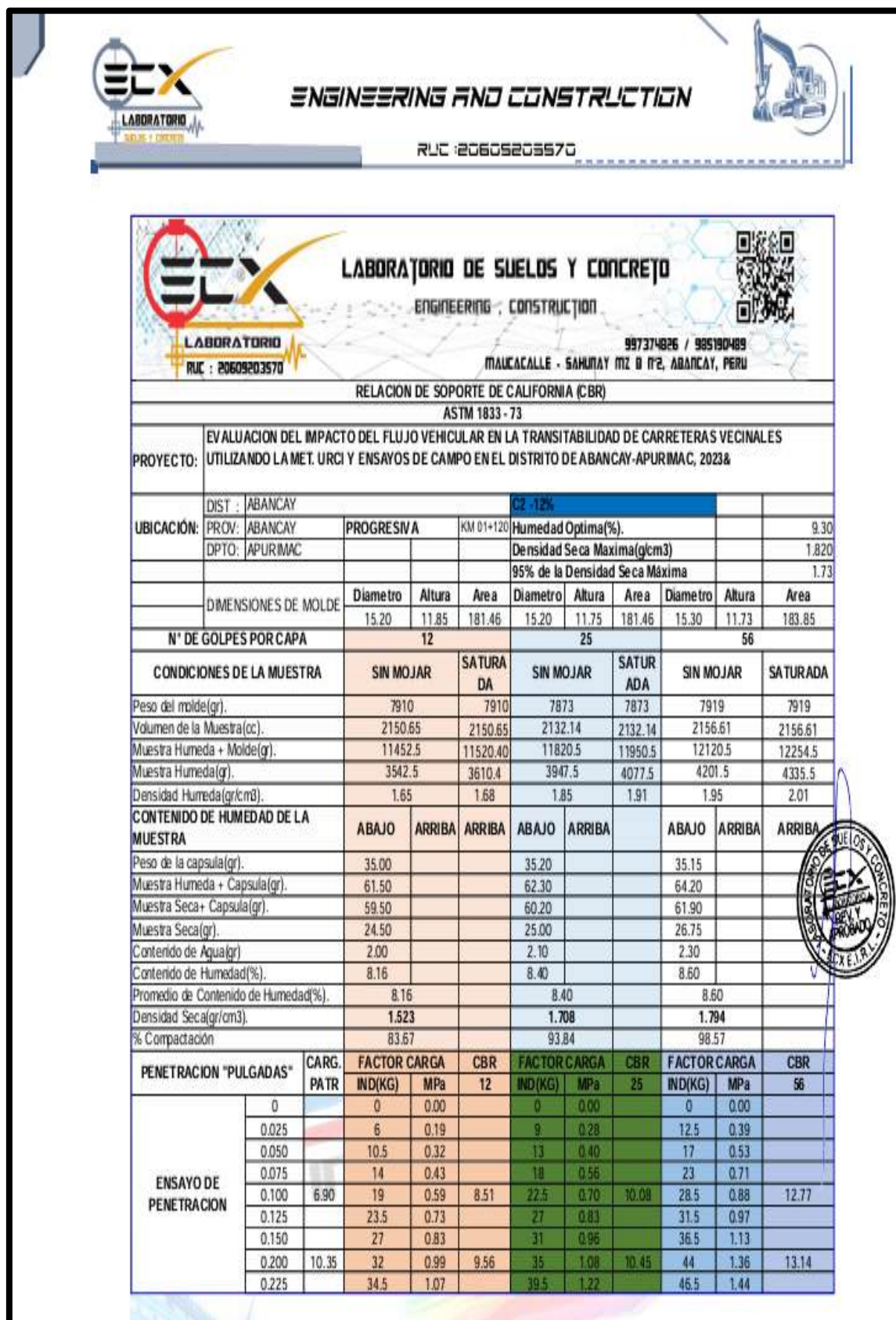


Figura 96 — ASTM D 1883 Relación de soporte de California(CBR) C-2 + 12%CHE

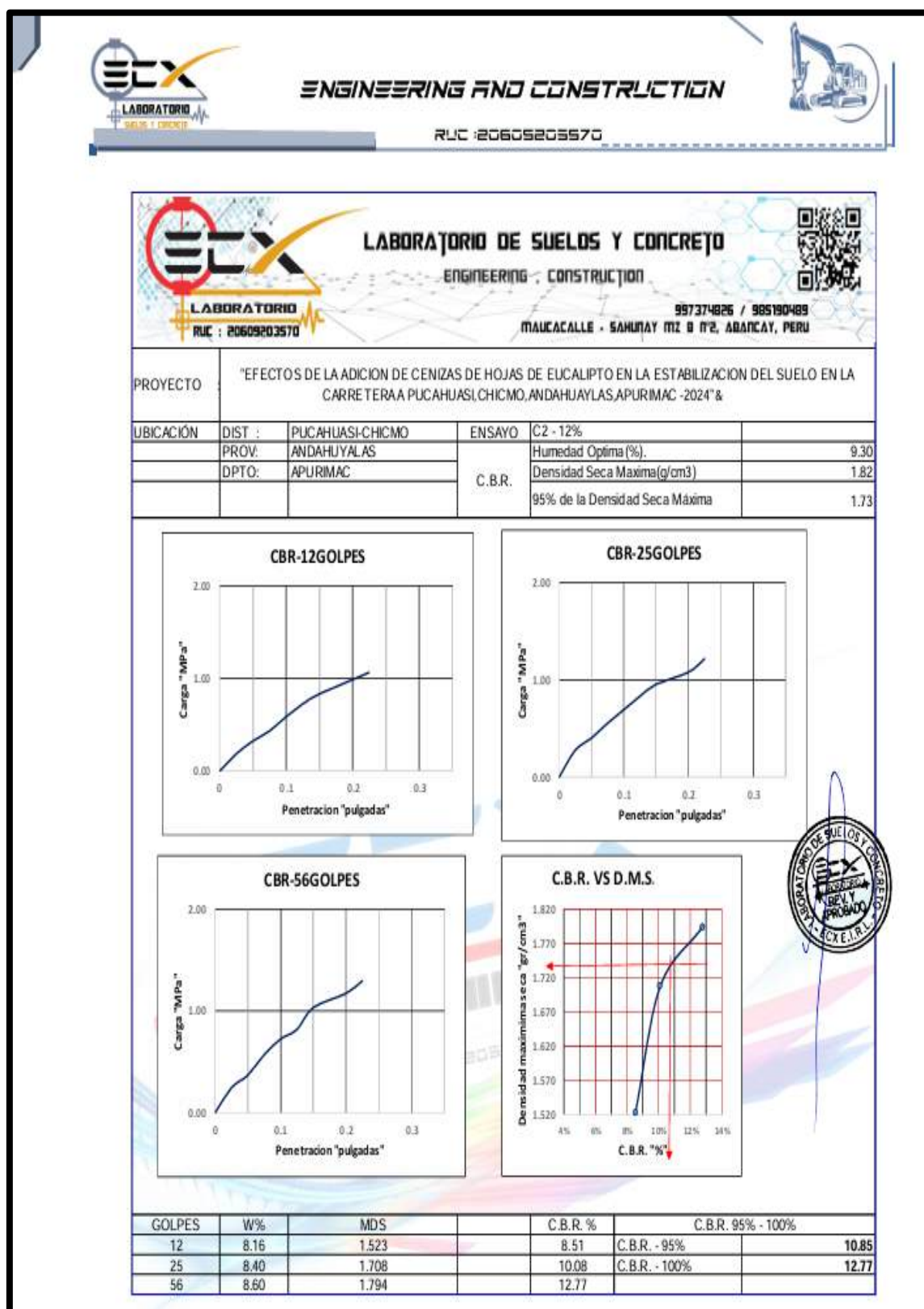


Figura 97 — ASTM D 1883 Graficas por golpes del soporte de California(CBR) C-2 + 12%CHE

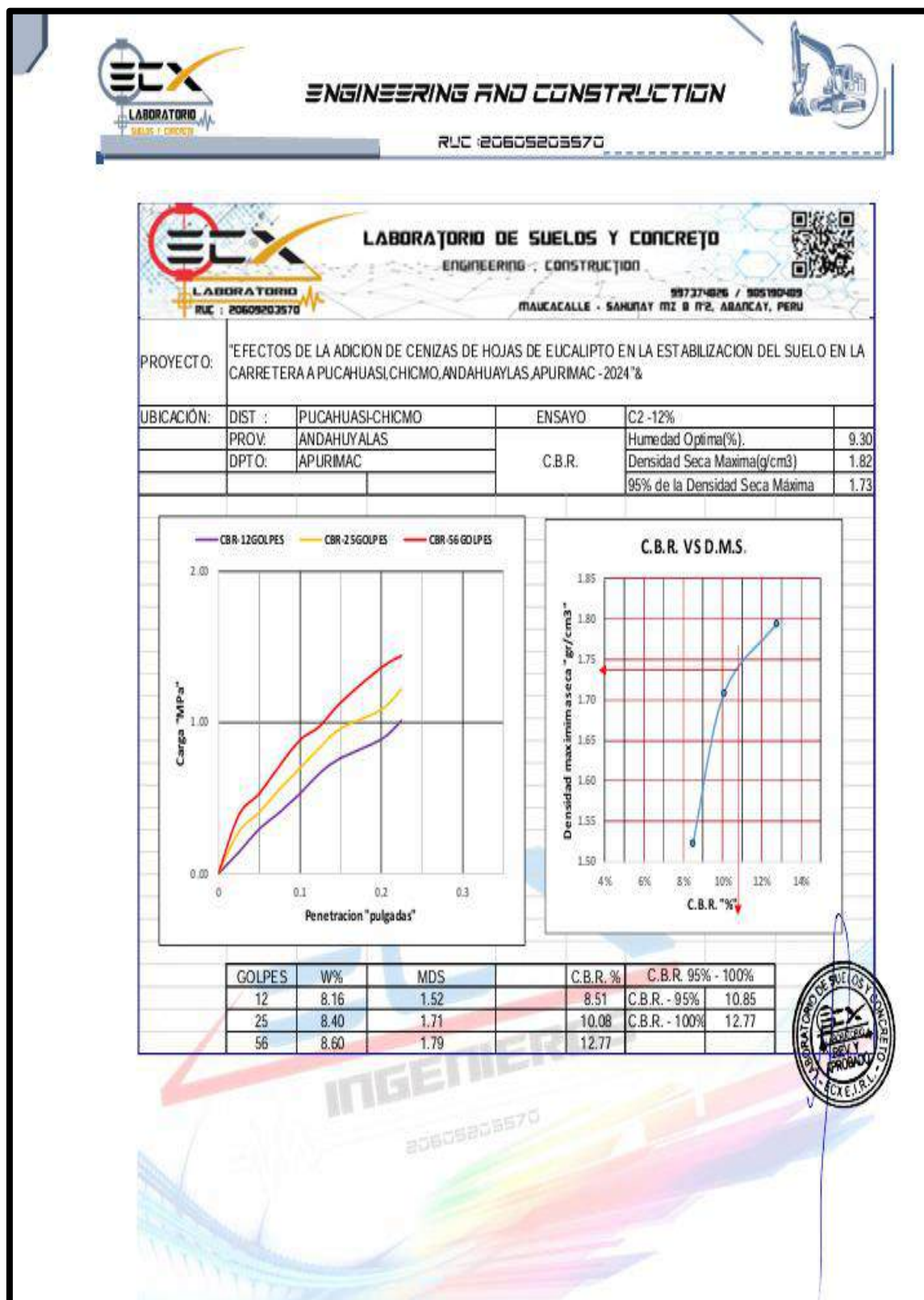


Figura 98 — ASTM D 1883 Graficas de la Relación por golpes del soporte de California(CBR) C-2 + 12%CHE

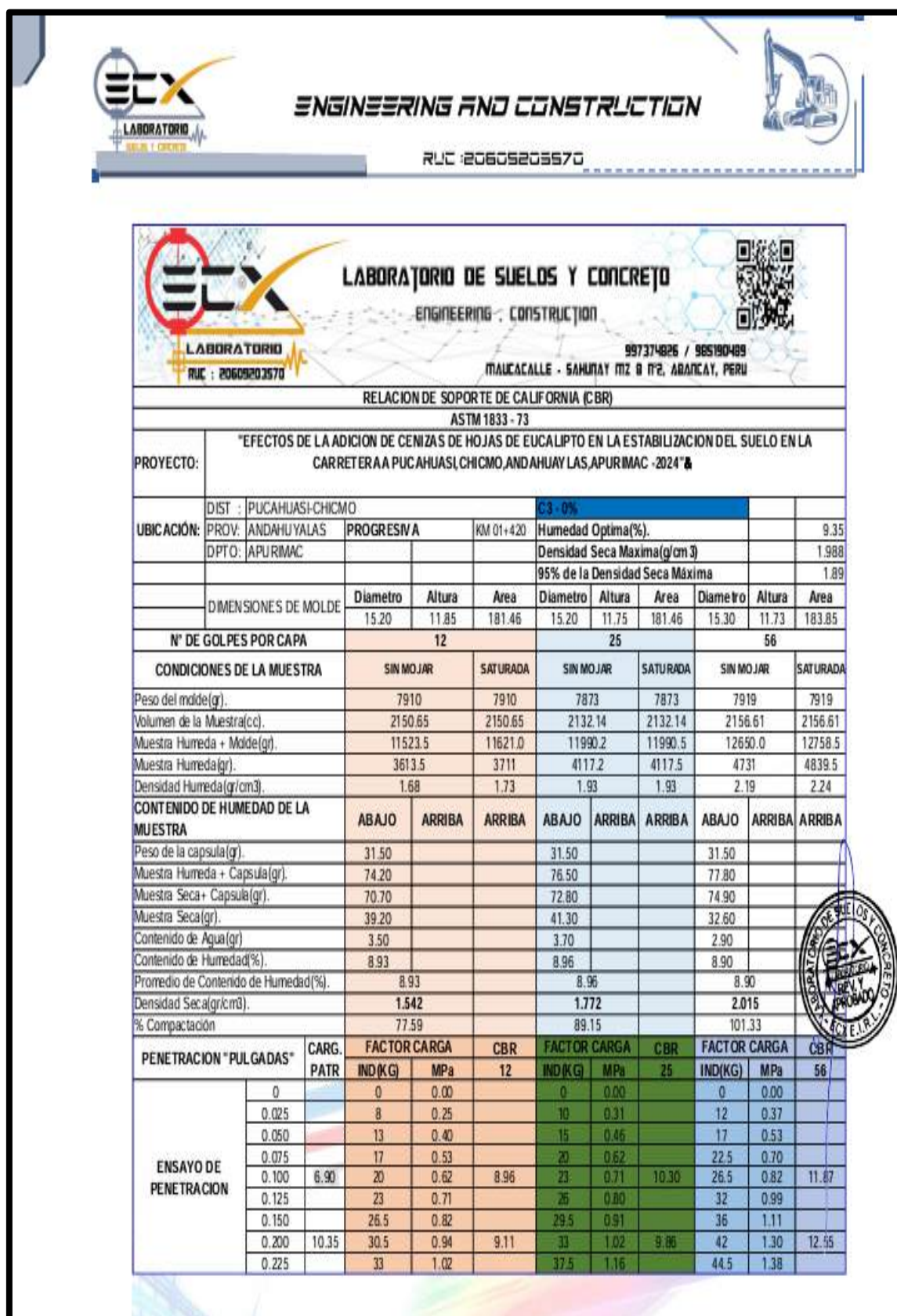


Figura 99 — ASTM D 1883 Relación de soporte de California(CBR) C-3 + 0%CHE

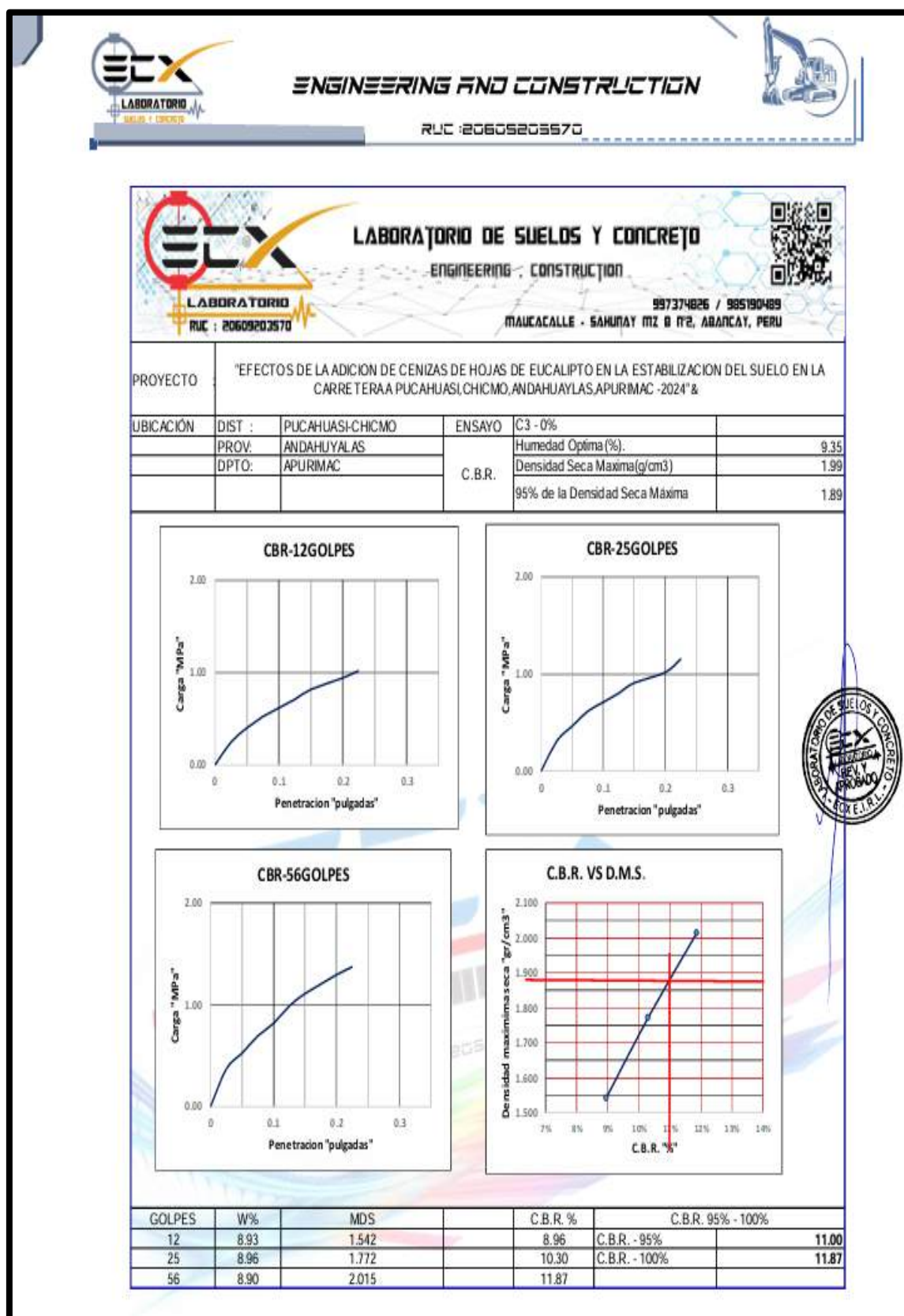


Figura 100 — ASTM D 1883 Graficas por golpes del soporte de California(CBR) C-3 + 0%CHE

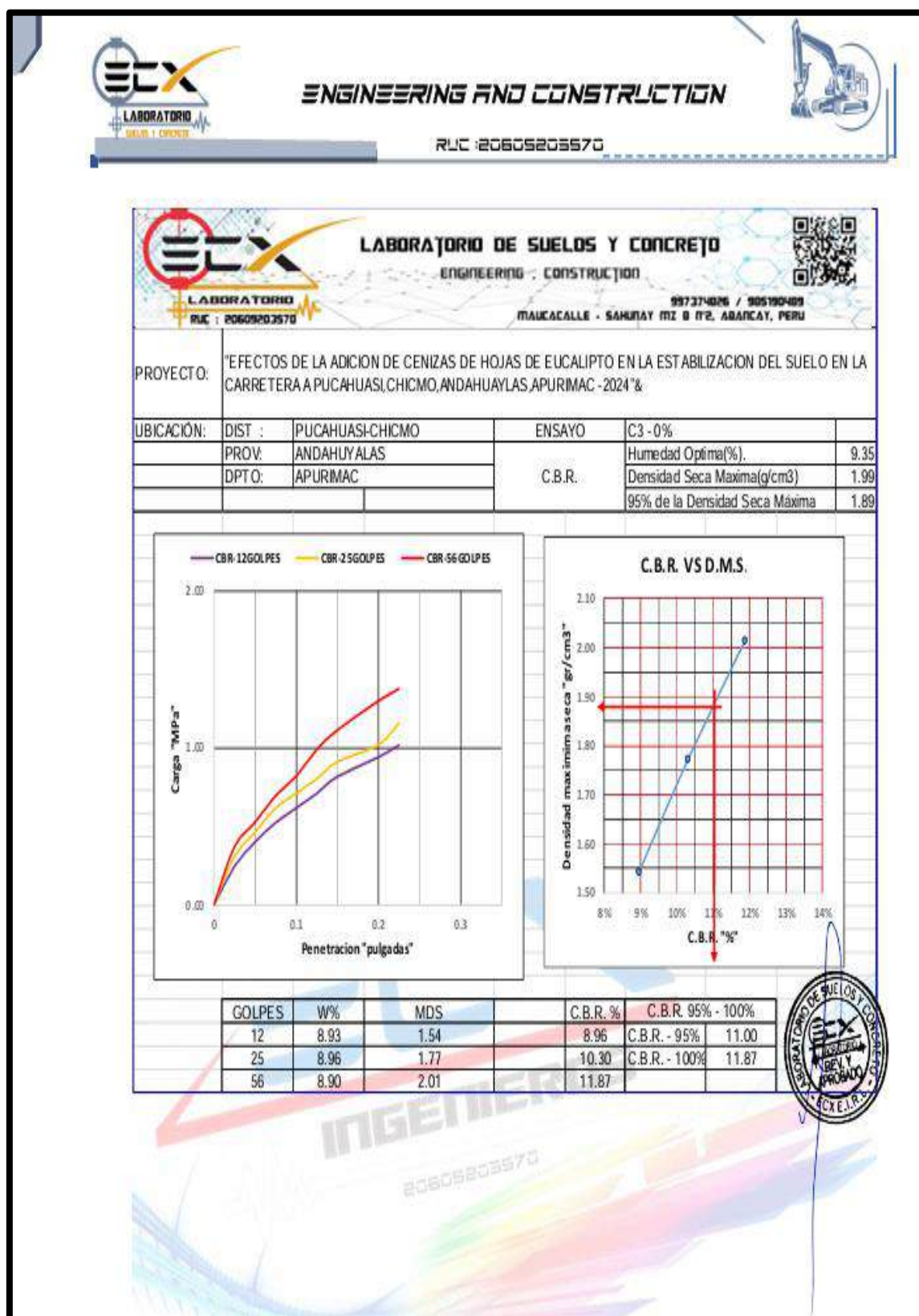


Figura 101 — ASTM D 1883 Graficas de la Relación por golpes del soporte de California(CBR) C-3 + 0%CHE

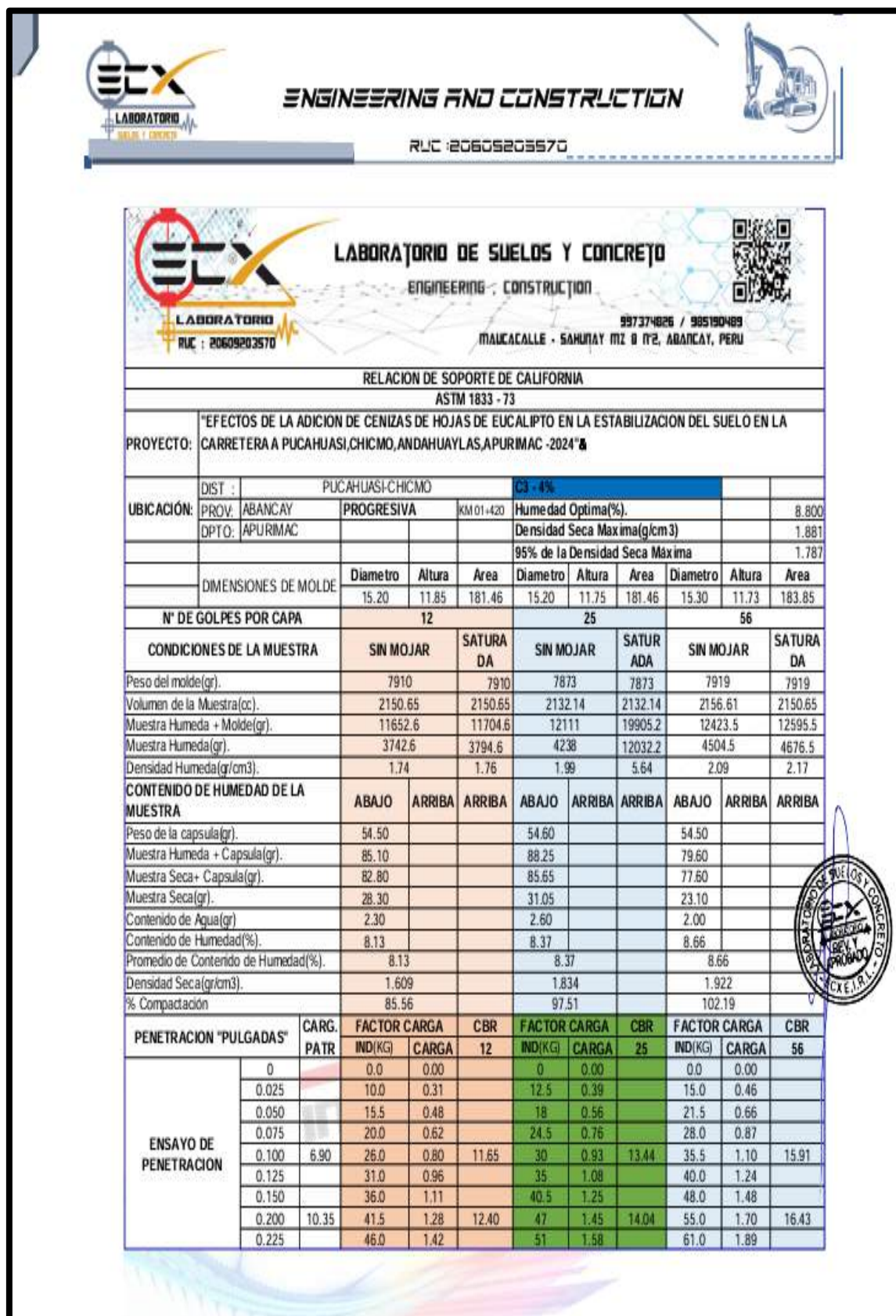


Figura 102 — ASTM D 1883 Relación de soporte de California(CBR) C-3 + 4%CHE

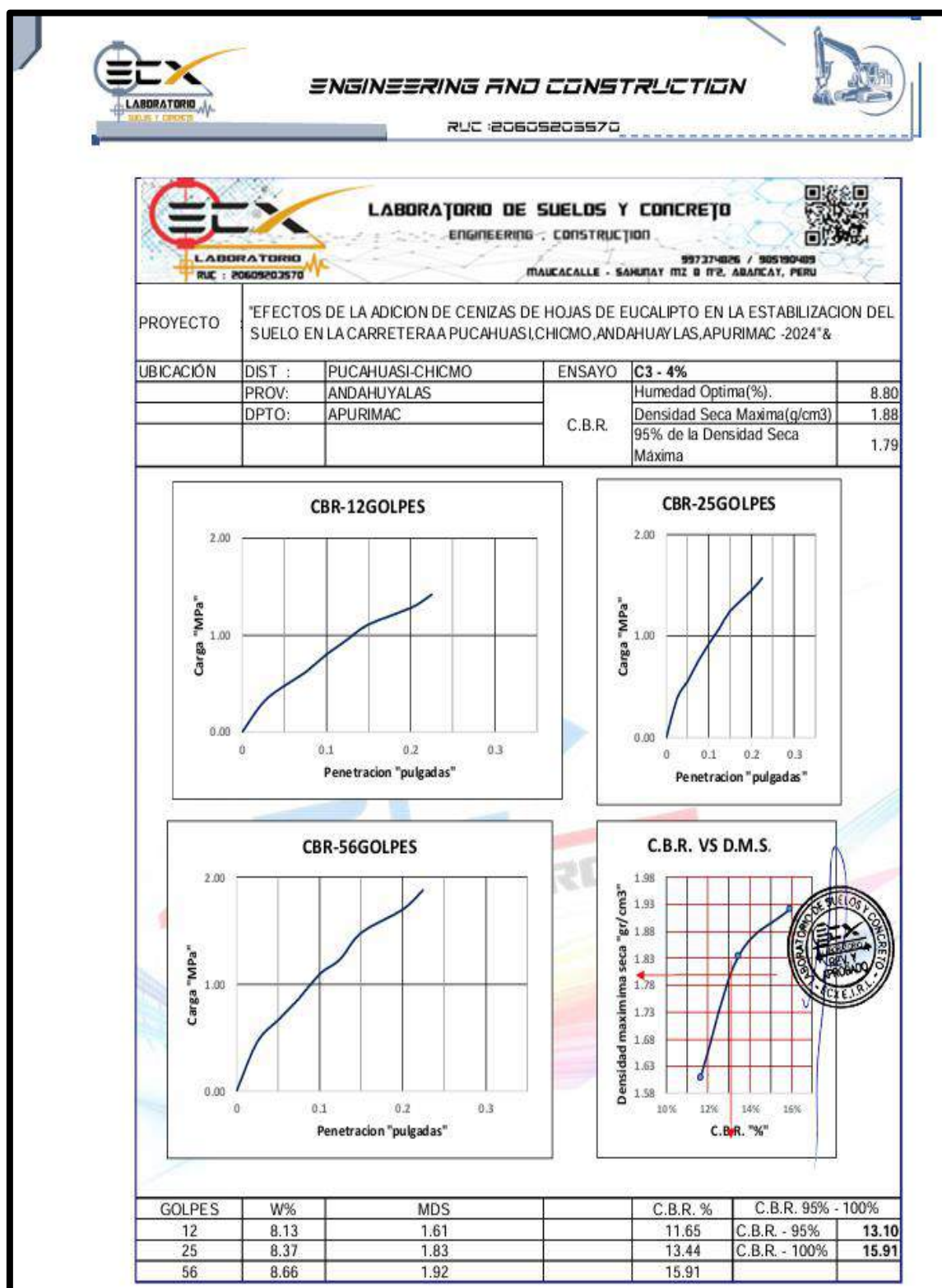


Figura 103 — ASTM D 1883 Graficas por golpes del soporte de California(CBR) C-3 + 4%CHE

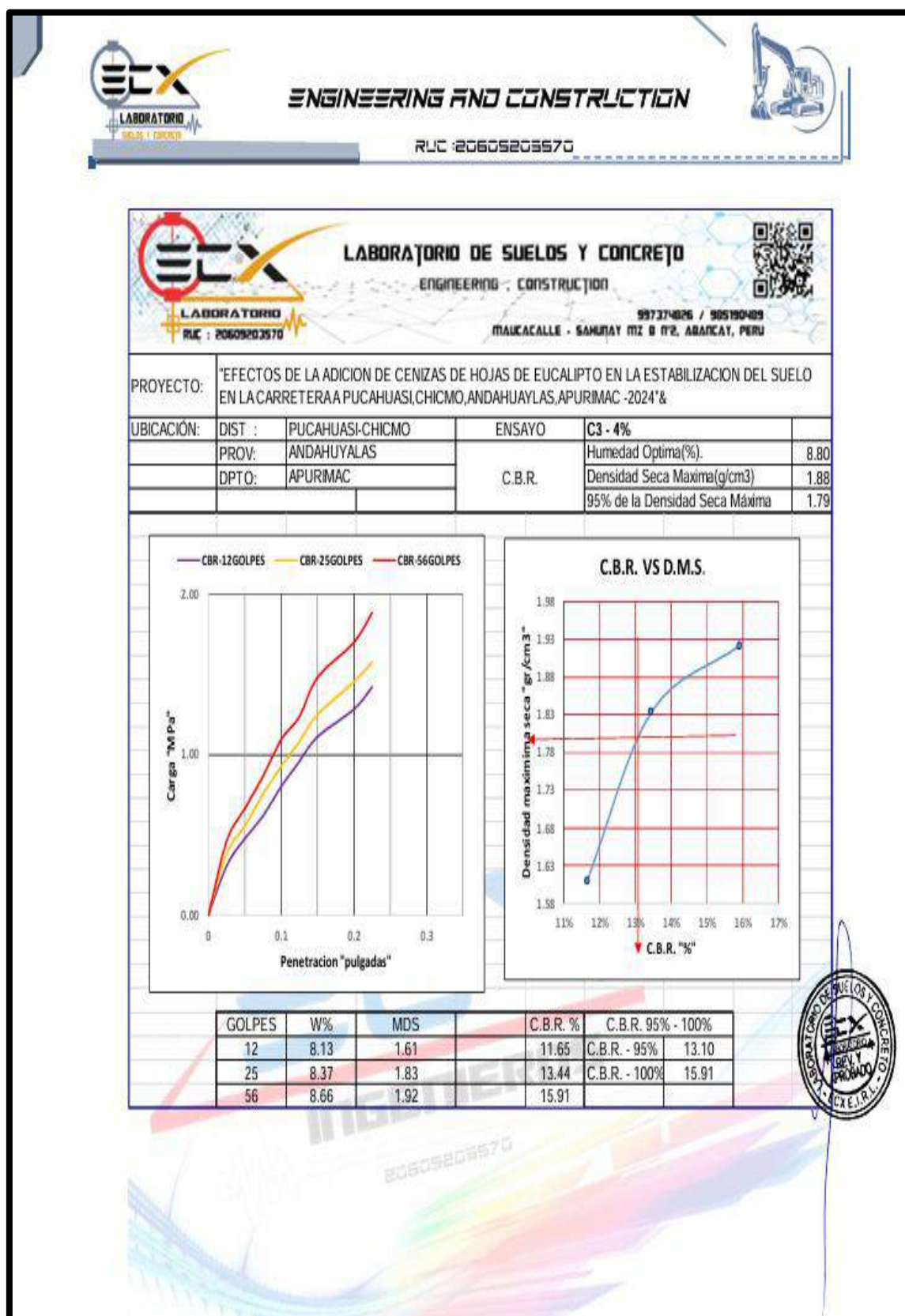


Figura 104 — ASTM D 1883 Graficas de la Relación por golpes del soporte de California(CBR) C-3 + 4%CHE

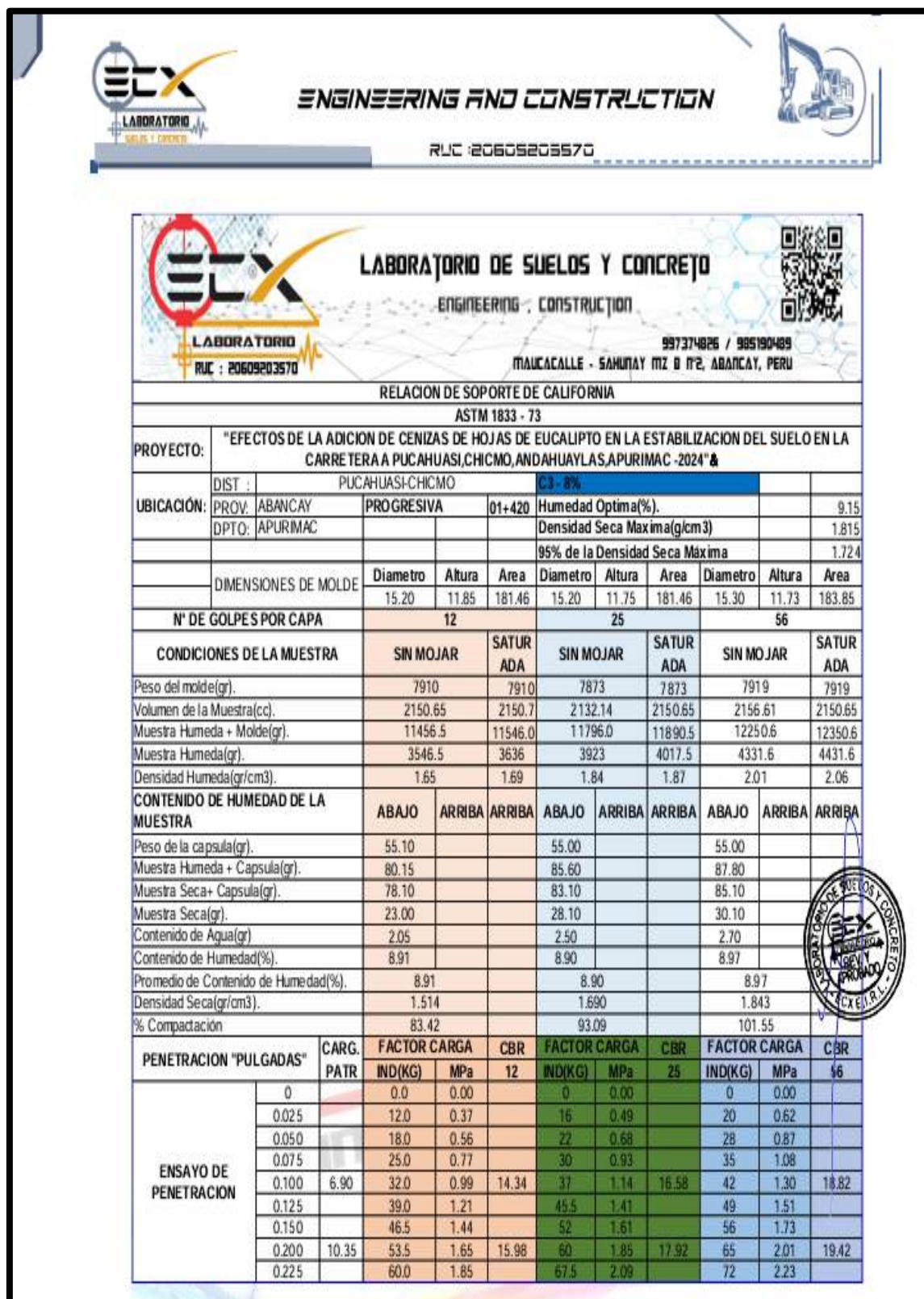


Figura 105 — ASTM D 1883 Relación de soporte de California(CBR) C-3 + 8%CHE

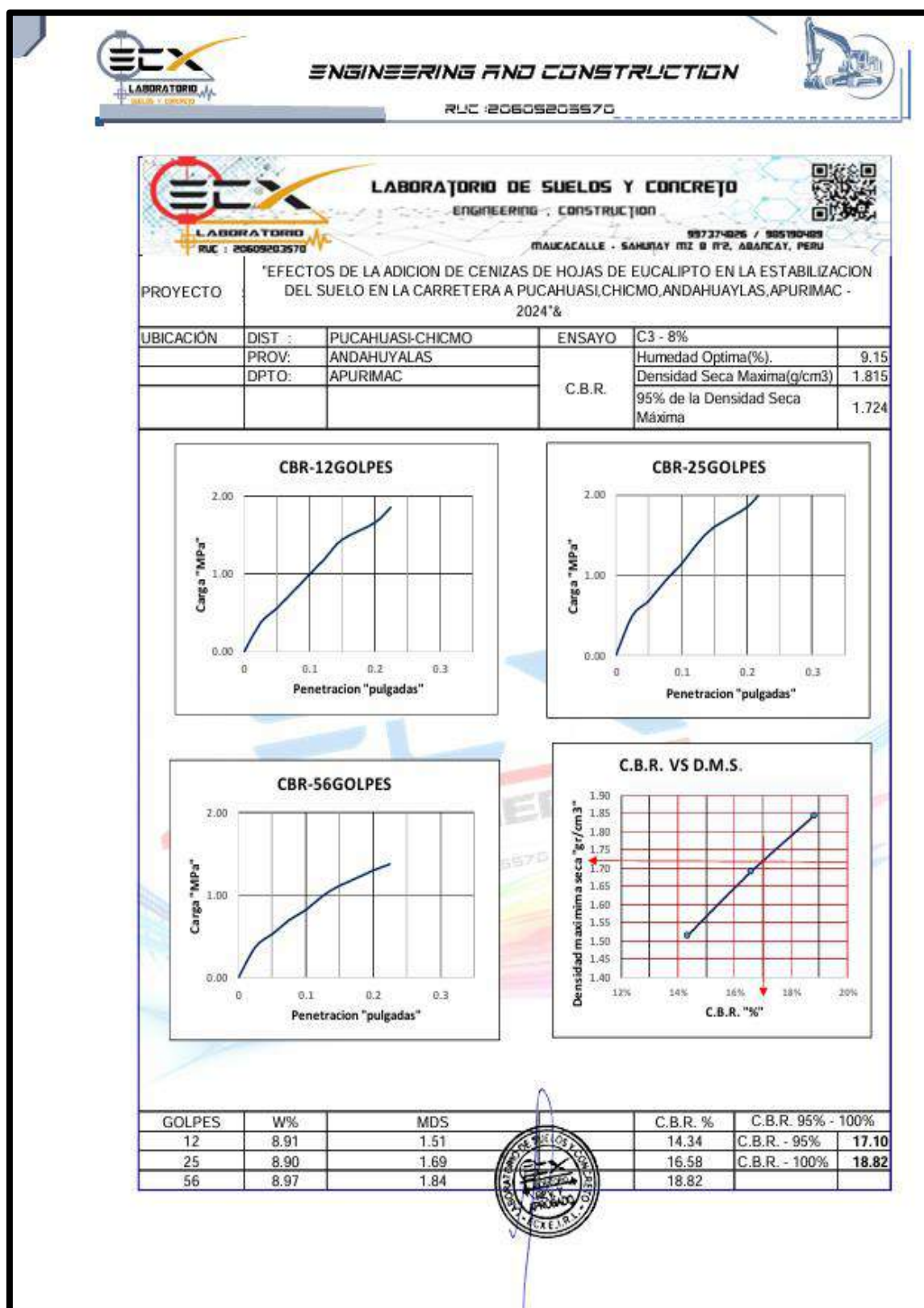


Figura 106 — ASTM D 1883 Graficas por golpes del soporte de California(CBR) C-3 + 8%CHE

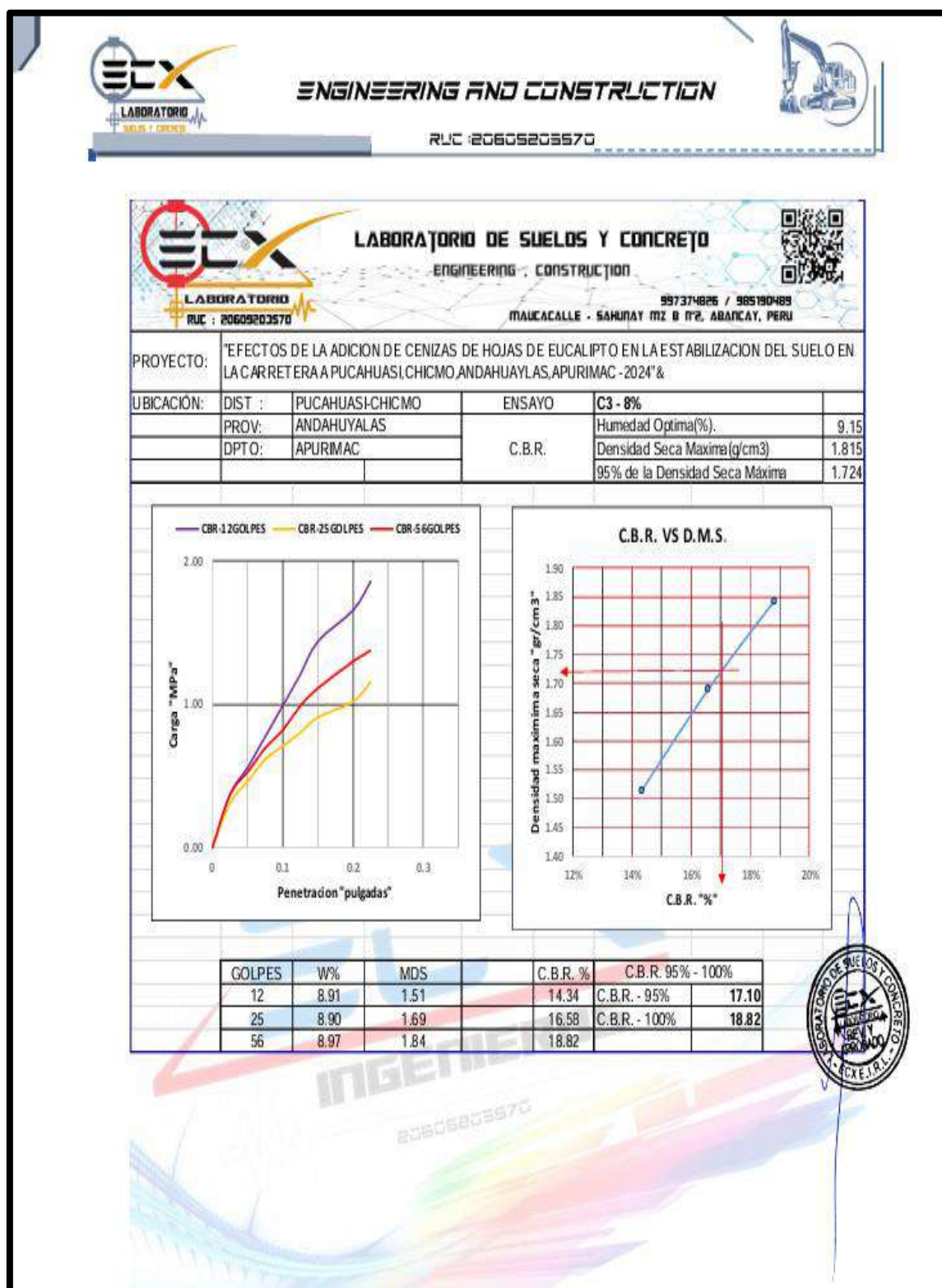


Figura 107 — ASTM D 1883 Graficas de la Relación por golpes del soporte de California(CBR) C-3 + 8%CHE

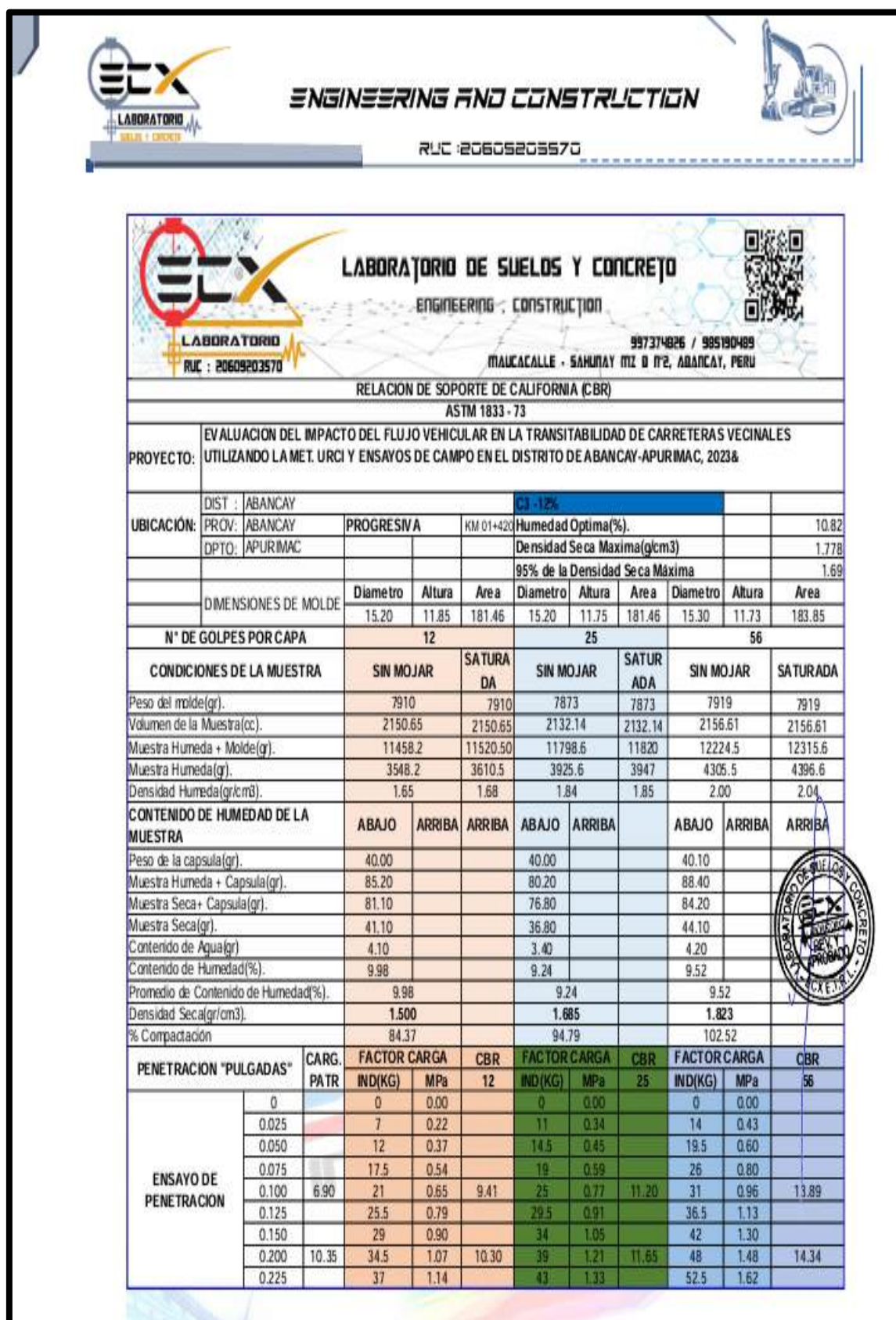


Figura 108 — ASTM D 1883 Relación de soporte de California(CBR) C-3 + 12%CHE

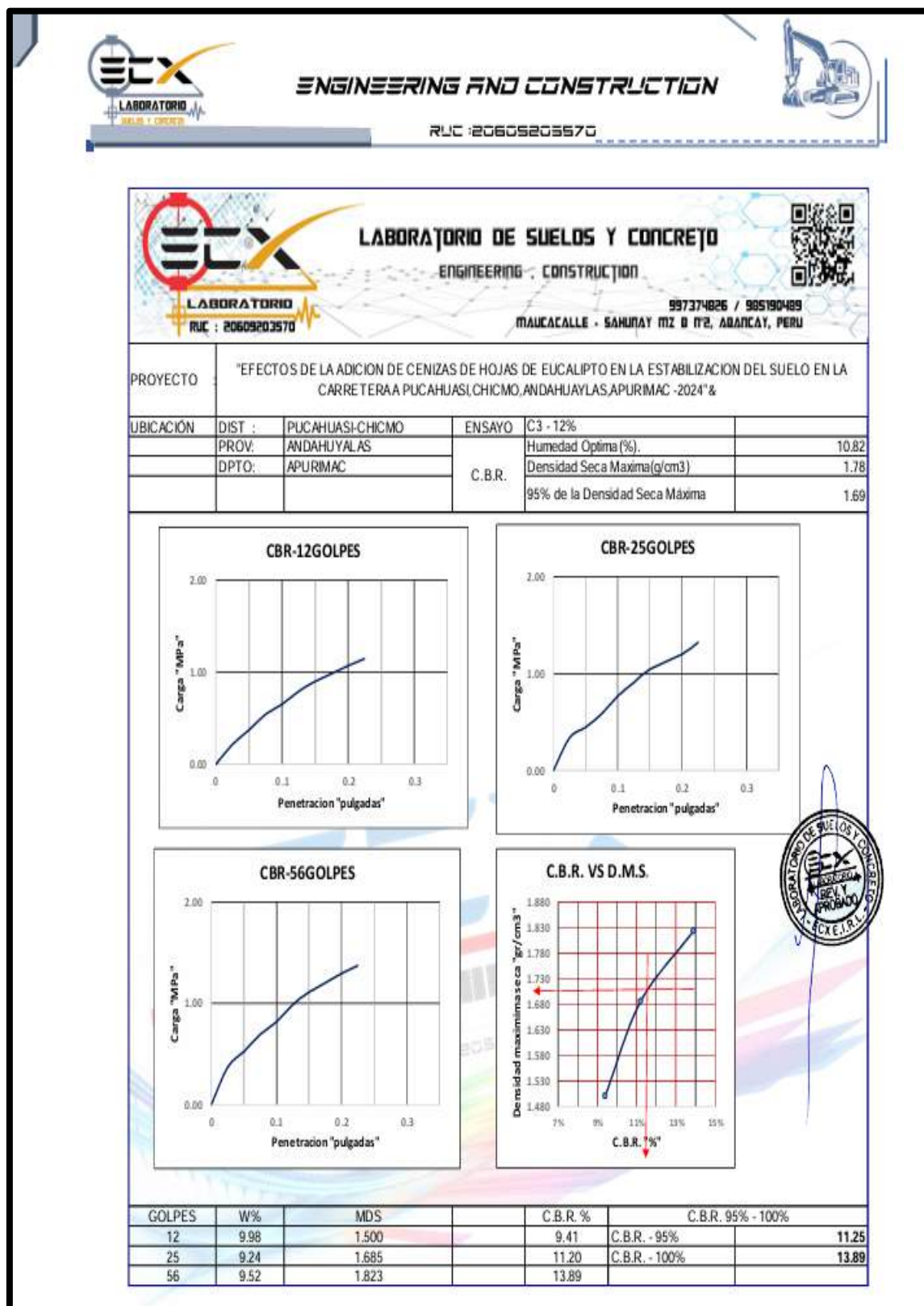


Figura 109 — ASTM D 1883 Graficas por golpes del soporte de California(CBR) C-3 + 12%CHE

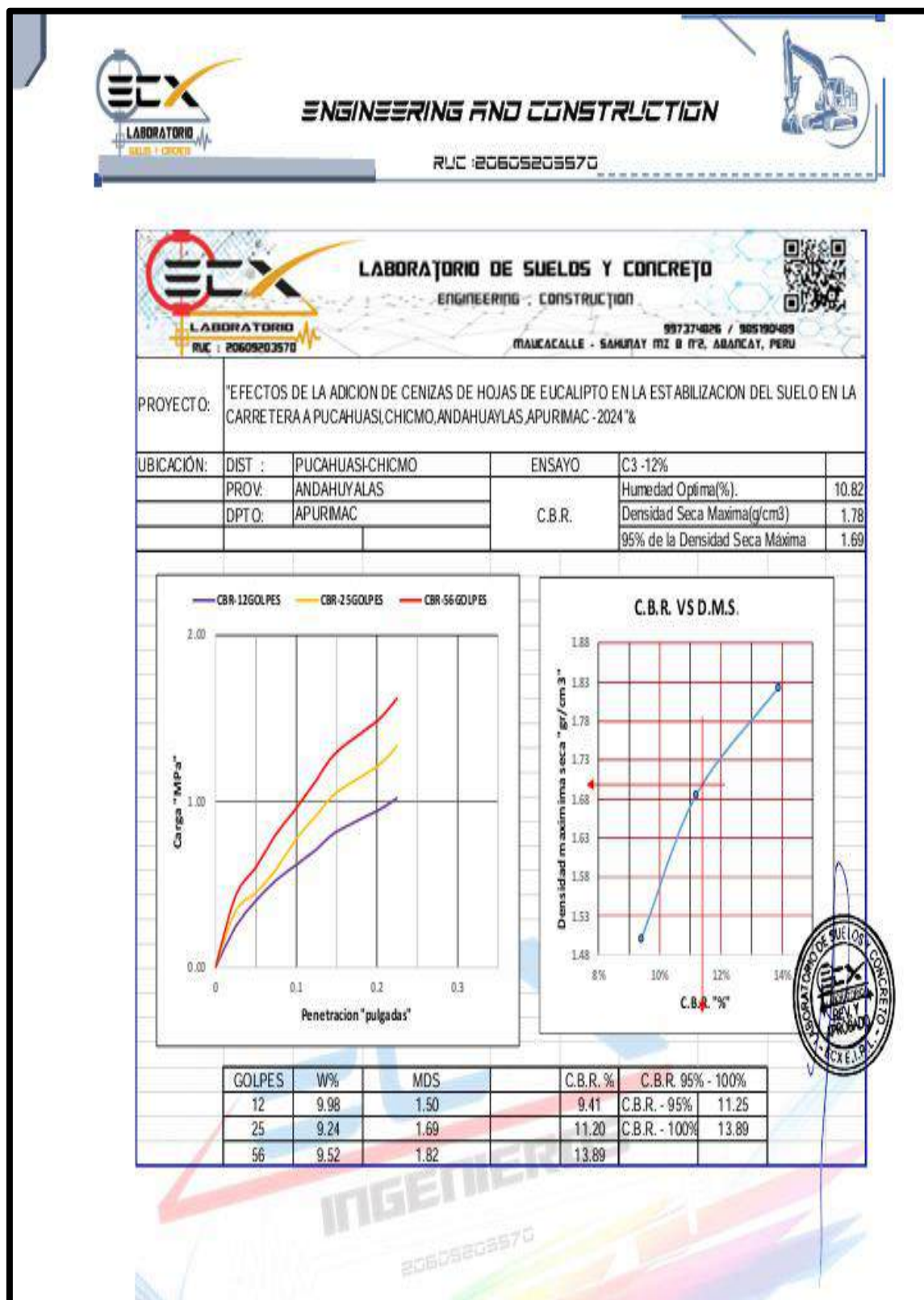


Figura 110 — ASTM D 1883 Graficas de la Relación por golpes del soporte de California(CBR) C-3 + 12%CHE

Anexo D — Certificado de validación de los instrumentos

a) Resumen de valoración de instrumentos

Criterios	Validación 01	Validación 02	Validación 03	Validación 04	Validación 05
Pertinencia	3	3	3	3	3
Coherencia	2	2	3	3	3
Congruencia	2	3	2	3	3
Objetividad	3	3	3	3	3
Consistencia	3	3	2	2	3
Suficiencia	2	2	3	2	2
Organización	2	2	3	3	2
Claridad	2	3	3	3	3
Formato	3	3	3	3	3
Estructura	2	2	2	2	2
Coeficiente de confiabilidad Alfa de Cronbach					
Validez nula	Validez muy baja	Validez baja	Validez aceptable	Validez buena	Validez muy buena
0.00 - 0.49	0.50 - 0.59	0.60 - 0.69	0.70 - 0.79	0.80 - 0.89	0.90 - 1.00
FUENTE: Elaboración propia					

Resultado Alcanzado: El análisis de confiabilidad mediante el coeficiente Alfa de Cronbach arrojó un valor de 0.874, lo cual representa un nivel de validez buena. En consecuencia, el instrumento de investigación queda validado para su aplicación.

b). Valoración del experto 01


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


FORMATO ÚNICO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

PROYECTO: "Efectos de la adición de cenizas de hojas de Eucalipto en la estabilización del suelo en la carretera a Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac-2024"

AUTOR: Bachiller ZAMY WALTER ALARCÓN MOSCOSO

1.- INFORMACIÓN GENERAL

1.1. Ubicación: PUCAHUASI

Distrito:	Chicmo	Altitud:	3192m s.n.m
Provincia:	Andahuaylas	Latitud:	513°40'34.687"
Región:	Apurímac	Longitud:	073°27'39.001"
1.2 Experto:	Wilson Mollocondo Flores		
1.3 Grado Académico:	Doctor		
1.4 Institución Laboral:	Unamba		
1.5 Nombre del Instrumento:	Formato 3: "Proctor Modificado del suelo con la adición de C.H.E"		
	Formato 4: "Índice de Plasticidad del suelo con la adición de C.H.E"		
	Formato 5: "Ensayo CBR del suelo con la adición de C.H.E"		

2.- ASPECTOS DE VALIDACIÓN Revisar cada uno de los ítems del instrumento y marcar con un aspa el recuadro(X), según la calificación que se asigna a cada uno de los indicadores.

1. DEFICIENTE(D): Si menos del 30% de los ítems cumplen con el indicador.

2. REGULAR(R): Si entre el 30% y 70% de los ítems cumplen con el indicador.

3. BUENO(B): Si mas del 70% de los ítems cumplen con el indicador.

ASPECTOS DE VALIDACIÓN INSTRUMENTAL		D	R	B	OBSERVACIONES Y/O SUGERENCIAS
CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	
PERTINENCIA	Los ítems miden lo previsto en los objetivos de investigación.			X	
COHERENCIA	Los ítems responden a lo que se debe medir en las variables y dimensiones.		X		
CONGRUENCIA	Los ítems son congruentes entre si y con conceptos que miden.		X		
OBJETIVIDAD	Los ítems miden comportamiento y acciones observables.			X	
CONSISTENCIA	Los ítems se han formulado en concordancia a los fundamentos teóricos de las variables.			X	
SUFICIENCIA	Los ítems son suficientes en cantidad para medir las variables.		X		
ORGANIZACIÓN	Los ítems están secuenciados y distribuidos de acuerdo a dimensiones e indicadores.		X		
CLARIDAD	Los ítems están redactados en un lenguaje entendible.		X		
FORMATO	Los ítems están escritos respetando aspectos teóricos (tamaño de letra, espaciado, interlineado, nitidez).			X	
ESTRUCTURA	El instrumento cuenta con instrucciones, consignas, opciones de respuesta bien definidas.		X		
CONTEO TOTAL		-	12	12	TOTAL PUNTUACIÓN
Realizar el conteo de acuerdo a la puntuación asignada a cada indicador.		A	B	C	24

Coefficiente de Validez

$$\frac{A+B+C}{30} = \frac{12+12}{30} = 0,80$$

Calificación Global

Mide el coeficiente de validez obtenido en el intervalo respectivo.

Escriba sobre el espacio el resultado.

VALIDEZ BUENA

Abancay 13 de Diciembre 2024

INTERVALOS	RESULTADOS
0.00-0.49	Validez nula
0.50-0.59	Validez muy baja
0.60-0.69	Validez baja
0.70-0.79	Validez aceptable
0.80-0.89	Validez buena
0.90-1.00	Validez muy buena



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

Dr. Wilson J. Mollocondo Flores

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN

Figura 111 — Valoración del experto N° 01

c). Valoración del experto 02


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


FORMATO ÚNICO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

PROYECTO: "Efectos de la adición de cenizas de hojas de Eucalipto en la estabilización del suelo en la carretera a Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac-2024"

AUTOR: Bachiller ZAMY WALTER ALARCÓN MOSCOSO

1.- INFORMACION GENERAL

1.1. Ubicación: PUCAHUASI

Distrito:	Chicmo	Altitud:	3192m s.n.m
Provincia:	Andahuaylas	Latitud:	513°40'34.687"
Región:	Apurímac	Longitud:	073°27'39.001"
1.2 Experto:	FERNANDEZ PALVA GARY	Nº DNI:	31191706
1.3 Grado Académico:	MAESTRO EN GESTION Y ADMINISTRACION DE LA CONST		
1.4 Institución Laboral:	MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE ANDAHUAYLAS		
1.5 Nombre del Instrumento:	Formato 3: "Proctor Modificado del suelo con la adición de C.H.E"		
	Formato 4: "Índice de Plasticidad del suelo con la adición de C.H.E"		
	Formato 5: "Ensayo CBR del suelo con la adición de C.H.E"		

2.- ASPECTOS DE VALIDACIÓN Revisar cada uno de los ítems del instrumento y marcar con un aspa el recuadro(X), según la calificación que se asigna a cada uno de los indicadores.

1. DEFICIENTE(D): Si menos del 30% de los ítems cumplen con el indicador.

2. REGULAR(R): Si entre el 30% y 70% de los ítems cumplen con el indicador.

3. BUENO(B): Si mas del 70% de los ítems cumplen con el indicador.

ASPECTOS DE VALIDACIÓN INSTRUMENTAL		D	R	B	OBSERVACIONES Y/O SUGERENCIAS
CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	
PERTINENCIA	Los ítems miden lo previsto en los objetivos de investigación.			X	
COHERENCIA	Los ítems responden a lo que se debe medir en las variables y dimensiones.		X		
CONGRUENCIA	Los ítems son congruentes entre sí y con conceptos que miden.			X	
OBJETIVIDAD	Los ítems miden comportamiento y acciones observables.			X	
CONSISTENCIA	Los ítems se han formulado en concordancia a los fundamentos teóricos de las variables.			X	
SUFICIENCIA	Los ítems son suficientes en cantidad para medir las variables.		X		
ORGANIZACIÓN	Los ítems están secuenciados y distribuidos de acuerdo a dimensiones e indicadores.		X		
CLARIDAD	Los ítems están redactados en un lenguaje entendible.			X	
FORMATO	Los ítems están escritos respetando aspectos teóricos (tamaño de letra, espaciado, interlineado, nitidez).			X	
ESTRUCTURA	El instrumento cuenta con instrucciones, consignas, opciones de repuesta bien definidas.		X		
CONTEO TOTAL		8 18			TOTAL PUNTUACIÓN
Realizar el conteo de acuerdo a la puntuación asignada a cada indicador.		A	B	C	26

Coefficiente de Validez

$\frac{A+B+C}{30}$

= 0,87

INTERVALOS	RESULTADOS
0.00-0.49	Validez nula
0.50-0.59	Validez muy baja
0.60-0.69	Validez baja
0.70-0.79	Validez aceptable
0.80-0.89	Validez buena
0.90-1.00	Validez muy buena

Calificación Global

Mide el coeficiente de validez obtenido en el intervalo respectivo.

Escriba sobre el espacio el resultado.

VALIDEZ BUENA.

ANDAHUAYLAS 05 DE DICIEMBRE 2024


 ING. GARY FERNANDEZ PALVA
 PRESIDENTE MUNICIPAL

Figura 112 — Valoración del experto N° 02

d). Valoración del experto 03



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



FORMATO ÚNICO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

PROYECTO: "Efectos de la adición de cenizas de hojas de Eucalipto en la estabilización del suelo en la carretera a Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac-2024"

AUTOR: Bachiller ZAMY WALTER ALARCÓN MOSCOSO

1.- INFORMACION GENERAL

1.1. Ubicación: PUCAHUASI

Distrito:	Chicmo	Altitud:	3192m s.n.m
Provincia:	Andahuaylas	Latitud:	513°40'34.687"
Región:	Apurímac	Longitud:	073°27'39.001"
1.2 Experto:	Jinmer Bravo Apaza	N°DNI	42632848
1.3 Grado Académico:	Magister		
1.4 Institución Laboral:	Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac		
1.5 Nombre del Instrumento:	Formato 3: "Proctor Modificado del suelo con la adición de C.H.E"		
	Formato 4: "Índice de Plasticidad del suelo con la adición de C.H.E"		
	Formato 5: "Ensayo CBR del suelo con la adición de C.H.E"		

2.- ASPECTOS DE VALIDACIÓN Revisar cada uno de los ítems del instrumento y marcar con un aspa el recuadro(X), según la calificación que se asigna a cada uno de los indicadores.

1. DEFICIENTE(D): Si menos del 30% de los ítems cumplen con el indicador.
2. REGULAR(R): Si entre el 30% y 70% de los ítems cumplen con el indicador.
3. BUENO(B): Si mas del 70% de los ítems cumplen con el indicador.

ASPECTOS DE VALIDACIÓN INSTRUMENTAL		D	R	B	OBSERVACIONES Y/O SUGERENCIAS
CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	
PERTINENCIA	Los ítems miden lo previsto en los objetivos de investigación.			X	
COHERENCIA	Los ítems responden a lo que se debe medir en las variables y dimensiones.			X	
CONGRUENCIA	Los ítems son congruentes entre sí y con conceptos que miden.		X		
OBJETIVIDAD	Los ítems miden comportamiento y acciones observables.			X	
CONSISTENCIA	Los ítems se han formulado en concordancia a los fundamentos teóricos de las variables.		X		
SUFICIENCIA	Los ítems son suficientes en cantidad para medir las variables.			X	
ORGANIZACIÓN	Los ítems están secuenciados y distribuidos de acuerdo a dimensiones e indicadores.			X	
CLARIDAD	Los ítems están redactados en un lenguaje entendible.			X	
FORMATO	Los ítems están escritos respetando aspectos teóricos (tamaño de letra, espaciado, interlineado, nitidez).			X	
ESTRUCTURA	El instrumento cuenta con instrucciones, consignas, opciones de respuesta bien definidas.		X		
CONTEO TOTAL		-	6	21	TOTAL PUNTUACIÓN
Realizar el conteo de acuerdo a la puntuación asignada a cada indicador.		A	B	C	27

Coefficiente de Validez

$\frac{A+B+C}{30}$

=

0,90

INTERVALOS	RESULTADOS
0.00-0.49	Validez nula
0.50-0.59	Validez muy baja
0.60-0.69	Validez baja
0.70-0.79	Validez aceptable
0.80-0.89	Validez buena
0.90-1.00	Validez muy buena

Calificación Global
Mide el coeficiente de validez obtenido en el Intervalo respectivo.
Escriba sobre el espacio el resultado.

Validez muy buena.

Abancay, 17 de Diciembre 2024.





Jinmer Bravo Apaza
ING. CIVIL
CIP. 130795

Figura 113 — Valoración del experto N° 03

e). Valoración del experto 04


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


FORMATO ÚNICO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

PROYECTO: "Efectos de la adición de cenizas de hojas de Eucalipto en la estabilización del suelo en la carretera a Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac-2024"

AUTOR: Bachiller ZAMY WALTER ALARCÓN MOSCOSO

1.- INFORMACION GENERAL

1.1. Ubicación: PUCAHUASI

Distrito:	Chicmo	Altitud:	3192m s.n.m
Provincia:	Andahuaylas	Latitud:	513°40'34.687"
Región:	Apurímac	Longitud:	073°27'39.001"
1.2 Experto:	ROMULO GÓMEZ NOBLEGA		
1.3 Grado Académico:	MAESTRO GESTIÓN PÚBLICA		
1.4 Institución Laboral:	UNAHBA		
1.5 Nombre del Instrumento:	Formato 3: "Proctor Modificado del suelo con la adición de C.H.E"		
	Formato 4: "Índice de Plasticidad del suelo con la adición de C.H.E"		
	Formato 5: "Ensayo CBR del suelo con la adición de C.H.E"		

2.- ASPECTOS DE VALIDACIÓN Revisar cada uno de los ítems del instrumento y marcar con un aspa el recuadro(X), según la calificación que se asigna a cada uno de los indicadores.

1. DEFICIENTE(D): Si menos del 30% de los ítems cumplen con el indicador.

2. REGULAR(R): Si entre el 30% y 70% de los ítems cumplen con el indicador.

3. BUENO(B): Si más del 70% de los ítems cumplen con el indicador.

ASPECTOS DE VALIDACIÓN INSTRUMENTAL		D	R	B	OBSERVACIONES Y/O SUGERENCIAS
CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	
PERTINENCIA	Los ítems miden lo previsto en los objetivos de investigación.			X	
COHERENCIA	Los ítems responden a lo que se debe medir en las variables y dimensiones.			X	
CONGRUENCIA	Los ítems son congruentes entre sí y con conceptos que miden.			X	
OBJETIVIDAD	Los ítems miden comportamiento y acciones observables.			X	
CONSISTENCIA	Los ítems se han formulado en concordancia a los fundamentos teóricos de las variables.		X		
SUFICIENCIA	Los ítems son suficientes en cantidad para medir las variables.		X		
ORGANIZACIÓN	Los ítems están secuenciados y distribuidos de acuerdo a dimensiones e indicadores.			X	
CLARIDAD	Los ítems están redactados en un lenguaje entendible.			X	
FORMATO	Los ítems están escritos respetando aspectos teóricos (tamaño de letra, espaciado, interlineado, nitidez).			X	
ESTRUCTURA	El instrumento cuenta con instrucciones, consignas, opciones de respuesta bien definidas.		X		
CONTEO TOTAL		-	6	21	TOTAL PUNTUACIÓN
Realizar el conteo de acuerdo a la puntuación asignada a cada indicador.		A	B	C	27

Coefficiente de Validez

$\frac{A+B+C}{30}$

=

0,90

INTERVALOS	RESULTADOS
0.00-0.49	Validez nula
0.50-0.59	Validez muy baja
0.60-0.69	Validez baja
0.70-0.79	Validez aceptable
0.80-0.89	Validez buena
0.90-1.00	Validez muy buena

Calificación Global

Mide el coeficiente de validez obtenido en el intervalo respectivo.

Escriba sobre el espacio el resultado.

VALIDEZ BUENA

ABANCAY, 20 DE DICIEMBRE 2024



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

Mig. Romulo Gómez Noblega

DOCENTE

Figura 114 — Valoración del experto N° 04

f). Valoración del experto 05


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


FORMATO ÚNICO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

PROYECTO: "Efectos de la adición de cenizas de hojas de Eucalipto en la estabilización del suelo en la carretera a Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurímac-2024"

AUTOR: Bachiller ZAMY WALTER ALARCÓN MOSCOSO

1.- INFORMACION GENERAL

1.1. Ubicación: PUCAHUASI

Distrito:	Chicmo	Altitud:	3192m s.n.m
Provincia:	Andahuaylas	Latitud:	513°40'34.687"
Región:	Apurímac	Longitud:	073°27'39.001"

1.2 Experto: Erick Alarcón Camacho **N°DNI:** 31039703

1.3 Grado Académico: Doctor en Gestión Pública y Gobernabilidad

1.4 Institución Laboral: Universidad Tecnológica de los Andes

1.5 Nombre del Instrumento: Formato 3: "Proctor Modificado del suelo con la adición de C.H.E"
Formato 4: "Índice de Plasticidad del suelo con la adición de C.H.E"
Formato 5: "Ensayo CBR del suelo con la adición de C.H.E"

2.- ASPECTOS DE VALIDACIÓN Revisar cada uno de los ítems del instrumento y marcar con un aspa el recuadro(X), según la calificación que se asigna a cada uno de los indicadores.

1. DEFICIENTE(D): Si menos del 30% de los ítems cumplen con el indicador.

2. REGULAR(R): Si entre el 30% y 70% de los ítems cumplen con el indicador.

3. BUENO(B): Si más del 70% de los ítems cumplen con el indicador.

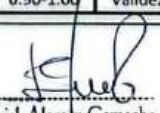
ASPECTOS DE VALIDACIÓN INSTRUMENTAL		D	R	B	OBSERVACIONES Y/O SUGERENCIAS
CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	
PERTINENCIA	Los ítems miden lo previsto en los objetivos de investigación.			X	
COHERENCIA	Los ítems responden a lo que se debe medir en las variables y dimensiones.			X	
CONGRUENCIA	Los ítems son congruentes entre sí y con conceptos que miden.			X	
OBJETIVIDAD	Los ítems miden comportamiento y acciones observables.			X	
CONSISTENCIA	Los ítems se han formulado en concordancia a los fundamentos teóricos de las variables.			X	
SUFICIENCIA	Los ítems son suficientes en cantidad para medir las variables.		X		
ORGANIZACIÓN	Los ítems están secuenciados y distribuidos de acuerdo a dimensiones e indicadores.		X		
CLARIDAD	Los ítems están redactados en un lenguaje entendible.			X	
FORMATO	Los ítems están escritos respetando aspectos teóricos (tamaño de letra, espaciado, interlineado, nitidez).			X	
ESTRUCTURA	El instrumento cuenta con instrucciones, consignas, opciones de respuesta bien definidas.		X		
CONTEO TOTAL		—	6	21	TOTAL PUNTUACIÓN
Realizar el conteo de acuerdo a la puntuación asignada a cada indicador.		A	B	C	27

Coefficiente de Validez $\frac{A+B+C}{30} = 0,90$

Calificación Global
Mide el coeficiente de validez obtenido en el intervalo respectivo.
Escriba sobre el espacio el resultado.

Validez muy buena

Abancay, 04 de diciembre del 2024


Dr. Erick Alarcón Camacho
CIP: 84430

INTERVALOS	RESULTADOS
0.00-0.49	Validez nula
0.50-0.59	Validez muy baja
0.60-0.69	Validez baja
0.70-0.79	Validez aceptable
0.80-0.89	Validez buena
0.90-1.00	Validez muy buena

Figura 115 — Valoración del experto N° 05

Anexo E. — Panel fotográfico

Reconocimiento y levantamiento Topográfico del lugar



Figura 116 — Carretera de Pucahuasi



Figura 117 — Entrada y levantamiento topográfico de la carretera de Pucahuasi



Figura 118 — Arboles de Eucalipto en cantidad en la carretera de Pucahuasi



Figura 119 — Ubicación Geográfica de Santa María de Chicmo

Excavación de las calicatas



**Figura 120 — Carretera Pucahuasi
Calicata 01: 1x1.50x1.5m**



**Figura 121 — Carretera Pucahuasi
Calicata 01: 1x1.5x1.5m**



**Figura 122 — Carretera Pucahuasi
Calicata 02: 1x1.5x1.5m**



**Figura 123 — Carretera Pucahuasi
Calicata 02: 1x1.5x1.5m**

Recojo y pesado de muestras insitu



**Figura 124 — Carretera Pucahuasi
Calicata 03: 1x1.5x1.5m**



**Figura 125 — Carretera Pucahuasi
Calicata 03: 1x1.5x1.5m**



Figura 126 — Extracción y pesado de la muestra de la calicata 2; 50Kg de tierra a 1,5m de profundidad.



Figura 127 — Extracción y pesado de la muestra de la calicata 1; 50Kg de tierra a 1,5m de profundidad.

Recolección de las cenizas de hojas de Eucalipto



Figura 128 — Rebrote de árbol de Eucalipto talado en la carretera de Pucahuasi



Figura 129 — Recolección de desechos de la tala del árbol Eucalipto en la carretera de Pucahuasi



Figura 130 — Recolección de hojas de Eucalipto en la carretera de Pucahuasi



Figura 131 — Recolección de cenizas de hojas de Eucalipto del horno de una ladrillera de Chaccamarca-Andahuaylas

Acoplo y traslado de las muestras al laboratorio para su análisis



Figura 132 — Muestra del suelo extraído de la carretera de Pucahuasi



Figura 133 — Muestra de las cenizas de hojas de Eucalipto después de la incineración y secado en el horno



Figura 134 — Acoplo de las muestras antes de ser llevadas al laboratorio
Muestra de suelo por calicata: 100kg
Muestra de cenizas por calicata: 30kg



Figura 135 — Acoplo de las muestras de tierra y cenizas de hojas de Eucalipto

Ensayo: Contenido de humedad



Figura 136 — Pesado para el Contenido de humedad



Figura 137 — Muestras para el contenido de humedad

Ensayo: Granulometría por tamizado



Figura 138 — Cuarteo de muestra de la calicata 1 para ensayo de granulometría



Figura 139 — Cuarteo de muestra de la calicata 3 para ensayo de granulometría



Figura 140 — Cuarteo de las 3 calicatas para su granulometría



Figura 141 — Análisis granulométrico por tamizado de la calicata 3

Ensayo: Límites de Atterberg

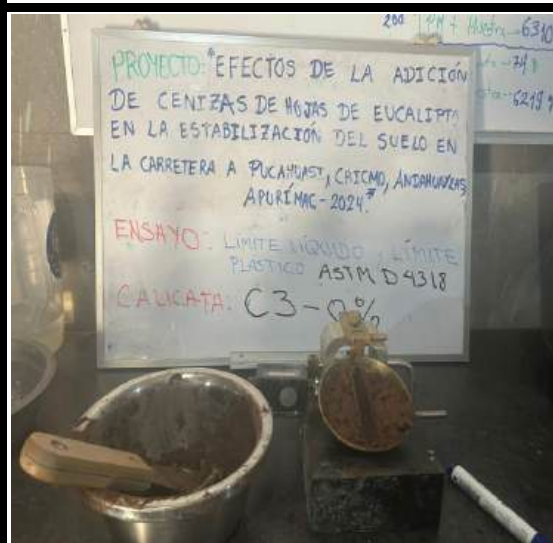


Figura 142 — Límite líquido y límite plástico suelo natural. C3

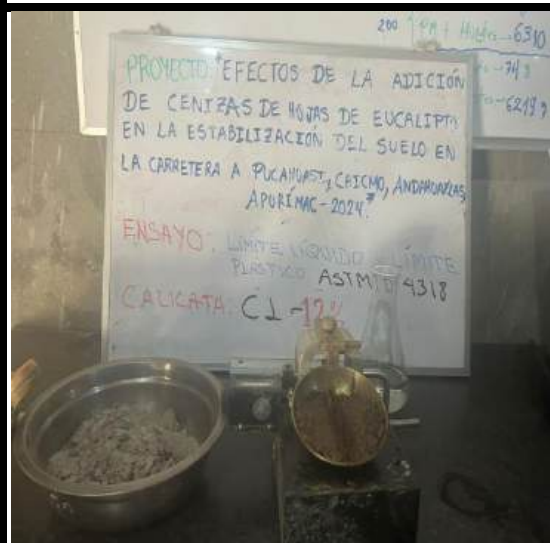


Figura 143 — Límite Líquido con cenizas de hojas de Eucalipto al 12% C1

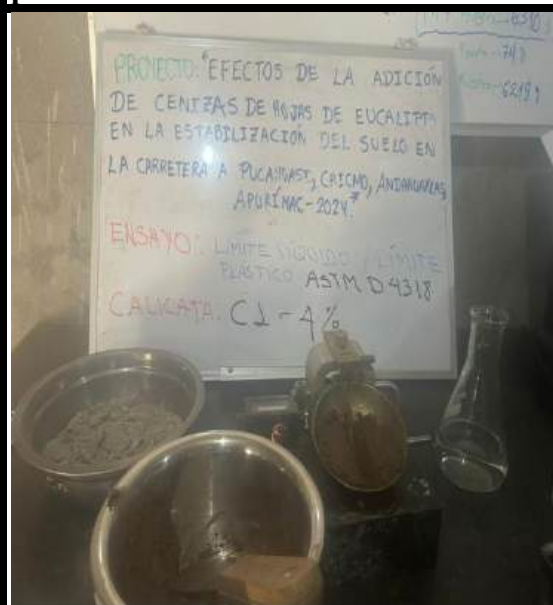


Figura 144 — Límite líquido con cenizas de hojas de Eucalipto al 4%. C1

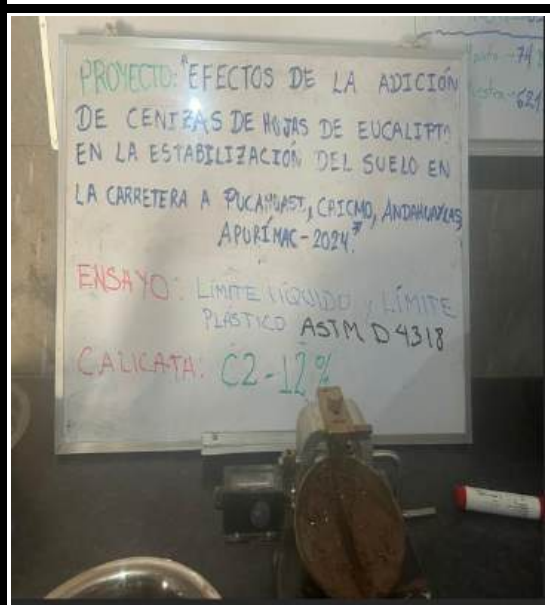


Figura 145 — Límite líquido con cenizas de hojas de Eucalipto al 4%. C2

Ensayo: Proctor Modificado



Figura 146 — Pesado de la muestra para ensayo Proctor Modificado



Figura 147 — Suelo más adición de polvo de cenizas de hojas de eucalipto al 8%

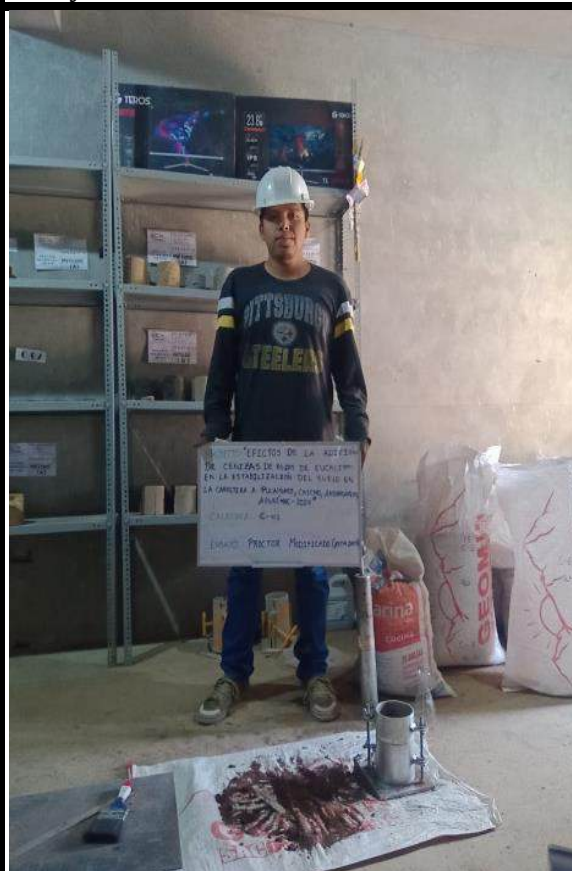


Figura 148 — Ensayo de Proctor modificado



Figura 149 — Compactación del suelo para Proctor Modificado

Ensayo: CBR de suelos en laboratorio



Figura 150 — Ensayo CBR



Figura 151 — Ensayo CBR al 95%



Figura 152 — Molde con muestra con CBR al 95%



Figura 153 — Suelo con cenizas de hojas de Eucalipto para CBR; calicata 1



Figura 154 — Suelo con cenizas de hojas de Eucalipto para CBR; calicata 2



Figura 155 — Suelo con cenizas de hojas de Eucalipto para CBR; calicata 3

Anexo F. Autorización de consentimiento para realizar la investigación

*"AÑO DEL BICENTENARIO DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA
INDEPENDENCIA Y DE LA CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS
DE JUNÍN Y AYACUCHO"*

CARTA N°13-A-2024-NPC/CCP

A: Sr. Bach. Zamy Walter Alarcón Moscoso

DE: Nilo Palomino Castillo

PRESIDENTE DE LA COMUNIDAD CAMPESINA DE PUCAHUASI

ASUNTO: AUTORIZACIÓN PARA LA EJECUCIÓN DE TESIS TITULADO
"EFECTOS DE LA ADICIÓN DE CENIZAS DE HOJAS DE EUCALIPTO EN LA
ESTABILIZACIÓN DEL SUELO EN LA CARRETERA A PUCAHUASI, CHICMO,
ANDAHUAYLAS, APURIMAC-2024".

FECHA: Pucahuasi, 17 de octubre del 2024

Mediante el presente yo NILO PALOMINO CASTILLO, en mi calidad de **Presidente de la Comunidad Campesina de Pucahuasi**, autorizo y proporciono la información necesaria al bachiller Zamy Walter Alarcón Moscoso para la realización de su tesis titulada "Efectos de la adición de cenizas de hojas de Eucalipto en la estabilización del suelo en la carretera a Pucahuasi, Chicmo, Andahuaylas, Apurimac-2024".

El Sr. Bachiller Zamy Walter Alarcón Moscoso está autorizado para que lleve a cabo las actividades necesarias para la recopilación de información, observación de campo y toda información adicional que requiera, siempre en coordinación con la comunidad de Pucahuasi mediante los medios necesarios.

Sin otro particular, hago propicia esta oportunidad para hacerle llegar mi saludo cordial.

Atentamente

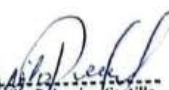


Nilo Palomino Castillo
DNI: 31179145
PRESIDENTE

Figura 156 — Autorización para ejecución de tesis.

Anexo G. Certificados de calibración de los equipos de laboratorio



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° LBS-468-2024

Arsou Group
Laboratorio de Metrología

Fecha de emisión: 2024/04/16 Solicitante: ECX - INGENIEROS E.I.R.L. Dirección: JR. LOS LIRIOS NRO. 5N URB. PATIBAMBA B.A. APURIMAC - ABANCAY - ABANCAY Instrumento de medición: CONO PARA DENSIDAD DE CAMPO Identificación: NO INDICA Marca: ARSOU Modelo: NO INDICA Serie: 1481 Estructura: BRONCE Bidón: PLASTICO Marca: NO INDICA Base: ALUMINIO Procedencia: PERÚ Ubicación: LABORATORIO DE SUELOS Lugar de calibración: LABORATORIO DE ARSOU GROUP S.A.C.	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI) Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes. ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento. Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.
---	---

Método/Procedimiento de calibración:

La calibración se efectuó por comparación directa tomando como referencia el procedimiento PC-012 Sta. Ed., "Procedimiento de Calibración de Pie de Rey", del SNM-INDECOPI y la Norma del MTC 117 – Ensayo para determinar la densidad de los suelos en el campo por el método de cono de arena.



ARSOU GROUP S.A.C.

ARSOU GROUP S.A.C.
Mza. E Lote 2 Urb. La virreyna, San Martín de Porres, Lima, Perú
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
ventas@arsougroup.com

Figura 157 — Certificado de calibración 1



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

N° LBS-468-2024



Arsou Group
Laboratorio de Metrología

Patrones e Instrumentos auxiliares

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
DSI AUTOMATION EIRL	Pie de Rey digital de 300 mm a 0.01 mm	L-0048-2022

Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental	Inicial: 16 °C	Final: 17 °C
Humedad Relativa	Inicial: 68 %hr	Final: 71 %hr

Resultados

IMAGEN N° 01

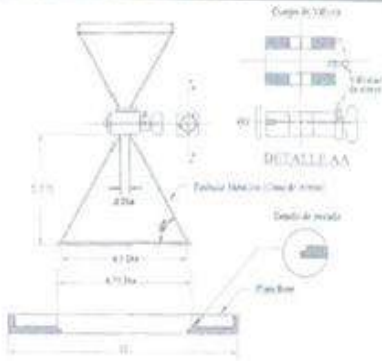


TABLA N° 01

VERIFICACIÓN

	Dato Prom. (mm)	Dato Normado (mm)	Resultado
Altura de Caída de Arena	137.6	136.5	OK
Diametro de Base	164.9	165.1	OK
Agujero de Válvula	12.8	12.7	OK
Base Cuadrada	300	300	OK

Observaciones

- Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
- (*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
- Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"

ARSOU GROUP S.A.C.



Hugo Luis Arevalo Carnic
METROLOGÍA



ARSOU GROUP S.A.C.
 Mza. E Lote 2 Urb. La Virreyña, San Martín de Porres, Lima, Perú
 Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
 ventas@arsougroup.com
 www.arsougroup.com

Figura 158 — Certificado de calibración 2



Arsou Group
Laboratorio de Metrología

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° LBS-468-2024

Página 1 de 2

Fecha de emisión	2024/04/16	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realicen las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI). Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes. ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento. Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.
Solicitante	ECX - INGENIEROS E.I.R.L.	
Dirección	JR. LOS LIRIOS NRO. 50 URB. PATIBAMBA BALA APURIMAC - ABANCAY - ABANCAY	
Instrumento de medición	ESCLEROMETRO	
Identificación	NO INDICA	
Marca	NO INDICA	
Modelo	NO INDICA	
Serie	1271	
Tipo	N	
Lectura	ANÁLOGO	
Procedencia	CHINA	
Ubicación	LABORATORIO DE CONCRETO	
Lugar de calibración	LABORATORIO DE ARSOU GROUP S.A.C.	

Método/Procedimiento de calibración

La Verificación del equipo se determino realizando la prueba de exactitud, para ello se sostiene el esclerómetro firmemente de manera que el embolo esté perpendicular a la superficie de la prueba (Yunque), después del impacto se lee el número de rebote en la escala al número entero más cercano y se registra. Para el caso del equipo tenga lectura digital, solo registrar el valor que indica el dispositivo.

El número de rebote obtenido debe ser 81 ± 2 para el tipo N y de 75 ± 2 para el tipo L. La prueba se realizó teniendo en cuenta las Normas ASTM C805 y EN 12504-2.



ARSOU GROUP S.A.C.
Mr. Luis Arriola Castro
Laboratorio de Metrología

ARSOU GROUP S.A.C.
Asoc. Vía. Las Flores de San Diego Mo. C/06a Q1, San Martín de Porres, Lima, Perú
Telf: +51 303-1680 / +51 496-8887 / Cel: +51 928 336 783 / Cel: +51 925 351-437
ventas@arsougroup.com
www.arsougroup.com

Figura 159 — Certificado de calibración 3



Arsou Group
Laboratorio de Metrología

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° LD-043-2024

Página 2 de 2

Patrones e Instrumentos auxiliares

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ	YUNQUE	MAT-JUN-0513-2021

Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental	Inicial: 17 °C	Final: 17 °C
Humedad Relativa	Inicial: 68 %hr	Final: 71 %hr

Resultados

LECTURA	HRC
1	71
2	74
3	73
4	70
5	73
6	71
7	72
8	72
9	70
10	68
Promedio:	71.4
	OK
Factor reajuste	1.13




Observaciones

1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. (*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
3. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"

Fin de documento



ARSOU GROUP S.A.C.
Ing. Alexis Cornejo

ARSOU GROUP S.A.C.
 Av. Vía Las Flores de San Diego M.C. Lote 01, S/N Martín de Porres, Lima, Perú
 Telf: +51 911-01660 / +51 996-6887 / Cel: +51 928 136 793 / Cel: +51 925 151 437
 ventas@arsougroup.com
 www.arsougroup.com

Figura 160 — Certificado de calibración 4



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° LD-043-2024

Página 1 de 3

Arsou Group
Laboratorio de Metrología

Fecha de emisión:	2024/04/16
Solicitante:	ECX - INGENIEROS E.I.R.L.
Dirección:	JR. LOS LIRIOS NRO. SN URB. PATIBAMBA BAJA APURIMAC - ABANCAY - ABANCAY
Instrumento de medición:	BALANZA
Identificación:	NO INDICA
Intervalo de indicación:	30000 g
División de escala:	1 g
Resolución:	1 g
División de verificación (e):	1 g
Tipo de indicación:	Digital
Marca / Fabricante:	OHAUS
Módulo:	R21P30
N° de serie:	8390110628
Procedencia:	ESTADOS UNIDOS
Ubicación:	LABORATORIO DE SUELOS
Lugar de calibración:	LABORATORIO DE ARSOU GROUP S.A.C.

Método/Procedimiento de calibración

"Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase III y IIII" (PC-001) del SNM-INDECOPI, 3era edición Enero 2009 y la Norma Metrológica Peruana "Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento No Automático (NMP 003:2009)

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.

ARSOU GROUP S.A.C.



Ing. Hugo Luis Arevalo Carrillo
METROLOGÍA



ARSOU GROUP S.A.C.
Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
ventas@arsougroup.com

Figura 161 — Certificado de calibración 5



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

N° LD-043-2024

Página 2 de 3



Laboratorio de Metrología

Patrones e Instrumentos auxiliares

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
PESATEC PERÚ S.A.C.	Juego de Pesas de 1mg a 1kg	1226-MPES-C-2022
PESATEC PERÚ S.A.C.	Juego de Pesas de 1g a 1kg	1227-MPES-C-2022
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 5kg	1228-MPES-C-2022
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 10 kg	1229-MPES-C-2022
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 20kg	1230-MPES-C-2022

Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental	Inicial: 17 °C	Final: 17 °C
Humedad Relativa	Inicial: 71 %hr	Final: 71 %hr

Resultados

ENSAYO DE REPETIBILIDAD						
Medición N°	Carga L1= 15000 g			Carga L1= 30000 g		
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)
1	14997	0.07	-0.12	3000	0.05	-0.1
2	14998	0.07	-0.15	29999	0.04	-0.12
3	14997	0.04	-0.12	30000	0.05	-0.13
4	14998	0.02	-0.11	30000	0.04	-0.1
5	14998	0.06	-0.11	30000	0.03	-0.11
6	14997	0.07	-0.11	29999	0.05	-0.11
7	14998	0.06	-0.11	30000	0.04	-0.11
8	14999	0.06	-0.12	29999	0.05	-0.1
9	14999	0.09	-0.12	29999	0.04	-0.11
10	15001	0.08	-0.1	30000	0.05	-0.11

Carga (g)	Diferencia Máxima Encontrada (g)	Error Máximo Permitido (g)
15001	0	1
30000	0	5



ING. JUAN LUIS AREVALO CARNIC
METROLOGÍA



ARSOU GROUP S.A.C.
 Asoc. Vlv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú
 Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
 ventas@arsougroup.com
 www.arsougroup.com

Figura 162 — Certificado de calibración 6



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° LMA-728-2024

Arsou Group
Laboratorio de Metrología

Página 3 de 3

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Posición de la Carga	Determinación de E_0				Determinación de E_0				
	Carga Min ⁽¹⁾ (g)	I (kg)	ΔL (g)	E_0 (g)	Carga L (g)	I (kg)	ΔL (g)	E (g)	E_c (g)
1	1	1	0.04	-0.06	500	500	0.07	-0.02	0.07
2		1	0.05	-0.01		500	0.07	-0.02	0
3		1	0.03	0		500	0.05	-0.01	-0.03
4		1	0.02	0.01		500	0.07	0.04	0.05
5		1	0.07	-0.02		499	0.07	0.19	0.21

⁽¹⁾ Valor entre 0 y 10 e

ENSAYO DE PESAJE

Carga L (g)	Crecientes				Decrecientes				EMP ⁽²⁾ (±g)
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	E_c (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	E_c (g)	
1	1	1	-0.02						1
5	10	10	0.01	0.01	10	0.04	0.01	0.03	1
10	50	50	-0.01	0.01	50	0.04	-0.03	-0.05	1
50	100	100	0.00	0	100	0.02	-0.07	-0.05	1
100	200	200	0.00	0	200	0.06	-0.04	0.01	1
500	500	500	0.01	0.01	500	0.06	-0.01	0.00	1
1000	1000	1000	-0.02	0.02	1000	0.05	0.00	0.02	1
5000	5000	4999	-0.05	0.03	4999	0.06	-0.18	-0.02	1
10000	10000	9999	0.01	0.01	4999	0.15	0.21	0.11	5
15000	15000	14998	0.09	0.03	14999	0.05	-0.12	-0.01	5
30000	30000	30000	0.15	0.18	30000	0.05	-0.18	-0.15	5

Incertidumbre de la medición: 1 g

Leyenda

I: Indicación de la balanza ΔL : Carga Incrementada E: Error encontrado
 E_0 : Error en cero E_c : Error corregido EMP: Error máximo permitido

INCERTIDUMBRE EXPANDIDA Y LECTURA CORREGIDA

Incertidumbre expandida de medición: $U_R = 2 \cdot \sqrt{0.43325 \text{ g}^2 + 0.000000010841 \text{ R}^2}$

Lectura Corregida: $R_{\text{corregida}} = R + 0.938558532 \cdot R$

R: Indicación de lectura de balanza (g)

Observaciones

1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. Los EMP para esta balanza, corresponden para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud II según la Norma Metrología Peruana NMP 003:2009
3. La incertidumbre de la medición ha sido calculada para un nivel de confianza de aproximadamente del 95 % con un factor de cobertura k=2.
4. (*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
5. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"

ARSOU GROUP S.A.C.
 Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 02, San Martín de Porres, Lima, Perú
 Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
 ventas@arsougroup.com
 www.arsougroup.com

ARSOU GROUP S.A.C.

Jorge Luis Alvarado Carhué

METROLOGÍA



Figura 163 — Certificado de calibración 7



Arsou Group
Laboratorio de Metrología

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° LB5-467-2024

Página 1 de 2

Fecha de emisión	2024/04/16	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI). Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes. ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento. Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.
Solicitante	ECX - INGENIEROS E.I.R.L.	
Dirección	JR. LOS LIRIOS NRO. 5N URB. PATIBAMBA BAJA APURIMAC - ABANCAY - ABANCAY	
Instrumento de medición	CONO Y PISÓN DE ABSORCIÓN	
Identificación	NO INDICA	
Marca	ARSOU	
Modelo	NO INDICA	
Serie	1502	
Estructura	ACERO	
Procedencia	PERÚ	
Ubicación	LABORATORIO DE SUELOS	
Lugar de calibración	LABORATORIO DE ARSOU GROUP S.A.C.	

Método/Procedimiento de calibración

La calibración de efectuó por comparación directa tomando como referencia el procedimiento PC-012 5ta. Ed., "Procedimiento de Calibración de Pie de Rey", del SNM-INDECOPI y la Norma del MTC 205.

ARSOU GROUP S.A.C.



Ricardo La Cruz
Gerente General



ARSOU GROUP S.A.C.

Mza. E Lote 2 Urb. La virreyna, San Martín de Porres, Lima, Perú

Tel: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 928 151 437

ventas@arsougroup.com

www.arsougroup.com

Figura 164 — Certificado de calibración 8



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° LBS-467-2024

Página 2 de 2



Arsou Group
Laboratorio de Metrología

Patrones e Instrumentos auxiliares:

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
DSI AUTOMATION EIRL	Pie de Rey digital de 300 mm a 0.01 mm	L-0048-2022
Patrones de referencia de INACAL	Balanza Ohaus de 30 kg x 1 g	144-LM-2021

Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental	Inicial: 17 °C	Final: 17 °C
Humedad Relativa	Inicial: 71 %hr	Final: 70 %hr

Resultados

TABLA N° 01			
MOLDE CÓNICO			
	Dato Prom. (mm)	Tolerancia	Resultado
Espesor	1.52	> 0.8	OK
Ø Interior Base Menor	39.87	40 +/- 3	OK
Ø Interior Base Mayor	90.02	90 +/- 3	OK
Altura	75.12	75 +/- 3	OK

TABLA N° 01			
PISÓN			
	Dato Prom. (mm)	Tolerancia	Resultado
Peso (g.)	341	340 +/- 15	OK
Superfi. Circ. Plana (mm)	25.1	25 +/- 3	OK

Observaciones

1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. (*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
3. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"

ARSOU GROUP S.A.C.
Mza. E Lote 2 Urb. La Virreyña, San Martín de Porres, Lima, Perú
Tel: +51 301 1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
ventas@arsougroup.com
www.arsougroup.com



ARSOU GROUP S.A.C.
Miguel Luis Arango Carrillo
METROLOGÍA



Figura 165 — Certificado de calibración 9



Arsou Group
Laboratorio de Metrología

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° LBS-467-2024

Página 1 de 3

Fecha de emisión	2024/04/16	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI). Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes. ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento. Este certificado no podrá ser reproducido ni difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.
Solicitante	ECX - INGENIEROS E.I.R.L.	
Dirección	JIR. LOS LIRIOS NRO. 5N URB. PATIBAMBA BAJA APURIMAC - ABANCAY - ABANCAY	
Instrumento de medición	PRENSA HIDRAULICA PARA CONCRETO	
Identificación	NO INDICA	 
Marca	ARSOU	
Modelo	PR402	
Serie	PR01	
Capacidad	120,000 kg	
Indicador	HIGH WEIGHT	
Resolución	1 kg	
Serie	NO INDICA	
Bomba	ELECTRICA	
Procedencia	PERU	
Ubicación	Laboratorio de concreto	 ARSOU GROUP S.A.C.
Lugar de calibración	LABORATORIO DE ARSOU GROUP S.A.C.	

Método/Procedimiento de calibración

El procedimiento toma como referencia a la norma ISO 7500-1 "Metallic materials - Verification of static uniaxial testing machines", Se aplicaron dos series de carga al Sistema Digital mediante la misma prensa. En cada serie se registraron las lecturas de las cargas.

ARSOU GROUP S.A.C.
 Avoc: Vía Las Flores de San Diego Mo C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú
 Telf: +51 201 1680 / +51 496-8887 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
 Ventas@arsougroup.com
 www.arsougroup.com

Figura 166 — Certificado de calibración 10



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° LBS-467-2024

Página 2 de 3

Arsou Group
 Laboratorio de Metrología

Patrones e Instrumentos auxiliares

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ	Transductor de presión	INF-LE N° 175-21

Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental	Inicial: 17,4 °C	Final: 17,8 °C
Humedad Relativa	Inicial: 69 %hr	Final: 69 %hr

Resultados

SISTEMA DIGITAL "A" kg	SERIES DE VERIFICACIÓN PATRON				PROMEDIO "B" kg	ERROR Ep %	RPTBLD Rp %
	SERIE (1) kg	SERIE (2) kg	ERROR %	ERROR (2) %			
10000	10009	10010	0.09	0.10	10010	0.10	0.01
20000	20011	20008	0.06	0.04	20010	0.05	0.01
30000	30001	30012	0.00	0.04	30007	0.02	0.03
40000	40008	40012	0.02	0.03	40010	0.03	0.01
50000	49998	50001	0.00	0.00	50000	0.00	0.00
60000	60033	60005	0.06	0.01	60019	0.03	0.03
70000	69987	70002	-0.02	0.00	69995	-0.01	0.02
80000	79981	80006	-0.02	0.01	79994	-0.01	0.02




ARSOU GROUP S.A.C.
 Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú
 Telf: +51 301-1680 / +51 496-8887 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
 ventas@arsougroup.com
 www.arsougroup.com


Ing. Hugo Luis Arevalo Carnier
METROLOGÍA

Figura 167 — Certificado de calibración 11



Figura 168 — Certificado de calibración 12



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° LB5-467-2024

Página 1 de 3



Arsou Group
Laboratorio de Metrología

Fecha de emisión	2024/04/16
Solicitante	ECX - INGENIEROS E.I.R.L.
Dirección	JR. LOS LIRIOS NRO. 50 URB. PATIBAMBA BAJA APURIMAC - ABANCAY - ABANCAY
Instrumento de medición	PRENSA CBR
Identificación	NO INDICA
Marca Prensa	ARSOU
Modelo	PR401
Serie	CBR-01
Celda de Carga	ANYLOAD
Modelo	NO INDICA
Capacidad	5000 kgf
Indicador	DIGITAL
Modelo	DD-KC1
Ubicación	LABORATORIO DE SUELOS
Lugar de calibración	LABORATORIO DE ARSOU GROUP S.A.C.

Método/Procedimiento de calibración

El procedimiento toma como referencia a la norma ISO 7500-1 "Metallic materials - Verification of static uniaxial testing machines". Se aplicaron dos series de carga al Sistema Digital mediante la misma prensa. En cada serie se registraron las lecturas de las cargas.

ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. de viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú

Tel: +51 903-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 351 487

ventas@arsougroup.com

www.arsougroup.com

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a regulaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.





Figura 169 — Certificado de calibración 13

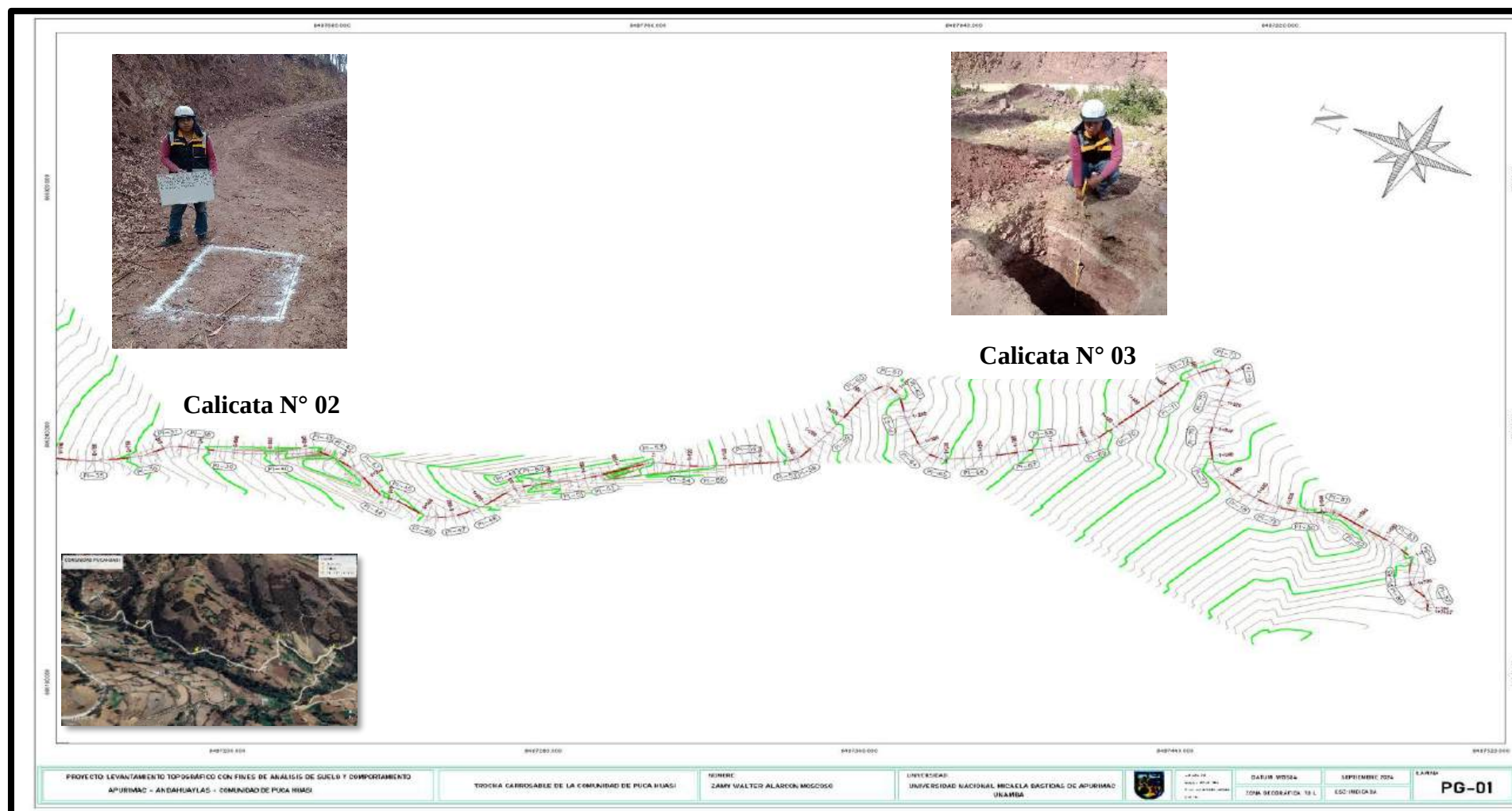


Figura 171 — Figura del plano topográfico de calicatas de la carretera a Pucahuasi - 2