

**TRABAJO DE GRADO MODALIDAD INVESTIGACIÓN, PARA OBTENER EL
TÍTULO EN INGENIERÍA CIVIL**

**ESTABILIZACIÓN DE SUELOS EN VÍAS TERCIARIAS NO PAVIMENTADAS
MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CENIZAS DE CÁSCARA DE CAFÉ.**



PRESENTADO POR:

CLAUDIA VIVIANA CARRASQUILLA ASTUDILLO

UNIVERSIDAD DEL CAUCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE VÍAS Y TRANSPORTE

POPAYÁN

2023

**TRABAJO DE GRADO MODALIDAD INVESTIGACIÓN, PARA OBTENER EL
TÍTULO EN INGENIERÍA CIVIL**

**ESTABILIZACIÓN DE SUELOS EN VÍAS TERCIARIAS NO PAVIMENTADAS
MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CENIZAS DE CÁSCARA DE CAFÉ**

PRESENTADO POR:

CLAUDIA VIVIANA CARRASQUILLA ASTUDILLO

Código: 100417021446

DIRECTOR(ES):

Ph.D. CARLOS ANIBAL CALERO VALENZUELA

Ph.D. FERNEY QUIÑONES SINISTERRA

UNIVERSIDAD DEL CAUCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE VÍAS Y TRANSPORTE

POPAYÁN

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma Director

Firma Codirector

Firma Jurado

Firma Jurado

Septiembre de 2023. Popayán, Cauca, Colombia.

DEDICATORIA

A mi madre María Rubiela Astudillo Orozco, mi constante apoyo, la persona que me motiva a seguir adelante todos los días.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mi familia por ser los principales promotores de mis sueños; por toda la ayuda que me brindaron y por confiar y creer en mí.

Agradezco inmensamente a la Universidad del Cauca, especialmente a la Facultad de Ingeniería Civil, por forjarme tanto profesional como personalmente a lo largo de estos años de estudio.

Gracias al Centro de Desarrollo Tecnológico Vial, por aprobar, apoyar y financiar la realización del proyecto.

Gracias a todo el equipo de trabajo: Daniel, Néstor, Don Gabriel, Don Mario, Don Jorge, Laura, Jenniffer, Derly, Santiago, Vanessa, Denyi; con quienes tuve la oportunidad de compartir en el laboratorio de suelos, sin los cuales nada de esto hubiera sido posible; gracias por brindarme todo su conocimiento y ayuda, así como su compañía que hizo mucho más agradable el espacio de trabajo.

Gracias a mis directores de tesis, los ingenieros Carlos Aníbal Calero Valenzuela y Ferney Quiñones Sinisterra por todo el conocimiento brindado, así como el apoyo ofrecido en este trabajo; gracias por su excelente labor como docentes.

Gracias a la ingeniera Erika Jaramillo y al ingeniero Aldemar González por todos los comentarios constructivos que aportaron a esta investigación.

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción.....	17
1.1. Planteamiento del problema.....	17
1.2. Justificación.....	20
1.3. Alcance del proyecto.....	23
1.4. Beneficios del proyecto.....	24
1.5. Limitaciones del proyecto.....	25
1.6. Organización del proyecto.....	26
1.7. Objetivos.....	27
1.7.1. Objetivo general.....	27
1.7.2. Objetivos específicos.....	27
2. Revisión de literatura.....	28
2.1. Proceso industrial del café.....	28
2.2. Composición y características de la cáscara de café.....	33
2.3. Estabilización de suelos por medio de alternativas no convencionales.....	35
2.3.1. Estabilización de suelos con ceniza de cáscara de café en el mundo.....	35
2.3.2. Estabilización de suelos con ceniza de cáscara de café en Colombia.....	38
2.4. Convenio 1633.....	41
2.4.1. Clasificación.....	41
2.4.2. Características.....	45
2.4.3. Ensayos realizados y su descripción.....	46
2.4.4. Resultados obtenidos en el proceso de estabilización.....	48
2.4.5. Selección.....	57
3. Metodología.....	58
3.1. Marco geográfico.....	60
3.2. Marco normativo.....	62
3.3. Descripción de la metodología.....	63
4. Trabajo de campo.....	65
4.1. Recolección de materiales.....	65
4.1.1. Obtención de la ceniza de cáscara de café (CCC).....	65
4.1.2. Recolección de suelo 1 (Arcilla de alta plasticidad - CH).....	67
4.1.3. Recolección de suelo 2 (Limo de baja plasticidad - ML).....	67
4.1.4. Recolección de suelo 3 (Limo de alta plasticidad MH).....	68
4.1.5. Recolección de suelo 4 (Arcilla de baja plasticidad - CL).....	68

4.2. Mezclas de suelo con estabilizante (Ceniza de cáscara de café).....	69
4.3. Ensayos de laboratorio	70
4.3.1. Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos. INV E - 123	70
4.3.2. Determinación del límite líquido de los suelos. INV E - 125	70
4.3.3. Límite plástico e índice de plasticidad. INV E - 126	71
4.3.4. Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos, empleando un picnómetro con agua. INV E - 128	72
4.3.5. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos para propósitos de ingeniería (SUCS). INV E - 181	73
4.3.6. Relaciones humedad - peso unitario seco de mezclas de suelo con estabilizantes químicos no tradicionales. INV E - 631 - 22.....	73
4.3.7. Resistencia a la compresión inconfiada de muestras de suelo estabilizadas con productos químicos no tradicionales. INV E - 632 - 22.....	74
5. Análisis de resultados: Caracterización de materiales en estado natural o no estabilizado.....	77
5.1. Granulometría	77
5.1.1. Ceniza de cáscara de café (CCC)	77
5.1.2. Suelo 1 - Arcilla de alta plasticidad (CH)	78
5.1.3. Suelo 2 - Limo de baja plasticidad (ML).....	79
5.1.4. Suelo 3 - Limo de alta plasticidad (MH).....	80
5.1.5. Suelo 4 - Arcilla de baja plasticidad (CL).....	81
5.2. Gravedad específica.	82
5.2.1. Ceniza de cáscara de café (CCC)	82
5.2.2. Suelo 1 - Arcilla de alta plasticidad (CH)	83
5.2.3. Suelo 2 - Limo de baja plasticidad (ML).....	83
5.2.4. Suelo 3 - Limo de alta plasticidad (MH).....	84
5.2.5. Suelo 4 - Arcilla de baja plasticidad (CL).....	84
5.3. Límites de Atterberg y Clasificación SUCS	85
5.3.1. Suelo 1 - Arcilla de alta plasticidad (CH)	85
5.3.2. Suelo 2 - Limo de baja plasticidad (ML).....	85
5.3.3. Suelo 3 - Limo de alta plasticidad (MH).....	86
5.3.4. Suelo 4 - Arcilla de baja plasticidad (CL).....	87
5.4. Relación humedad - peso unitario seco de los suelos (Ensayo normal de compactación) ..	89
5.4.1. Suelo 1 - Arcilla de alta plasticidad (CH)	89
5.4.2. Suelo 2 - Limo de baja plasticidad (ML).....	90

5.4.3. Suelo 3 - Limo de alta plasticidad (MH).....	91
5.4.4. Suelo 4 - Suelo arcilloso de baja plasticidad (CL).....	92
5.5. Resistencia a la compresión inconfínada (UCS).....	93
5.5.1. Suelo 1 - Arcilla de alta plasticidad (CH).....	93
5.5.2. Suelo 2 - Limo de baja plasticidad (ML).....	93
5.5.3. Suelo 3 - Limo de alta plasticidad (MH).....	94
5.5.4. Suelo 4 - Arcilla de baja plasticidad (CL).....	95
5.6. Ensayo de estabilidad al agua.....	96
5.6.1. Suelo 1 - Arcilla de alta plasticidad (CH).....	96
5.6.2. Suelo 2 - Limo de baja plasticidad (ML).....	97
5.6.3. Suelo 3 - Limo de alta plasticidad (MH).....	98
5.6.4. Suelo 4 - Arcilla de baja plasticidad (CL).....	98
6. Análisis de resultados: Mezclas de suelo estabilizadas con diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de café.....	100
6.1. Mezclas de Suelo 1 - Arcilla de alta plasticidad (CH) con diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de café.....	100
6.1.1. Límites de Atterberg y Clasificación SUCS.....	100
6.1.2. Resistencia a la compresión inconfínada.....	104
6.1.3. Ensayo de estabilidad al agua.....	106
6.2. Mezclas de Suelo 2 - Limo de baja plasticidad (ML) con diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de café.....	108
6.2.1. Límites de Atterberg y Clasificación SUCS.....	108
6.2.2. Resistencia a la compresión inconfínada.....	111
6.2.3. Ensayo de estabilidad al agua.....	113
6.3. Mezclas de Suelo 3 - Limo de alta plasticidad (MH) con diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de café.....	115
6.3.1. Límites de Atterberg y Clasificación SUCS.....	115
6.3.2. Resistencia a la compresión inconfínada.....	119
6.3.3. Ensayo de estabilidad al agua.....	120
6.4. Mezclas de Suelo 4 - Arcilla de baja plasticidad (CL) con diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de café.....	122
6.4.1. Límites de Atterberg y Clasificación SUCS.....	122
6.4.2. Resistencia a la compresión inconfínada.....	126
6.4.3. Ensayo de estabilidad al agua.....	127
7. Conclusiones y recomendaciones.....	129
8. Bibliografía.....	131

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Horno de secado mecánico de café o "Silo".....	65
Ilustración 2. Incineración de la cáscara "cisco" de café.....	66
Ilustración 3. Ceniza de cáscara de café.....	66
Ilustración 4. Ceniza de cáscara de café molida.....	66
Ilustración 5. Ceniza de cáscara de café pasante del tamiz N°200.....	67
Ilustración 6. Toma de muestras de suelo en la cantera "La Verónica - Río Hondo".	67
Ilustración 7. Muestras de suelo arcilloso de alta plasticidad (CH).	67
Ilustración 8. Muestras de suelo limoso de baja plasticidad (ML).	68
Ilustración 9. Toma de muestra de suelo en el cerro "Las Tres Cruces"	68
Ilustración 10. Muestras de suelo limoso de alta plasticidad (MH).	68
Ilustración 11. Toma de muestras de suelo en talud de la vía Popayán - San José de Isnos.	69
Ilustración 12. Muestras de suelo arcilloso de baja plasticidad (CL).	69
Ilustración 13. Mezcla de suelo con estabilizante (Ceniza de cáscara de café).....	69
Ilustración 14. Ensayo de granulometría por tamizado para la ceniza de cáscara de café.	70
Ilustración 15. Ensayo de determinación del límite líquido de los suelos.....	71
Ilustración 16. Ensayo de determinación del límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.	72
Ilustración 17. Ensayo de gravedad específica.....	73
Ilustración 18. Probetas almacenadas para el ensayo de resistencia a la compresión inconfiada.	75
Ilustración 19. Ensayo de compresión simple.	75
Ilustración 20. Proceso de saturación por inmersión en probetas.....	75
Ilustración 21. Proceso de saturación por ascensión capilar en probetas.	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Condiciones de la infraestructura vial terciaria en Colombia.....	17
Figura 2. Índice de ruralidad por municipio en Colombia.....	18
Figura 3. Incidencia del conflicto armado en Colombia.....	18
Figura 4. Densidad de la infraestructura vial terciaria en Colombia.....	19
Figura 5. Indicadores generales de la caficultura en el Cauca	21
Figura 6. Ranking de la caficultura Caucana.	28
Figura 7. Producción de café en Hectáreas en el Cauca.	29
Figura 8. Esquema del proceso productivo del café y los residuos generados en cada una de las etapas.....	33
Figura 9. Clasificación de las familias químicas de productos estabilizantes - Convenio 1633...45	45
Figura 10. Ensayos de laboratorio utilizados en la mezcla de suelo + estabilizante.....	48
Figura 11. Efectos de los estabilizantes de la familia 1 en la resistencia a la compresión inconfínada, "qu".....	48
Figura 12. Efecto de los estabilizantes enzimáticos en los límites de Atterberg	49
Figura 13. Efecto del estabilizante D-STB-WAY en la resistencia a la compresión inconfínada.....	49
Figura 14. Efecto del estabilizante ROADCEM en la resistencia a la compresión inconfínada ..	50
Figura 15. Efecto del estabilizante ROADCEM + cemento en la resistencia a la compresión inconfínada.....	50
Figura 16. Efecto del estabilizante FORTACRET en la resistencia a la compresión inconfínada.....	51
Figura 17. Efecto de los estabilizantes de la familia 2 en los Índices de plasticidad de los suelos en diferentes tiempos de curado.....	51
Figura 18. Efectos de los estabilizantes de la familia 4 en la resistencia a la compresión inconfínada Fuente: Universidad del Cauca, 2020.	55
Figura 19. Efectos de los estabilizantes de la familia 5 en la resistencia a la compresión inconfínada.....	56
Figura 20. Metodología utilizada en la elaboración del proyecto de investigación (Preliminares).....	58
Figura 21. Metodología utilizada en la elaboración del proyecto de investigación (Etapa 1 y 2).	59
Figura 22. Metodología utilizada en la elaboración del proyecto de investigación (Etapa 3).	60
Figura 23. Ubicación del departamento del Cauca, Colombia.....	60
Figura 24. Mapa del Departamento del Cauca.....	61
Figura 25. Municipios de recolección de materiales.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades de la ceniza de cáscara de café.	34
Tabla 2. Composición química de la ceniza de cáscara de café.....	34
Tabla 3. Caracterización de la ceniza de cáscara de café.....	34
Tabla 4. Coordenadas geográficas de los depósitos de material.....	45
Tabla 5. Características geomecánicas de los suelos utilizados.....	46
Tabla 6. Resultados Ensayo Proctor.....	46
Tabla 7. Resistencia a la compresión inconfiada en condiciones naturales (Sin estabilizantes).46	
Tabla 8. Efectos del estabilizante PRO-ROAD PRE-16 en el ensayo CBR.....	52
Tabla 9. Efectos del estabilizante TERRASIL en la resistencia a la compresión inconfiada.	52
Tabla 10. Efectos del estabilizante METODOLOGÍA ISSS en la resistencia a la compresión inconfiada.....	53
Tabla 11. Resultados de la evaluación de TERRA-3000 en estabilización de suelos.....	53
Tabla 12. Efectos del estabilizante POLYROAD en ensayo CBR y UCS.....	54
Tabla 13. Resultados de la evaluación de la NANOTECNOLOGÍA en estabilización de suelos.....	54
Tabla 14. Ubicación geográfica de los puntos de recolección de material.....	62
Tabla 15. Datos del ensayo de granulometría - Ceniza de cáscara de café (CCC).....	77
Tabla 16. Datos del ensayo de granulometría - Arcilla de alta plasticidad (CH).....	78
Tabla 17. Datos del ensayo de granulometría - Limo de baja plasticidad (ML).....	79
Tabla 18. Datos del ensayo granulométrico - Limo de alta plasticidad (MH).....	80
Tabla 19. Datos del ensayo granulométrico - Arcilla de baja plasticidad (CL).....	81
Tabla 20. Datos del ensayo de gravedad específica - Ceniza de cáscara de café (CCC).....	82
Tabla 21. Datos del ensayo de gravedad específica - Arcilla de alta plasticidad (CH).....	83
Tabla 22. Datos del ensayo de gravedad específica - Limo de baja plasticidad (ML).....	83
Tabla 23. Datos del ensayo de gravedad específica - Limo de alta plasticidad (MH).....	84
Tabla 24. Datos del ensayo de gravedad específica - Arcilla de alta plasticidad (CL).....	84
Tabla 25. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - Arcilla de alta plasticidad (CH).....	85
Tabla 26. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - Limo de baja plasticidad (ML).....	86
Tabla 27. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - Limo de alta plasticidad (MH).....	87
Tabla 28. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - Arcilla de baja plasticidad (CL).....	88
Tabla 29. Datos del ensayo de compactación (Proctor estándar) - Arcilla de alta plasticidad (CH).....	89
Tabla 30. Datos del ensayo de compactación (Proctor estándar) - Limo de baja plasticidad (ML).....	90
Tabla 31. Datos del ensayo de compactación (Proctor estándar) - Limo de alta plasticidad (MH).....	91
Tabla 32. Datos del ensayo de compactación (Proctor estándar) - Arcilla de baja plasticidad (CL).....	92
Tabla 33. Datos del ensayo UCS de muestras en estado natural (Seco) - Arcilla de alta plasticidad (CH).....	93

Tabla 34. Datos del ensayo UCS de muestras en estado natural (Seco) - Limo de baja plasticidad (ML).....	94
Tabla 35. Datos del ensayo UCS de muestras en estado natural (Seco) - Limo de alta plasticidad (MH).....	94
Tabla 36. Datos del ensayo UCS de muestras en estado natural (Seco) - Arcilla de baja plasticidad (CL).....	95
Tabla 37. Datos del ensayo UCS de muestras en estado natural (Saturado) - Arcilla de alta plasticidad (CH).....	97
Tabla 38. Datos del ensayo UCS de muestras en estado natural (Saturado) - Limo de baja plasticidad (ML).....	97
Tabla 39. Datos del ensayo UCS de muestras en estado natural (Saturado) - Limo de alta plasticidad (MH).....	98
Tabla 40. Datos del ensayo UCS de muestras en estado natural (Saturado) - Arcilla de baja plasticidad (CL).....	99
Tabla 41. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - CH + 10%CCC.....	100
Tabla 42. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - CH + 15%CCC.....	101
Tabla 43. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - CH + 20%CCC.....	102
Tabla 44. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - CH + 25%CCC.....	103
Tabla 45. Resumen - Resistencia a la compresión inconfiada (Estado seco) - CH + %CCC...	104
Tabla 46. Resumen - Resistencia a la compresión inconfiada (Estado saturado) - CH + %CCC.....	106
Tabla 47. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - ML + 10%CCC.....	108
Tabla 48. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - ML + 15%CCC.....	109
Tabla 49. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - ML + 20%CCC.....	109
Tabla 50. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - ML + 25%CCC.....	110
Tabla 51. Resumen - Resistencia a la compresión inconfiada (Estado seco) - ML + %CCC...	112
Tabla 52. Resumen - Resistencia a la compresión inconfiada (Estado saturado) - ML + %CCC.....	113
Tabla 53. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - MH + 10%CCC.....	115
Tabla 54. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - MH + 15%CCC.....	116
Tabla 55. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - MH + 20%CCC.....	116
Tabla 56. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - MH + 25%CCC.....	117
Tabla 57. Resumen - Resistencia a la compresión inconfiada (Estado seco) - MH + %CCC..	119
Tabla 58. Resumen - Resistencia a la compresión inconfiada (Estado saturado) - MH + %CCC.....	120
Tabla 59. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - CL + 10%CCC.....	122
Tabla 60. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - CL + 15%CCC.....	123
Tabla 61. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - CL + 20%CCC.....	123
Tabla 62. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - CL + 25%CCC.....	124
Tabla 63. Resumen - Resistencia a la compresión inconfiada (Estado seco) - CL + %CCC....	126
Tabla 64. Resumen - Resistencia a la compresión inconfiada (Estado saturado) - CL + %CCC.....	127

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Curva granulométrica - Ceniza de cáscara de café (CCC).....	78
Gráfica 2. Curva granulométrica - Arcilla de alta plasticidad (CH).....	79
Gráfica 3. Curva granulométrica - Limo de baja plasticidad (ML).....	80
Gráfica 4. Curva granulométrica - Limo de alta plasticidad (MH).....	81
Gráfica 5. Curva granulométrica - Arcilla de baja plasticidad (CL).....	82
Gráfica 6. Diagrama de fluidez - Arcilla de alta plasticidad (CH).....	85
Gráfica 7. Diagrama de fluidez - Limo de baja plasticidad (ML).....	86
Gráfica 8. Diagrama de fluidez - Limo de alta plasticidad (MH).....	87
Gráfica 9. Diagrama de fluidez - Arcilla de baja plasticidad (CL).....	88
Gráfica 10. Curva de compactación - Arcilla de alta plasticidad (CH).....	89
Gráfica 11. Curva de compactación - Limo de baja plasticidad (ML).....	90
Gráfica 12. Curva de compactación - Limo de alta plasticidad (MH).....	91
Gráfica 13. Curva de compactación - Arcilla de baja plasticidad (CL).....	92
Gráfica 14. Diagrama esfuerzo vs deformación (Estado seco) - Arcilla de alta plasticidad (CH).....	93
Gráfica 15. Diagrama esfuerzo vs deformación (Estado seco) - Limo de baja plasticidad (ML).....	94
Gráfica 16. Diagrama esfuerzo vs deformación (Estado seco) - Limo de alta plasticidad (MH).....	95
Gráfica 17. Diagrama esfuerzo vs deformación (Estado seco) - Arcilla de baja plasticidad (CL).....	96
Gráfica 18. Diagrama esfuerzo vs deformación (Estado saturado) - Arcilla de alta plasticidad (CH).....	96
Gráfica 19. Diagrama esfuerzo vs deformación (Estado saturado) - Limo de baja plasticidad (ML).....	97
Gráfica 20. Diagrama esfuerzo vs deformación (Estado saturado) - Limo de alta plasticidad (MH).....	98
Gráfica 21. Diagrama esfuerzo vs deformación (Estado saturado) - Arcilla de baja plasticidad (CL).....	99
Gráfica 22. Diagrama de fluidez - CH + 10%CCC.....	101
Gráfica 23. Diagrama de fluidez - CH + 15%CCC.....	101
Gráfica 24. Diagrama de fluidez - CH + 20%CCC.....	102
Gráfica 25. Diagrama de fluidez - CH + 25%CCC.....	103
Gráfica 26. Resumen - Límites de Atterberg - CH + %CCC.....	103
Gráfica 27. Resistencia vs Tiempo de curado (UCS) - Estado seco - CH +%CCC.....	105
Gráfica 28. Resistencia vs Tiempo de curado (UCS) - Estado saturado - CH +%CCC.....	106
Gráfica 29. Resistencia a la compresión inconfina (Inmersión a 1 hora), 28 días de curado - CH + %CCC.....	107
Gráfica 30. Diagrama de fluidez - ML +10%CCC.....	108
Gráfica 31. Diagrama de fluidez - ML +15%CCC.....	109
Gráfica 32. Diagrama de fluidez - ML +20%CCC.....	110
Gráfica 33. Diagrama de fluidez - ML +25%CCC.....	110
Gráfica 34. Resumen - Límites de Atterberg - ML + %CCC.....	111
Gráfica 35. Resistencia vs Tiempo de curado (UCS) - Estado seco - ML +%CCC.....	112
Gráfica 36. Resistencia vs Tiempo de curado (UCS) - Estado saturado - ML +%CCC.....	113
Gráfica 37. Resistencia a la compresión inconfina (Inmersión a 1 hora), 28 días de curado- ML + %CCC.....	114

Gráfica 38. Diagrama de fluidez - MH +10%CCC.....	115
Gráfica 39. Diagrama de fluidez - MH +15%CCC.....	116
Gráfica 40. Diagrama de fluidez - MH +20%CCC.....	117
Gráfica 41. Diagrama de fluidez - MH +25%CCC.....	117
Gráfica 42. Resumen - Límites de Atterberg - MH + %CCC.....	118
Gráfica 43. Resistencia vs Tiempo de curado (UCS) - Estado seco - MH +%CCC.....	119
Gráfica 44. Resistencia vs Tiempo de curado (UCS) - Estado saturado - MH +%CCC	120
Gráfica 45. Resistencia a la compresión inconfiada (Inmersión a 1 hora), 28 días de curado- MH + %CCC.	121
Gráfica 46. Diagrama de fluidez - CL +10%CCC	122
Gráfica 47. Diagrama de fluidez - CL +15%CCC	123
Gráfica 48. Diagrama de fluidez - CL +20%CCC	124
Gráfica 49. Diagrama de fluidez - CL +25%CCC	124
Gráfica 50. Resumen - Límites de Atterberg - CL + %CCC	125
Gráfica 51. Resistencia vs Tiempo de curado (UCS) - Estado seco - CL +%CCC	126
Gráfica 52. Resistencia vs Tiempo de curado (UCS) - Estado saturado - CL +%CCC.....	127
Gráfica 53. Resistencia a la compresión inconfiada (Inmersión a 1 hora), 28 días de curado - CL + %CCC.	128

RESUMEN

En los procesos constructivos de carreteras, es común encontrar que los suelos que se pretenden utilizar como subrasantes no cuentan con las especificaciones de capacidad de soporte y plasticidad mínimas requeridas. Las carreteras construidas sobre este tipo de suelos sufren desgastes y deterioros tempranos debido a las características de expansión y contracción en condiciones variables de humedad que presentan, además de la baja resistencia que poseen. Para solventar este problema, se han utilizado distintas metodologías de estabilización, como el reemplazo del suelo, la adición de materiales granulares, entre otros, siendo la estabilización química con productos no convencionales, una de las más innovadoras, por la reducción de costos que genera, además del aprovechamiento de materiales del sitio y la disminución de contaminación en el medio ambiente.

Esta investigación evalúa el uso de la ceniza de cáscara de café (CCC) para el mejoramiento de suelos finos comúnmente encontrados en el departamento del Cauca, Colombia. Para ello, se realizó una caracterización física y mecánica de los 4 suelos recolectados en diferentes regiones del departamento, en estado virgen, los cuales, de acuerdo con la clasificación SUCS, corresponden a arcillas y limos de alta y baja plasticidad (CH, ML, MH, CL). Estos suelos se consideraron no resistentes y susceptibles a fallas. Además, se evaluó la efectividad del tratamiento con CCC realizando ensayos en laboratorio como límites de Atterberg, resistencia a la compresión confinada (UCS) y ensayos de estabilidad al agua, al mezclar los suelos con diferentes porcentajes de adición de CCC (10%, 15%, 20% y 25%). Los resultados demostraron que los suelos tratados con CCC, de manera general, presentan mejoras en su comportamiento, incluso en presencia de agua. La adición de un 15%CCC sobre los suelos arcillosos de alta y baja plasticidad (CH y CL) aumentan la resistencia de estos hasta en un 300% con respecto a su valor en estado virgen y de manera similar, la adición de un 25%CCC sobre los suelos limosos de baja plasticidad (ML) y la adición de un 20%CCC sobre los suelos limosos de alta plasticidad (MH), genera un aumento en su resistencia de hasta un 200%. De esta manera es posible concluir que este tipo de tecnología innovadora genera beneficios sostenibles, económicos y amigables con el medio ambiente.

Palabras clave: ceniza de café, mejoramiento de suelos, estabilización de suelos, vías no pavimentadas, residuos de producción de café.

ABSTRACT

In a roadway construction process, the type of soil that is intended to be used as subgrade does not fulfill the minimum required specifications. Roads built on this type of soil suffer early wear and tear due to their expansion and contraction characteristics under variable humidity conditions, in addition to their low resistance. To solve this problem, different stabilization methodologies have been used, such as soil replacement, the addition of granular materials, among others, being chemical stabilization with unconventional products one of the most innovative, due to the reduction in costs it generates, the use of materials from the site and the reduction of pollution in the environment.

This research evaluates the use of coffee husk ash (CHA) for the improvement of fine soils commonly found in the department of Cauca, Colombia. To achieve this, a physical and mechanical characterization of 4 soils collected in different regions of the department were made and, according to the USCS classification, they are classified as clays and silts of high and low plasticity (CH, ML, MH, CL). These soils were considered non-resistant and susceptible to failure. In addition, the effectiveness of the treatment with CHA was evaluated by performing laboratory tests such as Atterberg limits, unconfined compressive strength (UCS) and water stability tests, when mixing the soils with different percentages of CHA (10%, 15 %, 20% and 25%). The results showed that the soils treated with CHA generally improve their behavior. The addition of 15%CHA on high and low plasticity clay soils (CH and CL) increases optimally their resistance by up to 300% and similarly, the addition of 25%CHA on low plasticity silt soils (ML) and the addition of 20%CHA on high plasticity silt soils (MH), generates an optimum increase in their resistance by up to 200%. Finally, this investigation concludes that this innovative technology generates sustainable, economic, and environmentally friendly benefits.

Keywords: coffee ash, soil improvement, soil stabilization, unpaved roads, coffee waste.

1. Introducción

1.1. Planteamiento del problema

Las redes viales secundarias y terciarias son claves en la conectividad de las zonas agrícolas y productivas con el resto de la población. Colombia, como país latinoamericano, es una región en la que se presentan dificultades sociales, políticas y económicas que, como consecuencia, generan un déficit en la infraestructura vial existente. Lo anterior ha implicado el atraso del desarrollo interno del país pues, como lo afirman Rozas y Sanchez (2004), "la ausencia de una infraestructura adecuada, así como la provisión ineficiente de servicios de infraestructura, constituyen obstáculos de primer orden para la implementación eficaz de políticas de desarrollo y la obtención de tasas de crecimiento económico que superen los promedios internacionales".

Según el Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2018):

“Actualmente es difícil la intercomunicación terrestre de la población rural de la entidad territorial (municipio, distrito o departamento), debido a que por un lado las vías están en mal estado, intransitables o con restricciones de tránsito y por otro hay deficiente mantenimiento. Algunas de las vías tienen deterioro de la superficie para la circulación de vehículos o no han sido atendidos los puntos críticos. Hay situaciones que aportan al deterioro, como algunos tratamientos anteriores que se hicieron con deficiencias, o la falta de mantenimiento”.

En este sentido, de acuerdo con el DNP (2016), la red terciaria en Colombia cuenta con un 24% de vías en tierra, un 70% de vías en afirmado y un 6% de estas se encuentran están pavimentadas y que, además, independientemente del tipo de estructura, no se encuentran en condiciones óptimas, pues el 25% está en buen estado; como se observa en la Figura 1, donde las vías en afirmado se encuentran en buen estado en un 11.9% y un 42% se encuentra en malas condiciones.

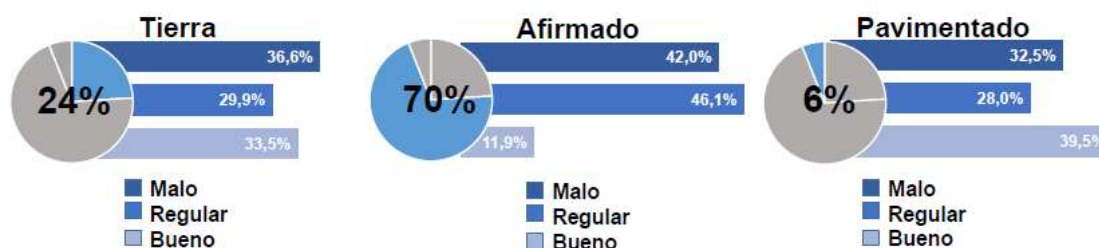


Figura 1. Condiciones de la infraestructura vial terciaria en Colombia.

Fuente: Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2016)

El departamento del Cauca, en Colombia, se identifica por la cantidad de territorio agrícola, montañoso y extenso. Lo cual se evidencia en su población, pues más del 60% de la población es rural, así como se presenta en la Figura 2 y, como lo describe el DNP (2022), en el departamento, 545.724 habitantes hacen parte de las zonas urbanas y 970.294 hacen parte de las rurales. Es así como, muchas de las poblaciones de este departamento se encuentran apartadas unas de otras, pues se encuentran separadas por cordilleras, ríos y valles, lo que genera variabilidades en su topografía, clima y suelos, convirtiéndolo en un lugar diverso tanto en su flora y fauna, como culturalmente.

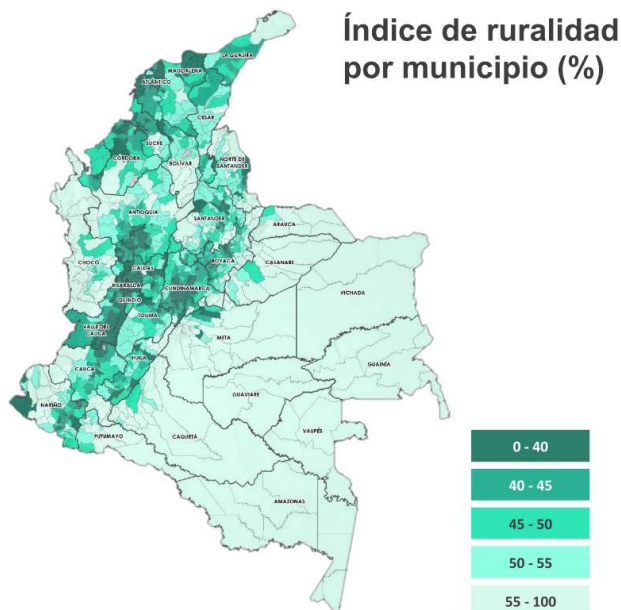


Figura 2. Índice de ruralidad por municipio en Colombia.
Fuente: Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2016)

El departamento, a lo largo de su historia, ha presentado dificultades en su desarrollo económico con respecto a los demás departamentos. El conflicto armado es considerado una de las principales causas pues, como se ilustra en la Figura 3, más del 50% del departamento hace parte de los municipios priorizados debido a la alta incidencia de conflicto (DNP, 2016). Esto ha generado un abandono por parte del gobierno y las autoridades, lo que ha imposibilitado la mejora, adecuación y/o construcción de vías que comunican con el resto del país. Además, debido a la gran extensión terreno montañoso y escarpado que presenta el departamento, se hace difícil el acceso a los centros educativos, servicios de salud y la comercialización de los productos agrícolas que inciden fundamentalmente en el nivel de vida de los habitantes.

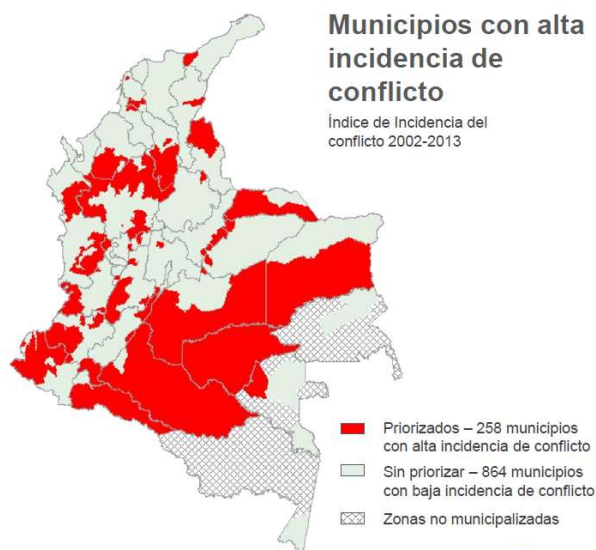


Figura 3. Incidencia del conflicto armado en Colombia.
Fuente: Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2016)

Se considera que la zona central del Cauca posee una buena conectividad (DNP, 2016). Como se observa en la Figura 4, existen vías que unen a los municipios y veredas entre sí, no obstante, la calidad de las vías no es la adecuada, generando incrementos en los tiempos de viaje, consumo de combustible y, por ende, sobrecostos en los productos agrícolas.



Figura 4. Densidad de la infraestructura vial terciaria en Colombia.
Fuente: Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2016)

Se puede evidenciar lo descrito con el análisis del DNP (2016), pues realizó una comparación de la población rural y la inversión de la Nación en vías terciarias. En ella se puede observar que aquellos departamentos en los cuales se realiza mayor inversión son Antioquia, Córdoba, Cundinamarca, Atlántico y Sucre, los cuales poseen un bajo porcentaje de población rural, a comparación de departamentos como Guainía, Vaupés, Cauca, Amazonas, cuya población es rural en más del 50% y la inversión de la Nación es mínima. Se observa particularmente la situación del departamento del Cauca que, como se mencionó anteriormente, tiene una población rural es de más del 60% de su población total, sin embargo, la inversión que se le da a vías terciarias no alcanza a cubrir el 20% de las necesidades en la zona.

Es así como, de la situación actual del departamento del Cauca, surge la necesidad de buscar soluciones a las problemáticas existentes de movilidad y en la infraestructura vial. Por lo que, con el fin de optimizar la economía y, por ende, la productividad actual del departamento es apropiado pensar en las investigaciones innovadoras, económicas y amigables con el medio ambiente que han logrado solventar la problemática expuesta y que es el interés de este proyecto.

1.2. Justificación

Colombia, como país en vía de desarrollo, debe considerar todas las opciones de crecimiento económico que se presenten. La infraestructura vial es uno de los aspectos más relevantes a tener en cuenta, así como lo define Ríos (2019), la infraestructura y la logística "*son cruciales para mejorar la calidad de vida de los habitantes de la región, ya que tienen el potencial de ofrecer oportunidades y servicios públicos de calidad, como por ejemplo agua, saneamiento e infraestructura de transporte urbano*", además de generar empleo y una considerable mejoría en la educación y en la comunicación entre regiones, dando lugar a procesos de integración y por ende, a la globalización, proporcionando así, bienestar social y un desarrollo sostenible de la economía.

El uso de carreteras es el medio de transporte más utilizado en el país; por lo que, la construcción, mejoramiento, mantenimiento y adecuación de estas que comuniquen poblaciones de distintas partes, "*con el propósito de permitir la circulación de vehículos de manera continua en el espacio y en el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y comodidad*" (Cárdenas Grisales, 2013), se convierten en factores clave para la expansión económica. Además, como lo denota la Organización de las Naciones Unidas (2015), "*desempeñan un papel clave a la hora de introducir y promover nuevas tecnologías, facilitar el comercio internacional y permitir el uso eficiente de los recursos [...] Sin embargo, todavía queda un largo camino que recorrer para que el mundo pueda aprovechar al máximo este potencial*".

En los procesos constructivos de carreteras, es común encontrar que los suelos que se pretenden utilizar como subrasante, no cuentan con las especificaciones de capacidad de soporte y plasticidad mínimas requeridas. Dichos suelos presentan resistencia baja, desgastes, deterioros, entre otros parámetros, que no permiten llevar a cabo dichos proyectos de manera adecuada. Para solventar este problema, se han utilizado distintas metodologías de estabilización, como el reemplazo del suelo, la adición de materiales granulares, entre otros (Laguna y Chacón, 2020).

La estabilización química es una de las soluciones a tener en cuenta. Como lo indican Laguna y Chacón (2020) "*es ampliamente utilizada en la ingeniería civil por los beneficios que trae tanto en la reducción de costos como en el aprovechamiento de materiales de sitio*", puesto que se centra en la adición de productos que logren mejorar las propiedades del suelo: resistencia, durabilidad, etc. Dichos procesos se pueden lograr de manera convencional con materiales como la cal y el cemento (Rivera et al., 2020), sin embargo, "*se señala su impacto ambiental negativo con respecto a su producción e incluso por su costo de fabricación*" (Rivera et al., 2020), y además, Atahu et al. (2020) afirman que "*existe una tendencia creciente a reemplazar los estabilizadores tradicionales con subproductos industriales y agrícolas debido a los recursos limitados y la demanda a gran escala de aditivos tradicionales*", por lo que, diversas investigaciones han buscado reemplazarlos y es aquí que "*Una de esas alternativas es la producción de café que genera una gran cantidad de residuos de café*" (Atahu et al., 2020).

Colombia es un país conocido por su amplia biodiversidad, además de su variedad de climas y suelos que posibilitan el cultivo de diferentes productos agrícolas a lo largo de todo su territorio. El café ha sido uno de los cultivos más importantes, pues a lo largo de su historia, no solamente ha logrado poseer al país como uno de los mejores productores a nivel mundial "*debido a que es catalogado por los consumidores como uno de los mejores en el mundo, gracias a su gran calidad*

en el grano y como producto final" (Urrego y Godoy, 2021), además ha fortalecido el desarrollo económico, social y cultural de este.

El Cauca es un departamento líder en la producción de café. Teniendo en cuenta que, "su clima, variada topografía, reflejo de las cordilleras Occidental y Oriental que lo atraviesan, unidos a la tradición y pasión de sus gentes, lo convierten en el 4º productor de café a nivel nacional y el primero en número de familias cafeteras, siendo más de 90.000 mil las familias encargadas de cultivar 93.000 hectáreas de café arábico" (Comité de Cafeteros del Cauca, 2022). Lo anterior se puede observar detalladamente en la Figura 5, la cual proporciona datos respecto a las cantidades de caficultores, hectáreas sembradas y su producción económica.

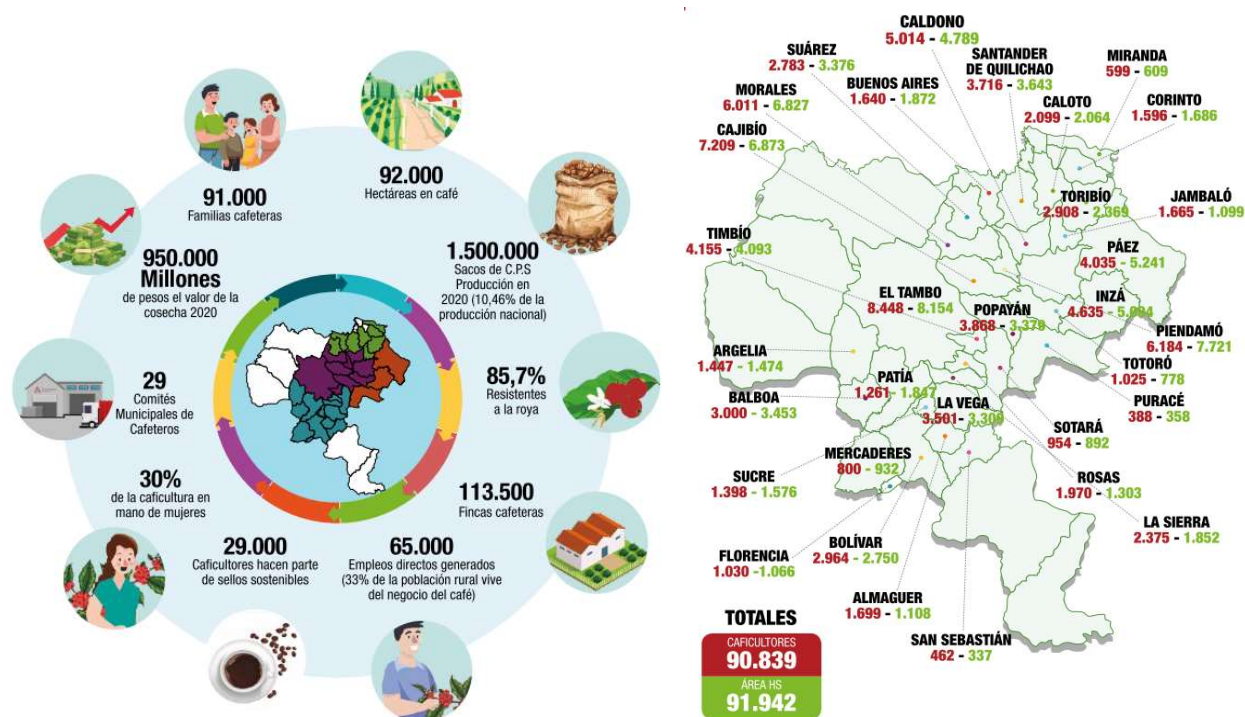


Figura 5. Indicadores generales de la caficultura en el Cauca
Fuente: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC, 2020)

La producción del café genera una cantidad considerable de residuos, causantes de contaminación en las zonas agrícolas y en general, del medio ambiente. Aunque dicho negocio contribuye en gran medida a la economía colombiana, el proceso industrial que debe realizarse para la obtención del café comercial consiste en una etapa de transformaciones que, como lo mencionan Urrego y Godoy (2021) "generan residuos o subproductos los cuales pueden sumar entre el 30%-50% de la producción total. En los países con mayor producción de café se genera una cantidad considerable de desechos que contribuye en gran escala a la contaminación y a problemas ambientales debido al alto contenido de compuestos perjudiciales tales como cafeína, alcaloides, taninos y polifenólicos", por lo que, es indispensable que se plantee un adecuado uso y manejo de estos.

Los residuos del café, como lo es su cáscara, se pueden emplear en diversas áreas de la industria de manera potencialmente sostenible. Así lo afirman Urrego y Godoy (2021): *pueden ser utilizados en la generación de nuevos materiales, generando rendimientos aceptables para diversas aplicaciones, además de contribuir a compuestos diseñados para la sostenibilidad y la conservación ambiental.*

De ahí la importancia del presente proyecto, pues, el uso de los residuos de la producción industrial del café en el mejoramiento de los suelos puede traer beneficios para la red vial terciaria y a su vez, disminución en el pasivo ambiental.

1.3. Alcance del proyecto

La investigación se llevó a cabo de acuerdo con los casos de estudio e investigaciones realizadas tanto en Colombia como en otros países, los cuales permitieron determinar la metodología óptima a seguir. Se realizó el análisis comparativo sobre los datos bibliográficos de hasta 20 años de antigüedad, de temáticas referentes a la ingeniería civil y, específicamente, de procedimientos de adecuación, mejoramiento y/o mantenimiento de vías rurales de bajo tránsito mediante metodologías convencionales como no convencionales, haciendo énfasis en la utilización de ceniza de cáscara de café. Además, se realizó la recopilación de información del estado actual de las vías colombianas y las estadísticas referentes a la producción del café, centrándose en Colombia y el departamento del Cauca, teniendo en cuenta que solo son válidos los datos de hasta 4 años de antigüedad.

Para el desarrollo de la investigación se dispuso del laboratorio de suelos de la Universidad del Cauca, donde se llevaron a cabo todos los ensayos requeridos para la evaluación y análisis de datos que permitieron direccionar los resultados del proyecto. Por lo tanto, se tuvieron en cuenta las normas vigentes para la preparación de especímenes y el procedimiento de ensayos a seguir, de los cuales se corroboró su buena ejecución, mediante el análisis de los resultados.

1.4. Beneficios del proyecto

Los beneficios que se obtienen de la realización del proyecto se describen a continuación:

- La aplicación de cenizas de cáscara de café, como se demuestra más adelante, aumenta la capacidad de carga de los suelos, lo que resulta en una mayor resistencia al tráfico y la erosión. Lo cual es especialmente importante en vías terciarias no pavimentadas, pues suelen tener problemas de deterioro debido a las condiciones climáticas y el tráfico constante.
- Las cenizas de cáscara de café actúan como agente aglutinante, como se demuestra más adelante, ayudando a mantener las partículas de suelo unidas y reduciendo así la erosión causada por el agua y el viento; así como la disminución del polvo, reduciendo la generación de partículas suspendidas.
- Se establece una dosificación óptima para la estabilización de suelos finos. Por un lado, se obtiene un porcentaje de adición óptimo para arcillas, ya sea de alta o baja plasticidad y, de igual manera, se determina el porcentaje óptimo para limos tanto de alta como baja plasticidad.
- La investigación e implementación de la estabilización de suelos mediante cenizas de cáscara de café contribuyen a la generación de una sostenibilidad ambiental al darle un nuevo uso a un residuo agrícola y al reducir la necesidad de utilizar materiales convencionales que pueden tener un mayor impacto ambiental.
- Se estimula la realización de investigaciones innovadoras y la colaboración entre diferentes sectores, como la industria cafetera, la ingeniería civil y la investigación agrícola, lo cual puede llevar al desarrollo de nuevos productos, tecnologías y prácticas beneficiosas. Además, puede llevar a la optimización del proceso industrial que se realiza para la producción del café, permitiendo mejoras económicas, comercializando la ceniza de cáscara de café para el mejoramiento de los suelos en vías terciarias no pavimentadas, dando lugar a una economía circular.

1.5. Limitaciones del proyecto

Las limitaciones que se tuvieron en la realización de la investigación describen a continuación:

- La falta de equipos necesarios en la Universidad no permitió la realización de una caracterización química de los materiales recolectados, tanto en estado natural como después del proceso de estabilización.
- La realización del ensayo CBR (California Bearing Ratio), de acuerdo con la norma INV E - 148 -13, implica un gasto considerable de material como de tiempo, por lo que no fue considerada su realización, a pesar de ser un ensayo que se ha considerado en investigaciones previas.
- La abundante cantidad de investigaciones que se llevaron a cabo de manera simultánea a la presente, tanto en materias de pregrado como de posgrado, limitaron el espacio de trabajo, implicando problemas de almacenamiento de los materiales y muestras, como dificultades en la realización de los ensayos de manera óptima.
- La producción de la ceniza de cáscara de café depende directamente de la necesidad de secado del café, por lo que, en épocas de verano, la producción se reduce considerablemente debido a que los caficultores optan por secar el café al sol.

1.6. Organización del proyecto

El proyecto se encuentra dividido en capítulos, los cuales desglosan las actividades que se realizan con el fin de llevar a cabo los objetivos definidos y lograr obtener óptimos resultados, para así, lograr cumplir con el propósito de este.

La estructuración del proyecto se describe a continuación,

Capítulo 1. Introducción: Se plantea el problema, los motivos y razones por las cuales se toma la iniciativa del proyecto y se justifica la manera en la cual puede beneficiar considerablemente los resultados obtenidos en él. Se establecen los objetivos, para direccionar adecuadamente el proyecto y se define el alcance que tendrá.

Capítulo 2. Revisión de literatura: Se realiza la recopilación de información, con el fin de tener los datos y métodos necesarios para comprensión de los conceptos básicos que se deben tener en cuenta para entender el proceso que se debe seguir y así, garantizar que la realización del proyecto es la adecuada, además, se tienen en cuenta investigaciones previas, para poder establecer de manera más precisa, el camino a seguir.

Capítulo 3. Metodología: Se explica de manera detallada los pasos que se siguen y se llevan a cabo en la investigación, de principio a fin.

Capítulo 4. Trabajo de campo: Se describe el trabajo de campo realizado, el cual demuestra que se garantizó un adecuado procedimiento en la toma de muestras y realización de ensayos.

Capítulo 5 y 6. Análisis de resultados: Se muestran los resultados obtenidos en laboratorio, inicialmente, la caracterización física y mecánica realizada a los materiales, demostrando la necesidad del proyecto y posteriormente, los resultados obtenidos de realizar el proceso estabilizante con el aditivo evaluado. Dichos datos se analizan, se discuten y se determinan los aspectos positivos y negativos de estos.

Capítulo 7. Conclusiones y recomendaciones: Posterior a un análisis profundo de los resultados obtenidos, se definen conclusiones de la investigación realizada dando respuesta a la hipótesis planteada y determinando si se cumplieron o no los objetivos planteados. además, se describen algunas recomendaciones para futuras implementaciones de los resultados obtenidos y futuras investigaciones que se pretendan hacer.

Capítulo 8. Bibliografía: Se resaltan todas las investigaciones, documentos, libros y artículos relacionados con el proyecto.

1.7. Objetivos

A partir de los requerimientos para el desarrollo del proyecto se establecieron sus objetivos, los cuales se presentan a continuación,

1.7.1. Objetivo general

Valorar las características de la estabilización de los suelos finos en vías terciarias con cenizas de cáscara café.

1.7.2. Objetivos específicos

- Establecer la dosificación óptima de ceniza de cáscara de café y suelo en el proceso de estabilización a partir de las metodologías y/o normativas aplicables.
- Validar a través de pruebas experimentales que la utilización de cenizas de cáscara de café genera mejoras en el comportamiento del suelo de subrasante para las condiciones particulares del departamento del Cauca.

2. Revisión de literatura

Para el planteamiento del proyecto se verificó el proceso industrial del café y sus residuos, los estudios realizados con alternativas no convencionales y sus aportes a la literatura y la metodología desarrollada para la estandarización de nuevas alternativas en la normativa nacional.

2.1. Proceso industrial del café

La industria del café genera muchos beneficios en la sociedad colombiana. Tal como lo afirma la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC, 2020): *"el café integra a 91.000 familias distribuidas en 33 de los 42 municipios caucanos, generando una producción de 1.500.000 sacos de café pergamino seco, que se traduce en una cosecha de 950.000 millones de pesos, recursos que se devuelven con creces a la sociedad en general"*.

La cantidad de municipios productores de café, dependen de, entre otros, de las condiciones climáticas del territorio. *"La zona cafetera colombiana se encuentra localizada en las laderas de las cordilleras que atraviesan el país de sur a norte"* (FNC, 2006), en zonas tropicales y subtropicales, dado que este producto crece a partir de los 600 metros sobre el nivel del mar. Se puede observar en la Figura 6 y Figura 7 que, de los municipios que más han producido café en los años 2020 y 2021, en primer y segundo lugar, son Piendamó y El Tambo. Estos se encuentran, en promedio, a 1680 y 1750 metros sobre el nivel del mar.

2020	2021	MUNICIPIOS	TOTAL 70/30
2	1	PIENDAMÓ	8,87%
1	2	EL TAMBO	8,36%
3	3	MORALES	7,68%
4	4	CAJIBÍO	6,81%
6	5	CALDONO	5,97%
5	6	PÁEZ	5,56%
7	7	INZÁ	5,38%
8	8	TIMBÍO	5,02%
9	9	SANTANDER	4,05%
10	10	SUÁREZ	3,88%
11	11	POPAYÁN	3,82%
12	12	BALBOA	3,75%
13	13	LA VEGA	3,37%
14	14	BOLÍVAR	2,75%
15	15	LA SIERRA	2,32%
16	16	TORIBÍO	2,24%

2020	2021	MUNICIPIOS	TOTAL 70/30
17	17	CALOTO	2,00%
18	18	SUCRE	1,82%
19	19	ROSAS	1,75%
20	20	BUENOS AIRES	1,71%
21	21	CORINTO	1,67%
22	22	PATÍA	1,61%
23	23	ARGELIA	1,44%
24	24	ALMAGUER	1,28%
25	25	JAMBALÓ	1,24%
29	26	TOTORÓ	1,22%
26	27	FLORENCIA	1,16%
27	28	SOTARÁ	1,03%
28	29	MERCADERES	0,86%
30	30	MIRANDA	0,64%
32	31	SAN SEBASTIÁN	0,39%
31	32	PURACÉ	0,36%

Figura 6. Ranking de la caficultura Caucana.

Fuente: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC, 2020)

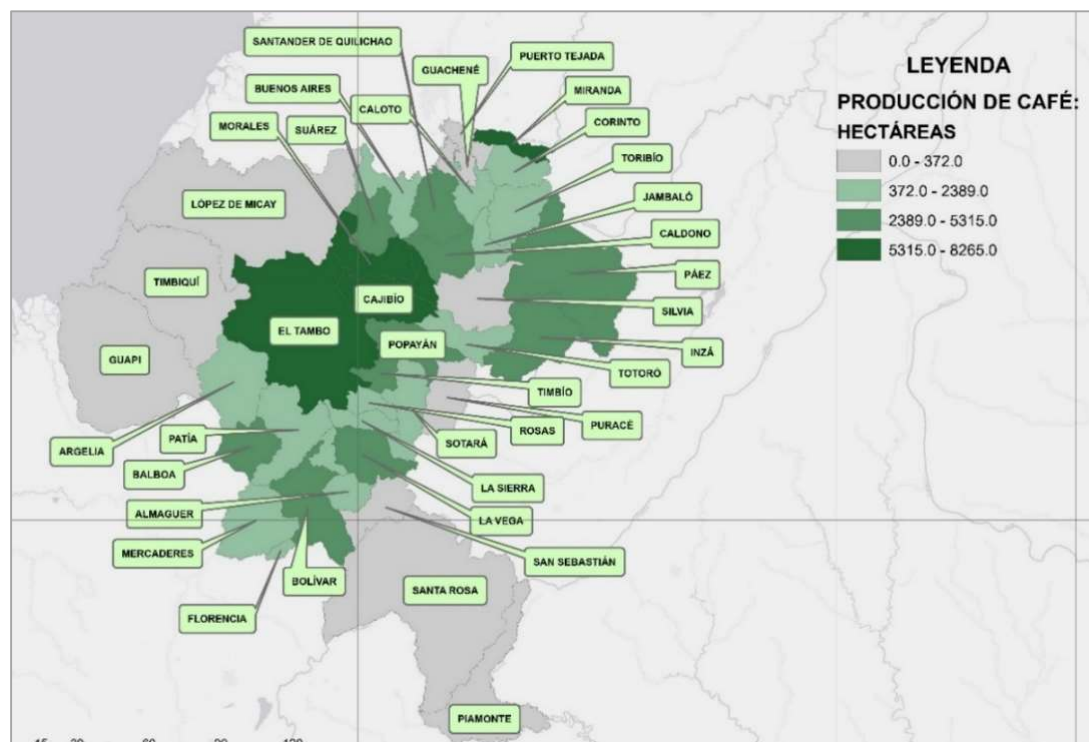


Figura 7. Producción de café en Hectáreas en el Cauca.
Elaboración: Iván Felipe Erazo.

De acuerdo con Mantilla Duarte (2019) y Rodríguez et al. (2015), el proceso para la producción de café, se cuenta con dos fases:

- (i) Fase de la precosecha
- (ii) Fase de la postcosecha

La fase de la precosecha comprende los procesos de:

- **La construcción del germinador:**

Es la primera etapa del crecimiento vegetativo del café. El germinador es un rectángulo hecho con ladrillos o madera, en el cual se siembra la semilla de café en arena lavada con riego permanente. Aquí inicia el desarrollo de la raíz, el tallo y las hojas, que serán el soporte de los órganos reproductivos directamente relacionados con la producción.

- **La construcción del almácigo:**

Esta etapa tiene como finalidad proveer las condiciones necesarias para el buen desarrollo de las plántulas para la creación del cultivo. Las plántulas son transportadas del germinador a unas bolsas negras fabricadas de polietileno, las cuales deben tener pequeñas perforaciones a los lados y en el fondo, y se rellenan con tierra del lugar donde se realizará el cultivo con pulpa de café descompuesta.

- **Preparación del terreno, trazado ahoyado y siembra:**

La preparación del terreno consta de determinar el tipo de siembra y el trazo correspondiente teniendo en cuenta la densidad de siembra que se quiere. Los hoyos deben tener un tamaño adecuado para garantizar el buen desarrollo de las plantas de café. Al momento de realizar la siembra se deben escoger los árboles de mejor desarrollo y fortaleza, también se debe revisar que la raíz no haya llegado al fondo de la bolsa para evitar malformaciones y posterior desnutrición, la siembra se debe realizar en época de lluvia o garantizar riego en caso contrario.

- **La fertilización:**

Los fertilizantes que se deben usar varían dependiendo de los cultivos, por lo que el caficultor debe tomar una muestra que debe ser llevada al comité de cafeteros y al laboratorio de suelos para que la misma sea evaluada y de acuerdo con este análisis se recomiende al caficultor el fertilizante más eficiente para su cultivo.

- **El control de arvenses:**

El término arvense, significa “planta acompañante de los cultivos o prados” sin discriminarlas entre buenas o malas, el agricultor al conocer los beneficios de esta planta hace un manejo razonable de los arvenses, consiguiendo así la protección de los suelos contra la erosión, la regulación de aguas y la reducción de los costos de las desyerbas.

- **El control de plagas:**

La plaga más peligrosa, económicamente hablando, en el café es la broca, el cual es un insecto que se ha venido controlando en el país por medio de un sistema de control cultural, mediante un proceso que consiste en recoger y repasar los granos maduros y secos de las plantas de café y del piso, debido a que este insecto únicamente invade este tipo de grano; este proceso permite romper el ciclo biológico de la broca. Otras plagas que afectan el café son: palomilla de la raíz, palomilla de las ramas y el minador, el cual se controla cortando los árboles infectados y quemándolos, teniendo en cuenta la presencia de lluvias, eliminando las plantas hospedantes como la “suelda”, usando el control biológico nativo, fertilizando a tiempo y evitando encharcamientos para prevenir la enfermedad son algunas de las maneras más utilizadas al momento de combatir estas plagas.

- **El manejo de enfermedades:**

Las enfermedades más comunes son causadas por hongos, bacterias, virus y nematodos. El manejo integral de las enfermedades requiere la ejecución oportuna de las diferentes prácticas de cultivo; ello involucra adecuada nutrición, desyerbas a tiempo y un concepto interiorizado en el caficultor de producir un café libre de enfermedades y de calidad, sin que se afecten las relaciones con el medio ambiente.

La fase de la postcosecha comprende los procesos de:

- **Cosecha:**

La cosecha es la parte donde se recolecta el café de la planta, proceso que se puede efectuar manualmente o con apoyos tecnológicos, así mismo con herramientas diseñadas para tal fin, con el nombre de cosechas asistidas. Posteriormente se tiene el subproceso de pesaje, transporte del café y recolección en el área donde se realiza el beneficio y cargue del café.

- **Recibo:**

Después de la recolección en el lote, el café es llevado a un sitio especial donde se realiza el proceso de beneficio, el concepto de recibo es el momento en que el café es depositado en las tolvas de este para iniciar con el proceso de transformación de café cereza en café pergamino seco. Existen 2 formas para recibir el café cereza, en tolvas húmedas o en tolvas secas. En tolvas húmedas se transporta el café cereza hacia las maquinas despulpadoras con el uso de agua. Las tolvas secas disminuyen el uso de agua y la contaminación de esta, estas tolvas deben estar ubicadas a ciertos niveles de altura dependiendo de la cantidad de café que se desee almacenar.

- **Despulpado:**

También llamado desbabado de café en algunas zonas del país, es el proceso mediante el cual es retirado la pulpa que envuelve las 2 semillas que generalmente vienen en un grano de café, este proceso lo realizan maquinas despulpadoras que trabajan mediante esfuerzos de cortes y de comprensión que permiten rasgar la pulpa o cáscara con la ayuda de la lubricación del mucilago (viscosidad) que envuelve las semillas.

- **Clasificación:**

Dado que los frutos sin mucílago (viscosidad) son de mayor tamaño que los granos despulpados, pueden ser retirados y clasificados por tamaño. Para ello existen las zarandas o cribas (colador) que exponen al grano a las aberturas de tamaño y forma preestablecida, para que pasen o se retengan. De esta manera, los frutos secos y verdes son retenidos, mientras que el café despulpado traspasa las zarandas siempre y cuando su espesor sea inferior al tamaño de las aberturas.

- **Remoción del mucilago:**

Los métodos naturales consisten en la degradación del mucílago por medio de la fermentación natural y el posterior lavado, mientras que los métodos mecánicos se refieren a máquinas que agitan el grano de café despulpado para así remover el mucílago, por otro lado, el método es la adición de enzimas pectinolíticas, que aceleran el proceso de degradación de mucílago (viscosidad) y precipita el lavado del café.

- **Lavado**

Se debe lavar el café con el fin de eliminar definitivamente cualquier residuo que afecte el café como es el manchando, el pergamino o la producción de sabores extraños en el producto. El lavado debe hacerse con agua limpia, evitando el agua recirculada para que no se produzca la contaminación cruzada, la cantidad de agua que se usa en dicho proceso es variable dependiendo de la forma en que se realice el mismo; existen diferentes tecnologías para el lavado de café, que varían por su infraestructura, cantidad de agua usada en el proceso.

- **Secado**

Luego de lavar el café, viene la última fase para obtener el café pergamino seco, para su posterior comercialización. Existen 2 formas de llevar a cabo el proceso de secado, natural o artificialmente, en el secado natural la fuente de energía es el sol, exponiendo el grano a la radiación solar y al viento por medio de marquesinas, en patios de asoleo o carros secadores, entre otros. Artificialmente existen hornos o secadoras alimentadas por diferentes tipos de combustibles donde

se pueden manejar diferentes cantidades de café, diferentes temperaturas además de tiempos de secado.

Después del proceso de secado, se dispone a pesar y empacar el café en costales de fibra, que se almacena un lugar sin humedad mientras se realiza la comercialización.

- **Manejo de subproductos**

Se estima que menos del 5% de la materia vegetal generada se utiliza en la elaboración de la bebida del café, el resto son residuos, representados en materiales fibrosos como hojas, ramas y tallos que son generados durante el proceso de renovación de cafetales; frutos verdes que se desprenden en la recolección; subproductos sólidos como la pulpa del grano que queda después del despulpado, se recomienda transportarlo sin uso de agua y a un sitio de depósito de descompensación, donde puede reciclarse y usarse en el almácigo, así mismo sirve para el cultivo como complemento nutricional o mejorador del suelo. Este material vegetativo si no se maneja de forma apropiada, se convierte en fuente de contaminación para la zona cafetera.

Urrego y Godoy (2021) indican que:

"Los residuos obtenidos en el proceso productivo del café pueden ser de gran utilidad en determinadas industrias. En el método seco, la primera parte del proceso que va desde el cultivo hasta el secado genera los siguientes residuos: la cáscara del café, que está compuesta por la piel exterior del grano del café, la pulpa y el pergamino, y los granos de café que no cumplen con los estándares de tamaño o maduración requeridos. En el método húmedo, los residuos generados son la pulpa de café, compuesta por la piel externa del grano y su pulpa, los granos defectuosos, agua de lavados, mucílago y pergamino. En la etapa del tostado del café, ubicada en la parte final del proceso, se genera parte de los principales residuos de esta agroindustria, los cuales son: la borra de café y la piel plateada de café. Todos los residuos mencionados son altamente contaminantes debido a su gran contenido de cafeína, alcaloides, taninos y polifenoles que son sumamente dañinos para el medio ambiente".

Se pueden determinar, así, los residuos que se obtienen de la producción industrial del café.

- Granos defectuosos (de tamaño no deseado o no maduros)
- Cáscara de café
- Pulpa de café
- Mucílago
- Pergamino
- Agua de lavados
- Borra de café
- Piel plateada de café

Se puede observar en la Figura 8, un esquema del proceso industrial del café mencionado anteriormente, en el cual enfatiza los residuos generados en cada etapa.

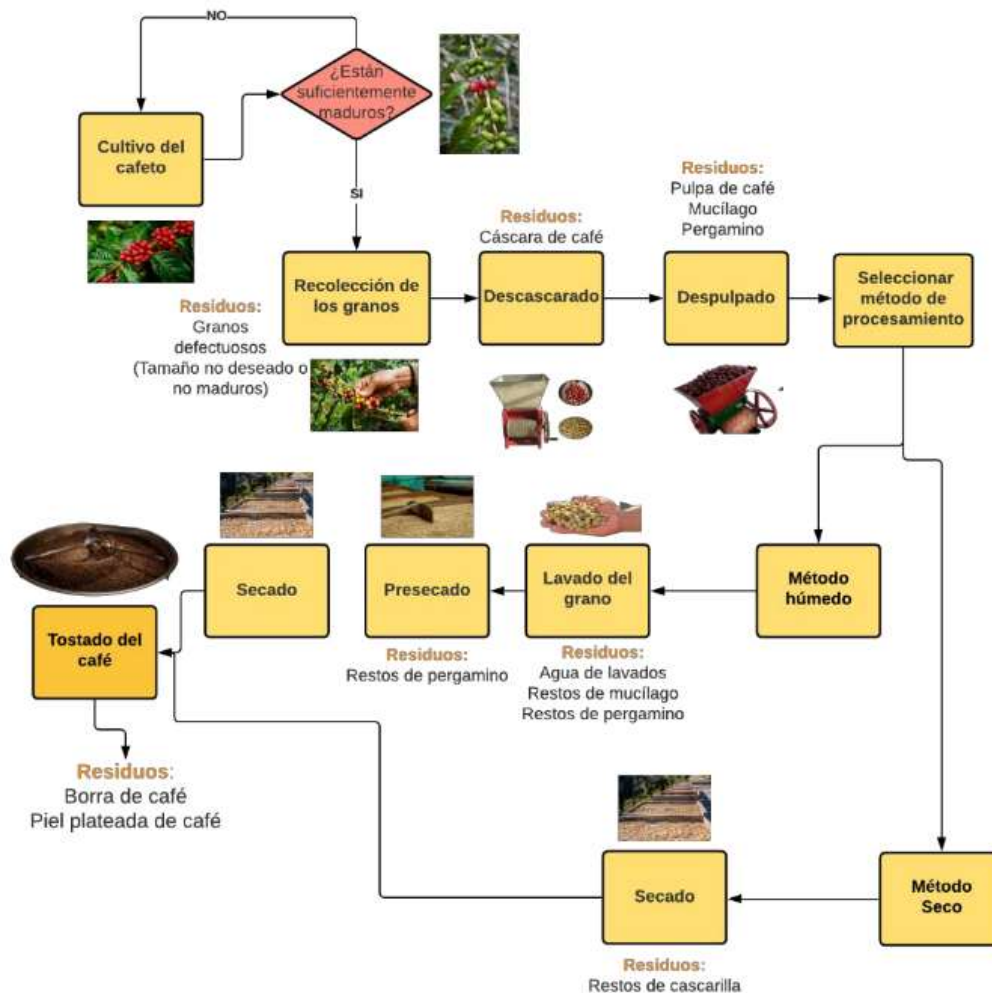


Figura 8. Esquema del proceso productivo del café y los residuos generados en cada una de las etapas.

Fuente: Urrego Yepes & Godoy Pernalet (2021)

2.2. Composición y características de la cáscara de café

La cáscara o "cisco" de café es uno de los residuos más estudiados para su aprovechamiento. De acuerdo con Manals et al. (2018), es la parte que envuelve el grano inmediatamente después de la capa mucilaginosa y representa alrededor de 12% del grano de café en base seca, la cual constituye una excelente fuente de lignina, celulosa, pentosanos, sílice y cenizas.

La quema de la cáscara de café para el secado del mismo es uno de los métodos de aprovechamiento más utilizados en la industria cafetera. Para ello, se emplean los silos de secado de café, los cuales, de acuerdo con Oliveros et al. (2013), se describen como:

"Un secador mecánico de una, dos o tres cámaras con piso perforado, donde se deposita el café; un calentador del aire de tipo indirecto; un ventilador que entrega el caudal de aire para el secado del café; y un dispositivo para el suministro de combustible (Carbón, cisco o madera). Adicionalmente, cuenta con dispositivos como termostato y termómetro para lograr que, en secadores de capa fija, la temperatura del aire de secado se mantenga en el rango adecuado para café, entre 48° y 52°C".

El proceso de secado de café en silos es una opción viable cuando tanto el flujo de café como las condiciones climáticas del entorno no hacen posible el uso de secadores solares. En este sentido, teniendo en cuenta que "*el combustible a utilizar representa en promedio el 75% de los costos del secado*" (Oliveros et al., 2013), la manera óptima de reducir dichos costos es mediante la utilización de la cáscara o "cisco" de café como combustible. El proceso de incineración que se le realiza permite que las elevadas temperaturas produzca óxido de calcio, el cual, por sí mismo, posee poco o ningún valor pero que, en forma finamente molida y en presencia del agua, reacciona químicamente con el dióxido de silicio para formar compuestos que se comportan como un material cementante (Hernández, 2010). Es decir que, las cenizas debido al proceso de quema que se les ha realizado obtienen propiedades puzolánicas que las llevan a comportarse de manera similar al cemento.

Cabe destacar que, las cenizas poseen una granulometría con una gran fracción de finos, tal como se observa en la siguiente tabla, lo cual facilita las reacciones químicas que se buscan,

Tabla 1. Propiedades de la ceniza de cáscara de café.

Properties of CHA.						
Color	Silt and clay (<75 µm) (%)	Fine sand (75–425 µm) (%)	Medium sand (425 µm–2 mm) (%)	Coarse sand (2–4.75 mm) (%)	Plasticity	Specific gravity
Light gray	42.9	46.26	10.17	0.67	Non- plastic	2.03

Fuente: Atahu et al. (2019)

Atahu et al. (2019); Alvarez y Fuentes (2020) realizaron la caracterización química de cenizas de cáscara de café. Así, lograron determinar la composición química de esta, como se muestra en la Tabla 2 y Tabla 3, donde se observa que, el óxido de calcio, conocido comúnmente como cal, es uno de los compuestos con mayor presencia, resaltando su similitud con el cemento pues es el compuesto con mayor presencia en el (Hernández y Herrera, 2019).

Tabla 2. Composición química de la ceniza de cáscara de café.

Chemical compositions (%) of CHA.											
Silica (SiO ₂)	Alumina (Al ₂ O ₃)	Iron oxide (Fe ₂ O ₃)	Calcium oxide (CaO)	Magnesium oxide (MgO)	Sodium oxide (Na ₂ O)	Potassium oxide (K ₂ O)	Manganese oxide (MnO)	Titanium dioxide (TiO ₂)	Phosphorpentoxid (P ₂ O ₅)	Sulphur oxide (SO ₃)	Loss on ignition (LOI)
1.24	0.58	0.56	17.7	4.51	0.14	46.46	0.06	0.08	3.85	3.75	21.07

Fuente: Atahu et al. (2019)

Tabla 3. Caracterización de la ceniza de cáscara de café.

Ensayo químico	Expresión	Composición %
Óxido de calcio	CaCO ₃	43,2
Óxido de férrico	Fe ₂ O ₃	4,76
Óxido de silicio	SiO ₂	9,80

Fuente: Alvarez & Fuentes (2020)

La investigación realizada por Atahu et al. (2019) consistió en mezclar ceniza de cáscara de café (producto de la incineración de la cáscara a 550°C por 6 horas) con diferentes muestras de suelo, donde se pudo observar que estos mejoraron significativamente su resistencia en estado húmedo y seco, siendo esta última la que mayor mejoras presentó, además de una reducción en los poros del suelo. Así, al realizar una caracterización química, se evidenció a nivel molecular lo que ocurrió en el proceso de mezcla, evidenciando la producción de un material cementante, puesto

que el Silicio y Aluminio en el suelo, reaccionaron con el Hidróxido de Calcio presente en la ceniza de cáscara de café.

2.3. Estabilización de suelos por medio de alternativas no convencionales

La cáscara de café ha sido el subproducto del mismo que más se ha estudiado para su aprovechamiento, por lo que, dichas investigaciones, han logrado obtener información más detallada sobre la cáscara o también conocida como cisco de café; cuya composición es 100% fibra que, de acuerdo con Urrego y Godoy (2021) "*puede ser utilizada en materiales para la construcción*", dado que cuenta con buenas características higrotérmicas y agentes capaces de brindar los mismos beneficios que materiales convencionales en la estabilización de suelos, mejorando sus propiedades mecánicas, aumentando su capacidad portante y, a su vez, alargando su vida útil.

Hernández y Herrera (2019) afirman que:

"En los últimos años se han realizado investigaciones de estabilización de suelos con alta plasticidad, debido a que estos se caracterizan por su baja capacidad portante y grandes deformaciones; es por ello por lo que se ha implementado el uso de cenizas de desechos agrícolas, ya que no solo mejoran las propiedades del suelo, si no que a su vez se está dando provecho al desecho".

2.3.1. Estabilización de suelos con ceniza de cáscara de café en el mundo

Las diferentes investigaciones realizadas en el mundo, para la estabilización de suelos finos/cohesivos, se mencionan a continuación,

Alvarez y Fuentes (2020); realizaron un estudio denominado "*Ceniza de cáscara de café para mejora de la resistencia en subrasante con suelos arcillosos, Jaén*", el cual tenía como propósito utilizar ceniza de cáscara de café para mejorar la resistencia en subrasantes con suelos arcillosos, determinando el efecto que tiene las adiciones de dichas cenizas en suelos con valores de CBR menor al 6%. La investigación realizó un diseño experimental, en el cual conformaron un grupo de control con muestras patrón de suelo arcilloso y también, se creó un grupo experimental con la adición de distintos porcentajes de ceniza de cáscara de café a las muestras del suelo patrón. En la realización de los ensayos, lograron determinar que el tipo de suelo, de acuerdo a su granulometría, correspondía a un tipo de suelo CL (arcilla inorgánica de mediana plasticidad) y un suelo de tipo CH (arcilla inorgánica de alta plasticidad). De igual manera, establecieron cuáles son los efectos que tiene el producto sobre el suelo, demostrando que son favorables y que, la adición del 15% de ceniza de cáscara de café mejora el CBR del suelo en 8.9%, por lo que concluyeron que es el porcentaje óptimo de adición para este tipo de suelos. Finalmente, recomiendan que se realicen estudios en otros tipos de suelo para ver el efecto que causa la ceniza de cáscara de café en ellos.

Atahu et al. (2020) en su trabajo de investigación denominado "*Effect of Coffee Husk Ash on Geotechnical Properties of Expansive Soil*", como también en su artículo "*Strength and compressibility behaviors of expansive soil treated with coffee husk ash*" (2019), realizaron un estudio sobre el tratamiento de suelos expansivos utilizando Ceniza de cáscara de café (CHA). En él, tenían como objetivo evaluar la efectividad del tratamiento con CHA utilizando los límites de Atterberg, el potencial de expansión, las características de compactación, la compresibilidad, la

resistencia a la compresión no confinada, la durabilidad (húmeda-seca), la relación de carga de California (CBR) y los comportamientos de resistencia al corte de los materiales estudiados. Además, llevaron a cabo la evaluación de la eficacia de CHA en combinación con cal. Por otro lado, realizaron estudios sobre la composición mineralógica y las microestructuras de muestras tratadas y no tratadas mediante difracción de rayos X (XRD) y microscopio electrónico de barrido (SEM), respectivamente. En primer lugar, determinaron que el tipo de suelo ensayado correspondía a Suelo de algodón negro y posteriormente, al realizar los ensayos, los resultados mostraron que el suelo tratado con CHA generalmente muestra mejoras y que, la adición de un 20 % de CHA aumenta la capacidad de carga y reduce la capacidad de expansión del suelo un 300% en comparación con el suelo no tratado. Además, los estudios morfológicos de las muestras de suelo tratadas con CHA al 10% y CHA al 15% indicaron la formación de partículas hidratadas y compuestos cementosos como resultado de la reacción entre el suelo y el CHA. Por otro lado, los resultados de las pruebas de laboratorio demostraron que el suelo expansivo tratado con la mezcla de cal y CHA es más eficaz en comparación con el suelo tratado con cal al reducir la plasticidad, la expansión y mejorar la capacidad de carga. Del análisis elemental se observó que la concentración de calcio aumentaba a medida que aumentaba el contenido de CHA. Además, la difracción de rayos X (XRD) revela la aparición de productos cementicios en las muestras tratadas, lo que contribuyó en gran medida a la mejora de las propiedades geotécnicas. Es por ello que, esta investigación es relevante para el desarrollo futuras investigaciones, pues revela el uso potencial de CHA para la construcción de subrasantes de carreteras, concluyendo que este método de mejoramiento no se limita a las ventajas socioeconómicas en el desarrollo de infraestructuras, sino que también podría desempeñar un papel importante en la reducción del impacto ambiental derivado del almacenamiento de los residuos.

Olano Pérez (2021), en su trabajo de investigación "*Estabilización de suelos cohesivos mediante incorporación de cenizas cascarilla café arábica, carretera Guineas a Mañumalkm.0+000 al km.7+500, Utcubamba*" identificó como metas, identificar las características geotecnicas y propiedades mecánicas del suelo, distinguir las características físicas de la ceniza de cascarilla de café arábica, para así, aplicar este insumo en diversos porcentajes, poder analizar las propiedades de resistencia del suelo estabilizado y demostrar el impacto de la permeabilidad en él, para finalmente, determinar la dosificación ideal. Para ello, sobre el tramo de vía de prueba, recolectó muestras de suelo para ser posteriormente ensayados en laboratorio, tales como granulometría, peso específico, límites de Atterberg, contenido de humedad y el ensayo CBR. Los resultados mostraron que el suelo cohesivo estudiado correspondía a un suelo areno arcilloso (SC), areno limoso (SM), arcillas inorgánicas de mediana a alta plasticidad (CH) y arcillas inorgánicas de mediana plasticidad (CL). Posteriormente, determinaron que el porcentaje ideal de incorporación de ceniza de cascarilla de café arábico es del 15% del peso de la muestra. Finalmente, dentro de las recomendaciones, determinó que es indispensable contar con elevadas cantidades de cáscara de café, dado que, con el proceso de quemado de este, existe una reducción aproximada del 95% del peso, es decir, por cada 100kg de cáscara de café, se obtiene 5kg de ceniza de cáscara para usarse como agente estabilizante, lo cual es un punto importante a tener en cuenta para cuantificar costos para la estabilización de 1km de carretera. También determinaron que es recomendable estudiar la dosificación de manera más detallada, es decir, tomar las dosificaciones de 10%, 12%, 14%, 16%, 18% y 20%. Cabe mencionar que, de la investigación realizada, se obtuvo como producto de ella, la realización de un artículo denominado "*Incremento del valor de soporte del suelo adicionando eco estabilizante a partir de cenizas cascarilla de café arábica*" (2021).

El trabajo de investigación realizado por Escobar y Reyes (2022); "*Influencia de la ceniza de café y cáscara de huevo para la estabilización de subrasante de un pavimento flexible del tramo Santa Elena – El Carmelo, Virú, 2022*", desarrollaron en un tramo de vía existente, la determinación de la influencia de la ceniza de café y cáscara de huevo para la estabilización de subrasante del tramo. Para la ejecución de la tesis, realizaron calicatas para obtener muestras de suelo, además, realizaron una revisión de literatura y con los datos obtenidos, realizaron ensayos como granulometría, límites de Atterberg, Proctor y CBR. Con los resultados obtenidos lograron determinar que las muestras de suelo tomadas, corresponden a un tipo de suelo arcillo limoso de baja plasticidad (CL), además de que, la ceniza de cáscara de café y la cáscara de huevo como estabilizantes logran aumentar considerablemente las propiedades de la subrasante, siendo los porcentajes óptimos un 4% de CCC y 2% de CH, dosis que genera valores de CBR mayores del 30%, implicando un ahorro de costos, de logística y una disminución en el impacto ambiental.

Huancapaza (2021); en su investigación "*Influencia de la ceniza de cáscara de café en las propiedades físico-mecánicas de la subrasante, Yanahuaya-Sandia-Puno 2021*", determinó, como objetivo principal, evaluar la incorporación de la ceniza de cáscara de café para mejorar las propiedades físico-mecánicas del suelo, teniendo en cuenta que se pueden aprovechar de manera eficiente. Para ello, tomaron muestras de suelo de un tramo de vía existente y se les realizaron límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR. Los resultados de la investigación permitieron determinar que al incorporar 15%, 20% y 25% de CCC, el índice de plasticidad disminuyó en un 9.8%, la máxima densidad seca tuvo un decremento de 0.114 g/cm³ y la capacidad portante CBR aumentó considerablemente, hasta en un 19.9%. Así, concluyeron que la estabilización de suelos incorporando la ceniza de cáscara de café es posible, sin embargo, recomiendan incrementar el porcentaje para obtener la curva del óptimo índice de plasticidad.

En el artículo "*Study of coffee husk ash addition for clay soil stabilization*" realizado por Munirwan et al. (2021), resalta que los desechos sólidos industriales se han convertido en un problema difícil en algunos países en desarrollo, especialmente en Indonesia, por lo que, el tema ambientalmente amigable de cómo disminuir los desechos industriales mediante el proceso de reutilización o reciclaje se ha hecho famoso en los últimos años. Por lo tanto, utilizaron cenizas de cascarilla de café en esta investigación, que se puede considerar como material de desecho sólido de la industria procesadora de café. Dicho residuo se utilizó para mezclarlo con un suelo arcilloso para estudiar su comportamiento. Se realizaron varias pruebas de propiedades físicas del suelo, como la gravedad específica, el límite de Atterberg y la distribución del tamaño de grano siguiendo las normas ASTM. Inicialmente, para la clasificación del suelo, se obtuvo que corresponde a un suelo OH, es decir, un suelo arcilloso o limoso orgánico. El parámetro físico del suelo se evaluó con la adición de 3%, 6%, 9% y 12% de cenizas de cáscara de café por peso seco del suelo. Es así como, los resultados permitieron determinar que las propiedades físicas del suelo mejoraron en comparación con el suelo no tratado, con un porcentaje de 12% de ceniza de cáscara de café, reduciendo el índice de plasticidad de 21.24% a un 8.09%. Además, se sugirió una prueba de laboratorio mecánica adicional en mecánica de suelos para un análisis más avanzado del efecto en la mezcla de cenizas de cascarilla de café y suelo.

Munirwan, Taha, et al. (2022) en su investigación "*Shear Strength Improvement of Clay Soil Stabilized by Coffee Husk Ash*", establecieron que encontrar alternativas a los recursos naturales es importante para un futuro sostenible y es esencial para los proyectos de infraestructura y que, entre estos reemplazos está el uso de residuos de café como estabilizadores de suelos. Así,

definen que la ceniza de cascarilla de café (CHA) es un desecho sólido que se obtiene del procesamiento de los granos de café en una finca o fábrica. Además, describen que el objetivo principal de este estudio es determinar las propiedades geotécnicas del suelo arcilloso tratado con CHA para desarrollar una composición alternativa de bajo costo y respetuosa con el medio ambiente. En este sentido, se realizaron pruebas de laboratorio para investigar la influencia de CHA en las propiedades físicas y mecánicas de la arcilla, mezclando el suelo con porcentajes de ceniza de cáscara de café de entre 5% a 25%. Con los resultados obtenidos, se determinó que el tipo de suelo que se estaba utilizando correspondía a un suelo arcilloso inorgánico de alta plasticidad (CH). Además, se descubrió que la CHA genera una puede reducir la gravedad específica del suelo y que también, puede mejorar la resistencia de la arcilla al formar un proceso puzolánico y de hidratación que llena los vacíos del suelo y une las partículas y que, el porcentaje de dosificación óptimo correspondía al 25%, pues logró aumentar la resistencia inconfina del suelo en un 150%. Concluyendo así que, las cenizas de cáscara de café son una buena opción como agente estabilizador en suelos expansivos.

2.3.2. Estabilización de suelos con ceniza de cáscara de café en Colombia

Colombia es un país conocido por su amplia biodiversidad, además de su variedad de climas y suelos que posibilitan el cultivo de diferentes productos agrícolas a lo largo de todo su territorio. El café ha sido uno de los cultivos más importantes, pues a lo largo de su historia, no solamente ha logrado posesionar al país como uno de los mejores productores a nivel mundial "*debido a que es catalogado por los consumidores como uno de los mejores en el mundo, gracias a su gran calidad en el grano y como producto final*" (Urrego y Godoy, 2021), sino que, además, ha fortalecido el desarrollo económico, social y cultural de este.

La optimización del proceso industrial que se realiza puede implicar un impacto positivo en la economía caficultora de Colombia. Eliminar la contaminación y optimizar la comercialización de estos residuos son algunas de las consecuencias positivas que pueden llegar a darse con la utilización de las cenizas de cáscara de café en la estabilización de suelos y, es por ello que, las investigaciones realizadas en Colombia toman relevancia. Algunas de estas se describen a continuación,

El documento "*Estabilización de suelos con cascarilla de café en caminos vecinales, tramo Dormenduyoc – Belenpata, Distrito de Echarati, La Convención – Cusco, 2021*", por Gonzales (2021); pretendía determinar la incidencia de la cascarilla de café en la estabilización de suelos en caminos vecinales, en un tramo de vía existente. Para ello, se realizó la extracción de muestras de 4 calicatas realizadas en campo y, se ensayaron en laboratorio para determinar sus límites de Atterberg, la capacidad de soporte CBR y el contenido de humedad óptima. Los resultados obtenidos arrojaron que las muestras de suelo obtenidas correspondían a arcillas areno - limosas. Además, al adicionar cascarilla de café al suelo, lograron demostrar que se presenta un mejor comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas, con una dosificación óptima de 20% de cascarilla de café. Concluyendo que, la adición de esta disminuye el índice de plasticidad en los suelos limo arcillosos hasta en un 7.28%, incrementa el valor del CBR hasta en un 38.6% y el contenido de humedad óptima se reduce y la densidad máxima seca incrementa hasta un 8.12%. Sin embargo, recomiendan realizar estudios con porcentajes mayores al 20% y también evaluar el comportamiento de la estabilización del suelo con la ceniza de cáscara de café adicionando cal.

Laguna y Chacón (2020); en su documento denominado "*Análisis comparativo del comportamiento a la resistencia de un suelo fino con adición de ceniza de cascarilla de arroz y ceniza de cascarilla de café*"; mediante el estudio de diferentes factores físicos y mecánicos del suelo de investigaciones anteriores, cuyo enfoque va encaminado a la utilización de desechos agroindustriales; determinan que las cenizas de cáscara de café y cáscara de arroz ayudarían en la mejora en la estructura de suelos finos como también de afirmados y subrasantes. Para corroborar dicha información, realizaron de ensayos de laboratorio de acuerdo a las normas INVIAS-2013 en suelos finos en su estado natural y modificado (mejorado con las cenizas). Con los resultados obtenidos, logran concluir que estos materiales funcionan positivamente y mejoran propiedades tales como estabilidad, durabilidad, resistencia y plasticidad. Además, afirmaron que es necesario conocer el contenido de humedad óptima y la densidad máxima seca del suelo mediante la realización del ensayo Proctor; también, establecieron que el porcentaje óptimo de cenizas de cáscara de café para la mejora de la resistencia a la compresión no confinada corresponde al 10% de adición, pues logra aumentar su valor hasta en un 247%; pero, recomiendan que los porcentajes a usar sean entre 4% y 14%. Por último, resaltan los beneficios que presentaría tanto económicos como ambientales y de contribución innovadora a la Ingeniería Civil. Sin embargo, cabe mencionar que la investigación no logró llevar a campo su investigación.

Hernández y Herrera (2019) en su estudio "*Análisis de la relación de soporte y resistencia a la compresión de un suelo arcillo-limoso en la vereda de Liberia del municipio de Viotá-Cundinamarca estabilizado con ceniza de cascarilla de café*", realizaron un análisis de la incidencia de la ceniza de cáscara de café en un suelo arcillo-limoso, motivándose en que la zona de estudio es cafetera. Para ello, plantearon diferentes dosificaciones en peso (4%; 6% y 8% de ceniza) con respecto al suelo, con el fin de identificar el porcentaje óptimo de ceniza que da un mejor comportamiento al suelo. Los resultados obtenidos permitieron clasificar al suelo ensayado en un suelo arcilloso de baja plasticidad, el cual, con las dosificaciones planteadas, no logró mostrar mejoría en sus propiedades, por lo que los investigadores recomiendan que, para futuras investigaciones, se adicionen porcentajes de ceniza de cáscara de café mayores al 8%, ya que el suelo presentó un aumento en la relación de soporte y la resistencia a la compresión sin encontrarse un porcentaje óptimo. Además, hacen énfasis en la importancia de la realización de ensayos como el CBR, ensayos de resiliencia y de fatiga. Por último, aconsejan la realización del análisis del comportamiento del suelo mejorado en el tiempo para determinar la durabilidad de estas mezclas ante diferentes agentes externos.

La investigación "*Caracterización del comportamiento geotécnico de suelos de origen volcánico estabilizados con cenizas provenientes de cáscara de coco y cisco de café*" realizada por Cobos et al. (2019) define la posibilidad de usar suelos de origen volcánico (SM, MH), muy presentes en la zona norte del departamento del Tolima (Colombia); como materiales de subrasante, ya sea en su estado inalterado o estabilizado, de tal manera que pueda brindar soporte a la estructura de pavimento. Para ello, determinaron un proceso de estabilización a través de la adición de ceniza de biomasa proveniente de la calcinación del cisco de café y la cáscara de coco. Y así, realizaron una evaluación del comportamiento geotécnico, características físicas y mecánicas, susceptibilidad a la humedad, características de plasticidad, resistencia y trabajabilidad. Los resultados obtenidos lograron mostrar que la ceniza de cisco de café y de cáscara de coco funcionan como material conglomerante que permite potenciar las propiedades de un suelo. Lo anterior fundamentado en los ensayos realizados en el suelo al cual se le adicionó 15% de biomasa, los cuales mostraron porcentajes de compactación promedio cercanos y superiores al 100%.

El trabajo de grado llamado "*Estabilización de afirmado con ceniza proveniente de desechos de cascarilla de café para aplicar en suelos de construcción de vías*", realizado por Vargas et al. (2020) incluye como objetivo estudiar la viabilidad de utilizar cenizas provenientes de la actividad de desecho de cáscara de café, para aplicarse a la estabilización de suelos en la construcción de vías, especialmente en capas de afirmado. Así, resaltan la importancia de la utilización de este tipo de material, puesto que el país (Colombia) es uno de los principales productores de café del mundo, por lo que se puede aprovechar dicha materia prima para ayudar a disminuir el proceso de alteración al medio ambiente integrándolo en el sistema constructivo de la estructura de un pavimento. Para ello, realizaron ensayos de laboratorio que permitieran determinar la granulometría del suelo, la capacidad de soporte bajo sus condiciones mejoradas, como también de su humedad óptima y densidad máxima. En la clasificación del suelo, se obtuvo que, de acuerdo al ensayo de granulometría, corresponde a una Arena pobremente gradada (SP) y, los ensayos realizados a la mezcla de suelo con CC, les permitieron concluir que la alternativa más viable para adicionar la ceniza, es en un porcentaje de 14%, ya que se pueden obtener beneficios en las propiedades físico mecánicas del suelo, es una buena alternativa económica, sustentable y amigable con el medio ambiente, mejorando así, el desempeño de las diferentes capas estructurales que componen una vía.

Ortiz (2021) realizó un estudio denominado "*Estimación de la resistencia de un suelo fino con adición de ceniza de cascarilla de café con relación a uno sin modificar*", en el que se buscaba incorporar materiales nuevos que generen alternativas diferentes a desechos. Para ello, propuso el uso de ceniza de cáscara de café (CCC). Así, esta investigación de tipo experimental analizó los cambios físico-mecánicos de un suelo fino limoso de alta plasticidad (MH) al adicionarle el 15% en CCC con el fin de buscar una solución para la estabilización de una vía terciaria existente en el municipio de Viotá (Cundinamarca, Colombia). Se utilizó una metodología de carácter cuantitativo y un enfoque mixto basándose en las normas técnicas colombianas. Los resultados obtenidos se logró evidenciar un efecto positivo en la resistencia del suelo al adicionarle dicho porcentaje, ya que aumenta la resistencia a la compresión en un 28% y pierde completamente su plasticidad.

Camargo y Peralta (2020); en su documento: "*Evaluación del comportamiento de la resistencia de un suelo arcilloso con adición de ceniza de cascarilla de café en el municipio de Viotá Cundinamarca*", analizaron los factores físico-mecánicos sobre un suelo arcilloso con baja plasticidad (CL), modificando su estructura utilizando residuos agroindustriales, en este caso, con cascarilla de café. Para ello, agregaron el 12% del material en la muestra de suelo natural y realizaron pruebas de laboratorio de acuerdo con la norma INVIAS, tales como límite líquido, índice de plasticidad, prueba de compactación modificada, compresión no confinada y granulometría. Los resultados obtenidos demostraron un efecto negativo en la resistencia del suelo de baja plasticidad con la adición de ceniza de cáscara de café, puesto que el suelo perdió resistencia. Por último, recomiendan la realización de investigaciones y ensayos utilizando diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de café (8-10%) para obtener resultados que afecten de manera importante la resistencia a compresión de un suelo arcilloso, ya que en trabajos de investigación anteriores se recomienda dicho rango.

La utilización de cenizas de cáscara de café para la estabilización de suelos, con técnicas y metodologías establecidas, puede lograr mejorar las propiedades de este, convirtiéndose en un producto potencial e innovador. En este sentido, teniendo en cuenta que Colombia es un país

cafetero, de donde se genera una gran cantidad de residuos, se convierte en una oportunidad el aprovechamiento de estos, que pueden beneficiar a aquellos campesinos, optimizando el proceso actual de la producción de café, mejorando la infraestructura vial por la cual se transporta este producto, reduciendo costos en combustible, tiempos de transporte, además del aprovechamiento óptimo de los residuos, que a su vez puede generar ganancias financieras adicionales, puesto que pueden comercializar dichos residuos, mejorando la industria. Es aquí que, se tiene en cuenta el concepto de economía circular, donde las empresas que están produciendo estos residuos, pueden empezar a comercializarlos para su empleo en procesos de mejoramiento de suelos.

2.4. Convenio 1633

La Universidad del Cauca, según lo establecido en la resolución 000263 del Instituto Nacional de Vías - INVIAS del 31 de enero de 2020, realizó una serie de documentos e informes, en los cuales establecen el proceso de regulación técnica de nuevas tecnologías para la infraestructura de transporte, donde desempeña un rol como Ente Investigador cuyo objetivo corresponde a la regulación técnica de las familias o subgrupos de tecnologías presentadas en la primera, segunda y tercer Rueda de Innovación y Sostenibilidad de la Infraestructura de Transporte, a través de la suscripción del convenio interadministrativo 1633 del 28 de diciembre del 2020.

A continuación, se menciona y describe la clasificación, procedimiento y evaluación de resultados, respecto a lo realizado en este convenio, tomando como referencia los documentos: "Estabilización de suelos con productos químicos no tradicionales" (Artículo 237-22) y "Aunar esfuerzos técnicos, administrativos, jurídicos y financieros, con el propósito de efectuar acompañamiento al Proceso de Regulación Técnica de Nuevas Tecnologías para la Infraestructura de Transporte", denominados "Plan de Ensayos de Laboratorio y Modelaciones de Desempeño para las Tecnologías de las Familias de estabilizantes #19_T1, #20_T2, #21_T3, #22_T4 Y #23_T5", por la Universidad del Cauca, en acompañamiento con el Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

2.4.1. Clasificación

Se establecieron planes experimentales para la aplicación de distintas tecnologías, las cuales fueron clasificadas en 5 grupos/familias:

Familia 1 - Emulsiones enzimáticas.

Este tipo de productos estabilizantes son compuestos diversos de naturaleza proteica que catalizan reacciones químicas con el fin de reducir la plasticidad y permeabilidad del suelo.

La estabilización de suelos con enzimas naturales (nanotecnología), con multienzimas orgánicas y con EARTHZYME son el tipo de tecnologías que entran en esta clasificación.

- *Tecnología 12E Enzimas naturales (Nanotecnología)*: Son productos de la fermentación de materiales orgánicos. Se emplea para la estabilización de suelos ya que buscan mejorar las propiedades estructurales de los suelos cohesivos porque cataliza y acelera las reacciones químicas naturales en ellos, y los convierte en estructuras más resistentes. Las enzimas naturales aumentan la estabilidad de los suelos cohesivos que se usan en la construcción de vías. El resultado más significativo según el innovador es que mejora la resistencia al clima y aumenta la resistencia (CBR).

- Tecnología 3E Multienzimas orgánicas: Son un conjunto de enzimas (proteínas) que catalizan reacciones bioquímicas derivadas de las plantas y animales, que aceleran las reacciones químicas. Su aplicación produce un efecto en la estructura mineral de la arcilla, reduciendo la plasticidad, modificando la permeabilidad, incrementa el peso unitario y la resistencia (CBR). Se emplea como un aglutinante que mejora las propiedades mecánicas y físicas del suelo con incremento consecuente en las densidades de compactación, capacidad portante y vida útil de las mismas.
- Tecnología 14E EARTHZYME: Funciona en la química del suelo como un intercambiador de iones para mejorar las características de ingeniería del suelo arcilloso. La función principal es reducir la cantidad de agua retenida en el suelo con la finalidad de optimizar la compactación y alternativamente, disminuir la expansión del suelo. Este producto está diseñado para suelos con alto contenido arcilloso, reduciendo costos de construcción y de mantenimiento de caminos, mediante la mejora de las propiedades estructurales y funcionales de los materiales arcillosos.

-

Familia 2 - Materiales puzolánicos.

Este tipo de productos estabilizantes son materiales que promueven reacciones cementantes, estas reacciones consisten en la solubilización de los compuestos de sílice y alúmina amorfas o débilmente cristalizadas en un medio altamente alcalino, con la consecuente formación de aluminosilicatos dicálcicos y tricálcicos hidratados.

Los productos utilizados para la estabilización de suelos que entran en esta clasificación se mencionan a continuación,

- Tecnología Ingelabs: Aditivo D-STB-WAY: Es un aditivo a base carbonato con contenido de calcio y magnesio. Aditivo fertilizante utilizado para estabilizar efluentes industriales y ácidos. Su composición química corresponde a: hidróxido de calcio entre 25-40%, carbonato de calcio entre 15-20%, óxido de calcio entre 2-5%, Óxido de magnesio entre 10-35%, Óxido de Fósforo entre 5-8 e Hidroxilapatita entre 2-3%.
- Tecnología Roadcem: Powercem: Es un aditivo en grano muy fino basado en metales alcalinos, alcalinotérreos y zeolitas sintéticas. Su composición química es: Metales alcalinos: 60 - 80%, carbonato de calcio: 10 - 20%, zeolitas: 5 - 10% y silicatos de metales alcalinos: 5 - 10%.
- Tecnología sistema SPF: fortacret Es I, pavercryl seal plus y pavercryl compact: El sistema SPF es una mezcla de los productos Fortacret Es I, Pavercryl seal plus y Pavercryl compac. El producto Fortacret es un material cementante premezclado basado en metacaolín y polímeros de alta resistencia a los rayos UV. El nombre químico de Fortacret es Aluminosilicato deshidroxidado y se considera un material cementante suplementario (puzolana).

Familia 3 - Polímeros y organosilanos.

Este tipo de productos estabilizantes son sustancias derivadas de compuestos orgánicos con cadenas moleculares extensas, empleadas en la estabilización de suelos con el fin de reducir la permeabilidad y aglomerar las partículas; en algunos casos alteran el comportamiento hidrofílico del suelo mediante mecanismos electroquímicos y de encapsulamiento en la fracción fina.

Los productos utilizados para la estabilización de suelos que entran en esta clasificación se mencionan a continuación,

- Tecnología 13E PRO-ROAD PRE16: Es un estabilizante iónico, líquido y polimérico que elimina las cargas de los suelos cohesivos y además sirve como pegante para las partículas del mismo, esto permite una mayor compactación, reducción de vacíos y agua retenida en las moléculas. Lo anterior se traduce en una mayor resistencia, resiliencia y durabilidad. El producto es amigable con el medio ambiente, no es tóxico, ni inflamable, ni alergénico.
- Tecnología 27E TERRASIL: Es un órganosilano de quinta generación, reactivo a temperatura ambiente, soluble en agua y betún, estable hidrolíticamente, es impermeabilizante a escala nanométrica, reactivo permanente que tiene su aplicación en el ámbito de la estabilización de suelos entendida como la mejora de las propiedades mecánicas e hidráulicas y el mantenimiento de estas frente al paso del tiempo y de la carga.
- Tecnología 30E METODOLOGÍA ISSS (IN-SITU SOIL STABILIZATION): Es un polímero estabilizador de suelos líquido, incoloro, no corrosivo, no inflamable y amigable con el medio ambiente, es una mezcla de químicos inorgánicos formulados para estabilizar suelos que estabiliza satisfactoriamente la mayoría de los suelos clasificados bajo sistema AASHTO. Mezclar suelos con ASP 200 SoilBinder 100 diluido en agua y aditivos de calcio genera unas reacciones químicas y físicas que forman un gel cohesivo que llena el vacío entre las partículas del suelo, y a medida que la mezcla se vuelve más viscosa forman un enlace impermeable y flexible que une los materiales formando una base de carretera flexible con mayor resistencia a la compresión, reduce la susceptibilidad a la humedad del suelo, los problemas de agrietamiento y el deterioro de la base de la carretera durante el ciclo de congelamiento y descongelamiento o cambios de temperatura bruscos.
- Tecnología 32E TERRA-3000: Es un producto basado en las investigaciones de nanotecnología, es un intercambiador de iones, una solución acuosa compuesta de una mezcla de 20% de interfaces mono molecular y poli molecular de sustancias activas, disolventes, emulgadores y catalizadores con un determinante contenido de Propilendiamina, Cloruro de Metilamonio, e Isopropanol, que apunta esencialmente a la estabilización de suelos arcillosos.
- Tecnología 34E PRODUCTOS POLYROADS - POLYMER PAVEMENTS - SOIL TECH MK. III: Es una dispersión de copolímero acuoso no plastificado de tamaño de partícula fina, basada en ésteres de ácido acrílico, estireno e hidrocarburos aromáticos policíclicos altamente condensados; está diseñado específicamente para la aglomeración y unión de partículas de suelo minerales y naturales y un aglutinante para aplicaciones de construcción, logrando así, una eficiente penetración, homogeneización de las mezclas, impermeabilización y ante la compactación una adhesión muy fuerte. Además, la característica elastomérica del conjunto previene el agrietamiento por golpe o presiones sobre la vía.
- Tecnología 35E NANOTECNOLOGIA DYANAN: Es un estabilizante que contiene dos polímeros a escala nano llamados Nanotrack y Nanodirect y permiten mediante un intercambio de moléculas que el suelo entre en contacto con el polímero produciendo la estabilidad del suelo, evitando los daños en su estructura debido a los cambios de humedad, es decir, por incremento de volumen o deshidratación.

Familia 4 - Sales inorgánicas.

Este tipo de productos estabilizantes son compuestos químicos de naturaleza iónica empleados para el control de emisiones de polvo en carreteras y en la reducción de plasticidad.

Los productos son aplicables a una amplia variedad de suelos, en general todos están orientados hacia la disminución de la capacidad de intercambio iónico y catiónico de suelos activos,

es decir, con composición de arcillas, limos, arenas entre otros. En todos los casos, los productos son presentados como agentes reductores de susceptibilidad ante variaciones en el contenido de humedad de los suelos. En ese sentido, se asocia su efecto a la reducción en comportamiento plástico de los materiales y disminución en el potencial de variación volumétrica.

Los productos utilizados para la estabilización de suelos que entran en esta clasificación se mencionan a continuación,

- *Tecnología Silicondpox*: Clasifica en la familia de estabilizantes no convencionales de sales inorgánicas, de acuerdo con su comportamiento experimental obtenido en los ensayos de laboratorio, cada vez que en la Información del Innovador en sus diferentes reportes y subsanaciones no se logra identificar el agente estabilizante de forma clara y precisa.
- *Tecnología Geossil*: Es un producto químico a base de silanos de tipo iónico, que al mezclarlo con agua y aplicarlo al suelo, produce una capa de material granular estable y resistente, mejorando sus propiedades físicas y mecánicas, permitiéndole adquirir propiedades hidrofóbicas. la tecnología se reportó a la consultoría de forma extemporánea y según las indicaciones del fabricante y del comportamiento experimental realizado en la Universidad del Cauca se clasificaría dentro de la familia 3 teniendo una equivalente a las Tecnología identificadas como 27 E TERRASSIL.
- *Tecnología Pacs-01*: Para el caso del producto PACS-01 al ser un agente desencadenante de reacciones químicas enlazadas que actúa en el suelo con una cinética continua que varía en función del pH del suelo, por lo general las estabilizaciones actúan muy bien en la parte alcalina, por cuanto su capacidad de intercambio catiónico aumenta y el enlace molecular mejora.

-

Familia 5 - Aceites sulfonados, sales inorgánicas.

Este tipo de productos estabilizantes son agentes químicos de naturaleza surfactante, derivados de compuestos orgánicos, empleados en la estabilización de suelos para disminuir la plasticidad y la expansividad de los suelos modificando los fenómenos electroquímicos de la fracción fina.

Tienen como objetivo común la estabilización para el mejoramiento de suelos de subrasantes de pavimentos para carreteras, y en algunos casos la estabilización de bases granulares para pavimentos. Lo anterior con el fin de proporcionar una mayor resistencia y durabilidad de las subrasantes y de las capas estructurales.

Los productos utilizados para la estabilización de suelos que entran en esta clasificación se mencionan a continuación,

- TECNOLOGÍA – 5E CON AID CBR PLUS, TECNOLOGÍA – 6E BIOCEC
- TECNOLOGÍA – 28E SISTEMA ROCAMIX
- TECNOLOGÍA – 36E GEOSTAB
- TECNOLOGÍA – 39E TECNOLOGÍA DE ESTABILIZACIÓN PROES

De esta manera, se puede observar en la Figura 9, un resumen de la clasificación, por familias, del convenio 1633.

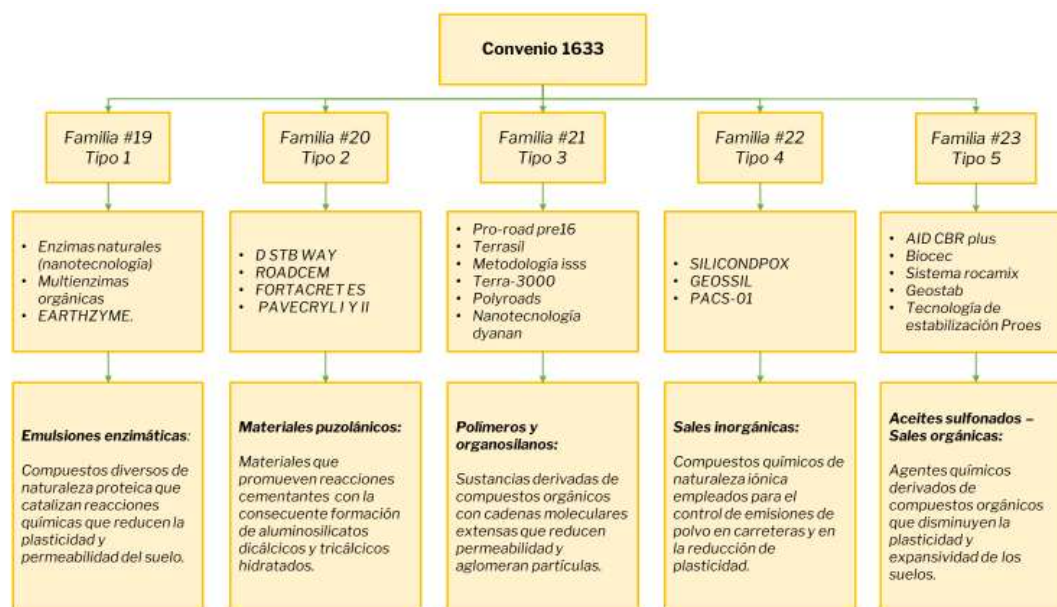


Figura 9. Clasificación de las familias químicas de productos estabilizantes - Convenio 1633.
Fuente: Elaboración propia

2.4.2. Características

Fuentes de material:

Se localizó las fuentes de material que cubrieran la variedad de rangos de aplicación de los estabilizantes, además que se contara con la cantidad de material necesario y que no hubiera dispersión de las propiedades por efectos de la meteorización, ni fueran cercanos a sitios agrícolas o de descarga de aguas servidas, a fin de que no estuvieran contaminados y tuvieran interferencia química con la aplicación de los estabilizantes.

Así, se presentan a continuación las coordenadas de cada cantera de material.

Tabla 4. Coordenadas geográficas de los depósitos de material.

Depósito de material	Coordenadas	
	Latitud	Longitud
Vereda El Tablón – Talud	2°29'22.7"N	76°43'05.0"W
Cantera La Verónica - Río Hondo	2°28'32.3"N	76°43'33.0"W

Fuente: Universidad del Cauca, 2020.

De igual manera, en la Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7, se presentan las características geomecánicas de los suelos utilizados y otras propiedades,

Tabla 5. Características geomecánicas de los suelos utilizados.

Código	USCS	PARÁMETROS ÍNDICE				Porcentaje pasa tamiz #200 PT200 [%]	Gravedad especifica Gs
		Límite Líquido LL [%]	Límite Plástico PL [%]	Índice de Plasticidad PI [%]	Límite de Contracción LC [%]		
Suelo 1	MH	53.1	35	18.1	32.7	82	2.56
Suelo 2	CH	88	36.6	51.3	21.4	90.1	2.68
Suelo 3	ML	35.1	25.2	9.9	24.4	44.3	2.68

Fuente: Universidad del Cauca, 2020.

Tabla 6. Resultados Ensayo Proctor

Código	USCS	Contenido de humedad óptimo	Peso unitario seco
Suelo 1	MH	36.8 %	1.280 g/cm ³
Suelo 2	CH	43.6 %	1.188 g/cm ³
Suelo 3	ML	25.0 %	1.502 g/cm ³

Fuente: Universidad del Cauca, 2020.

Tabla 7. Resistencia a la compresión inconfiada en condiciones naturales (Sin estabilizantes)

Código	USCS	Resistencia a la compresión inconfiada INV E-152
Suelo 1	MH	213.34 kPa
Suelo 2	CH	212.50 kPa
Suelo 3	ML	250.97 kPa

Fuente: Universidad del Cauca, 2020.

2.4.3. Ensayos realizados y su descripción

Se realizó el mismo plan de ensayos para las familias de estabilizantes, utilizando en cada caso la concentración establecida por su distribuidor, así como su sistema de homogenización y métodos de curado, teniendo en cuenta que estos ensayos buscan obtener los mínimos resultados que debe tener un sistema de estabilización química de suelos para ser aplicados en las condiciones críticas de las vías terciarias de la geografía colombiana.

Debido a la baja capacidad de resistencia a la inmersión en agua, se propuso una segunda fase experimental en la que se adoptó un sistema de impermeabilización superficial a las probetas para el ensayo de resistencia a la compresión inconfiada, mediante una película delgada de su producto o mediante el uso externo de derivados del asfalto o aminas para ser ensayadas a dos edades de curado 7 y 14 días. También, mediante la modificación de su dosificación o la adición de productos.

Para el ensayo de resistencia a la compresión inconfiada, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

Homogenización y mezclado: Debido a la amplia variabilidad en el proceso de homogenización no fue posible adoptar un estándar único para todos los estabilizantes y, por lo tanto, de acuerdo con lo indicado por cada innovador en su ficha técnica, se le asignó a la hoja de ruta el proceso de homogenización particular y tiempos de espera sugeridos por los innovadores.

Energía de compactación: De acuerdo con lo solicitado por el cuerpo técnico de la Universidad del Cauca se utilizó la energía normal de compactación, de acuerdo con la norma INV E-141, buscando simular las condiciones críticas en obra de una baja compactación.

Curado: Debido a la amplia gama de estabilizantes, cada innovador propuso métodos de curado y características especiales después de la compactación. Entre los cuales se encontraban curado en cámara húmeda, curado al aire libre en ambiente controlado de laboratorio, curado por aspersión de agua o una mezcla de los anteriores procesos.

Etapas de falla: Se establecieron 4 etapas de curado y falla en el tiempo. Las propiedades se revisaron con el suelo sin estabilizante (0h) y se comprobó la modificación de propiedades con el estabilizante a los 3, 7, 14, 28 días. Para cada etapa de falla se dispuso 10 especímenes de ensayo a partir de los cuales, 5 de ellos eran sometidos a inmersión previa de una hora y llevados a la prensa de compresión.

Estado de inmersión: Se dispuso de una prueba de inmersión en un tanque suficientemente profundo para sumergir los especímenes, de manera inconfínada, con condiciones controladas a temperatura de 20°C en el agua, simulando el efecto crítico de condiciones de saturación. Esta prueba adoptó la metodología de la norma INV E-614 o su contraparte internacional ASTM D1633 para la evaluación de la resistencia a la compresión de cilindros modelados de suelo-cemento, sin embargo, debido a la geometría de los especímenes adoptados se estableció que una (1) hora de inmersión sería suficiente para los cilindros estabilizados.

Los ensayos de resistencia a la compresión inconfínada de especímenes sometidos a inmersión se realizaron siempre y cuando después del periodo de inmersión conservará sus características geométricas.

La Figura 10 resume de manera detallada, los ensayos realizados para el convenio 1633, a los suelos con los distintos grupos clasificados por familias de estabilizantes,

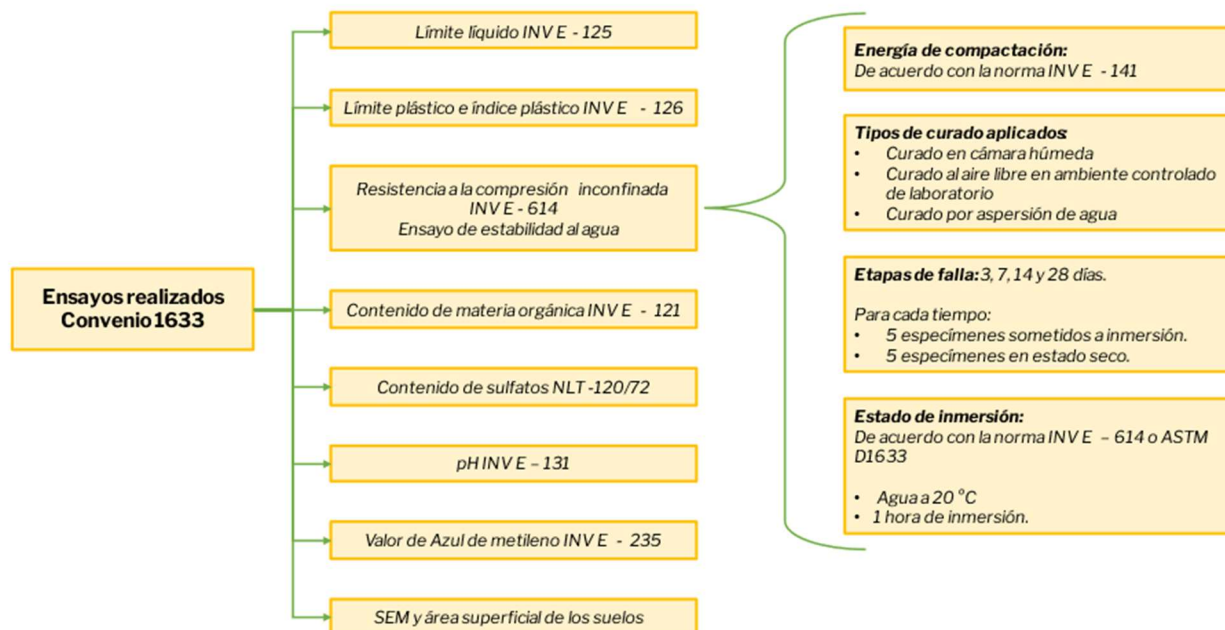


Figura 10. Ensayos de laboratorio utilizados en la mezcla de suelo + estabilizante.
Fuente: Elaboración propia

2.4.4. Resultados obtenidos en el proceso de estabilización.

Familia 1:

De los datos recopilados, los suelos estabilizados con enzimas no son resistentes al agua.

En la Figura 11, se presenta el comportamiento en resistencia a la compresión confinada de los estabilizantes de la Familia 1 a través de los diferentes tiempos de curado evaluados (3, 7, 14 y 28 días). En color azul se presenta la resistencia a la compresión confinada del suelo tipo CH, en color verde el suelo tipo MH, y en color naranja el suelo tipo ML.

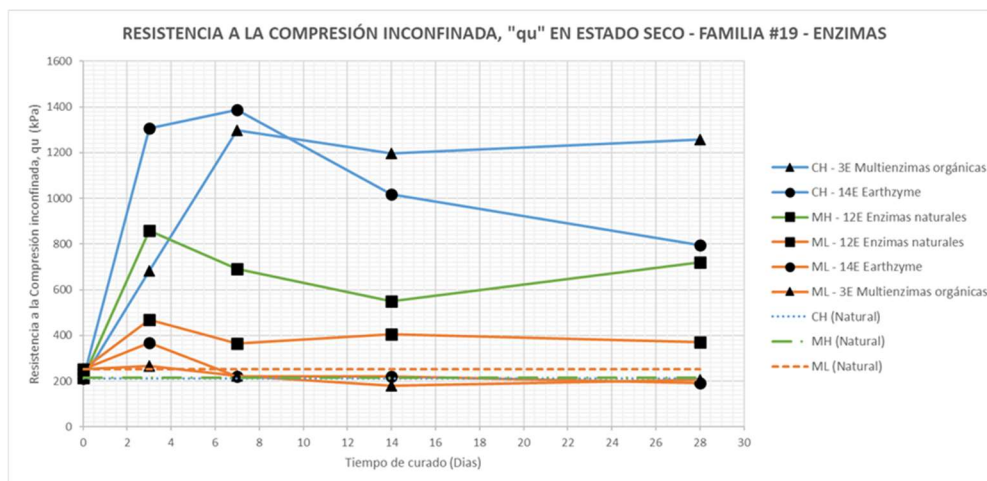


Figura 11. Efectos de los estabilizantes de la familia 1 en la resistencia a la compresión confinada, "qu".
Fuente: Universidad del Cauca, 2020.

Puede observarse que la resistencia a la compresión inconfiada de las muestras de suelo CH y MH fue más alta en comparación con los valores obtenidos para el suelo ML, lo cual permite afirmar que los suelos con mayor plasticidad y mayor contenido de arcilla se comportan mejor al ser estabilizadas con productos enzimáticos.

Respecto al comportamiento plástico de los suelos evaluados que se observa en la Figura 12, se puede afirmar que el contenido de arcillas del suelo a estabilizar también es un punto importante a considerar, ya que el proceso de estabilización en el suelo arcilloso (CH) logró disminuir el límite líquido y por lo tanto disminuir el índice de plasticidad, mientras que para el caso de los suelos limosos evaluados (MH y ML) el cambio en los límites líquido y plástico es insignificante.

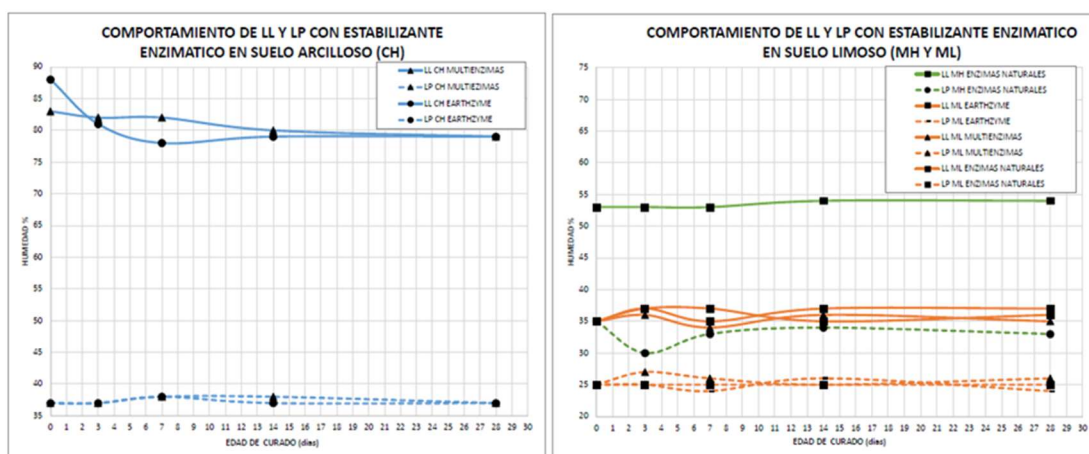


Figura 12. Efecto de los estabilizantes enzimáticos en los límites de Atterberg
Fuente: Universidad del Cauca, 2020.

Familia 2:

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión llevados a cabo para la familia 2.

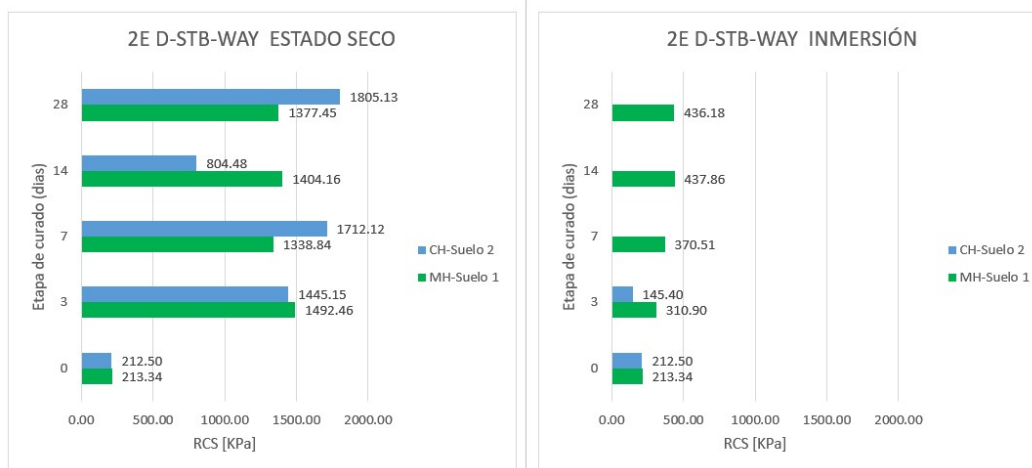


Figura 13. Efecto del estabilizante D-STB-WAY en la resistencia a la compresión inconfiada.
Fuente: Universidad del Cauca, 2020.

En la Figura 13, se puede observar que la resistencia a la compresión del suelo en condiciones secas no presenta variaciones significativas con la edad de curado, sin embargo, en condiciones húmedas, para el suelo MH, la resistencia aumenta de manera proporcional a la edad de curado. Por otro lado, el suelo también presenta aumentos de la resistencia en condición seca en función del curado.



Figura 14. Efecto del estabilizante ROADCEM en la resistencia a la compresión inconfiada
Fuente: Universidad del Cauca, 2020.



Figura 15. Efecto del estabilizante ROADCEM + cemento en la resistencia a la compresión inconfiada
Fuente: Universidad del Cauca, 2020.

En la Figura 14 y Figura 15 se presentan los resultados de los suelos estabilizados con la tecnología Roadcem (con y sin cemento). Los resultados permiten evidenciar que la resistencia a la compresión en condición seca para ambos suelos aumenta con la edad de curado, resaltando que dichos incrementos son mayores en las muestras con cemento, respaldando la teoría de que la presencia de este aditivo modifica la composición química del cemento en el proceso de hidratación, originando una mayor cristalización en su estructura, generando mayor resistencia a la compresión. Lo anterior debido al contenido de calcio y silicio, los cuales generan reacciones puzolánicas internas en la matriz de los suelos.



Figura 16. Efecto del estabilizante FORTACRET en la resistencia a la compresión inconfiada.
Fuente: Universidad del Cauca, 2020.

La Figura 16 presenta los resultados de los suelos estabilizados con la tecnología Sistema SPF. A partir de los resultados se puede evidenciar que la tecnología permite el incremento de la resistencia a la compresión, con un mejor desempeño en suelos arcillosos de alta plasticidad, debido a las interacciones químicas de los aditivos con los minerales del suelo.

A continuación, se presentan los resultados de la plasticidad de los suelos estabilizados.

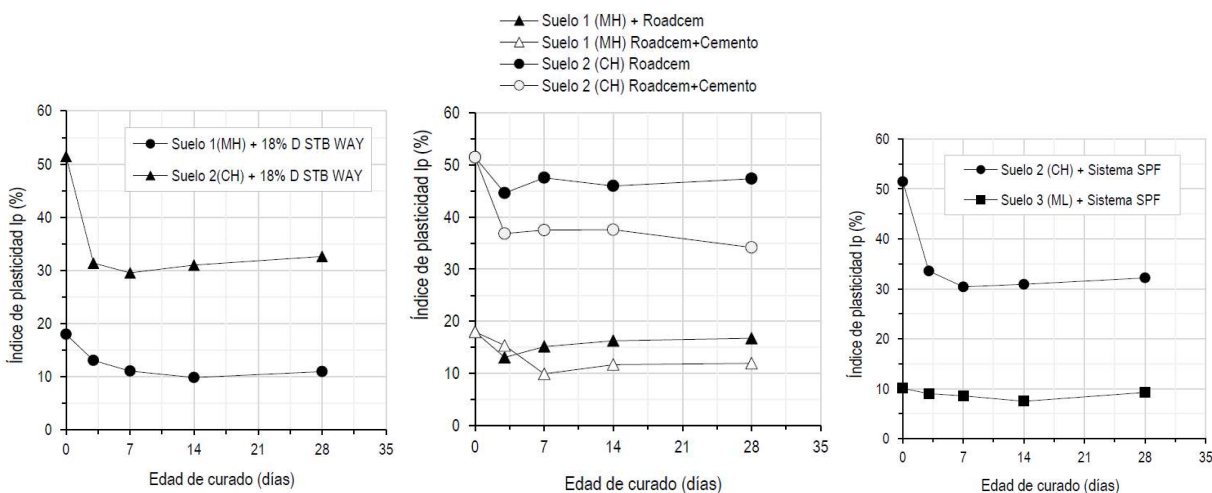


Figura 17. Efecto de los estabilizantes de la familia 2 en los Índices de plasticidad de los suelos en diferentes tiempos de curado.

Fuente: Universidad del Cauca, 2020.

Se evidencia que la presencia de los distintos aditivos origina una disminución en el índice de plasticidad en ambos suelos con variaciones significativas, exceptuando al suelo ML estabilizado con el sistema SPT. Lo anterior implica una tendencia en el comportamiento de los materiales cementantes o puzolánicos, presentando efectos de reducción de la plasticidad del suelo.

Familia 3:

13E PRO-ROAD PRE16

Se presentan resultados de laboratorio con el estabilizante en cuestión, a continuación, donde se puede evidenciar que existe un aumento significativo en la resistencia del suelo.

Tabla 8. Efectos del estabilizante PRO-ROAD PRE-16 en el ensayo CBR.

1.1 RESULTADOS ESTABILIZANTE PRO-ROAD PRE-16			
MATERIAL:	ARCILLA LIMOSA ROJIZA		
DENSIDAD:	1.917		
TIPO DE ENSAYO:	CBR A 28 DÍAS		
TIPO DE ENSAYO	RES. SUELO NATURAL	RES. SUELO ESTABILADO	INCREMENTO (%)
CBR CORREDIGO A.1*	10.3	30.7	298%
CBR CORREDIGO A.2*	13.9	43.3	312%

Fuente: Proyecto: Universidad del Cauca (2020).

27E TERRASIL

Los resultados del ensayo de resistencia a la compresión inconfiada, se pueden observar en la Tabla 9 y permiten determinar que la resistencia a la compresión inconfiada a 28 días del suelo es estabilizado con Terrasil se incrementa casi en el doble de la resistencia del suelo normal, adicionalmente se puede establecer que es casi independiente de los tres porcentajes de estabilizante utilizados.

Tabla 9. Efectos del estabilizante TERRASIL en la resistencia a la compresión inconfiada.

Table-4 UCS test results (Tr. = Terrasil)

Sample	Curing (Days)	Ini tial	UCS (kPa)			
			7	14	28	60
Untreated Soil	209	476	462	412	392	
Soil+Cement	480	920	1015	1116	1265	
Soil+1% Tr.	320	820	896	710	665	
Soil+1% Tr.+Cement	530	972	1108	1201	1299	
Soil+1.5% Tr.	460	1270	914	729	667	
Soil+1.5% Tr.+Cement	560	1404	1339	1635	1855	
Soil+2% Tr.	420	838	810	680	587	
Soil+2% Tr.+Cement	515	1141	1198	1276	1316	

Fuente: Universidad del Cauca (2020)

30E METODOLOGÍA ISSS (IN-SITU SOIL STABILIZATION)

Se evidencia, a continuación, los resultados de las pruebas de laboratorio para esta tecnología, donde se observa que la resistencia a la compresión inicial aumentó con el estabilizador y se incrementó a los 28 días para los 2 tipos de suelo.

Tabla 10. Efectos del estabilizante METODOLOGÍA ISSS en la resistencia a la compresión confinada.

COMPRESSIVE STRENGTH RESULTS CH - A-7-6				
Preparation	Raw Soil	ASP200 + Raw Soil	ASP200 + TS + Raw Soil	Raw Soil + ASP200 + 4% Cement
7 Day Compressive Strength, psi	125	392	300	278
28 Day Compressive Strength, psi	128	818	799	549
45 Day Compressive Strength, psi				

COMPRESSIVE STRENGTH RESULTS CL - A-4			
Preparation	Raw Soil	ASP200	ASP200 + 4% Cement
7 Day Compressive Strength, psi	175	265	445
28 Day Compressive Strength, psi	213	290	513
45 Day Compressive Strength, psi	219	288	538

Fuente: Universidad del Cauca (2020).

32E TERRA-3000

Los resultados de la resistencia a la compresión se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 11. Resultados de la evaluación de TERRA-3000 en estabilización de suelos.

Tabla 1. Dosificaciones a evaluar en laboratorio

Componentes	Blanco	Dosis 1	Dosis 2	Dosis 3
Cemento (% p/p)	0	0	1	2
NanoTrack (L/m ³ suelo)	0	1	1	1

Descripción	Densidad máxima seca (g/cm ³)	Humedad óptima (%)	Resistencia compresión confinada (KPa)	Tiempo de saturación (min)	Límite líquido	Índice de plasticidad
Blanco	1.99	10	138	0	38	19
Dosis 1	2.02	11	106	0	40	18
Dosis 2	2.01	12	101	0	40	18
Dosis 3	2.01	11	137	0	43	20

Fuente: Universidad de Antioquia (2017).

De los resultados de resistencia a la compresión confinada se puede determinar que no existe incremento con las 3 dosis propuestas, de otra parte, no se informa a cuántos días de realizadas las muestras se realiza el ensayo de resistencia, por lo anterior, este ensayo se considera no aplicable para la definición de la fórmula de trabajo.

La información encontrada indica que el producto estabilizante mejora las condiciones del suelo frente a los cambios climáticos y ambientales, sin embargo, no se presentan ensayos que permitan comprobar dicha propiedad.

34E PRODUCTOS POLYROADS - POLYMER PAVEMENTS - SOIL TECH MK.

Se realizaron pruebas de resistencia a la compresión confinada, CBR y módulo resiliente sobre muestras curadas utilizando diferentes porcentajes de estabilizante, donde se evidencia que al incrementar el porcentaje de estabilizante la resistencia del suelo aumenta.

Tabla 12. Efectos del estabilizante POLYROAD en ensayo CBR y UCS.

Table 1 UCS Test Results

Curing Duration	UCS Value (kN/m ²) with varying SoilTech content			
	0%	0.2%	0.5%	0.8%
7 Days	790	4397	3871	5234
28 Days	-	4227	4472	5720
60 Days	-	3725	3819	3918

Table 2 CBR Test Results

Soil Tech (%)	Soaked CBR (%) obtained for a curing period of		
	7-days	28-days(*)	60-days
0.0	16.8 (**)	-	-
0.2	42.5	32.5	
0.5		30.8	
0.8		37.1	

(*) with accelerated curing method.

(**) 4-days soaked value.

Fuente: Universidad del Cauca (2020).

35E NANOTECNOLOGIA DYANAN

A continuación, se puede observar los resultados de resistencia a la compresión inconfiada, de donde se puede afirmar que, para la muestra sin cemento, arroja un valor un poco menor de la muestra de suelo sin aditivos, sin embargo, para las otras dosis se observa un aumento considerable en la resistencia del suelo.

Tabla 13. Resultados de la evaluación de la NANOTECNOLOGÍA en estabilización de suelos.

Tabla 1. Dosificaciones a evaluar en laboratorio

Componentes	Blanco	Dosis 1	Dosis 2	Dosis 3
Cemento (% p/p)	0	0	1	2
NanoTrack (L/m ³ suelo)	0	1	1	1

Descripción	Densidad máxima seca (g/cm ³)	Humedad óptima (%)	Resistencia compresión inconfiada (KPa)	Tiempo de saturación (min)
Blanco	2,1	9,1	160,13	1
Dosis 1	2,1	7,4	126,02	1
Dosis 2	2,1	8,1	350,20	3
Dosis 3	2,1	8,1	679,94	4

Fuente: Universidad de Antioquia

Familia 4:

En la Figura 18, se puede evidenciar el comportamiento en resistencia a la compresión inconfiada de los estabilizantes de la Familia 4 para diferentes tiempos de curado (3, 7, 14 y 28 días) para los distintos tipos de suelo estudiados,

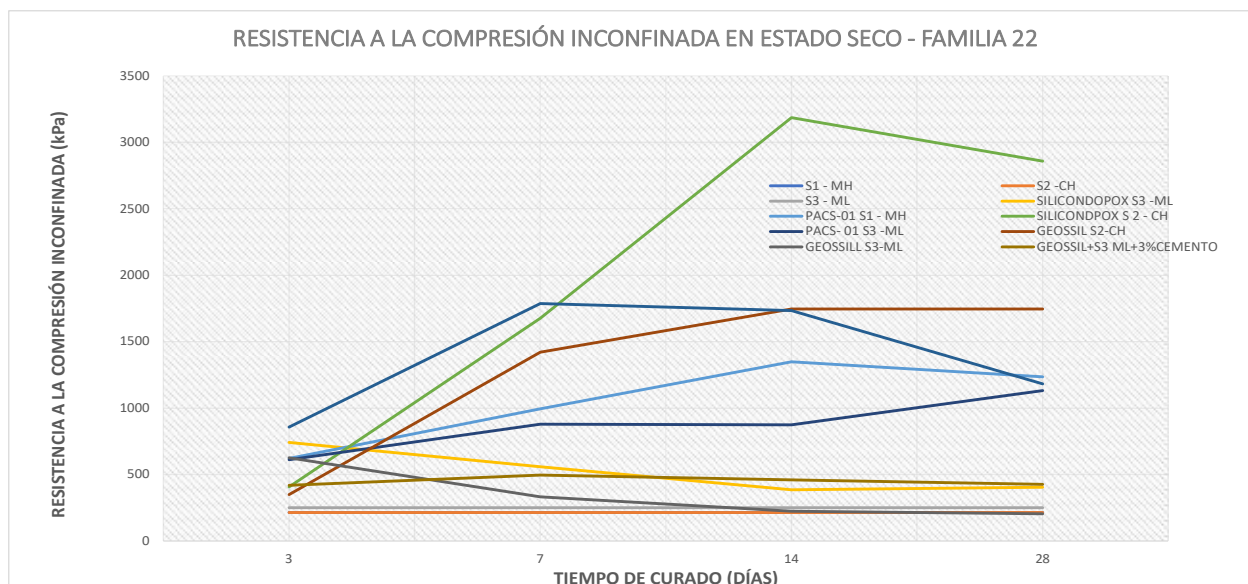


Figura 18. Efectos de los estabilizantes de la familia 4 en la resistencia a la compresión inconfiada Fuente: Universidad del Cauca, 2020.

Se observa que los resultados del ensayo a la resistencia a la compresión inconfiada en los suelos CH y MH obtuvieron mayores valores en comparación con el suelo ML, lo cual permite afirmar que los suelos con mayor plasticidad y mayor contenido de arcilla se comportan mejor al ser estabilizados con sales inorgánicas y tipo silanos. Lo anterior se evidencia en los resultados de resistencia con un tiempo de curado de 28 días para el suelo CH, el cual presentó un incremento de hasta 13.4 veces con respecto a la resistencia de este en estado natural.

Familia 5:

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión llevados a cabo para la familia 5:

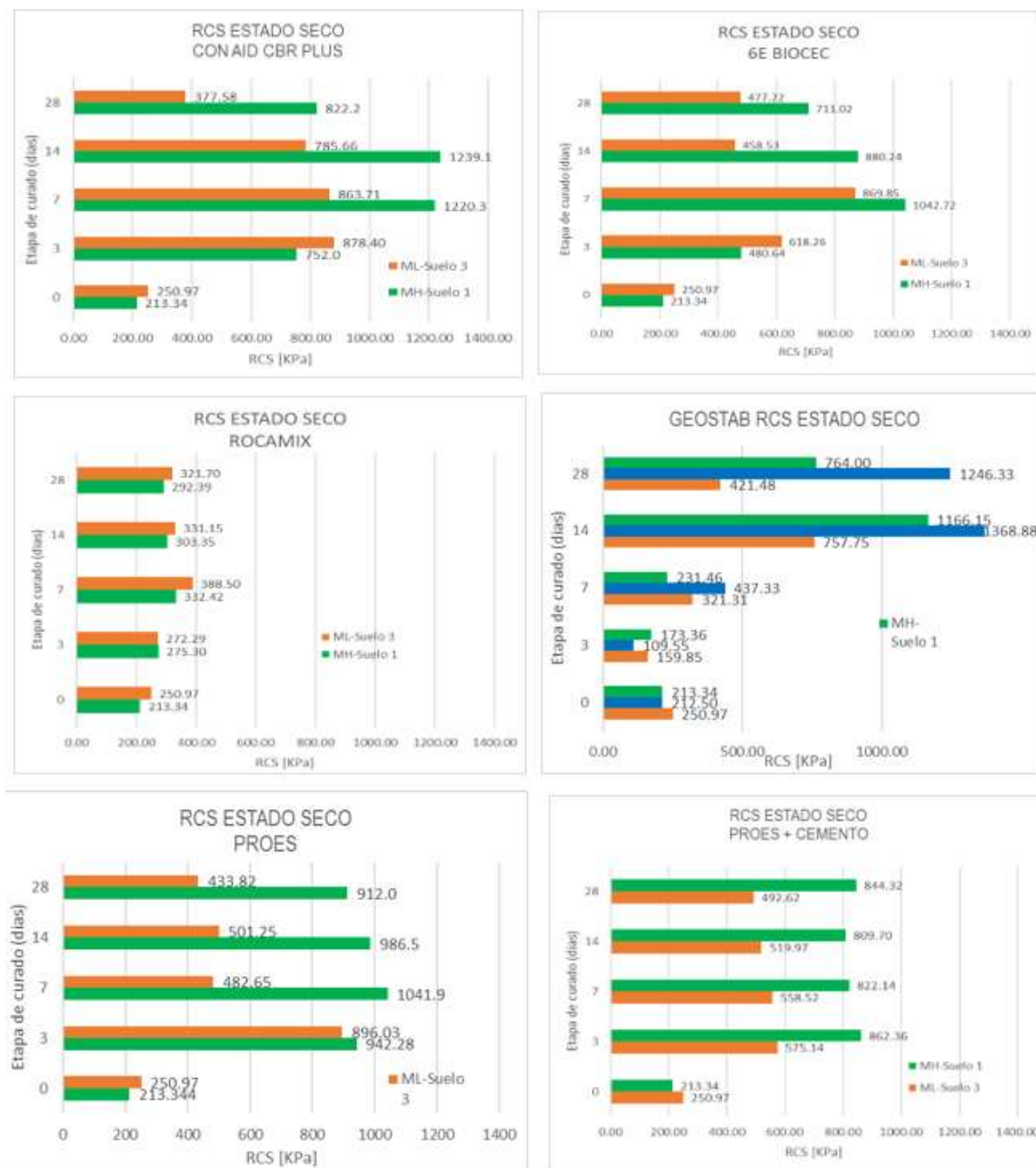


Figura 19. Efectos de los estabilizantes de la familia 5 en la resistencia a la compresión inconfiada.

Fuente: Universidad del Cauca, 2020

La estabilización de suelos de la familia 5, han mostrado un comportamiento aceptable dentro de la mejora de las propiedades estructurales en etapa de falla sin inmersión, sin embargo, la inmersión previa a la compresión inconfiada en dos de los estabilizantes de este grupo, ha causado efectos críticos en el suelo causando la inestabilidad por la pérdida de la consistencia de las muestras.

2.4.5. Selección

De acuerdo con los resultados obtenidos en laboratorio, se pueden destacar, de algunos de ellos, lo siguiente,

- **Familia 1:** La estabilización mediante enzimas en términos de resistencia a la compresión inconfiada resultó más beneficiosa en el suelo tipo CH seguido del suelo tipo MH, mientras que para el suelo ML el efecto de los productos enzimáticos es casi nulo. Lo anterior se evidencia en que, tras 28 días de curado, el suelo tipo CH estabilizado la resistencia a la compresión inconfiada 5,9 veces respecto a la resistencia del mismo suelo en estado natural.
- **Familia 2:** Los ensayos de resistencia a la compresión se evidencia un aumento con las tecnologías analizadas. Sin embargo, los mayores aumentos se generan al utilizar la tecnología D STB WAY para los suelos analizados. Por otro lado, el sistema SPF generó los menores incrementos para el suelo ML.
- **Familia 3:** Los estabilizantes utilizados en esta familia son productos que mejoran las condiciones de compactación y humedad de los suelos, incrementando la resistencia a la compresión y la durabilidad de los suelos tratados, lo que hace posible la utilización en terraplenes, capas de subrasantes y estabilizadas de pavimento y cimentaciones, para suelos con características de bajo contenido de materia orgánica, como arcillas y limos de alta y baja plasticidad.
- **Familia 4:** La estabilización mediante sales inorgánicas y de tipo silanos en términos de resistencia a la compresión inconfiada resultó más beneficiosa en el suelo tipo CH seguido del suelo tipo MH, mientras que para el suelo ML el efecto de los productos con sales inorgánicas son muy bajos a nulos.
- **Familia 5:** La estabilización de suelos mediante sales orgánicas ha mostrado un comportamiento aceptable dentro de la mejora de las propiedades estructurales en etapa de falla sin inmersión, sin embargo, la inmersión previa a la compresión inconfiada en dos de los estabilizantes de este grupo, ha causado efectos críticos en el suelo causando la inestabilidad por la pérdida de la consistencia de las muestras.

Por lo tanto, de acuerdo con el grado de madurez de los estudios realizados, es conveniente tener en cuenta a la **Familia 2: Materiales puzolánicos**, debido a los resultados favorables que ha arrojado con respecto al proceso de estabilización de suelos y que, además, presenta reacciones estabilizante-suelo similares a las que tiene la ceniza de cáscara de café en las investigaciones realizadas, debido a su alto contenido de silicio y calcio, los cuales promueven las reacciones cementantes, mejorando la resistencia del suelo y disminuyendo su plasticidad.

3. Metodología

Para la determinación óptima del proceso de estabilización con cenizas de cáscara de café de suelos finos utilizados como subrasante en infraestructura vial terciaria, se realizó de manera gráfica la metodología utilizada, como se muestra en la Figura 20, Figura 21 y Figura 22.

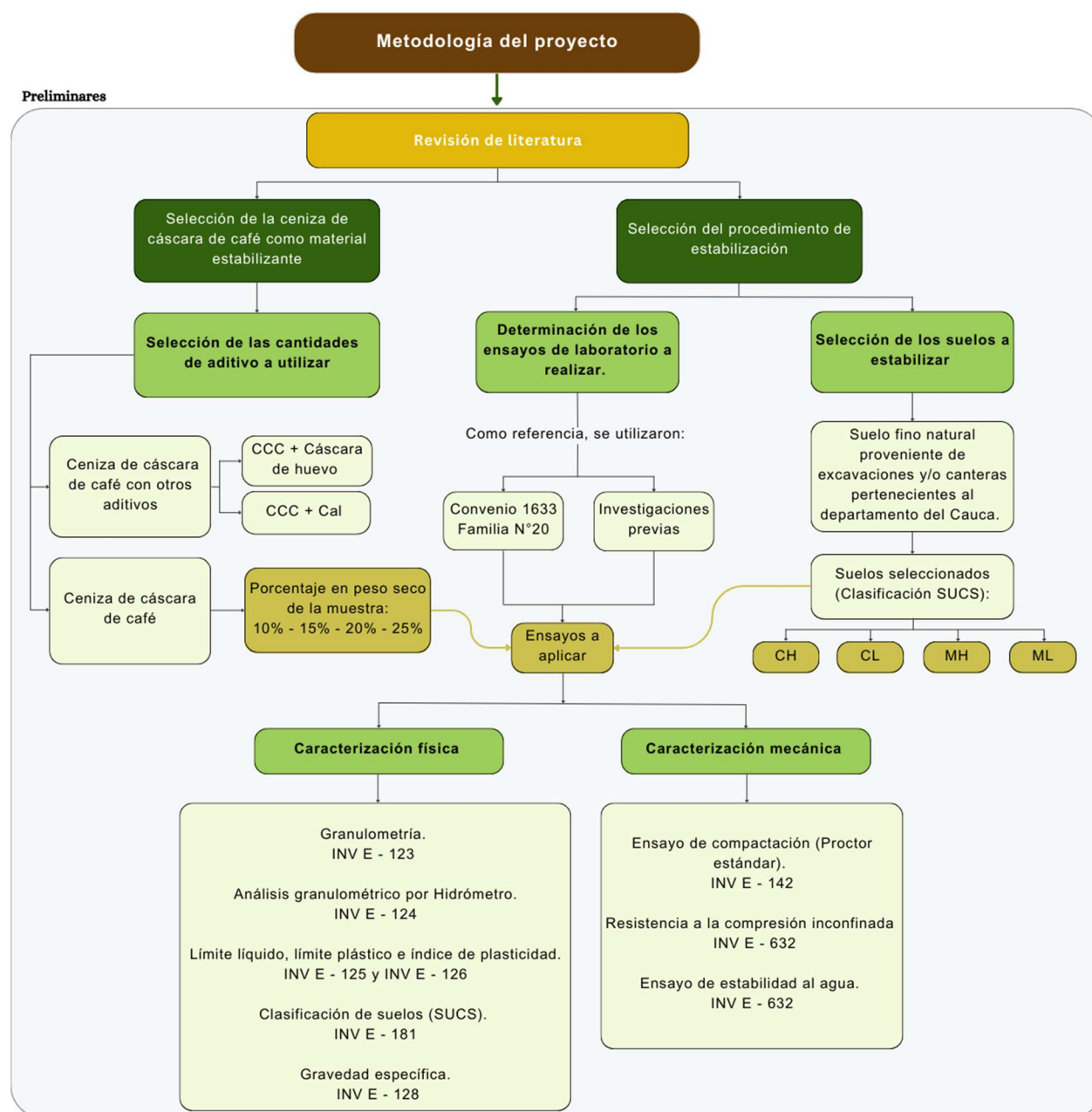


Figura 20. Metodología utilizada en la elaboración del proyecto de investigación (Preliminares)

Fuente: Elaboración propia

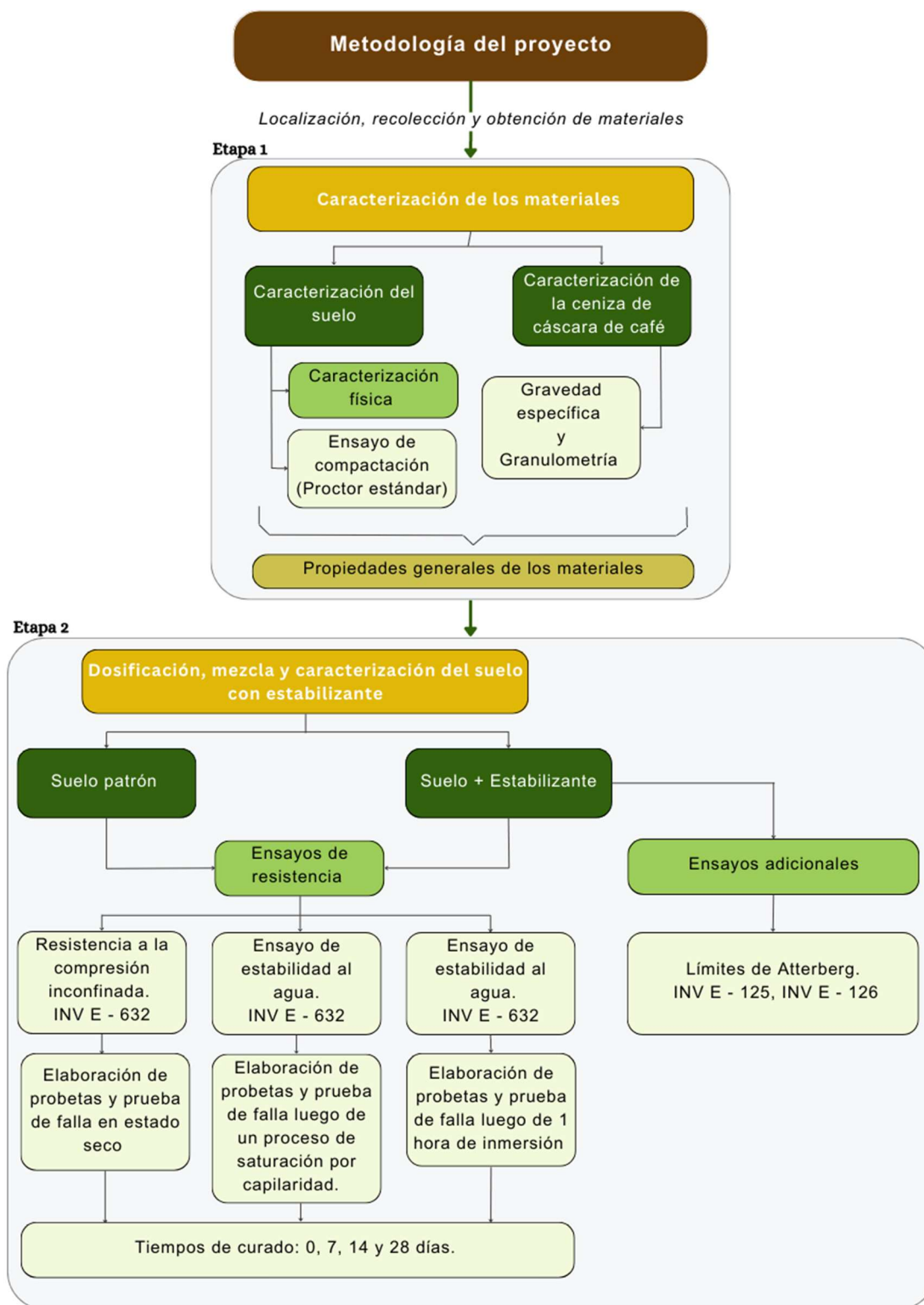


Figura 21. Metodología utilizada en la elaboración del proyecto de investigación (Etapa 1 y 2).

Fuente: Elaboración propia

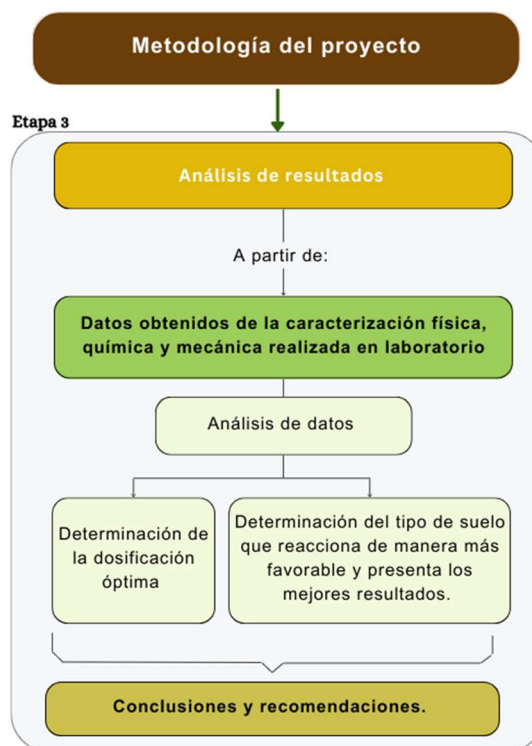


Figura 22. Metodología utilizada en la elaboración del proyecto de investigación (Etapa 3).
Fuente: Elaboración propia

3.1. Marco geográfico

Se evaluó la disposición de las productoras agrícolas de café en el departamento del Cauca para la recolección de las cenizas de cáscara de café, asimismo, se determinó la localidad de las canteras, ladrilleras y/o taludes disponibles para la recolección de suelos a ensayar, garantizando así una optimización de dinero y tiempo, tanto de recolección como de transporte.



Figura 23. Ubicación del departamento del Cauca, Colombia.
Tomado de: <https://www.cceturin.com/project/colombia-cauca/>

De la información recopilada, se realizaron distintas visitas de campo a lugares cercanos a la Universidad del Cauca, es decir, en la ciudad de Popayán o a municipios aledaños.



Figura 24. Mapa del Departamento del Cauca.

Fuente: Secretaría de Educación y Cultura, Gobernación del Cauca.

Tomado de: <http://surl.li/frtcw>

La ceniza de cáscara de café fue recolectada en el municipio de Piendamó, el cual se considera uno de los mayores productores de café del departamento del Cauca. Se encuentra a una altura promedio de 1685 m.s.n.m., con una temperatura promedio de 21°C, perteneciente al área metropolitana de la ciudad de Popayán limitando al oriente con el municipio de Morales, al norte con el Municipio de Caldono y al sur con el municipio de Cajibío.

Las muestras de suelo 1 (CH) y 2 (ML) fueron tomadas en el municipio de El Tambo, del departamento del Cauca, limitando al oriente con la ciudad de Popayán, Morales, Cajibío, Timbío y Rosas; al norte con el municipio de López de Micay; al sur con los municipios de Patía, La Sierra y Argelia y al occidente con el municipio de Guapi. Se encuentra a una altura promedio de 1750 m.s.n.m., con una temperatura promedio de 19°C.

Las muestra de suelo 3 (MH) fue recolectada en un talud en la ciudad de Popayán, ubicado en la vía del cerro "Las Tres Cruces". El cerro se encuentra al este del centro de la ciudad, hace parte de la Cordillera Occidental de Los Andes y cuenta con una altitud de 1760 m.s.n.m.

La muestra de suelo 4 (CL) fue recolectada en un talud a las afueras de la ciudad de Popayán, ubicado en la vía Popayán - San José de Isnos, sobre la vereda Pueblillo. Dicha vía se encuentra al sureste de la ciudad.



Figura 25. Municipios de recolección de materiales.
Tomado de: [https://es.wikipedia.org/wiki/Cauca_\(Colombia\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Cauca_(Colombia))

La ubicación geográfica de los lugares donde se extrajeron las muestras de suelo se presenta a continuación,

Tabla 14. Ubicación geográfica de los puntos de recolección de material.

Muestra	Cantera	Coordenadas	
		Latitud	Longitud
Suelo 1 - CH	Cantera La Verónica, Río Hondo - El Tambo	02°28.5431' N	76° 43.5591' W
Suelo 2 - ML	Vereda El Tablón, El Tambo - Talud	2°29'22.7"N	76°43'05.0"W
Suelo 3 - MH	Las Tres Cruces, Popayán - Talud	2°26'30.0"N	76°35'46.9"W
Suelo 4 - CL	Pueblillo, Popayán - Talud	2°26'25.60"N	76°35'00.76"W

Fuente: Elaboración propia

3.2. Marco normativo

En esta etapa del proyecto, se utilizaron diversos instrumentos, como ensayos efectuados en el laboratorio, con el fin de obtener resultados precisos, para así, poder determinar el comportamiento de la ceniza de la cáscara de café en la estabilización de suelos finos a utilizar en las vías terciarias no pavimentadas.

La investigación tuvo como referencia la norma INVIAS (2013) vigente en Colombia: "Especificaciones generales de construcción", la cual define los requerimientos y procedimientos de los ensayos necesarios para el diseño y construcción de carreteras, e INVIAS (2022), el cual reglamenta la estabilización de suelos con productos químicos no tradicionales (Artículo 237-22).

Las normas de ensayo utilizadas se mencionan a continuación:

- Determinación de los tamaños de las partículas (Granulometría). INV E - 123
- Determinación del límite líquido de los suelos. INV E - 125
- Determinación del límite plástico e índice de plasticidad de los suelos. INV E - 126

- Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro con agua. INV E - 128
- Clasificación de suelos mediante el Sistema Unificado de Suelos para propósitos de ingeniería. INV E - 181
- Relación de humedad - peso unitario seco de mezclas de suelo con estabilizantes químicos no tradicionales. INV E - 631 - 22
- Resistencia a la compresión inconfiada de muestras de suelo estabilizadas con productos químicos no tradicionales. INV E - 632 - 22

3.3. Descripción de la metodología

La metodología utilizada consistió en 4 etapas: Revisión de literatura; recolección y caracterización de materiales; dosificación, mezcla y caracterización del suelo estabilizado; y análisis de resultados. Lo cual se desarrolló con el fin de evaluar, investigar y predecir el comportamiento de los suelos al ser estabilizados con la ceniza de cáscara de café.

Revisión de literatura:

Se realizó una revisión bibliográfica, para enfocar y/o direccionar el proyecto, enfocado en la solución de los objetivos propuestos. Para ello, se recopiló información referente a la producción del café en el departamento del Cauca, teniendo en cuenta las diferentes condiciones geográficas y climáticas que se tienen entre las regiones del departamento, así como el procedimiento industrial que se lleva a cabo para la recolección, transformación, transporte y comercialización de este. Posteriormente, se tuvieron en cuenta las investigaciones realizadas en diferentes países respecto a la utilización del café en el mejoramiento de suelos de subrasante de vías rurales en sus respectivas regiones, destacando los tipos de suelo ensayados, los ensayos realizados y los valores de importancia obtenidos, dando lugar a la recopilación de datos acerca de los porcentajes de ceniza, suelo, agua y/o aditivos, como también de los procesos constructivos más utilizados que han generado resultados favorables y deseados en el proceso de mejoramiento del suelo. De esta manera fue posible adquirir fundamentos teóricos relevantes para el buen desarrollo de la investigación.

Recolección y caracterización de materiales

Se realizó la extracción de material para las muestras de suelo, en canteras que fueron evaluadas en el convenio 1633, de tal manera que se seleccionaron únicamente aquellos suelos que entraban dentro de la clasificación de suelos finos. De igual manera, se efectuaron visitas de campo al depósito de café "La cosecha" con el fin de recolectar la cantidad de ceniza de cáscara de café necesaria. Así fue posible proceder con la caracterización geotécnica y química de las cenizas de cáscara de café, como también la evaluación de las propiedades naturales e intrínsecas que poseen los suelos recolectados, para así, comprender y estimar el comportamiento que podrían tener al ser mezcladas con el suelo; información la cual fue utilizada para el análisis y comparación de datos y resultados referentes a la influencia que tiene dicha ceniza sobre los suelos cohesivos.

Dosificación, mezcla y caracterización del suelo con estabilizante

De acuerdo con la información recopilada en la revisión de literatura, fue posible efectuar la mezcla de suelo con cenizas de cáscara de café en los diferentes porcentajes establecidos (10%, 15%, 20% y 25%). Se determinaron las propiedades físicas, fisicoquímicas y mecánicas de esta mezcla mediante los ensayos de laboratorio.

En esta fase, se estableció que, para mejorar el comportamiento de la ceniza de cáscara de café, se decidió incinerarla nuevamente, tal como se registró en la literatura, a una temperatura de 550°C de 5 a 6 horas, puesto que del lugar del que fue recogida no fue posible establecer la temperatura a la que fue sometida. Así, los componentes químicos de la ceniza se activan de manera óptima, generando mejores resultados en la estabilización del suelo.

Posterior a la obtención de datos mediante los ensayos de laboratorio, se escogieron los porcentajes con mejores resultados, para determinar un nuevo rango de evaluación, donde se evaluaron nuevamente las propiedades de 3 nuevos porcentajes a fin de determinar, con mayor precisión, el porcentaje óptimo de adición.

Análisis de resultados

Los datos obtenidos se evaluaron con el fin de establecer la dosificación óptima de ceniza de cáscara de café, en los distintos tipos de suelo y para las condiciones locales en el departamento del Cauca. Para ello se compararon las propiedades del suelo estabilizado con respecto al suelo en su estado natural, para así, establecer cuantitativamente los cambios que obtiene el suelo al ser estabilizado con la ceniza de cáscara de café con respecto al suelo patrón, determinar la representatividad de los resultados obtenidos.

De esta manera, de dicho análisis, se estableció un rango de porcentaje de cenizas de café óptimo para la estabilización de suelos, así como el tipo de suelo sobre el cuál el proceso de estabilización fue más efectivo.

4. Trabajo de campo

4.1. Recolección de materiales

Para dar lugar a los ensayos de laboratorio, en primer lugar, se realizó la recolección de materiales, proceso el cuál se describe a continuación,

4.1.1. *Obtención de la ceniza de cáscara de café (CCC).*

Se realizaron visitas de campo a algunos depósitos/acopios de café, los cuales se encargan de la compra y secado de café, para que pueda ser posteriormente tostado y comercializado. Inicialmente, se visitó al depósito "La cosecha", el cual se encuentra ubicado en la cabecera municipal de Piendamó, Cauca. Asimismo, se visitó el depósito de la Federación Campesina del Cauca - FCC, ubicado en el Barrio Bolívar, de la ciudad de Popayán, Cauca. En dichos lugares se realizó la recolección de la ceniza de cáscara de café, pues estos depósitos cuentan con los denominados "Silos" (ver Ilustración 1) ; hornos que se encargan del secado rápido del café y que utilizan como combustible la cáscara del café que remueven en el mismo proceso de secado.



Ilustración 1. Horno de secado mecánico de café o "Silo".
Fuente: Elaboración propia.

En la Ilustración 2 e Ilustración 3, se observa el proceso de incineración de la cáscara de café y cómo se convierte en ceniza.



Ilustración 2. Incineración de la cáscara "cisco" de café.
Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 3. Ceniza de cáscara de café.
Fuente: Elaboración propia.

Además, en la Ilustración 4, se observa la ceniza de cáscara de café después de ser pasada por un molino eléctrico, con el fin de disminuir el tamaño de sus partículas y así, obtener la mayor cantidad posible de material pasante del tamiz N°200 (ver Ilustración 5).



Ilustración 4. Ceniza de cáscara de café molida.
Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 5. Ceniza de cáscara de café pasante del tamiz N°200.
Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Recolección de suelo 1 (Arcilla de alta plasticidad - CH)

En la cantera "La Verónica - Río Hondo", ubicada en el municipio de El Tambo, Cauca, se realizó la recolección de un suelo fino de color rojizo. Tomando muestras alteradas de suelo, como se observa en la Ilustración 7. Dicho suelo fue posteriormente clasificado en laboratorio como un suelo arcilloso de alta plasticidad (CH).



Ilustración 6. Toma de muestras de suelo en la cantera "La Verónica - Río Hondo".
Fuente: Registro fotográfico CDT Vial.



Ilustración 7. Muestras de suelo arcilloso de alta plasticidad (CH).
Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Recolección de suelo 2 (Limo de baja plasticidad - ML)

En un talud de la carretera Popayán - El Tambo, sobre la vereda El Tablón (El Tambo, Cauca) se realizó la recolección de un suelo fino de color rosado con vetas habanas, tomando muestras alteradas de suelo, como se observa en la Ilustración 8. Dicho suelo fue posteriormente clasificado en laboratorio como un suelo limoso de baja plasticidad (ML).



Ilustración 8. Muestras de suelo limoso de baja plasticidad (ML).
Fuente: Elaboración propia.

4.1.4. Recolección de suelo 3 (Limo de alta plasticidad MH)

En un talud de la vía que sube al cerro de Las Tres Cruces, ubicado en el centro de la Ciudad de Popayán, Cauca, se realizó la recolección de un suelo fino de color amarillo (ver Ilustración 9), tomando muestras alteradas de suelo, como se observa en la Ilustración 10. Dicho suelo fue posteriormente clasificado en laboratorio como un limo de alta plasticidad (MH).



Ilustración 9. Toma de muestra de suelo en el cerro "Las Tres Cruces"
Fuente: Registro fotográfico CDT Vial.



Ilustración 10. Muestras de suelo limoso de alta plasticidad (MH).
Fuente: Elaboración propia.

4.1.5. Recolección de suelo 4 (Arcilla de baja plasticidad - CL)

En un talud de la carretera Popayán - San José de Isnos, sobre la vereda Pueblillo (Popayán, Cauca), se realizó la recolección de un suelo fino de color gris con vetas rojizas (ver Ilustración 11), tomando muestras alteradas de suelo, como se observa en la Ilustración 12. Dicho suelo fue posteriormente clasificado en laboratorio como un suelo arcilloso de baja plasticidad (CL).



Ilustración 11. Toma de muestras de suelo en talud de la vía Popayán - San José de Isnos.
Fuente: Registro fotográfico CDT Vial.



Ilustración 12. Muestras de suelo arcilloso de baja plasticidad (CL).
Fuente: Elaboración propia.

4.2. Mezclas de suelo con estabilizante (Ceniza de cáscara de café).

El proceso de dosificación, mezcla y evaluación de los suelos con estabilizante, se realizó de manera manual.

En primer lugar, se calculó la cantidad necesaria de los materiales, como lo es el suelo, (CH, CL, MH y ML), los cuales ya habían sido pasados por una malla N°4; y la ceniza de cáscara de café (pasante del tamiz N°200). Posteriormente, se realizaron las distintas mezclas de suelo con ceniza de cáscara de café, garantizando las dosificaciones de ceniza (10%, 15%, 20% y 25% del peso seco de la muestra) establecidas en la metodología, como se observa en la Ilustración 13.



Ilustración 13. Mezcla de suelo con estabilizante (Ceniza de cáscara de café).
Fuente: Elaboración propia.

4.3. Ensayos de laboratorio

4.3.1. *Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos. INV E - 123*

Objetivo: Determinar cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de un suelo por medio de tamizado, para tamaños mayores de 75 μm (Retenido tamiz N°200).

Resumen del procedimiento:

Se seca la muestra a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$) hasta obtener masa constante para luego pasarla por el tamiz N°200, con el fin de separar los finos. El material retenido se pesa y se registra su peso como "P1". Se colocan los tamices en orden descendente de abertura, desde arriba hacia abajo, y se coloca la muestra en la parte superior de estos, se procede a taparlos y agitarlos durante un tiempo suficiente para asegurar que todas las partículas hayan pasado a través del tamiz correspondiente: Se utilizaron los siguientes tamices: 3/8" (9,52mm), tamiz N°4 (4,75mm), N°10 (2mm), N°20 (0,85mm), N°40 (0,425mm), N°100 (0,15mm) y N°200 (0,075mm).

Posteriormente, se pesa cada fracción retenida en cada tamiz y se registra su peso.

Se calcula el porcentaje que representa cada fracción retenida respecto al peso total de la muestra seca (P1) y se grafican los resultados obtenidos en un gráfico semilogarítmico, donde se representa el porcentaje acumulado que pasa por cada tamiz frente al tamaño nominal del tamiz.

A continuación, se observa cómo se realizó la granulometría a la ceniza de cáscara de café.



Ilustración 14. Ensayo de granulometría por tamizado para la ceniza de cáscara de café.
Fuente: Elaboración propia.

Importancia:

Los resultados se emplean para determinar el cumplimiento de las especificaciones en relación con la distribución de partículas y para suministrar los datos necesarios para el control de la producción de los agregados y de las mezclas que los contengan. Los datos pueden servir, también, para el estudio de relaciones referentes a la porosidad y al empaquetamiento entre partículas.

4.3.2. *Determinación del límite líquido de los suelos. INV E - 125*

Objetivo: Establecer el contenido de humedad del suelo en el punto en que cambia su comportamiento de líquido a plástico. Este punto se conoce como el límite líquido y se expresa como un porcentaje del peso seco del suelo.

Resumen del procedimiento:

Se toma una muestra de suelos y se remueve cualquier porción retenida en el tamiz de 425 μm (No. 40). Para la determinación del límite líquido se realizan tanteos, en los cuales una porción de la muestra se esparce sobre una cazuela de bronce que se divide en dos partes con un ranurador, se permiten que esas dos partes fluyan como resultado de los golpes recibidos por la caída repetida de la cazuela sobre una base normalizada y se repite este proceso hasta que se obtiene un número determinado de golpes. Se registra el contenido de humedad del suelo en cada punto y se traza una curva con estos valores.

El límite líquido se calcula como el contenido de humedad correspondiente al punto donde la curva cambia su pendiente.

En la Ilustración 15, se observa el procedimiento de ensayo para determinar el límite líquido,



Ilustración 15. Ensayo de determinación del límite líquido de los suelos.

Fuente: Elaboración propia.

Importancia:

Contribuye a la caracterización de la fracción fina de los suelos y se utiliza en varios sistemas de clasificación de suelos. Además, el límite líquido, solo o en conjunto con el límite plástico y el índice de plasticidad, se usa con otras propiedades del suelo para establecer correlaciones sobre su comportamiento ingenieril, tales como la compresibilidad, la permeabilidad, la compactación, los procesos de expansión y contracción y la resistencia al corte.

4.3.3. Límite plástico e índice de plasticidad. INV E - 126

Objetivo: Determinar el contenido de agua del suelo, expresado en porcentaje del peso seco, cuando se halla en el límite entre los estados plástico y semisólido; además de establecer el rango de contenidos de agua, dentro del cual el suelo se comporta de manera plástica.

Resumen del procedimiento:

El procedimiento comienza tomando una muestra representativa del suelo húmedo y mezclándola con agua en una bandeja hasta que tenga una consistencia uniforme. Luego, se forma una masa elipsoidal con la muestra y se presiona repetidamente para formar rollos cilíndricos con un diámetro inicial entre 3.2 y 4.8 mm ($1/8''$ y $3/16''$), contando el número de veces que se realiza la operación. Se continúa presionando los rollos hasta que su contenido de agua se reduce a un punto en el cual se produce el agrietamiento y/o desmoronamiento de los rollos, lo que indica que han alcanzado su límite plástico. El número total de golpes necesarios para producir la fractura o desmoronamiento del último rollo es registrado como el índice del límite plástico. El ensayo debe

ser repetido al menos tres veces para obtener un promedio confiable del límite plástico del suelo en cuestión.

El índice de plasticidad se calcula restando el límite plástico del límite líquido.

En la Ilustración 16, se ilustra cómo se comporta un suelo cuando se encuentra en el límite plástico,



Ilustración 16. Ensayo de determinación del límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.
Fuente: Elaboración propia.

Importancia:

Este ensayo permite determinar la humedad óptima de un suelo para su uso en construcción. El límite plástico es una medida de la plasticidad del suelo, que es la propiedad que le permite cambiar de forma sin romperse. Conocer el límite plástico de un suelo es fundamental para determinar su capacidad de soporte y deformación bajo cargas, así como para predecir su comportamiento durante la construcción y el uso a largo plazo. Además, el índice de plasticidad proporciona información adicional sobre las propiedades del suelo, como su cohesión y resistencia al corte.

4.3.4. *Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos, empleando un picnómetro con agua. INV E - 128*

Objetivo: Determinar la gravedad específica de los suelos que pasan el tamiz 4.75mm (N°4) empleando un picnómetro.

Resumen del procedimiento:

Se toma una muestra de suelo en estado de humedad natural o secado al horno y se tamiza a través del tamiz No.4 (4.75 mm). Se introduce dentro del picnómetro la masa de suelo, y se agrega agua destilada. Se extraen las burbujas de aire atrapado en la muestra. Se completa el picnómetro con agua destilada hasta su capacidad de calibración. Se determina el peso del picnómetro con la solución de suelo-agua y se determina la temperatura del agua. Se realizan las correcciones de los pesos del picnómetro y el agua por temperatura. Recuperada la muestra de suelo, se seca al horno por 24 horas, posteriormente se determina el peso seco al aire.

En la Ilustración 17 se observa cómo se realiza el ensayo para la determinación de la gravedad específica de un suelo.



Ilustración 17. Ensayo de gravedad específica.
Fuente: Elaboración propia.

Importancia:

La gravedad específica de los sólidos de un suelo se utiliza en la mayoría de las ecuaciones referentes a las relaciones de fases de aire, agua y sólidos en un volumen dado de material, como también para calcular la densidad de los sólidos del suelo. Además, hace relación a las partículas minerales que aparecen naturalmente y que prácticamente no son solubles en agua.

4.3.5. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos para propósitos de ingeniería (SUCS). INVE - 181

Objetivo: Describir el método denominado "Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)" mediante el cual se clasifican los suelos con base en la determinación en el laboratorio de la distribución de tamaños de sus partículas, de su límite líquido y de su índice de plasticidad.

Resumen del procedimiento:

Se debe verificar si la muestra de suelo contiene partículas de tamaño superior a 75mm (3") pues de ser así, se deben excluir dichas partículas en el proceso de estabilización, sin excluir su proporción en masa dentro del total de muestra seca. Se determina si el suelo es fino o grueso, según el porcentaje que pasa por el tamiz N°200. Posteriormente, de acuerdo con la clasificación dada, si es un suelo fino, se clasifica de acuerdo con su límite líquido se determina la fracción fina, pero, si es clasificado como suelo grueso, se debe tener en cuenta el porcentaje pasa N° 200.

Importancia:

Logra una identificación clara de los suelos, utilizando símbolos y nombres genéricos de grupo, lo cual permite describir los suelos de una manera más completa y orienta las investigaciones de campo y laboratorio destinadas a la evaluación de las propiedades significativas de ellos con fines de ingeniería.

4.3.6. Relaciones humedad - peso unitario seco de mezclas de suelo con estabilizantes químicos no tradicionales. INVE - 631 - 22

Objetivo: Determinar la relación entre la humedad y el peso unitario seco para mezclas de suelo estabilizadas con productos químicos no tradicionales, cuando se compactan.

Resumen del procedimiento:

Se seca la muestra de suelo, ya sea al aire o empleando algún aparato secador a una temperatura máxima de 60°C, luego, para preparar la muestra, se disgregan los terrones del suelo para que pase por el tamiz de 2mm (N°10) y se toma una masa mínima de 3.2kg para cada punto de ensayo de la curva de compactación. Se forma un espécimen, compactando en el molde, con el collar ajustado, en tres capas iguales. Para la compactación se emplean un molde de 197 cm³ (0.007 pie³) y un martillo de 1.52 kg (3.35 lb) que cae desde una altura de 291 mm (11.5"). Se compacta mediante 9 golpes del martillo. Luego, se remueve el collar de extensión, se enrasa la parte superior de la probeta y se determina la masa del molde con la muestra del suelo compactado. Después, se extrae la probeta del molde, se corta verticalmente a lo largo de su eje y se toma una muestra representativa de la altura completa de una de las caras cortadas. Inmediatamente se determina la masa del material húmedo más el recipiente y se calcula la humedad.

Por último, se agrega suficiente cantidad de agua para aumentar la humedad de la muestra de suelo en uno o dos puntos porcentuales, se mezcla y se repite el procedimiento.

Importancia:

Determina la humedad óptima y el peso unitario seco máximo que se deben emplear para moldear especímenes de suelo estabilizado con productos químicos no tradicionales para ensayar a compresión inconfiada según el procedimiento descrito en la norma INV E – 632.

4.3.7. Resistencia a la compresión inconfiada de muestras de suelo estabilizadas con productos químicos no tradicionales. INV E - 632 - 22

Objetivo: Describir la preparación, curado y determinación de la resistencia a la compresión inconfiada de muestras de suelo estabilizado con productos químicos no tradicionales.

Resumen del procedimiento:

Se proporcionan tres procedimientos alternativos:

Método A - Determinación de la resistencia a la compresión inconfiada de probetas en estado seco posterior a la etapa de curado.

Método B - Determinación de la resistencia a la compresión inconfiada de probetas sometidas a inmersión en agua durante una hora posterior a la etapa de curado.

Método C - Determinación de la resistencia a la compresión inconfiada de probetas sometidas al ensayo de saturación por ascensión capilar.

Se fabrican probetas de suelo con peso unitario, humedad y energía de compactación previamente definidos en el ensayo INV E-631, las cuales se compactan y luego se almacenan en cámaras de humedad. Cumplido el tiempo de curado (0, 7, 14 o 28 días), con ayuda de un aparato de compresión, un deformímetro y un cronómetro se aplica carga de manera continua y sin aceleración brusca, de manera que produzca una velocidad de deformación axial de aproximadamente 0.5 a 2.0% por minuto. Se debe elegir la rata de deformación de manera que el tiempo para alcanzar la falla no exceda los 15 minutos. Se anota la carga, la deformación y el tiempo, a intervalos suficientes para definir la curva esfuerzo-deformación y se registra la carga máxima aplicada a la probeta.

En la Ilustración 18, se puede observar cómo se almacenaron las probetas en cámaras húmedas para que cumplieran con su tiempo de curado. Además, en la Ilustración 19, se observa cómo se ensayaron dichas probetas y se muestra cómo fallaron.



Ilustración 18. Probetas almacenadas para el ensayo de resistencia a la compresión confinada.
Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 19. Ensayo de compresión simple.
Fuente: Elaboración propia.

En la Ilustración 20, se observa el proceso de saturación de las probetas por el método B, al ser sometidas a inmersión durante 1 hora.



Ilustración 20. Proceso de saturación por inmersión en probetas.
Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 21, se observa cómo se realizó el proceso de saturación por ascensión capilar (Método C), para el cual se utilizó una piedra porosa sumergida en agua.



Ilustración 21. Proceso de saturación por ascensión capilar en probetas.
Fuente: Elaboración propia.

Importancia:

Permite establecer la idoneidad de los suelos ensayados para la estabilización de subrasantes o de las capas de la estructura de un pavimento.

5. Análisis de resultados: Caracterización de materiales en estado natural o no estabilizado

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos realizados para caracterizar los materiales utilizados y, además, se realiza el análisis correspondiente de dichos datos obtenidos.

5.1. Granulometría

El análisis granulométrico se realizó con base en la norma INV E-123-13.

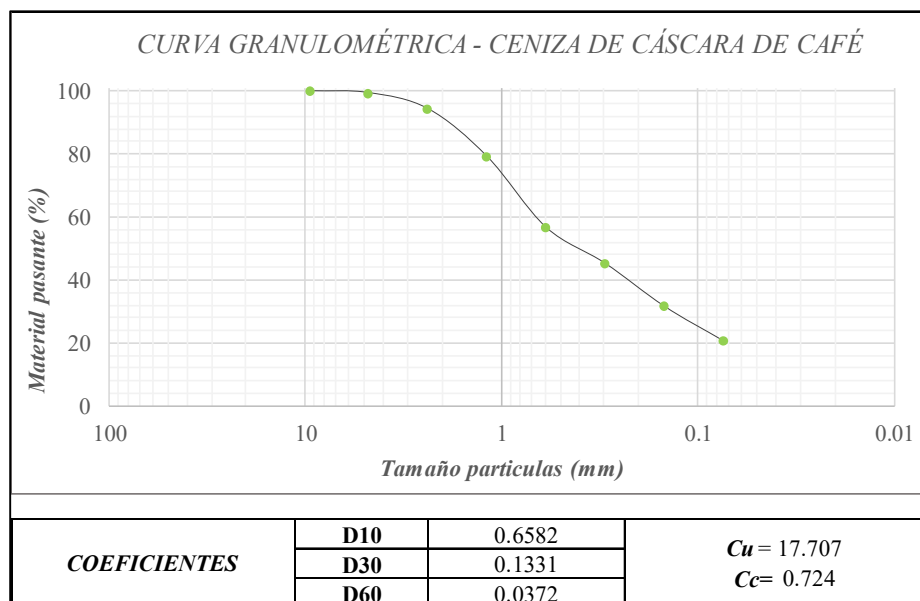
5.1.1. Ceniza de cáscara de café (CCC)

Los resultados de la determinación de los tamaños de las partículas para la ceniza de cáscara de café (CCC) se muestran en la Tabla 15. Además, se observa en la Gráfica 1, la curva granulométrica correspondiente. De los datos obtenidos, se observa que la ceniza de cáscara de café está constituida por un pasante del tamiz N°200 en un 21% aproximadamente, por lo que su fracción fina es poca. Lo anterior evidenció la necesidad de realizar trituración mecánica de la ceniza, para así, optimizar su uso.

Tabla 15. Datos del ensayo de granulometría - Ceniza de cáscara de café (CCC).

DATOS DE GRANULOMETRIA					
Masa del material húmedo: 362.9 g					
TAMIZ	MASA RETENIDA	% MASA RETENIDA	% RETENIDA ACUMULADA	% PASA	% PASA APROXIMADO
3/8 "	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0
N° 4	2.2	0.6	0.6	99.4	99.0
N° 8	18.6	5.1	5.7	94.3	94.0
N° 16	54.8	15.1	20.8	79.2	79.0
N° 30	81.4	22.4	43.3	56.7	57.0
N° 50	41.27	11.4	54.6	45.4	45.0
N° 100	49.43	13.6	68.2	31.8	32.0
N° 200	39.45	10.9	79.1	20.9	20.9

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 1. Curva granulométrica - Ceniza de cáscara de café (CCC).

Fuente: Elaboración propia.

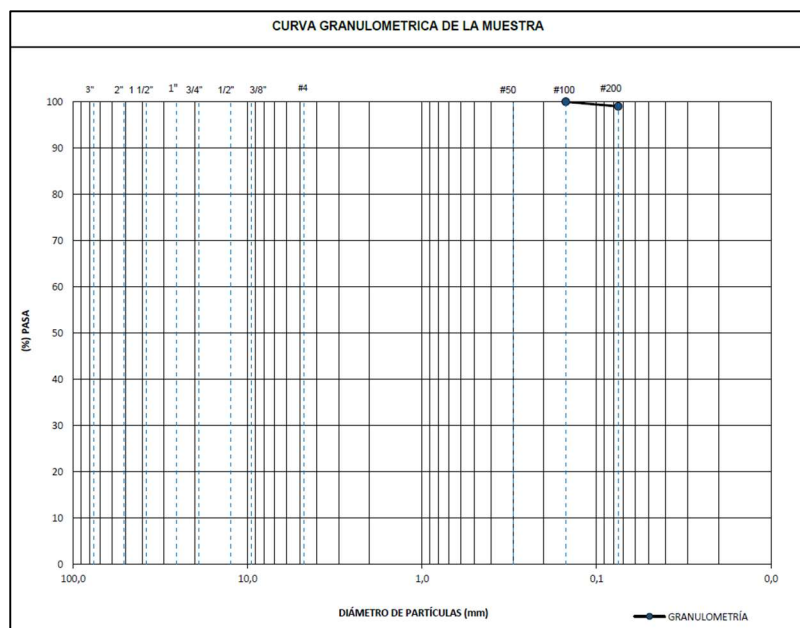
5.1.2. Suelo 1 - Arcilla de alta plasticidad (CH)

Los resultados de la determinación de los tamaños de las partículas del suelo arcilloso de alta plasticidad se muestran en la Tabla 16 y en la Gráfica 2. De ellos se observa que la fracción fina del suelo corresponde al 99%, confirmando su clasificación como un suelo fino.

Tabla 16. Datos del ensayo de granulometría - Arcilla de alta plasticidad (CH)

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INV E-213-13					
Masa seca después de lavar (g)		2,4	Masa seca Total antes del lavado, (g)		230,3
Tamiz		Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
(Pulg.)	(mm)				
4"	101,60	0,0			
3"	76,2	0,0			
2"	50,8	0,0	0,0	0,0	100,0
1 1/2"	38,1	0,0	0,0	0,0	100,0
1"	25,4	0,0	0,0	0,0	100,0
3/4"	19	0,0	0,0	0,0	100,0
1/2"	12,5	0,0	0,0	0,0	100,0
3/8"	9,5	0,0	0,0	0,0	100,0
#4	4,75	0,0	0,0	0,0	100,0
#8	2,4	0,0	0,0	0,0	100,0
#16	1,18	0,0	0,0	0,0	100,0
#30	0,6	0,0	0,0	0,0	100,0
#50	0,3	0,0	0,0	0,0	100,0
#100	0,15	0,0	0,0	0,0	100,0
#200	0,075	2,3	1,0	1,0	99,0
Pasa #200		227,9	99,0	100,0	0,0

Fuente: CDT Vial.



Gráfica 2. Curva granulométrica - Arcilla de alta plasticidad (CH).
Fuente: CDT Vial.

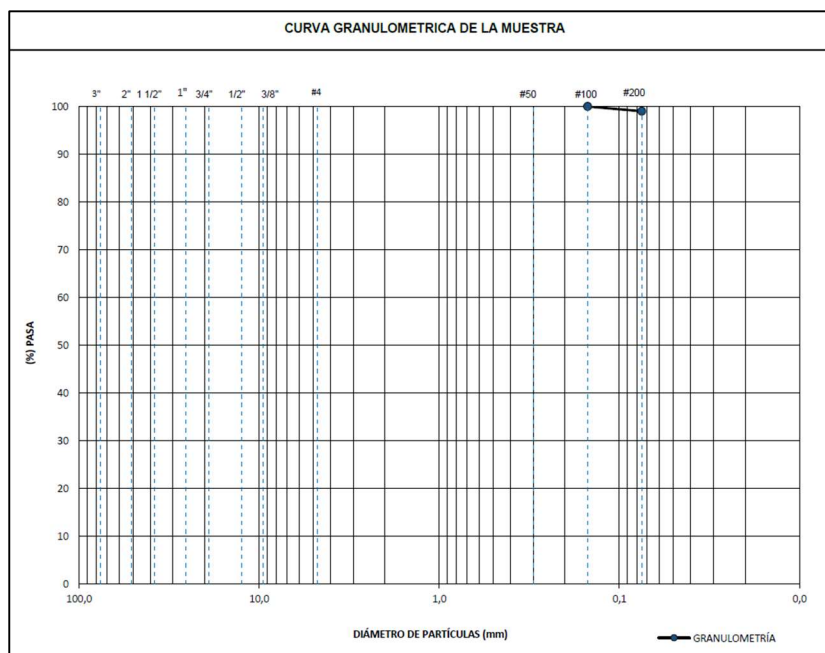
5.1.3. Suelo 2 - Limo de baja plasticidad (ML)

Los resultados de la determinación de los tamaños de las partículas del suelo limoso de baja plasticidad se muestran en la Tabla 17 como en la Gráfica 3. De acuerdo con los resultados obtenidos, este suelo corresponde a un suelo fino, con un pasante del tamiz N°200 del 99%.

Tabla 17. Datos del ensayo de granulometría - Limo de baja plasticidad (ML).

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INV E-213-13					
Masa seca después de lavar (g)		2,4	Masa seca Total antes del lavado, (g)		230,3
Tamiz		Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
(Pulg.)	(mm)				
4"	101,60	0,0			
3"	76,2	0,0			
2"	50,8	0,0	0,0	0,0	100,0
1 1/2"	38,1	0,0	0,0	0,0	100,0
1"	25,4	0,0	0,0	0,0	100,0
3/4"	19	0,0	0,0	0,0	100,0
1/2"	12,5	0,0	0,0	0,0	100,0
3/8"	9,5	0,0	0,0	0,0	100,0
#4	4,75	0,0	0,0	0,0	100,0
#8	2,4	0,0	0,0	0,0	100,0
#16	1,18	0,0	0,0	0,0	100,0
#30	0,6	0,0	0,0	0,0	100,0
#50	0,3	0,0	0,0	0,0	100,0
#100	0,15	0,0	0,0	0,0	100,0
#200	0,075	2,3	1,0	1,0	99,0
Pasa #200		227,9	99,0	100,0	0,0

Fuente: CDT Vial.



Gráfica 3. Curva granulométrica - Limo de baja plasticidad (ML).
Fuente: CDT Vial.

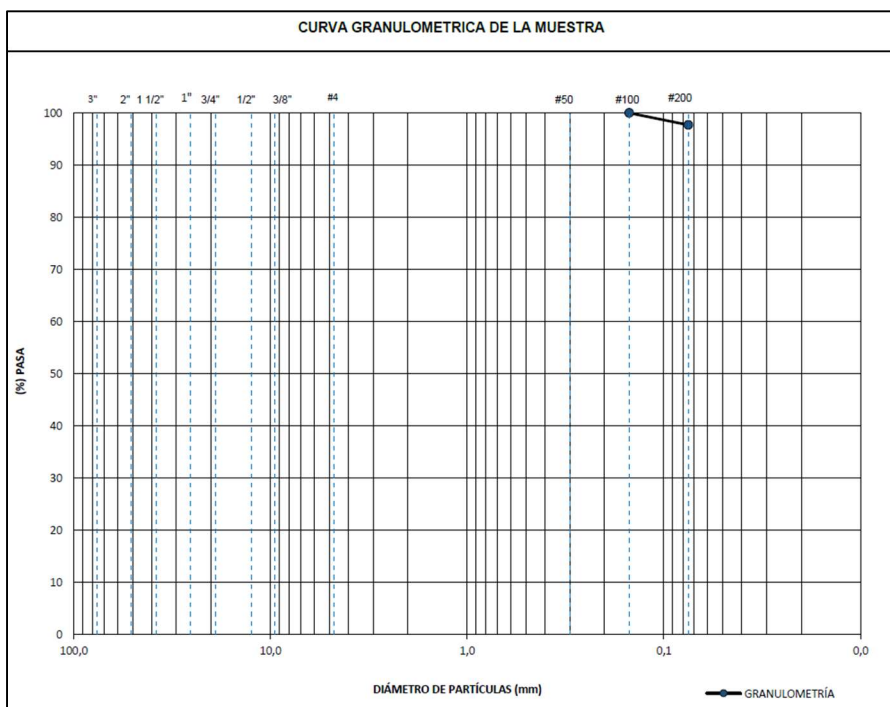
5.1.4. Suelo 3 - Limo de alta plasticidad (MH)

Los resultados de la determinación de los tamaños de las partículas del suelo limoso de alta plasticidad se muestran en la Tabla 18 así como en la Gráfica 4. De acuerdo con los resultados obtenidos, este suelo corresponde a un suelo fino, con un pasante del tamiz N°200 del 97.7%.

Tabla 18. Datos del ensayo granulométrico - Limo de alta plasticidad (MH).

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INV E-213-13					
Masa seca después de lavar (g)		5,5	Masa seca Total antes del lavado, (g)		234,4
Tamiz		Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
(Pulg.)	(mm)				
4"	101,60	0,0			
3"	76,2	0,0			
2"	50,8	0,0	0,0	0,0	100,0
1 1/2"	38,1	0,0	0,0	0,0	100,0
1"	25,4	0,0	0,0	0,0	100,0
3/4"	19	0,0	0,0	0,0	100,0
1/2"	12,5	0,0	0,0	0,0	100,0
3/8"	9,5	0,0	0,0	0,0	100,0
#4	4,75	0,0	0,0	0,0	100,0
#8	2,4	0,0	0,0	0,0	100,0
#16	1,18	0,0	0,0	0,0	100,0
#30	0,6	0,0	0,0	0,0	100,0
#50	0,3	0,0	0,0	0,0	100,0
#100	0,15	0,0	0,0	0,0	100,0
#200	0,075	5,4	2,3	2,3	97,7
Pasa #200		228,9	97,7	100,0	0,0

Fuente: CDT Vial.



Gráfica 4. Curva granulométrica - Limo de alta plasticidad (MH).
Fuente: CDT Vial.

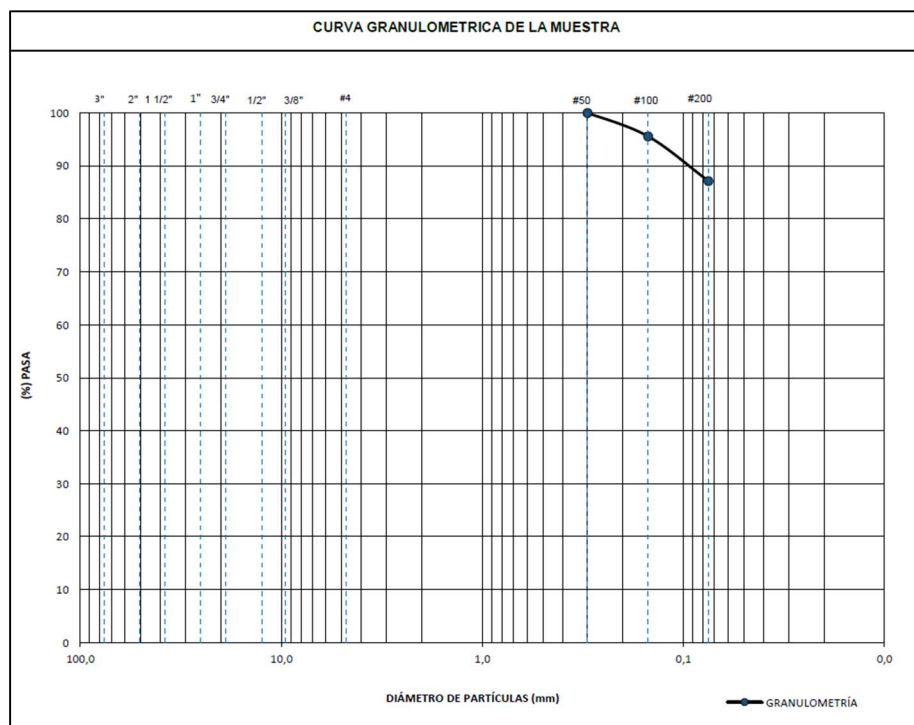
5.1.5. Suelo 4 - Arcilla de baja plasticidad (CL)

Los resultados de la determinación de los tamaños de las partículas del suelo limoso de alta plasticidad se muestran en la Tabla 19 y en la Gráfica 5. De acuerdo con los resultados obtenidos, este suelo corresponde a un suelo fino, con un pasante del tamiz N°200 del 87.1%.

Tabla 19. Datos del ensayo granulométrico - Arcilla de baja plasticidad (CL).

ANÁLISIS GRANULOMETRICO INV E-213-13					
Masa seca después de lavar (g)		33,1	Masa seca Total antes del lavado, (g)		256,8
Tamiz		Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
(Pulg.)	(mm)				
4"	101,60	0,0			
3"	76,2	0,0			
2"	50,8	0,0	0,0	0,0	100,0
1 1/2"	38,1	0,0	0,0	0,0	100,0
1"	25,4	0,0	0,0	0,0	100,0
3/4"	19	0,0	0,0	0,0	100,0
1/2"	12,5	0,0	0,0	0,0	100,0
3/8"	9,5	0,0	0,0	0,0	100,0
#4	4,75	0,0	0,0	0,0	100,0
#8	2,4	0,0	0,0	0,0	100,0
#16	1,18	0,0	0,0	0,0	100,0
#30	0,6	0,0	0,0	0,0	100,0
#50	0,3	0,0	0,0	0,0	100,0
#100	0,15	11,3	4,4	4,4	95,6
#200	0,075	21,7	8,5	12,9	87,1
Pasa #200		223,7	87,1	100,0	0,0

Fuente: CDT Vial.



Gráfica 5. Curva granulométrica - Arcilla de baja plasticidad (CL).

Fuente: CDT Vial.

5.2. Gravedad específica.

El ensayo de gravedad específica se realizó en base a la norma INV E-128-13.

5.2.1. Ceniza de cáscara de café (CCC)

Para la ceniza de cáscara de café, se obtuvo un valor de gravedad específica promedio de 2.62 como se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20. Datos del ensayo de gravedad específica - Ceniza de cáscara de café (CCC).

DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SUELOS Y DEL LLENANTE MINERAL ASTM D854-10/ INV-E-128-13		
PRUEBA N°	1	2
M_s , (g)	73,20	70,12
$M_{\rho w}$, t (g)	659,32	651,99
$M_{\rho ws}$, t (g)	704,46	695,37
Gs. Gravedad específica	2,61	2,62

PROMEDIO

2,62

Fuente: CDT Vial.

5.2.2. Suelo 1 - Arcilla de alta plasticidad (CH)

Para el suelo 1 - Arcilla de alta plasticidad, se obtuvo un valor de gravedad específica promedio de 2.69 como se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21. Datos del ensayo de gravedad específica - Arcilla de alta plasticidad (CH).

DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SUELOS Y DEL LLENANTE MINERAL ASTM D854-10/ INV-E-128-13		
PRUEBA Nº	1	2
M_s , (g)	49,63	50,92
$M_{\rho w}$, t (g)	653,06	659,55
$M_{\rho ws}$, t (g)	684,20	691,60
Gs. Gravedad específica	2,68	2,70

PROMEDIO	2,69
----------	------

Fuente: CDT Vial.

5.2.3. Suelo 2 - Limo de baja plasticidad (ML)

Para el suelo 2 - Limo de baja plasticidad, se obtuvo un valor de gravedad específica promedio de 2.55 como se muestra en la Tabla 22.

Tabla 22. Datos del ensayo de gravedad específica - Limo de baja plasticidad (ML).

DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SUELOS Y DEL LLENANTE MINERAL ASTM D854-10/ INV-E-128-13		
PRUEBA Nº	1	2
M_s , (g)	51,25	52,79
$M_{\rho w}$, t (g)	668,27	668,12
$M_{\rho ws}$, t (g)	699,39	700,30
Gs. Gravedad específica	2,55	2,56

PROMEDIO	2,55
----------	------

Fuente: CDT Vial.

5.2.4. Suelo 3 - Limo de alta plasticidad (MH)

Para el suelo 3 - Limo de alta plasticidad, se obtuvo un valor de gravedad específica promedio de 2.67 como se muestra en la Tabla 23.

Tabla 23. Datos del ensayo de gravedad específica - Limo de alta plasticidad (MH).

DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SUELOS Y DEL LLENANTE MINERAL ASTM D854-10 / INV E - 128-13			
PRUEBA N°	1	2	3
Ms, (g)	49.1	48.86	48.35
M pw, t (g)	658.74	650.06	702.68
M pws, t (g)	689.54	680.63	732.76
Gs. Gravedad específica	2.68	2.67	2.65

PROMEDIO	2.67
-----------------	-------------

Fuente: CDT Vial.

5.2.5. Suelo 4 - Arcilla de baja plasticidad (CL)

Para el suelo 4 - Arcilla de baja plasticidad, se obtuvo un valor de gravedad específica promedio de 2.62 como se muestra en la Tabla 24.

Tabla 24. Datos del ensayo de gravedad específica - Arcilla de alta plasticidad (CL).

DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SUELOS Y DEL LLENANTE MINERAL ASTM D854-10 / INV E - 128-13			
PRUEBA N°	1	2	3
Ms, (g)	49.5	50.27	47.54
M pw, t (g)	648.74	646.41	703.96
M pws, t (g)	679.6	677.61	733.38
Gs. Gravedad específica	2.63	2.60	2.62

PROMEDIO	2.62
-----------------	-------------

Fuente: CDT Vial.

5.3. Límites de Atterberg y Clasificación SUCS

Los límites de Atterberg se realizaron con base en las normas INV E-125-13 e INV E-126-13. Además, la clasificación de suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) se realizaron con base en la norma INV E-181-13.

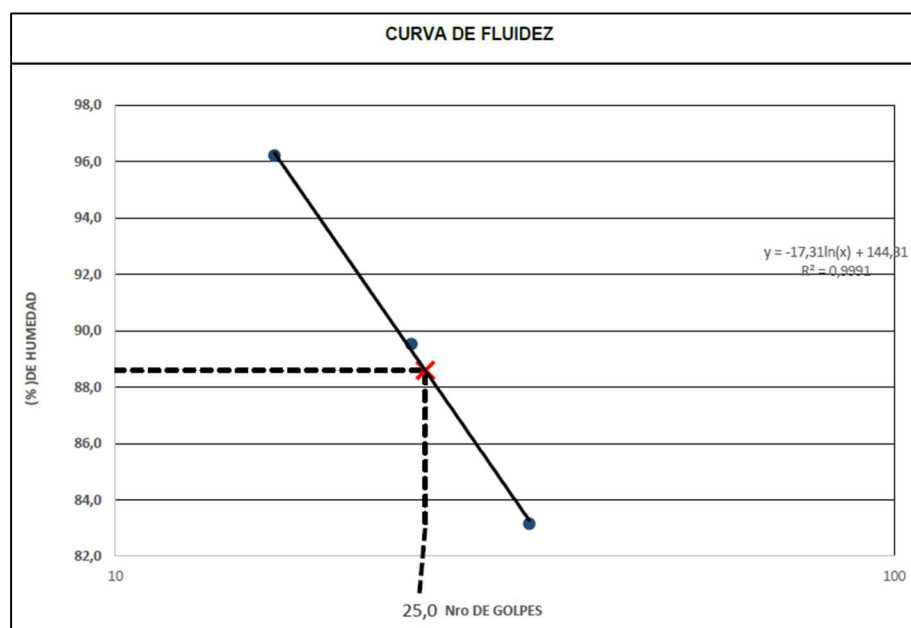
5.3.1. Suelo 1 - Arcilla de alta plasticidad (CH)

Los resultados de los límites de consistencia y la clasificación SUCS del Suelo 1 se muestran en la Tabla 25 y en la Gráfica 6. De acuerdo con estos ensayos, se determinó que el suelo recolectado posee un límite líquido de 88.6%, un límite plástico de 35.6% y un índice de plasticidad de 52.9%, lo que permite clasificarlo como una arcilla de alta plasticidad (CH).

Tabla 25. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - Arcilla de alta plasticidad (CH).

% Límite Líquido	88,6	CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION) INV E 180 - 13	A-7-5(64)
% Límite Plástico	35,6	SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S. INV E-181 - 13	CH
Especificación Art. 300 - Afirmados			
% Índice de Plasticidad	52,9		

Fuente: CDT Vial.



Gráfica 6. Diagrama de fluidez - Arcilla de alta plasticidad (CH).

Fuente: CDT Vial.

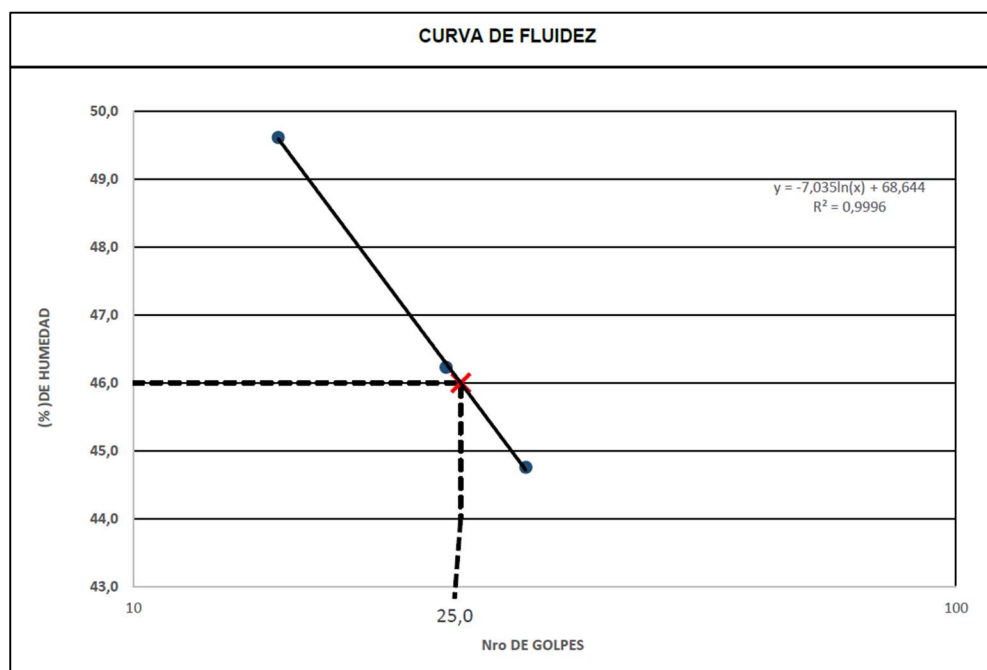
5.3.2. Suelo 2 - Limo de baja plasticidad (ML)

Los resultados de los límites de consistencia y la clasificación SUCS del Suelo 2 se muestran en la Tabla 26 y en la Gráfica 7. De acuerdo con estos ensayos, se determinó que el suelo recolectado posee un límite líquido de 46.0%, un límite plástico de 34.8% y un índice de plasticidad de 11.2%, lo que permite clasificarlo como un limo de baja plasticidad (ML).

Tabla 26. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - Limo de baja plasticidad (ML).

% Limite Líquido	46,0	CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION) INV E 180 - 13	A-7-5(16)
% Limite Plástico	34,8	SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S. INV E-181 - 13	ML
% Indice de Plasticidad	11,2	Especificación Art. 300 - Afirmados	

Fuente: CDT Vial.



Gráfica 7. Diagrama de fluidez - Limo de baja plasticidad (ML).

Fuente: CDT Vial.

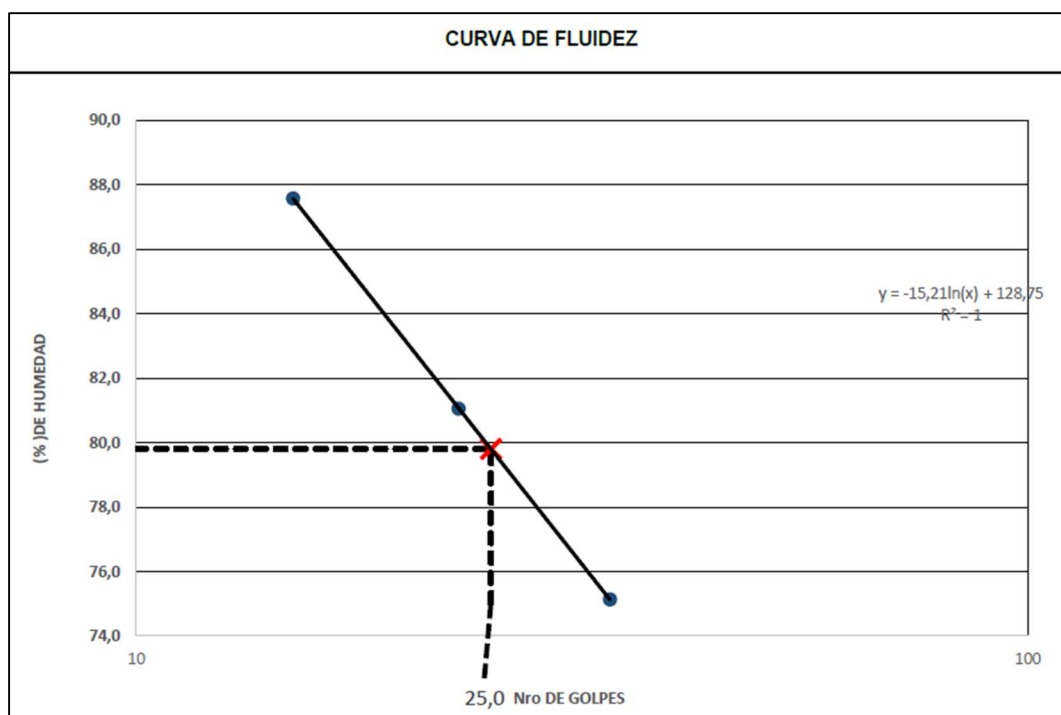
5.3.3. Suelo 3 - Limo de alta plasticidad (MH)

Los resultados de los límites de consistencia y la clasificación SUCS del Suelo 3 se muestran en la Tabla 27 y en la Gráfica 8. De acuerdo con estos ensayos, se determinó que el suelo recolectado posee un límite líquido de 79.8%, un límite plástico de 45.5% y un índice de plasticidad de 34.3%, lo que permite clasificarlo como un limo de alta plasticidad (MH).

Tabla 27. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - Limo de alta plasticidad (MH).

% Limite Líquido	79,8	CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION) INV E 180 - 13	A-7-5(45)
% Limite Plástico	45,5	SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S. INV E-181 - 13	MH
% Indice de Plasticidad	34,3		

Fuente: CDT Vial.



Gráfica 8. Diagrama de fluidez - Limo de alta plasticidad (MH).

Fuente: CDT Vial.

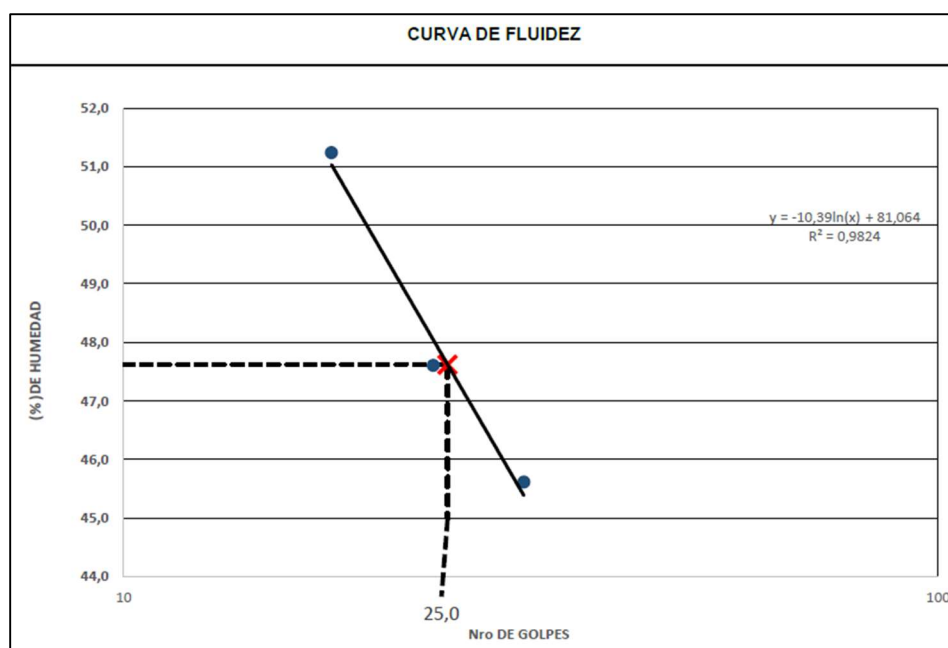
5.3.4. Suelo 4 - Arcilla de baja plasticidad (CL)

Los resultados de los límites de consistencia y la clasificación SUCS del Suelo 4 se muestran en la Tabla 28 y en la Gráfica 9. De acuerdo con estos ensayos, se determinó que el suelo recolectado posee un límite líquido de 47.6%, un límite plástico de 26.7% y un índice de plasticidad de 21.0%, lo que permite clasificarlo como una arcilla de baja plasticidad (CL).

Tabla 28. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - Arcilla de baja plasticidad (CL).

% Limite Líquido	47,6	CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION) INV E 180 - 13	A-7-6(20)
% Limite Plástico	26,7	SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S. INV E-181 - 13	CL
% Índice de Plasticidad	21,0		

Fuente: CDT Vial.



Gráfica 9. Diagrama de fluidez - Arcilla de baja plasticidad (CL).

Fuente: CDT Vial.

5.4. Relación humedad - peso unitario seco de los suelos (Ensayo normal de compactación).

El ensayo de relación humedad - peso unitario seco de los suelos (Ensayo normal de compactación) se realizó con base en la norma INV E-631-22.

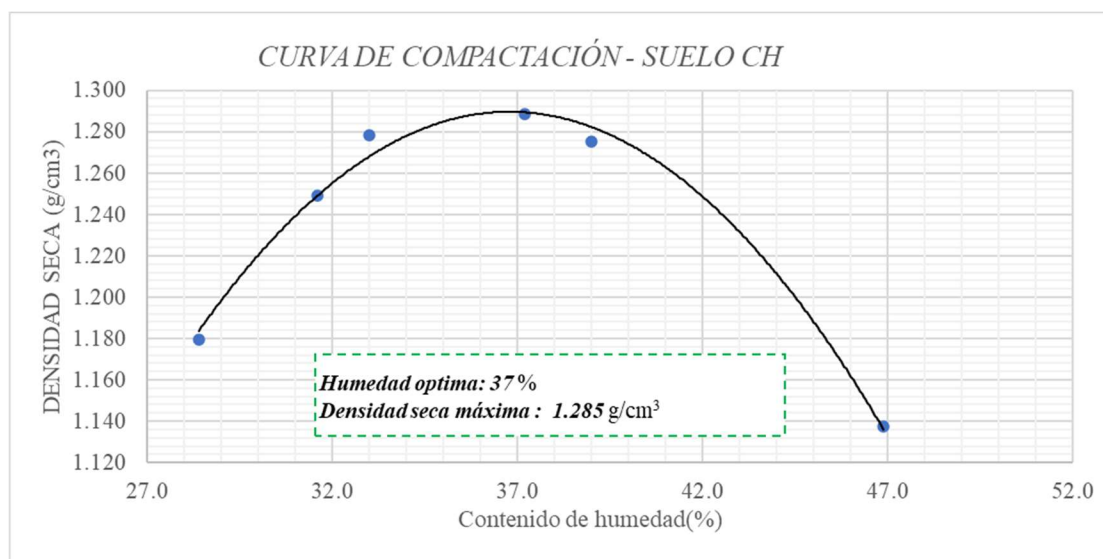
5.4.1. Suelo 1 - Arcilla de alta plasticidad (CH)

Los resultados del ensayo normal de compactación realizados sobre el suelo 1 -Arcilla de alta plasticidad, se muestran en la Tabla 29 y en la Gráfica 10. De los datos obtenidos, se puede observar que la humedad óptima para este suelo es de 37%, la cual logra que la densidad máxima del suelo sea de 1.285 g/cm³.

Tabla 29. Datos del ensayo de compactación (Proctor estándar) - Arcilla de alta plasticidad (CH).

Prueba N°	1	2	3	4	5	6
N° de golpes	25	25	25	25	25	25
Humedad deseada (%)	38.0	41.0	44.0	47.0	47.0	47.0
Humedad Inicial de la muestra (%)	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Humedad adicional (%)	6.0	9.0	12.0	15.0	15.0	15.0
Peso muestra húmeda (g)	450	450	450	450	451	452
Peso muestra seca (g)	341	341	341	341	342	342
Agua adicional (cm ³)	20	31	41	51	51	51
Molde N°						
Peso muestra húmeda mas molde (g)	297.3	322.74	333.7	347	349.8	331.4
Peso molde (g)						
Peso muestra húmeda (g)	297.3	322.74	333.7	347	349.8	331.4
Humedad de horno (%)	28.4	31.6	33.0	37.2	39.0	46.9
Peso muestra seca (g)	231.54	245.24	250.90	252.92	251.65	225.60
Volumen del molde (cm ³)	196.3	196.3	196.3	196.3	197.3	198.3
Densidad muestra seca (g/cm ³)	1.180	1.249	1.278	1.288	1.275	1.138

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 10. Curva de compactación - Arcilla de alta plasticidad (CH).

Fuente: Elaboración propia.

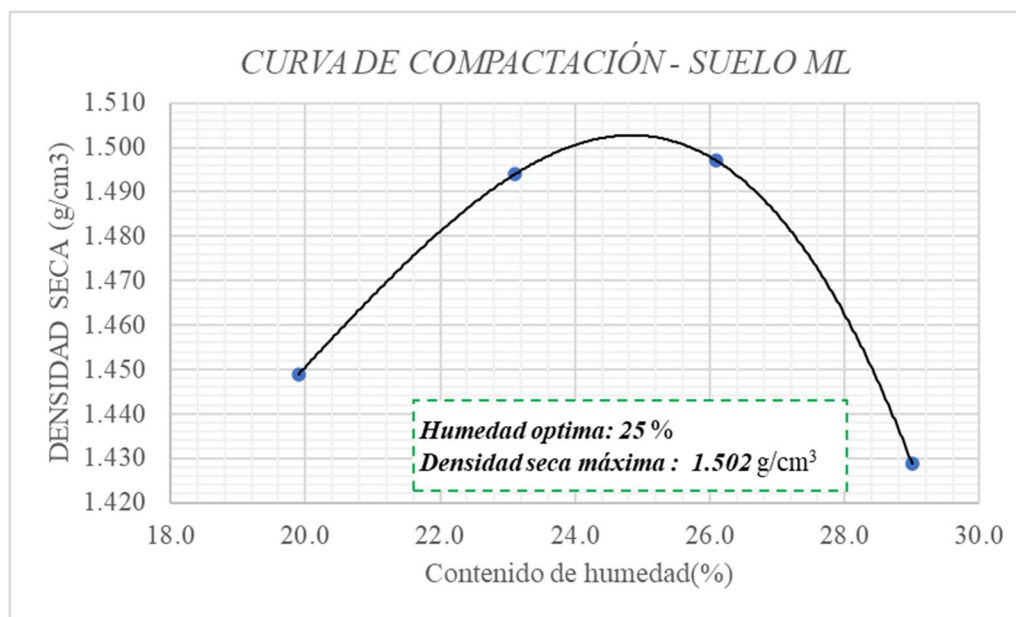
5.4.2. Suelo 2 - Limo de baja plasticidad (ML)

Los resultados del ensayo normal de compactación realizados sobre el suelo 2 - Limo de baja plasticidad, se muestran en la Tabla 30 y en la Gráfica 11. De los datos obtenidos, se puede observar que la humedad óptima para este suelo es de 25%, la cual logra que la densidad máxima del suelo sea de 1.502 g/cm³.

Tabla 30. Datos del ensayo de compactación (Proctor estándar) - Limo de baja plasticidad (ML).

Prueba N°	1	2	3	4
N° de golpes	25	25	25	25
Humedad deseada (%)	21.0	24.0	27.0	30.0
Humedad Inicial de la muestra (%)	18.0	18.0	18.0	18.0
Humedad adicional (%)	3.0	6.0	9.0	12.0
Peso muestra húmeda (g)	3000	3000	3000	3000
Peso muestra seca (g)	2542	2542	2542	2542
Agua adicional (cm ³)	76	153	229	305
Molde N°	9	2	6	7
Peso muestra húmeda mas molde (g)	3645	3722	3750	3730
Peso molde (g)	2005	1986	1968	1990
Peso muestra húmeda (g)	1640	1736	1782	1740
Humedad de horno (%)	19.9	23.1	26.1	29.0
Peso muestra seca (g)	1368	1410	1413	1349
Volumen del molde (cm ³)	944	944	944	944
Densidad muestra seca (g/cm ³)	1.449	1.494	1.497	1.429

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 11. Curva de compactación - Limo de baja plasticidad (ML).

Fuente: Elaboración propia.

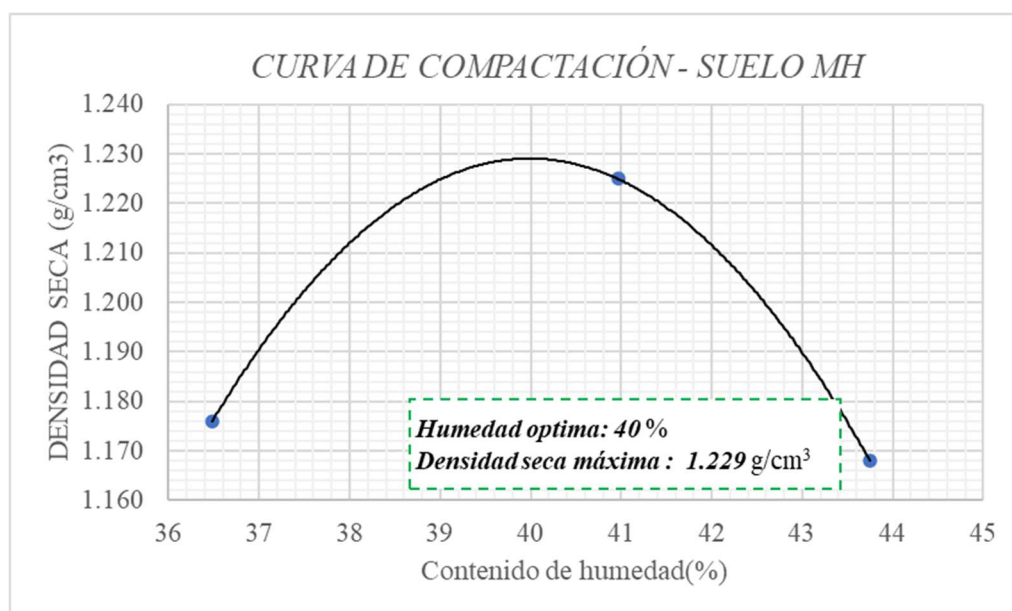
5.4.3. Suelo 3 - Limo de alta plasticidad (MH)

Los resultados del ensayo normal de compactación realizados sobre el suelo 3 - limo de alta plasticidad se muestran en la Tabla 31 y en la Gráfica 12. De los datos obtenidos, se puede observar que la humedad óptima para este suelo es de 40%, la cual logra que la densidad máxima del suelo sea de 1.229 g/cm³.

Tabla 31. Datos del ensayo de compactación (Proctor estándar) - Limo de alta plasticidad (MH).

Prueba N°	1	2	3
N° de golpes	25	25	25
Humedad deseada (%)	38.0	42.0	46.0
Humedad Inicial de la muestra (%)	30.0	30.0	30.0
Humedad adicional (%)	8.0	12.0	16.0
Peso muestra humeda (g)	3000	3000	3000
Peso muestra seca (g)	2308	2308	2308
Agua adicional (cm ³)	185	277	369
Molde N°	1	7	1
Peso muestra humeda mas molde (g)	3510	3610	3580
Peso molde (g)	1995	1980	1995
Peso muestra humeda (g)	1515	1630	1585
Humedad de horno (%)	36	41	44
Peso muestra seca (g)	1110	1156	1103
Volumen del molde (cm ³)	944	944	944
Densidad muestra seca (g/cm ³)	1.176	1.225	1.168

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 12. Curva de compactación - Limo de alta plasticidad (MH).

Fuente: Elaboración propia.

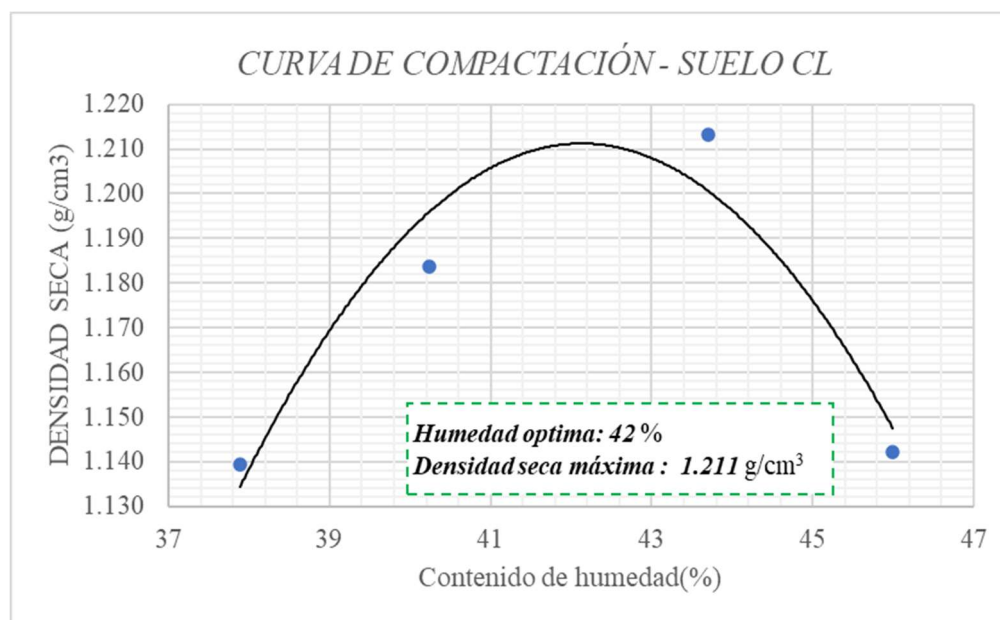
5.4.4. Suelo 4 - Suelo arcilloso de baja plasticidad (CL)

Los resultados del ensayo normal de compactación realizados sobre el suelo 4 - arcilla de baja plasticidad, se muestran en la Tabla 32 y en la Gráfica 13. De los datos obtenidos, se puede observar que la humedad óptima para este suelo es de 42%, la cual logra que la densidad máxima del suelo sea de 1.211 g/cm³.

Tabla 32. Datos del ensayo de compactación (Proctor estándar) - Arcilla de baja plasticidad (CL).

Prueba N°	1	2	3	4
N° de golpes	25	25	25	25
Humedad deseada (%)	38.0	41.0	44.0	47.0
Humedad Inicial de la muestra (%)	32.0	32.0	32.0	32.0
Humedad adicional (%)	6.0	9.0	12.0	15.0
Peso muestra húmeda (g)	450	450	450	450
Peso muestra seca (g)	341	341	341	341
Agua adicional (cm ³)	20	31	41	51
Molde N°				
Peso muestra húmeda más molde (g)	1458.4	1475.9	1492.2	1477.3
Peso molde (g)	1150	1150	1150	1150
Peso muestra húmeda (g)	308.4	325.9	342.2	327.3
Humedad de horno (%)	38	40	44	46
Peso muestra seca (g)	224	232	238	224
Volumen del molde (cm ³)	196.3	196.3	196.3	196.3
Densidad muestra seca (g/cm ³)	1.139	1.184	1.213	1.142

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 13. Curva de compactación - Arcilla de baja plasticidad (CL).

Fuente: Elaboración propia.

5.5. Resistencia a la compresión inconfínada (UCS)

El ensayo de resistencia a la compresión inconfínada (UCS) se realizó con base en la norma INV E-632-22, mediante el **método A** (en estado seco posterior a la etapa de curado).

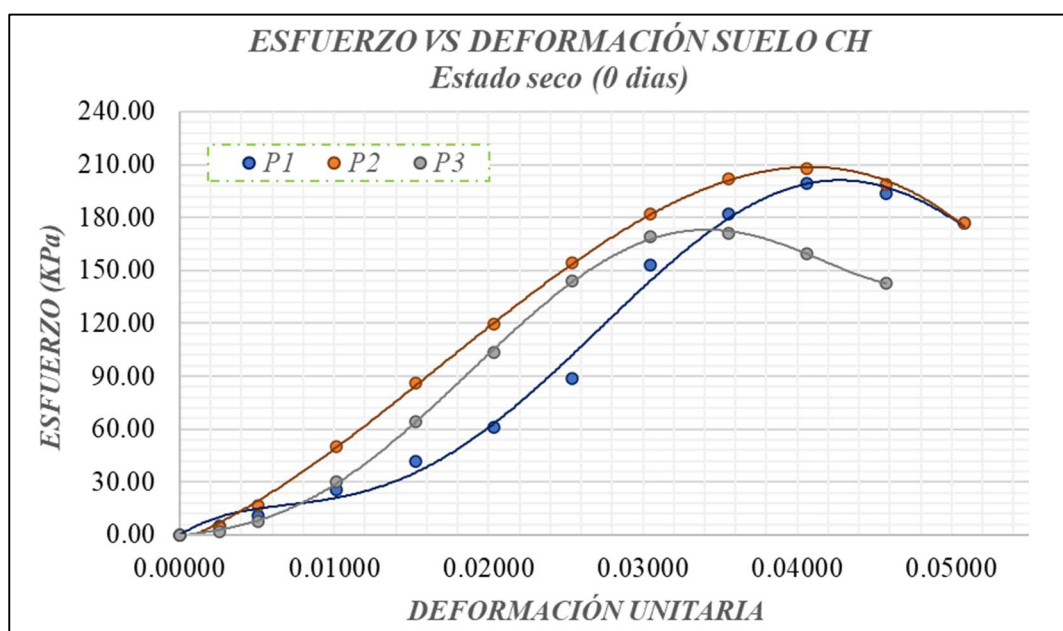
5.5.1. Suelo 1 - Arcilla de alta plasticidad (CH)

Los resultados de la resistencia a la compresión inconfínada (UCS) en estado natural del suelo 1- Arcilla de alta plasticidad, se encuentran en la Gráfica 14 y en la Tabla 33. Para la condición seca de ensayo, se obtiene una resistencia promedio de 192.72 kPa.

Tabla 33. Datos del ensayo UCS de muestras en estado natural (Seco) - Arcilla de alta plasticidad (CH).

TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - q_u			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P1	0.04064	199.39
2	P2	0.04064	207.75
3	P3	0.03556	171.01
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			192.72

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 14. Diagrama esfuerzo vs deformación (Estado seco) - Arcilla de alta plasticidad (CH).

Fuente: Elaboración propia.

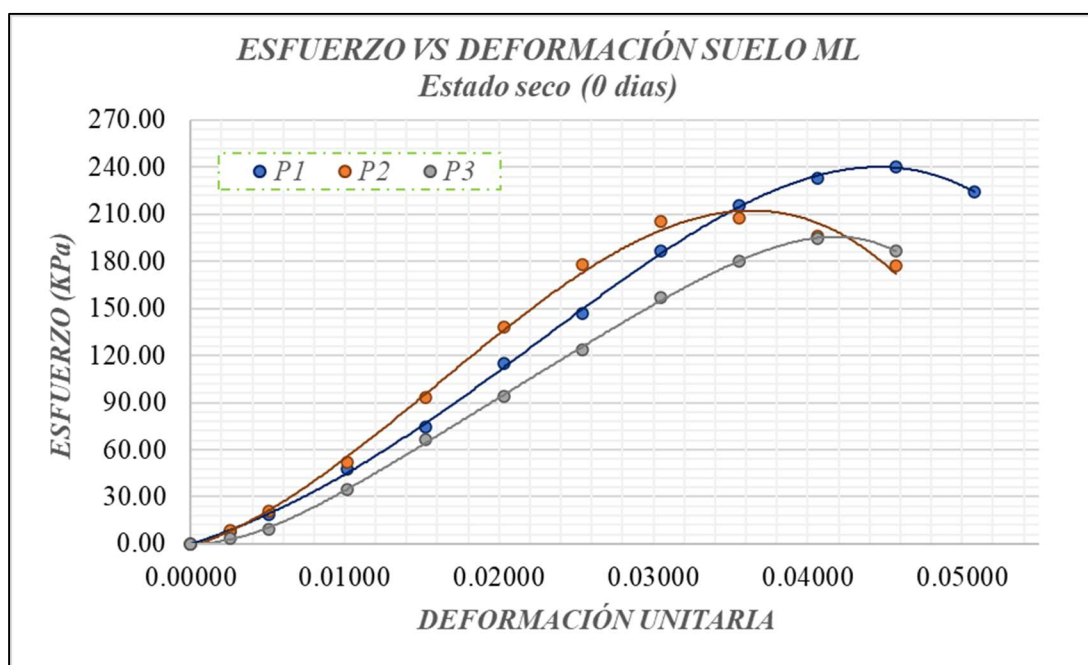
5.5.2. Suelo 2 - Limo de baja plasticidad (ML)

Los resultados de la resistencia a la compresión inconfínada (UCS) en estado natural del suelo 2- Limo de baja plasticidad, se encuentran en la Gráfica 15 y en la Tabla 34. Para la condición seca de ensayo, se obtiene una resistencia promedio de 214.20 kPa.

Tabla 34. Datos del ensayo UCS de muestras en estado natural (Seco) - Limo de baja plasticidad (ML).

TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P1	0.04064	240.63
2	P2	0.03556	207.45
3	P3	0.04064	194.51
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			214.20

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 15. Diagrama esfuerzo vs deformación (Estado seco) - Limo de baja plasticidad (ML).

Fuente: Elaboración propia.

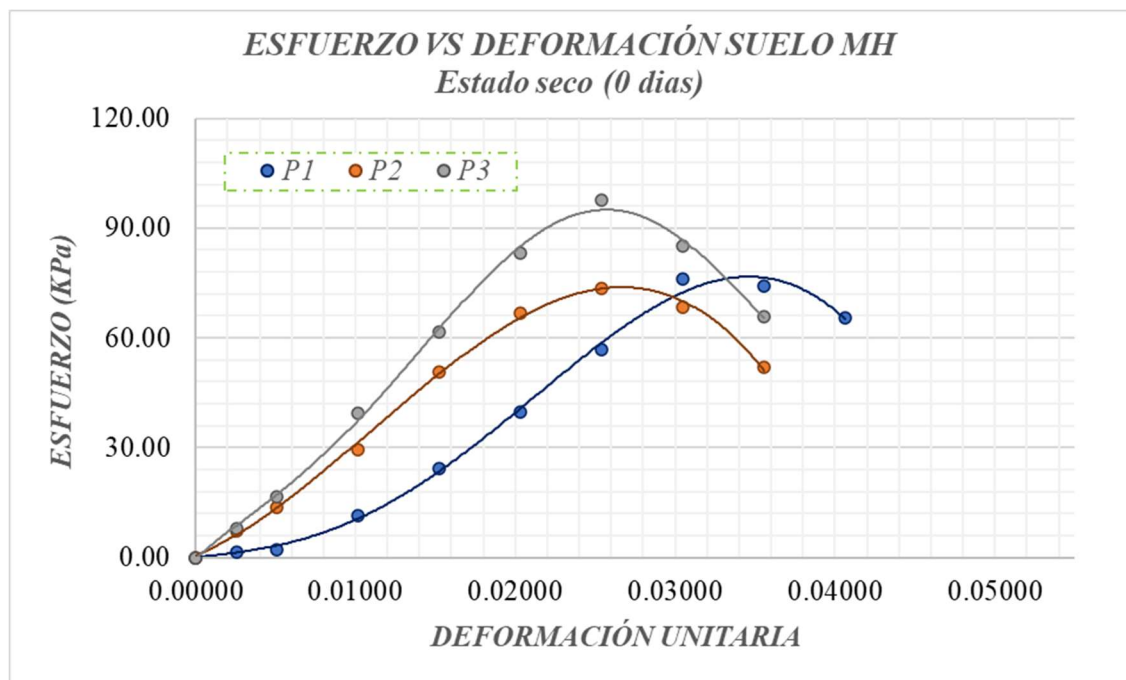
5.5.3. Suelo 3 - Limo de alta plasticidad (MH)

Los resultados de la resistencia a la compresión inconfiada (UCS) en estado natural del suelo 3- Limo de alta plasticidad, se encuentran en la Gráfica 16 y en la Tabla 35. Para la condición seca de ensayo, se obtiene una resistencia promedio de 82.49 kPa.

Tabla 35. Datos del ensayo UCS de muestras en estado natural (Seco) - Limo de alta plasticidad (MH).

TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P1	0.03048	76.09
2	P2	0.0254	73.66
3	P3	0.0254	97.74
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			82.49

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 16. Diagrama esfuerzo vs deformación (Estado seco) - Limo de alta plasticidad (MH).
Fuente: Elaboración propia.

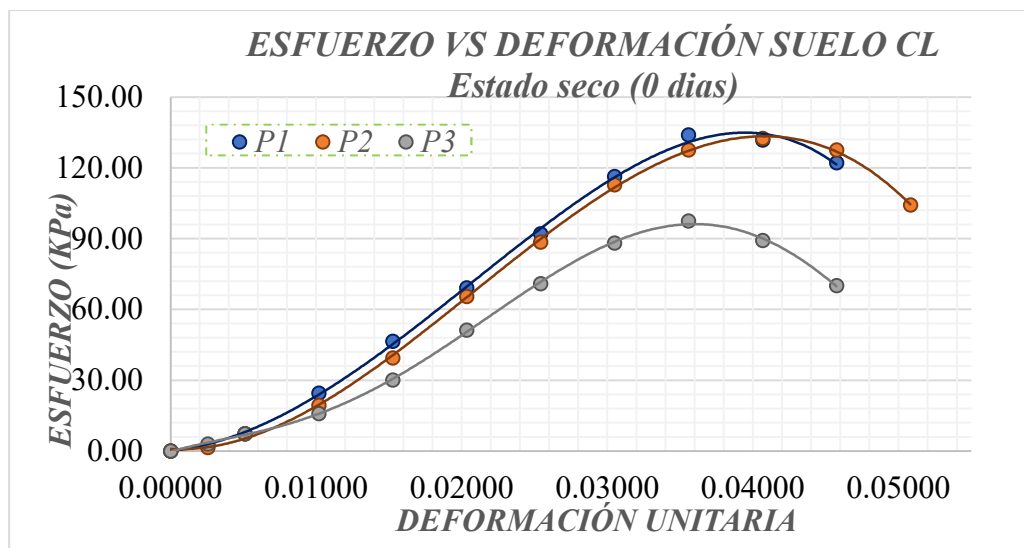
5.5.4. Suelo 4 - Arcilla de baja plasticidad (CL)

Los resultados de la resistencia a la compresión inconfiada (UCS) en estado natural del suelo 4- Arcilla de baja plasticidad, se encuentran en la Gráfica 17 y en la Tabla 36. Para la condición seca de ensayo, se obtiene una resistencia promedio de 121.25 kPa.

Tabla 36. Datos del ensayo UCS de muestras en estado natural (Seco) - Arcilla de baja plasticidad (CL).

TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - q_u			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P1	0.03556	133.86
2	P2	0.04064	132.46
3	P3	0.03556	97.42
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			121.25

Fuente: Elaboración propia.



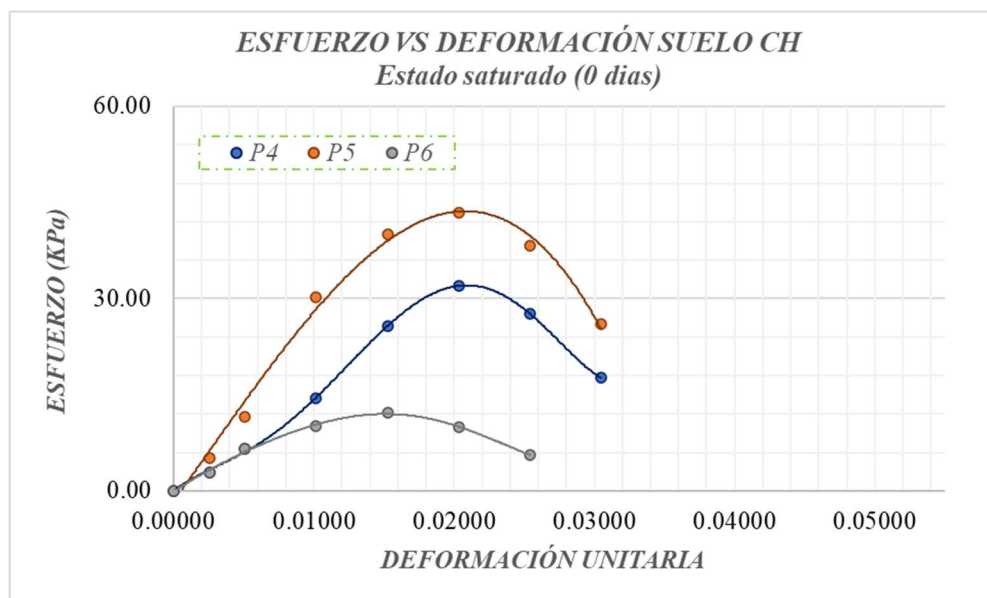
Gráfica 17. Diagrama esfuerzo vs deformación (Estado seco) - Arcilla de baja plasticidad (CL).
Fuente: Elaboración propia.

5.6. Ensayo de estabilidad al agua

El ensayo de resistencia a la compresión inconfiada (UCS) se realizó con base en la norma INV E-632-22, mediante el **Método C** (probetas saturadas por ascensión capilar posterior a la etapa de curado).

5.6.1. Suelo 1 - Arcilla de alta plasticidad (CH)

Los resultados para el ensayo de resistencia a la compresión inconfiada (UCS) para el suelo 1 - arcilla de alta plasticidad, realizado sobre probetas sometidas al ensayo de saturación por ascensión capilar se muestran en la Gráfica 18 y en la Tabla 37. Para la condición saturada de ensayo, se obtiene una resistencia promedio de 29.21 kPa.



Gráfica 18. Diagrama esfuerzo vs deformación (Estado saturado) - Arcilla de alta plasticidad (CH).
Fuente: Elaboración propia.

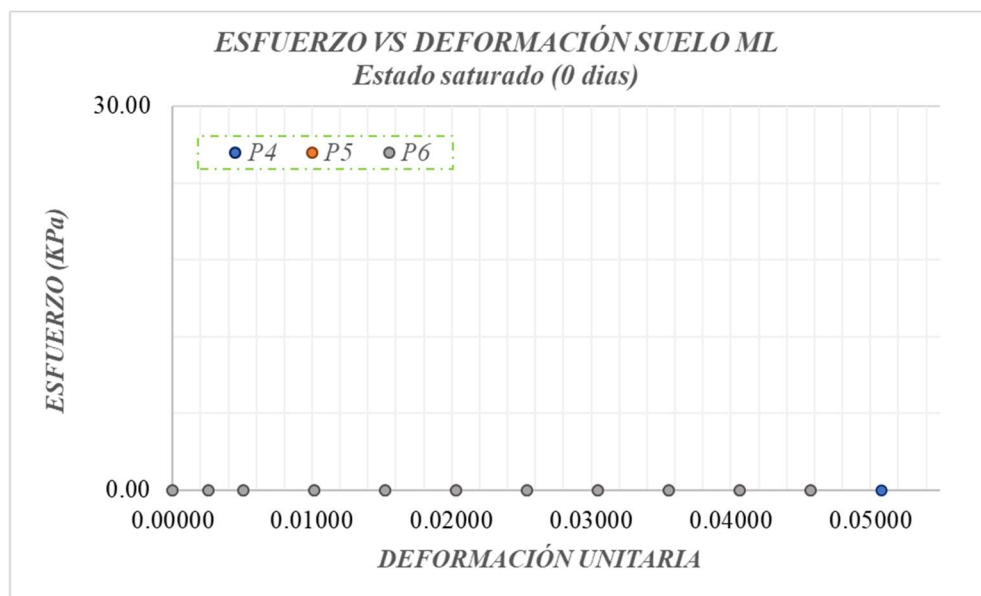
Tabla 37. Datos del ensayo UCS de muestras en estado natural (Saturado) - Arcilla de alta plasticidad (CH).

TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
N°	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P4	0.02032	32.04
2	P5	0.02032	43.43
3	P6	0.01524	12.17
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			29.21

Fuente: Elaboración propia.

5.6.2. Suelo 2 - Limo de baja plasticidad (ML)

Los resultados para el ensayo de resistencia a la compresión inconfiada (UCS) para el suelo 2 - limo de baja plasticidad, realizado sobre probetas sometidas al ensayo de saturación por ascensión capilar se muestran en la Gráfica 19 y en la Tabla 38. Para la condición saturada de ensayo, se obtiene que, dicho suelo no resiste el proceso de saturación, fallando sin ser sometida a ninguna carga, por lo cual se considera que su resistencia es de 0 kPa.



Gráfica 19. Diagrama esfuerzo vs deformación (Estado saturado) - Limo de baja plasticidad (ML).

Fuente: Elaboración propia.

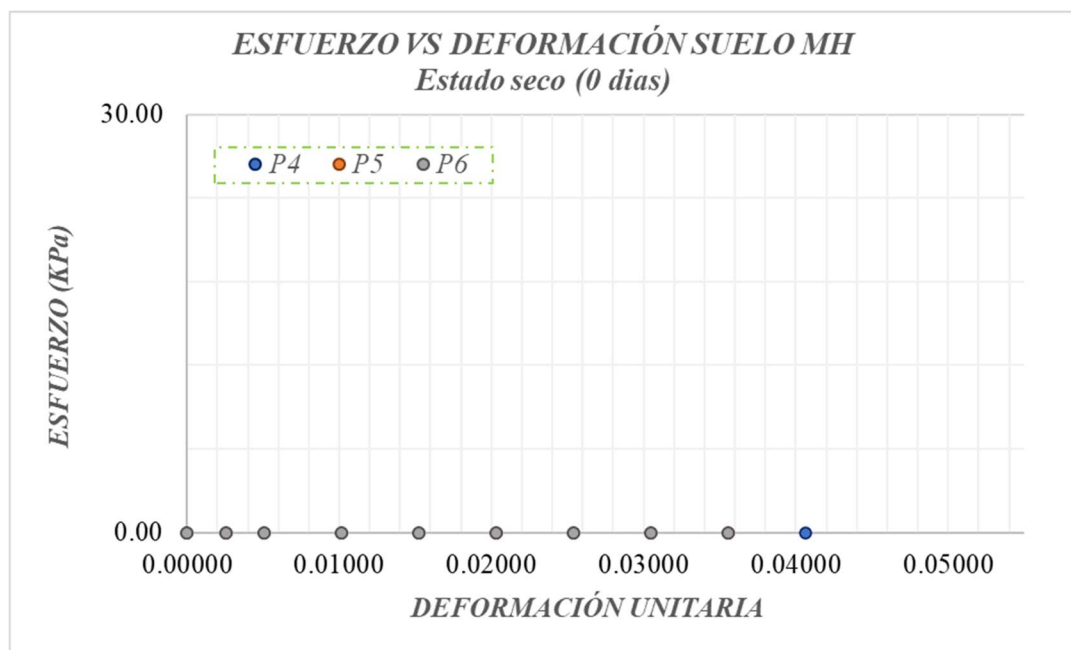
Tabla 38. Datos del ensayo UCS de muestras en estado natural (Saturado) - Limo de baja plasticidad (ML).

TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
N°	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P4	NO SOPORTARON EL PROCESO DE SATURACIÓN	0.00
2	P5		
3	P6		
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			0.00

Fuente: Elaboración propia.

5.6.3. Suelo 3 - Limo de alta plasticidad (MH)

Los resultados para el ensayo de resistencia a la compresión inconfinaada (UCS) para el suelo 3 - limo de alta plasticidad, realizado sobre probetas sometidas al ensayo de saturación por ascensión capilar se muestran en la Gráfica 20 y en la Tabla 39. Para la condición saturada de ensayo, se obtiene que, dicho suelo no resiste el proceso de saturación, fallando sin ser sometida a ninguna carga, por lo cual se considera que su resistencia es de 0 kPa.



Gráfica 20. Diagrama esfuerzo vs deformación (Estado saturado) - Limo de alta plasticidad (MH).
Fuente: Elaboración propia.

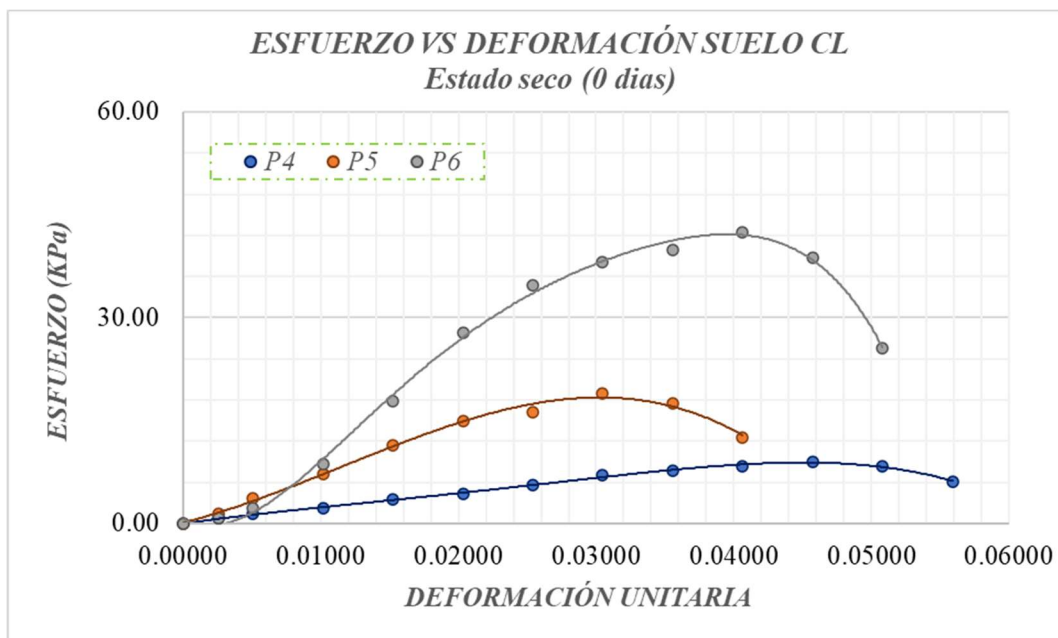
Tabla 39. Datos del ensayo UCS de muestras en estado natural (Saturado) - Limo de alta plasticidad (MH).

TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - q_u			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P4	NO SOPORTARON EL PROCESO DE SATURACIÓN	0.00
2	P5		
3	P6		
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			0.00

Fuente: Elaboración propia.

5.6.4. Suelo 4 - Arcilla de baja plasticidad (CL)

Los resultados para el ensayo de resistencia a la compresión inconfinaada (UCS) para el suelo 4 - arcilla de baja plasticidad, realizado sobre probetas sometidas al ensayo de saturación por ascensión capilar se muestran en la Gráfica 21 y en la Tabla 40. Para la condición saturada de ensayo, se obtiene una resistencia promedio de 23.52 kPa.



Gráfica 21. Diagrama esfuerzo vs deformación (Estado saturado) - Arcilla de baja plasticidad (CL).
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40. Datos del ensayo UCS de muestras en estado natural (Saturado) - Arcilla de baja plasticidad (CL).

TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P4	0.04572	9.02
2	P5	0.03048	19.02
3	P6	0.04064	42.53
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			23.52

Fuente: Elaboración propia.

6. Análisis de resultados: Mezclas de suelo estabilizadas con diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de café

Se estudió el efecto de la dosificación de ceniza de cáscara de café (CCC) sobre los suelos finos recolectados. Para ello, se realizó la determinación de los límites de Atterberg, así como el ensayo de resistencia a la compresión inconfina (UCS).

Los límites de Atterberg indican la posibilidad de problemas geotécnicos como la trabajabilidad y la plasticidad, por lo que juegan un papel importante en la identificación y clasificación del suelo.

El ensayo de resistencia a la compresión inconfina (UCS) es comúnmente utilizado para evaluar la efectividad del aditivo estabilizante. Dicha resistencia es un factor importante para estimar los criterios de diseño para el uso del suelo como material de pavimento. Para este ensayo, se realizaron probetas compactadas en 3 capas. Para cada suelo, se realizaron 3 probetas para cada proporción de ceniza de cáscara de café del 10%, 15%, 20% y 25% del peso seco de la muestra y, además, para cada tiempo de curado de 0, 7, 14 y 28 días. Es decir, para cada etapa de curado, se ensayaron 3 probetas para cada proporción de aditivo aplicado al suelo. Lo anterior se realizó tanto para estado seco como saturado, lo cual implicó la realización de 108 probetas, por tipo de suelo, las cuales tuvieron distintos tiempos de curado. De cada 3 probetas ensayadas, se realizó el promedio de las resistencias dadas, teniendo en cuenta la cercanía de los datos.

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos realizados sobre los suelos estabilizados con diferentes porcentajes de adición de ceniza de cáscara de café y, además, se realiza el análisis correspondiente de dichos datos obtenidos.

6.1. Mezclas de Suelo 1 - Arcilla de alta plasticidad (CH) con diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de café.

A continuación, se presentan los resultados de la dosificación de ceniza de cáscara de café (CCC) sobre el suelo 1 - arcilla de alta plasticidad (CH).

6.1.1. Límites de Atterberg y Clasificación SUCS

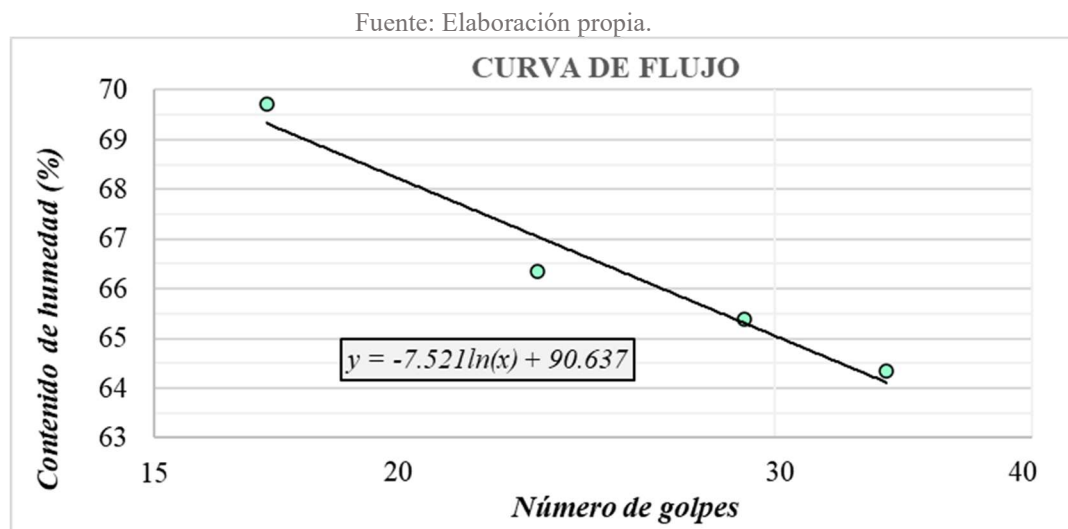
Se realizó la determinación de los límites de Atterberg, para así, clasificarlos y evaluar los efectos de la ceniza (CCC) en el comportamiento de la plasticidad del suelo 1.

10% de ceniza de cáscara de café:

Los resultados de los límites de consistencia y la clasificación SUCS del Suelo 1 estabilizado con 10% CCC se muestran en la Tabla 41 y en la Gráfica 22. De acuerdo con estos ensayos, se determinó que el suelo estabilizado posee un límite líquido de 66% un límite plástico de 31% y un índice de plasticidad de 36%, lo que permite clasificarlo como una arcilla de alta plasticidad (CH).

Tabla 41. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - CH + 10%CCC

Límites de Atterberg	Límite líquido (%)	66
	Límite plástico (%)	31
	Índice de plasticidad (%)	36
Clasificación SUCS	CH	



Gráfica 22. Diagrama de fluidez - CH + 10%CCC

Fuente: Elaboración propia.

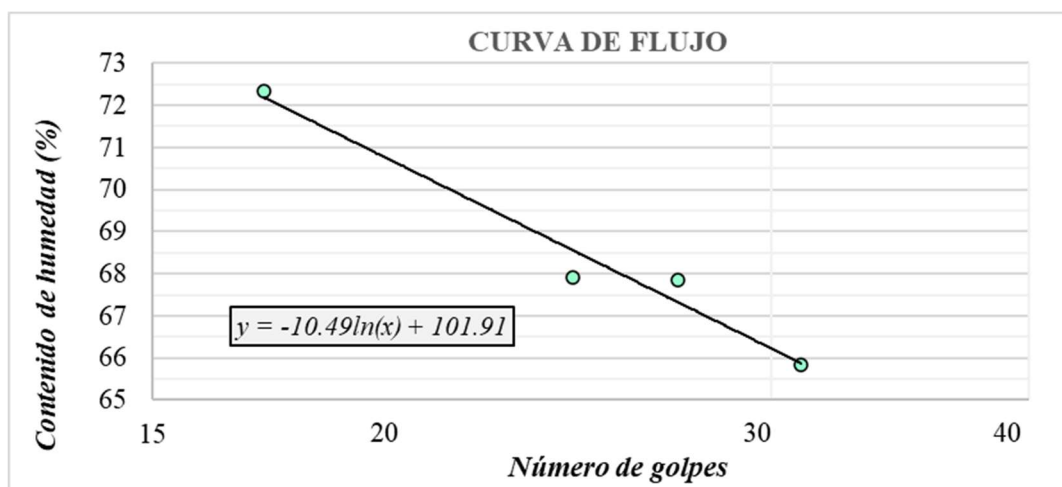
15% de ceniza de cáscara de café

Los resultados de los límites de consistencia y la clasificación SUCS del Suelo 1 estabilizado con 15% CCC se muestran en la Tabla 42 y en la Gráfica 23. De acuerdo con estos ensayos, se determinó que el suelo estabilizado posee un límite líquido de 68% un límite plástico de 32% y un índice de plasticidad de 36%, lo que permite clasificarlo como una arcilla de alta plasticidad (CH).

Tabla 42. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - CH + 15%CCC

Límites de Atterberg	Límite líquido (%)	68
	Límite plástico (%)	32
	Índice de plasticidad (%)	36
Clasificación SUCS	CH	

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 23. Diagrama de fluidez - CH + 15%CCC

Fuente: Elaboración propia.

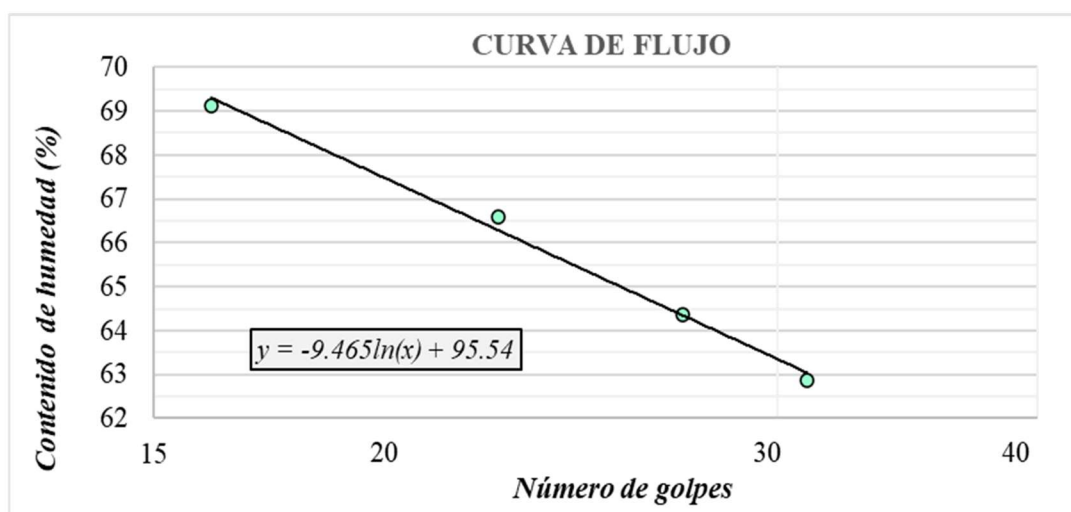
20% de ceniza de cáscara de café

Los resultados de los límites de consistencia y la clasificación SUCS del Suelo 1 estabilizado con 20% CCC se muestran en la Tabla 43 y en la Gráfica 24. De acuerdo con estos ensayos, se determinó que el suelo estabilizado posee un límite líquido de 65% un límite plástico de 35% y un índice de plasticidad de 30%, lo que permite clasificarlo como un limo de alta plasticidad (MH).

Tabla 43. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - CH + 20%CCC

Límites de Atterberg	Límite líquido (%)	65
	Límite plástico (%)	35
	Índice de plasticidad (%)	30
Clasificación SUCS	MH	

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 24. Diagrama de fluidez - CH + 20%CCC

Fuente: Elaboración propia.

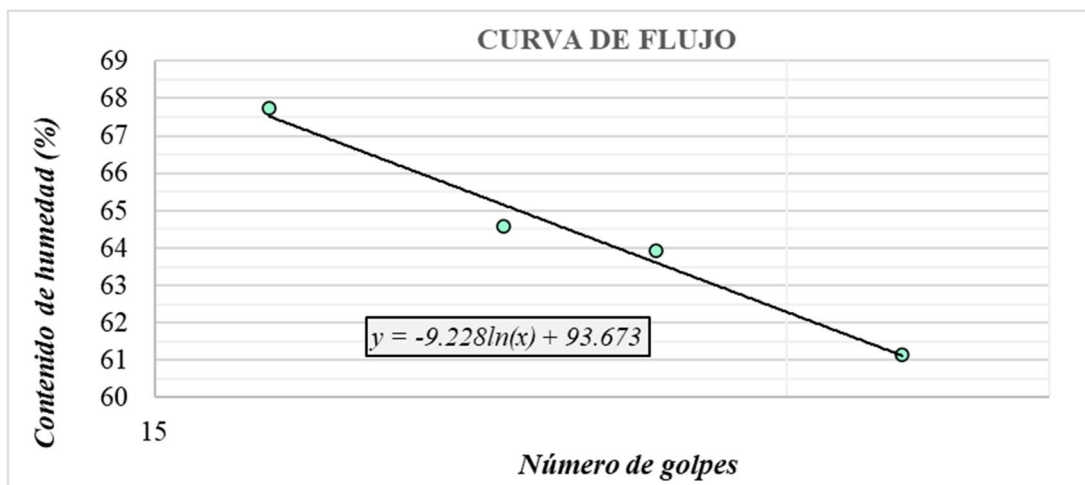
25% de ceniza de cáscara de café

Los resultados de los límites de consistencia y la clasificación SUCS del Suelo 1 estabilizado con 25% CCC se muestran en la Tabla 44 y en la Gráfica 25. De acuerdo con estos ensayos, se determinó que el suelo estabilizado posee un límite líquido de 64% un límite plástico de 34% y un índice de plasticidad de 30%, lo que permite clasificarlo como un limo de alta plasticidad (MH).

Tabla 44. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - CH + 25%CCC

Límites de Atterberg	Límite líquido (%)	64
	Límite plástico (%)	34
	Índice de plasticidad (%)	30
Clasificación SUCS	MH	

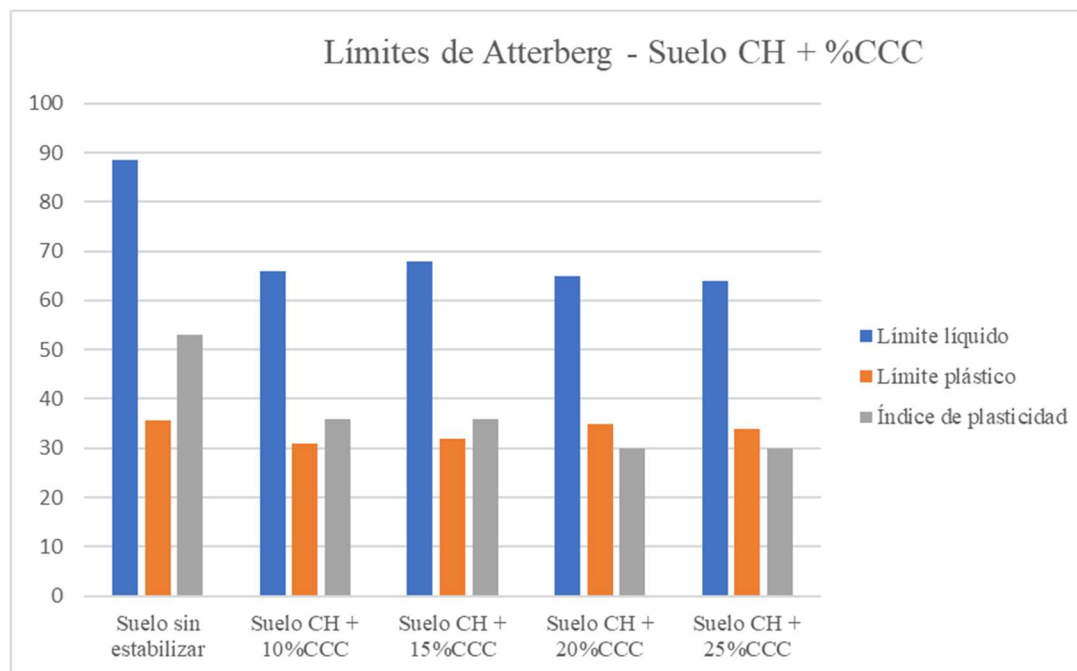
Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 25. Diagrama de fluidez - CH + 25%CCC

Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la Gráfica 26, una comparación del comportamiento de los límites de Atterberg para las mezclas de suelo 1 con diferentes proporciones de ceniza de cáscara de café, con respecto al suelo en estado natural o sin estabilizar.



Gráfica 26. Resumen - Límites de Atterberg - CH + %CCC

Fuente: Elaboración propia.

Así, se observa el efecto de la dosificación de ceniza en las diferentes proporciones sobre la plasticidad del suelo. Inicialmente, se observa una considerable disminución del límite líquido al agregarle el aditivo, además de una disminución similar el índice de plasticidad, pues el suelo en estado natural o sin estabilizar, posee un límite líquido de 88.6% y un índice de plasticidad de 52.9%; valores los cuales se reducen considerablemente hasta obtener un límite líquido de 64% y un índice de plasticidad del 30%, para una proporción de suelo con adición de CCC del 25%. Lo anterior se evidencia, también, en el cambio de clasificación del suelo, pues este en estado natural se clasifica como una arcilla de alta plasticidad y, al agregarle ceniza de cáscara de café, se convierte en un limo de alta plasticidad.

Los resultados en la reducción de la plasticidad del suelo al adicionarle ceniza de cáscara de café puede deberse a las reacciones químicas entre la CCC y el suelo, como afirma Atahu et al. (2020): puede deberse a un comportamiento similar al que tiene el cemento al entrar en contacto con el agua, lo cual implica una floculación y aglomeración de partículas de arcilla, reduciendo así, la absorción de agua y, por lo tanto, la plasticidad.

Lo anterior puede indicar que el suelo se convierte en uno más estable, convirtiéndose en un suelo menos expansivo y con el cual se puede realizar una mejor compactación, pues a menos índice de plasticidad, menor es el potencial de expansión.

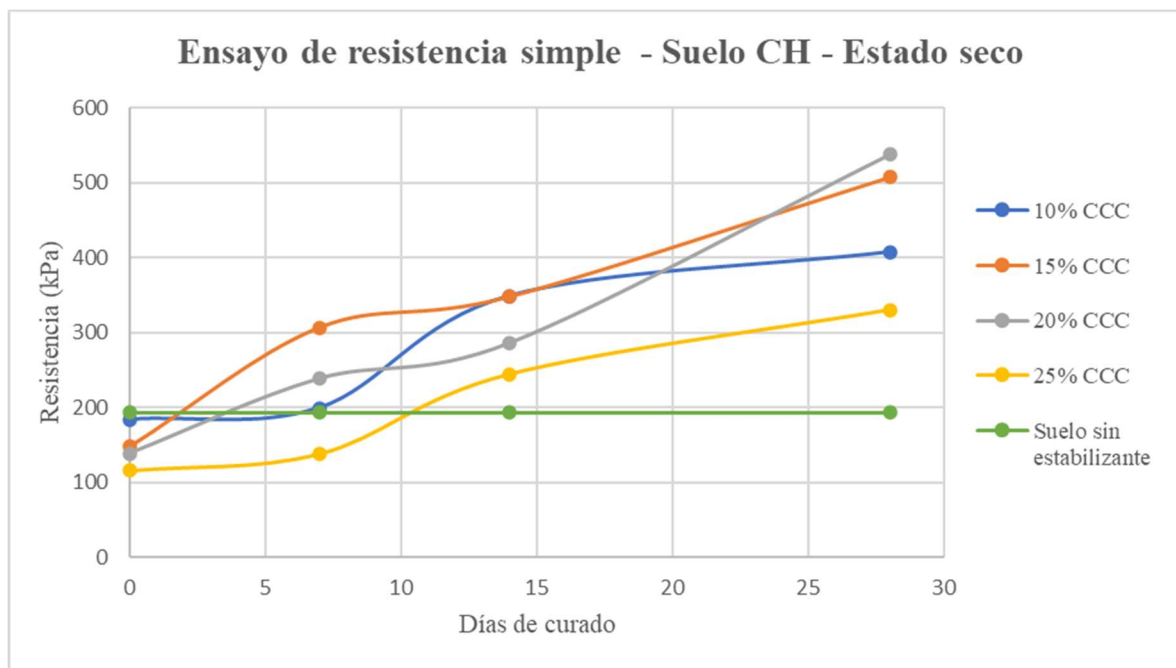
6.1.2. Resistencia a la compresión inconfiada

Los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión inconfiada (UCS) realizada sobre probetas en estado seco para las mezclas de suelo 1 - Arcilla de alta plasticidad (CH) con los diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de café (CCC) se muestran en la Tabla 45 y en la Gráfica 27.

Tabla 45. Resumen - Resistencia a la compresión inconfiada (Estado seco) - CH + %CCC

Datos promedio - Probetas en estado seco - CH					
Tiempo de curado (días)	Suelo sin estabilizante	10% CCC	15% CCC	20% CCC	25% CCC
	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)
0	192.72	184.13	147.46	138.44	115.86
7	192.72	199.39	306.89	238.52	138.13
14	192.72	348.8	348.05	285.88	244.39
28	192.72	407.28	507.25	537.44	330.01

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 27. Resistencia vs Tiempo de curado (UCS) - Estado seco - CH +%CCC
Fuente: Elaboración propia.

De lo anterior, se observa la influencia que tiene la CCC sobre el suelo arcilloso de alta plasticidad, mostrando un considerable mejoramiento. Inicialmente, la resistencia del suelo es mayor en su estado natural (192.72 kPa), sin embargo, a medida que transcurre el tiempo de curado de las mezclas de suelo con aditivo, el suelo se convierte en uno más resistente. Lo anterior se debe al tiempo que toman las reacciones químicas que se están generando en la mezcla.

El aumento de resistencia en las muestras de suelo arcilloso de alta plasticidad tratadas con ceniza de cáscara de café se debe, principalmente, a la formación de material de cementación, al igual que podría deberse a un mejor entrelazamiento de partículas, permitiendo que se someta a una mayor carga, sin fallar.

Así, para un porcentaje de adición de 10% CCC se obtuvo una resistencia de 407 kPa; para el 15%CCC aumentó a 507 kPa; y para el 20% aumentó a 537 kPa. De aquí, se observa que la resistencia del suelo es casi triplicada al adicionarle el 20%CCC, por lo que se puede establecer a dicho porcentaje cómo el óptimo para estabilizar una arcilla de alta plasticidad (CH).

Cabe mencionar que, para el 25% CCC de adición, la resistencia solamente logró llegar a 330kPa. La disminución de la resistencia del suelo arcilloso de alta plasticidad después de un contenido de 25%CCC puede deberse a un exceso de aditivo, dificultando así la reacción Ceniza - Suelo, disminuyendo la unión entre dichos materiales. Además, la CCC, al ser tan liviana, aportaría una menor densidad al suelo, haciéndolo propenso a fallar.

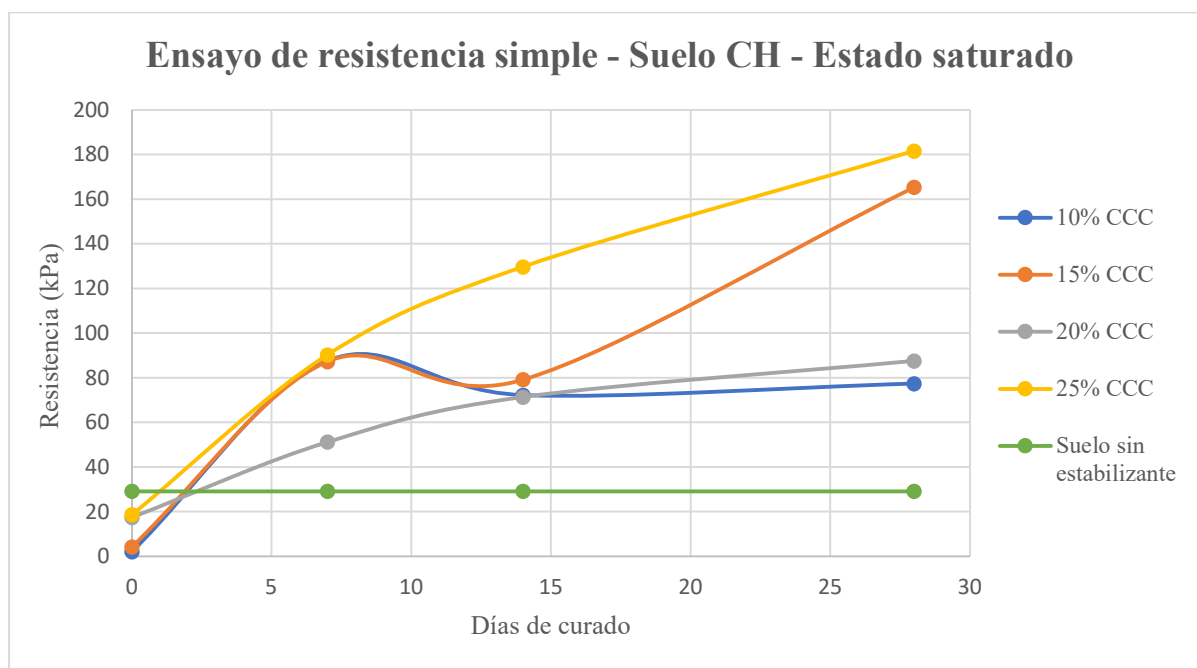
6.1.3. Ensayo de estabilidad al agua

Los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión inconfina (UCS) realizada sobre probetas en estado saturado para las mezclas de suelo 1 - Arcilla de alta plasticidad (CH) con los diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de café (CCC) se muestran en la Tabla 46 y en la Gráfica 28.

Tabla 46. Resumen - Resistencia a la compresión inconfina (Estado saturado) - CH + %CCC

Datos promedio - Probetas en estado saturado - CH					
Tiempo de curado (días)	Suelo sin estabilizante	10% CCC	15% CCC	20% CCC	25% CCC
	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)
0	29.21	2.15	4.32	17.49	18.71
7	29.21	87.7	87.31	51.26	90.3
14	29.21	72.26	79.2	71.4	129.76
28	29.21	77.4	165.35	87.57	181.64

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 28. Resistencia vs Tiempo de curado (UCS) - Estado saturado - CH +%CCC

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó el ensayo de estabilidad al agua con el fin de determinar el comportamiento de la mezcla de suelo arcilloso de alta plasticidad con CCC cuando se encuentra a la intemperie. Se puede observar que el agua tiene un efecto negativo sobre el suelo, disminuyendo su resistencia a un 15% de la resistencia que tiene en estado seco, sin embargo, para las mezclas de suelo con aditivo, a medida que aumenta el tiempo de curado, aumenta la resistencia, lo cual indica que la CCC tiene un efecto estabilizante en presencia del agua. Las fuerzas de atracción entre las partículas del suelo estabilizado funcionan de manera similar a como lo haría un material

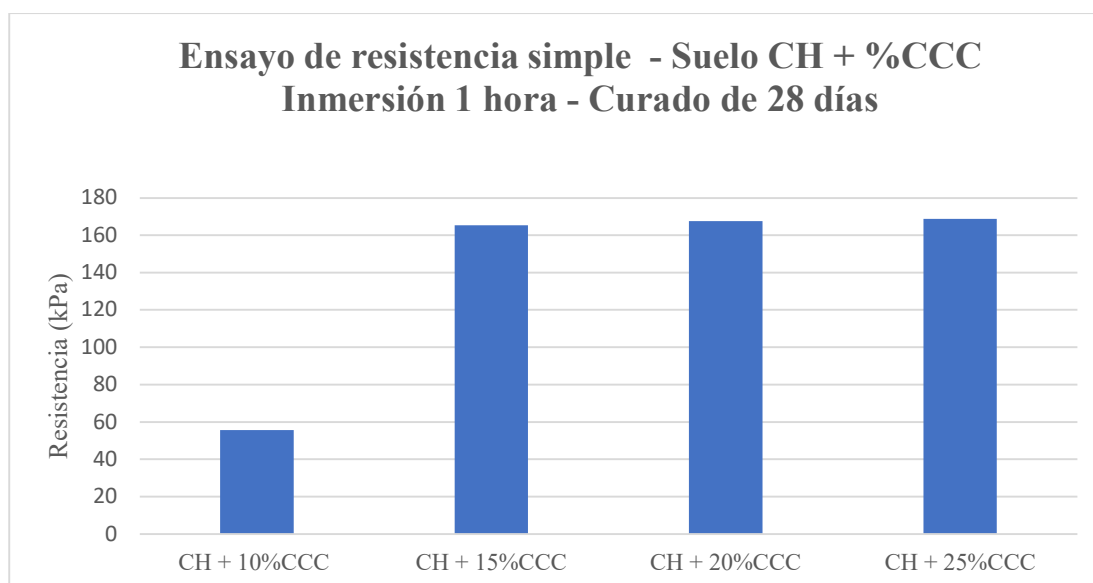
cementante luego de su etapa de curado, generando así, que la presión capilar generada en las paredes de los poros disminuya, eliminando paulatinamente el riesgo de colapso.

Es así que, para una adición de 10%CCC, la resistencia del suelo logró llegar a valores de 77.1kPa, para el 15%CCC alcanzó valores de 165.35kPa; para el 20%CCC llegó a 87.57kPa; y para un 25%CCC, la resistencia del suelo fue de 181.64kPa.

Cabe mencionar que, entre mayor es el contenido de CCC en la mezcla, la absorción del agua es más rápida, lo anterior se evidenciaba en el momento de saturar las probetas, ya que las que se saturaban con mayor rapidez eran aquellas que contenían 25%CCC. Lo anterior permite concluir que la CCC absorbe con mucha facilidad el agua.

Existieron algunos factores que pudieron contribuir a los resultados obtenidos para un porcentaje de adición de ceniza sobre el suelo de 20%, como lo fue la variabilidad en la persona responsable de realizar el ensayo.

Adicionalmente, se realizó el ensayo de resistencia a la compresión inconfiada (UCS) mediante el método B, para probetas sometidas a 28 días de curado. Para ello, fueron tomadas de la cámara húmeda donde estaban almacenadas y, fueron ensayadas, de tal manera que los resultados de resistencia se observan en la Gráfica 29.



Gráfica 29. Resistencia a la compresión inconfiada (Inmersión a 1 hora), 28 días de curado - CH + %CCC.
Fuente: Elaboración propia.

Este método se empleó únicamente a los 28 días de curado, debido al colapso que presentaban las probetas para edades de curado menores. Los resultados permiten determinar que las reacciones químicas que tiene el suelo con CCC generan, a lo largo del tiempo, una mayor estabilidad, permitiendo la mezcla pueda ser sometida a procesos de inmersión. Lo anterior respalda el planteamiento que afirma que la ceniza se comporta de manera similar a como lo haría un material cementante. Así, se establece que, para un suelo arcilloso de alta plasticidad, en condiciones húmedas, puede ser estabilizado de manera óptima con una adición de 15%CCC.

6.2. Mezclas de Suelo 2 - Limo de baja plasticidad (ML) con diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de café

A continuación, se presentan los resultados de la dosificación de ceniza de cáscara de café (CCC) sobre el suelo 1 - arcilla de alta plasticidad (CH).

6.2.1. Límites de Atterberg y Clasificación SUCS

Se realizó la determinación de los límites de Atterberg, para así, clasificarlos y evaluar los efectos de la ceniza (CCC) en el comportamiento de la plasticidad del suelo 1.

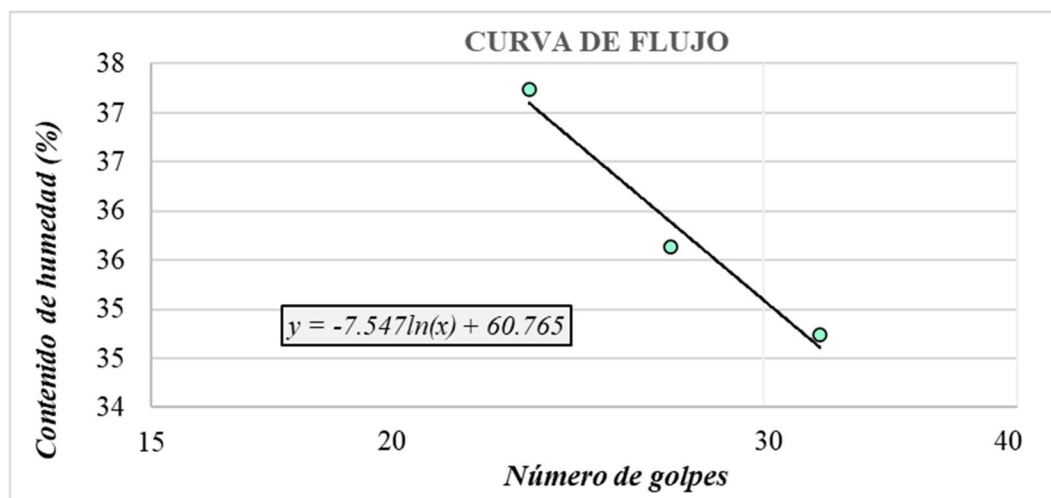
10% de ceniza de cáscara de café

Los resultados de los límites de consistencia y la clasificación SUCS del Suelo 2 estabilizado con 10% CCC se muestran en la Tabla 47 y en la Gráfica 30. De acuerdo con estos ensayos, se determinó que el suelo estabilizado posee un límite líquido de 36% un límite plástico de 25% y un índice de plasticidad de 11%, lo que permite clasificarlo como un limo de baja plasticidad (ML).

Tabla 47. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - ML + 10%CCC

Límites de Atterberg	Límite líquido (%)	36
	Límite plástico (%)	25
	Índice de plasticidad (%)	11
Clasificación SUCS	ML	

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 30. Diagrama de fluidez - ML +10%CCC

Fuente: Elaboración propia.

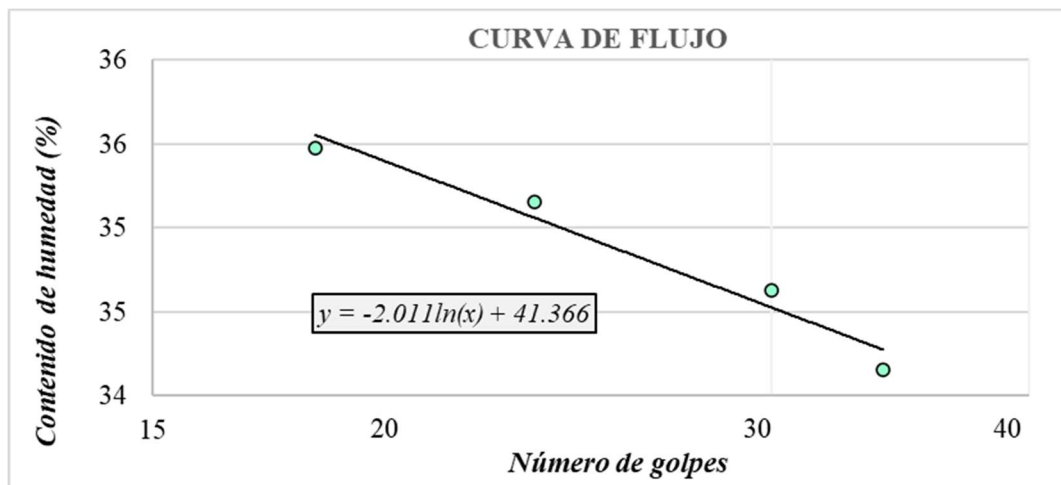
15% de ceniza de cáscara de café

Los resultados de los límites de consistencia y la clasificación SUCS del Suelo 2 estabilizado con 15% CCC se muestran en la Tabla 48 y en la Gráfica 31. De acuerdo con estos ensayos, se determinó que el suelo estabilizado posee un límite líquido de 35% un límite plástico de 28% y un índice de plasticidad de 7%, lo que permite clasificarlo como un limo de baja plasticidad (ML).

Tabla 48. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - ML + 15%CCC

Límites de Atterberg	Límite líquido (%)	35
	Límite plástico (%)	28
	Índice de plasticidad (%)	7
Clasificación SUCS	ML	

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 31. Diagrama de fluidez - ML + 15%CCC

Fuente: Elaboración propia.

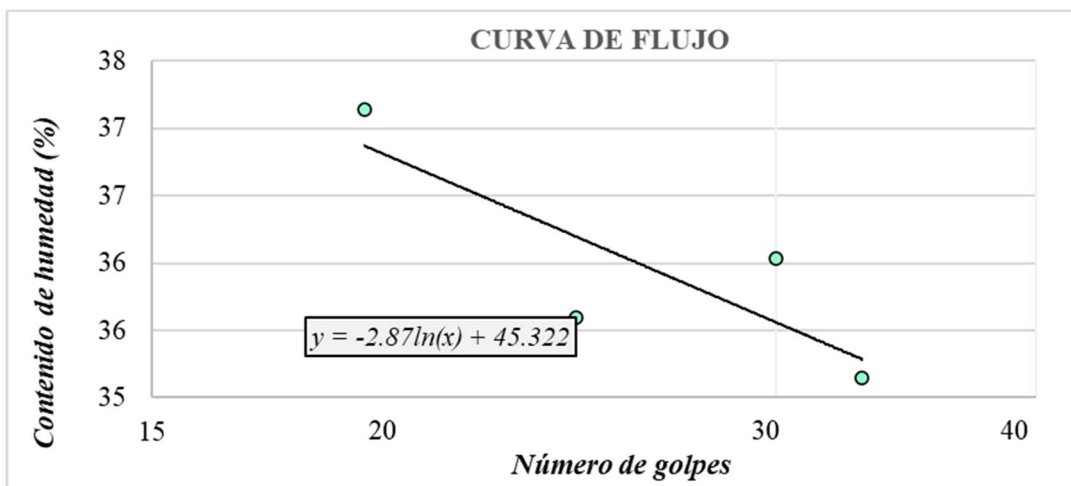
20% de ceniza de cáscara de café

Los resultados de los límites de consistencia y la clasificación SUCS del Suelo 2 estabilizado con 20% CCC se muestran en la Gráfica 32. De acuerdo con estos ensayos, se determinó que el suelo estabilizado posee un límite líquido de 36% un límite plástico de 26% y un índice de plasticidad de 10%, lo que permite clasificarlo como un limo de baja plasticidad (ML).

Tabla 49. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - ML + 20%CCC

Límites de Atterberg	Límite líquido (%)	36
	Límite plástico (%)	26
	Índice de plasticidad (%)	10
Clasificación SUCS	ML	

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 32. Diagrama de fluidez - ML +20%CCC
Fuente: Elaboración propia.

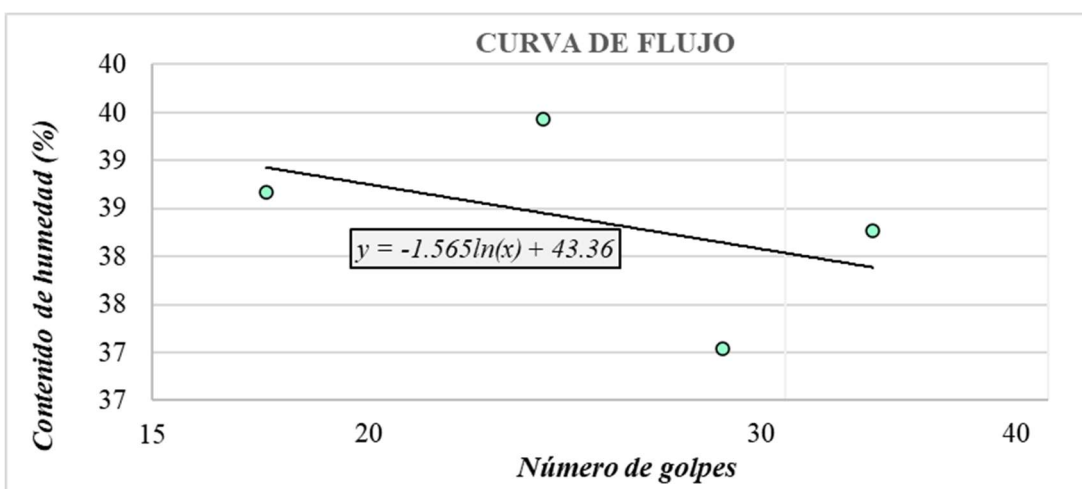
25% de ceniza de cáscara de café

Los resultados de los límites de consistencia y la clasificación SUCS del Suelo 2 estabilizado con 25% CCC se muestran en la Tabla 50 y en la Gráfica 33. De acuerdo con estos ensayos, se determinó que el suelo estabilizado posee un límite líquido de 38% un límite plástico de 25% y un índice de plasticidad de 13%, lo que permite clasificarlo como un limo de baja plasticidad (ML).

Tabla 50. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - ML + 25%CCC

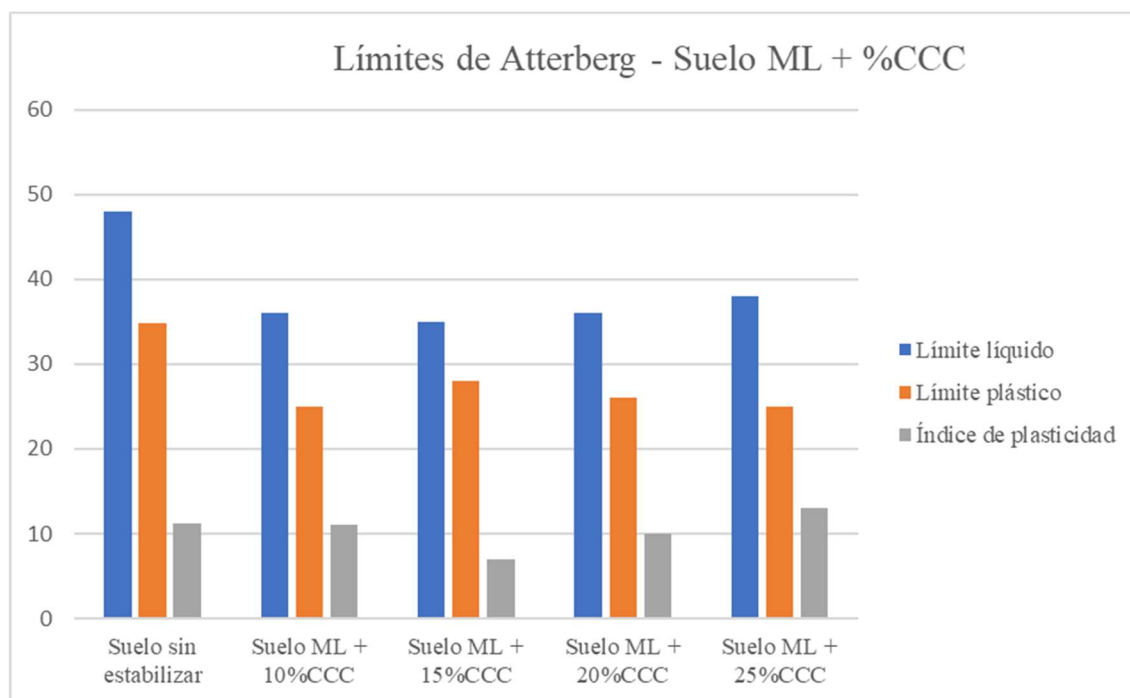
Límites de Atterberg	Límite líquido (%)	38
	Límite plástico (%)	25
	Índice de plasticidad (%)	13
Clasificación SUCS	ML	

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 33. Diagrama de fluidez - ML +25%CCC
Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la Gráfica 34, una comparación del comportamiento de los límites de Atterberg para las mezclas de suelo 2 con diferentes proporciones de ceniza de cáscara de café, con respecto al suelo en estado natural o sin estabilizar.



Gráfica 34. Resumen - Límites de Atterberg - ML + %CCC
Fuente: Elaboración propia.

De lo anterior, se observa el efecto de la dosificación de ceniza en las diferentes proporciones sobre la plasticidad del suelo limoso de baja plasticidad. Se determinó una considerable disminución del límite líquido al agregarle el aditivo, sin embargo, su índice de plasticidad no presenta cambios significativos. La muestra de suelo sin estabilizar posee un límite líquido de 48% y un índice de plasticidad de 11.2%, y, la mayor disminución presentada en dichos valores le corresponde a la mezcla de suelo con 15%CCC, la cual obtuvo un límite líquido de 35% y un índice de plasticidad del 10%. Así, se observó que la reacción entre el suelo limoso de baja plasticidad y CCC no genera efectos representativos sobre la plasticidad del suelo limoso de baja plasticidad.

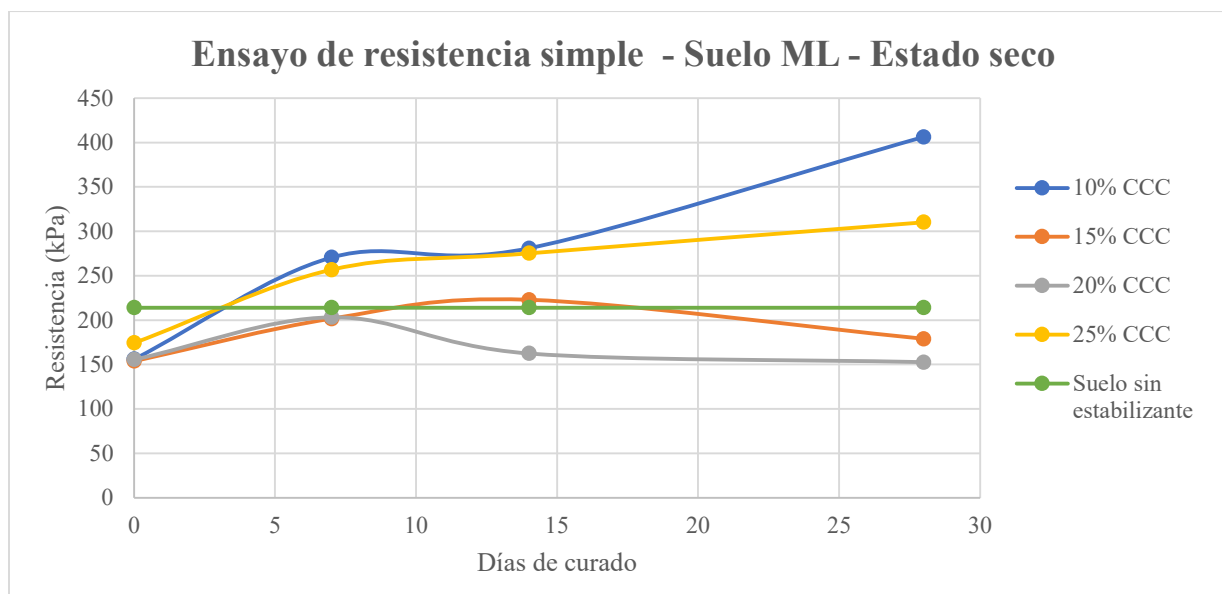
6.2.2. Resistencia a la compresión inconfiada

Los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión inconfiada (UCS) realizada sobre probetas en estado seco para las mezclas de suelo 2 - limo de baja plasticidad (ML) con los diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de café (CCC) se muestran en la Tabla 51 y en la Gráfica 35.

Tabla 51. Resumen - Resistencia a la compresión inconfiada (Estado seco) - ML + %CCC

Datos promedio - Probetas en estado seco - ML					
Tiempo de curado (días)	Suelo sin estabilizante	10% CCC	15% CCC	20% CCC	25% CCC
	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)
0	214.2	156.04	153.99	155.7	174.49
7	214.2	270.72	201.81	203.26	256.77
14	214.2	281.08	222.95	162.54	275.48
28	214.2	406.5	179.08	152.6	310.45

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 35. Resistencia vs Tiempo de curado (UCS) - Estado seco - ML +%CCC

Fuente: Elaboración propia.

La resistencia del suelo estabilizado con los diferentes porcentajes de ceniza es, inicialmente, menor al valor de resistencia del suelo en estado natural (214.2 kPa). Sin embargo, a medida que el tiempo de curado va incrementando, se observa un aumento en la resistencia pues, para 28 días de curado y un porcentaje de adición del 10%CCC, la resistencia del suelo limoso de baja plasticidad logra aumentar casi al doble, llegando a ser de 406.5 kPa.

Cabe mencionar que, para la realización de este ensayo, sobre este suelo en particular, se presentaron variaciones en el lugar de almacenamiento de las probetas, pues las cámaras húmedas donde se ubicaron para cumplir con el tiempo de curado fueron diferentes para cada porcentaje, por lo cual afectaron la humedad de las probetas. Lo anterior puede explicar el comportamiento de disminución de resistencia para las mezclas de suelo con 15%CCC y 20%CCC. Sin embargo, para los porcentajes de adición de 10%CCC y 25%CCC, se observa una tendencia al aumento de la resistencia a medida que transcurre el tiempo de curado. Teniendo en cuenta los resultados de estabilidad al agua para este tipo de suelo, los cuales se muestran más adelante, el porcentaje que genera mejores resultados es de adición de ceniza de cáscara de café para un suelo limoso de baja plasticidad es del 25%.

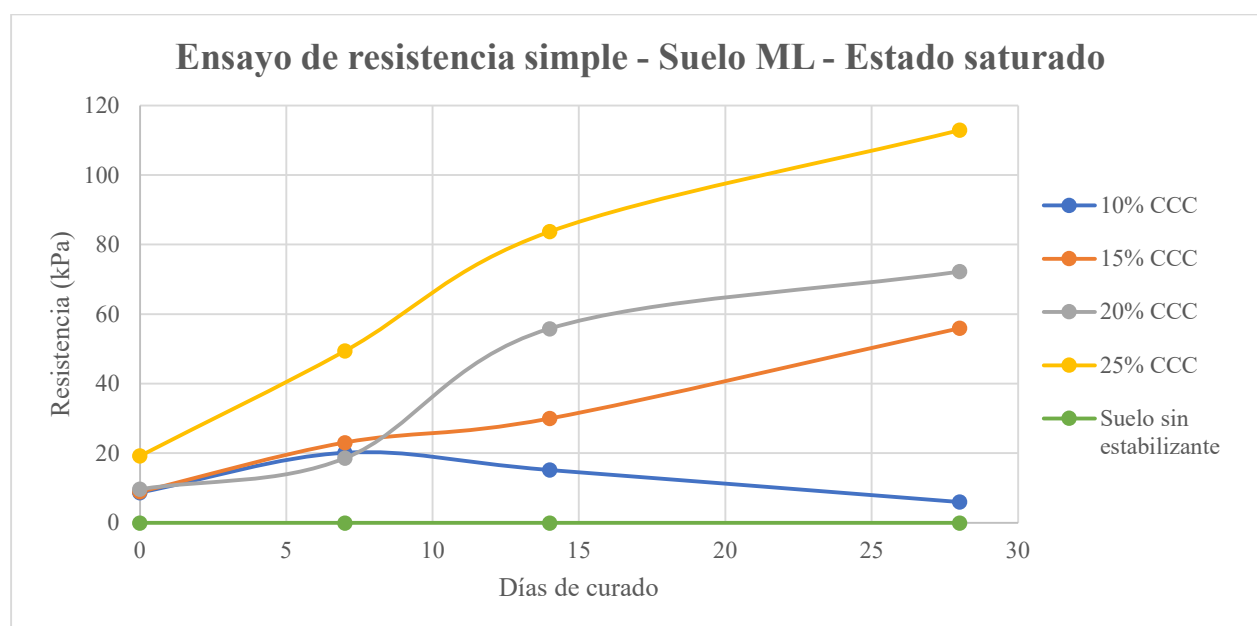
6.2.3. Ensayo de estabilidad al agua

Los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión inconfina (UCS) realizada sobre probetas en estado saturado para las mezclas de Limo de baja plasticidad (ML) con los diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de café (CCC) se muestran en la Tabla 52 y en la Gráfica 36.

Tabla 52. Resumen - Resistencia a la compresión inconfina (Estado saturado) - ML + %CCC

Datos promedio - Probetas en estado saturado - ML					
Tiempo de curado (días)	Suelo sin estabilizante	10% CCC	15% CCC	20% CCC	25% CCC
	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)
0	0	8.75	8.96	9.7	19.29
7	0	20.13	23.11	18.61	49.44
14	0	15.23	30.03	55.86	83.77
28	0	6.02	56.01	72.27	112.97

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 36. Resistencia vs Tiempo de curado (UCS) - Estado saturado - ML +%CCC

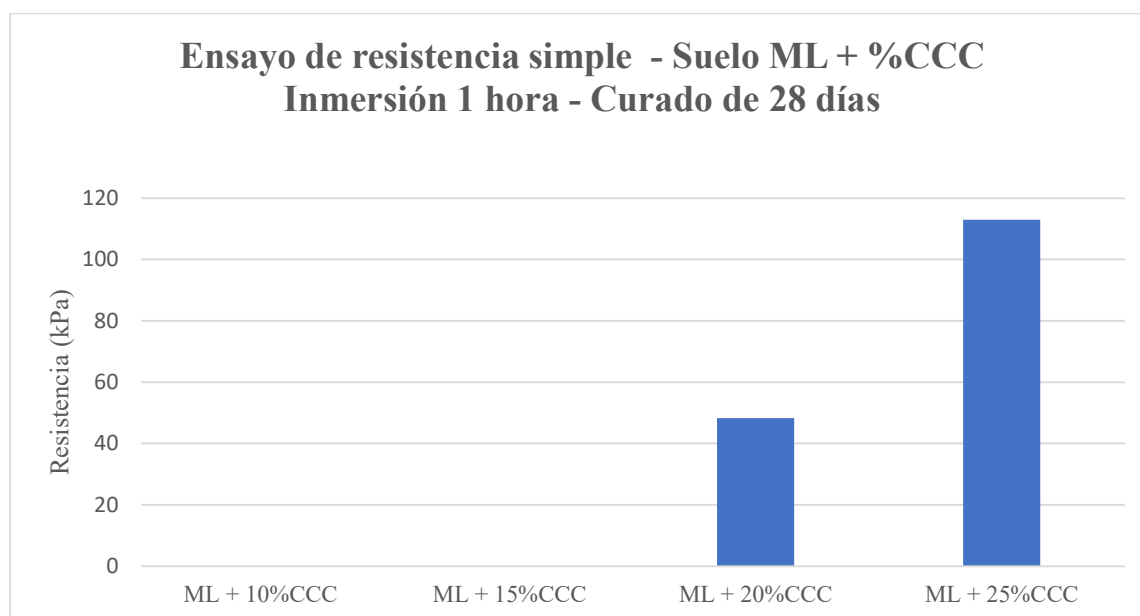
Fuente: Elaboración propia.

Se realizó el ensayo de estabilidad al agua con el fin de determinar el comportamiento de la mezcla de suelo limoso de baja plasticidad con CCC cuando se encuentra a la intemperie. Se puede observar que el agua tiene un efecto negativo sobre el suelo, disminuyendo su resistencia a cero, por lo que no es capaz de soportar ningún tipo de carga, convirtiéndolo en un suelo muy inestable, sin embargo, para las mezclas de suelo con aditivo, a medida que aumenta el tiempo de curado, aumenta la resistencia, lo cual indica, tal como con el suelo 1, que la CCC tiene un efecto estabilizante en presencia del agua.

Es así que, para una adición de 25%CCC, la resistencia del suelo logró llegar a ser de 112.97 kPa. Lo anterior implica que la CCC si aporta resistencia al suelo en condiciones húmedas y que, entre mayor sea el porcentaje de ceniza aplicado, mayor estabilidad obtendrá, a tal punto que logrará obtener una resistencia similar a la que se tiene en condiciones secas.

Tal como sucedió con el suelo 1, entre mayor es el contenido de CCC en la mezcla, la absorción del agua es más rápida, ya que las que se saturaban con mayor rapidez eran aquellas que contenían 25%CCC. Lo anterior permite concluir, nuevamente, que la CCC absorbe con mucha facilidad el agua.

Ahora, se realizó el ensayo de resistencia a la compresión inconfiada (UCS) mediante el método B, para probetas sometidas a 28 días de curado. Los resultados de resistencia se observan en la Gráfica 37.



Gráfica 37. Resistencia a la compresión inconfiada (Inmersión a 1 hora), 28 días de curado- ML + %CCC.
Fuente: Elaboración propia.

Al igual que para el suelo 1, se realizó el proceso de inmersión únicamente para probetas con edades de curado de 28 días. Los valores obtenidos refuerzan la hipótesis sobre la estabilidad que aporta la ceniza de cáscara de café en los suelos, pues, aunque para porcentajes de adición del 10%CCC y 15%CCC las probetas colapsaron antes de cumplir con el tiempo de inmersión, para valores mayores si se logró presenciar un aumento en la resistencia que, por lo tanto, implica que si existe una estabilidad al agua, la cual se va consolidando con el paso del tiempo.

6.3. Mezclas de Suelo 3 - Limo de alta plasticidad (MH) con diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de café

A continuación, se presentan los resultados de la dosificación de ceniza de cáscara de café (CCC) sobre el suelo 1 - arcilla de alta plasticidad (CH).

6.3.1. Límites de Atterberg y Clasificación SUCS

Se realizó la determinación de los límites de Atterberg, para así, clasificarlos y evaluar los efectos de la ceniza (CCC) en el comportamiento de la plasticidad del suelo 1.

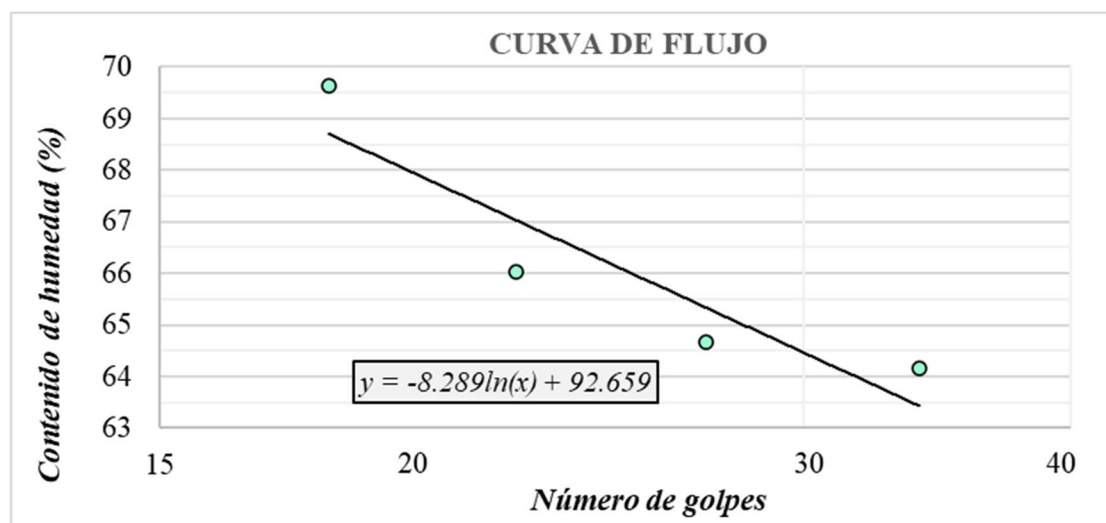
10% de ceniza de cáscara de café

Los resultados de los límites de consistencia y la clasificación SUCS del Suelo 3 estabilizado con 10% CCC se muestran en la Tabla 53 y en la Gráfica 38. De acuerdo con estos ensayos, se determinó que el suelo estabilizado posee un límite líquido de 66% un límite plástico de 46% y un índice de plasticidad de 20%, lo que permite clasificarlo como un limo de alta plasticidad (MH).

Tabla 53. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - MH + 10%CCC

Límites de Atterberg	Límite líquido (%)	66
	Límite plástico (%)	46
	Índice de plasticidad (%)	20
Clasificación SUCS	MH	

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 38. Diagrama de fluidez - MH +10%CCC

Fuente: Elaboración propia.

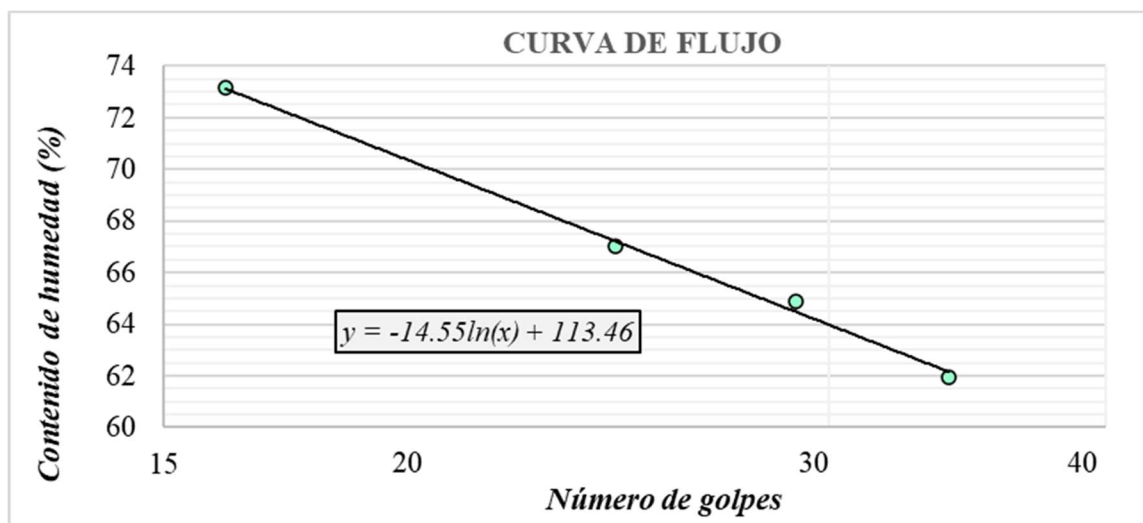
15% de ceniza de cáscara de café

Los resultados de los límites de consistencia y la clasificación SUCS del Suelo 3 estabilizado con 15% CCC se muestran en la Tabla 54 y en la Gráfica 39. De acuerdo con estos ensayos, se determinó que el suelo estabilizado posee un límite líquido de 67% un límite plástico de 52% y un índice de plasticidad de 15%, lo que permite clasificarlo como un limo de alta plasticidad (MH).

Tabla 54. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - MH + 15%CCC

Límites de Atterberg	Límite líquido (%)	67
	Límite plástico (%)	52
	Índice de plasticidad (%)	15
Clasificación SUCS	MH	

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 39. Diagrama de fluidez - MH + 15%CCC

Fuente: Elaboración propia.

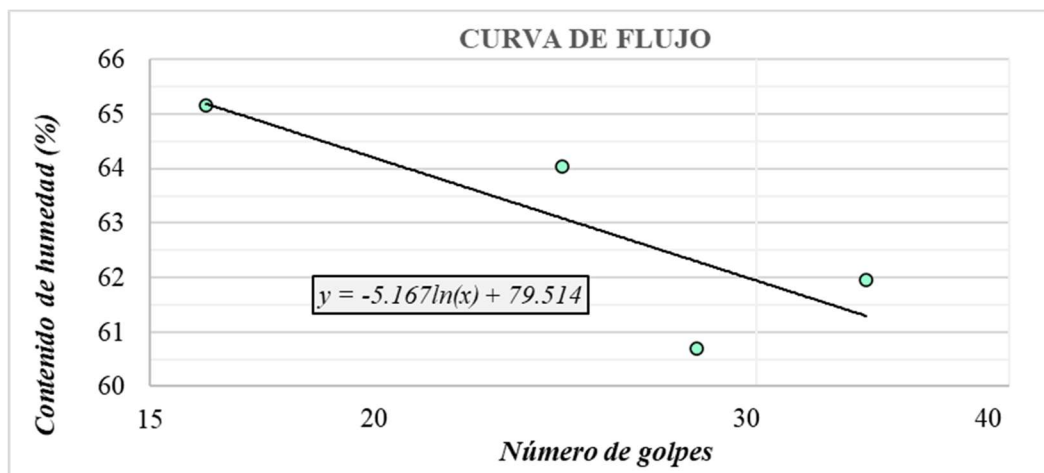
20% de ceniza de cáscara de café

Los resultados de los límites de consistencia y la clasificación SUCS del Suelo 3 estabilizado con 20% CCC se muestran en la Tabla 55 y en la Gráfica 40. De acuerdo con estos ensayos, se determinó que el suelo estabilizado posee un límite líquido de 63% un límite plástico de 40% y un índice de plasticidad de 23%, lo que permite clasificarlo como un limo de alta plasticidad (MH).

Tabla 55. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - MH + 20%CCC

Límites de Atterberg	Límite líquido (%)	63
	Límite plástico (%)	40
	Índice de plasticidad (%)	23
Clasificación SUCS	MH	

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 40. Diagrama de fluidez - MH +20%CCC
Fuente: Elaboración propia.

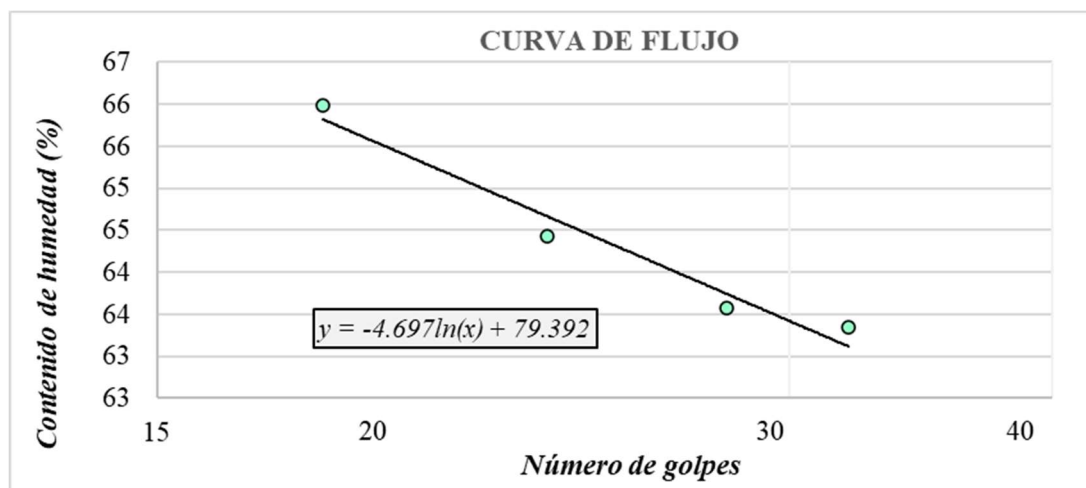
25% de ceniza de cáscara de café

Los resultados de los límites de consistencia y la clasificación SUCS del Suelo 3 estabilizado con 25% CCC se muestran en la Tabla 56 y en la Gráfica 41. De acuerdo con estos ensayos, se determinó que el suelo estabilizado posee un límite líquido de 65% un límite plástico de 43% y un índice de plasticidad de 22%, lo que permite clasificarlo como un limo de alta plasticidad (MH).

Tabla 56. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - MH + 25%CCC

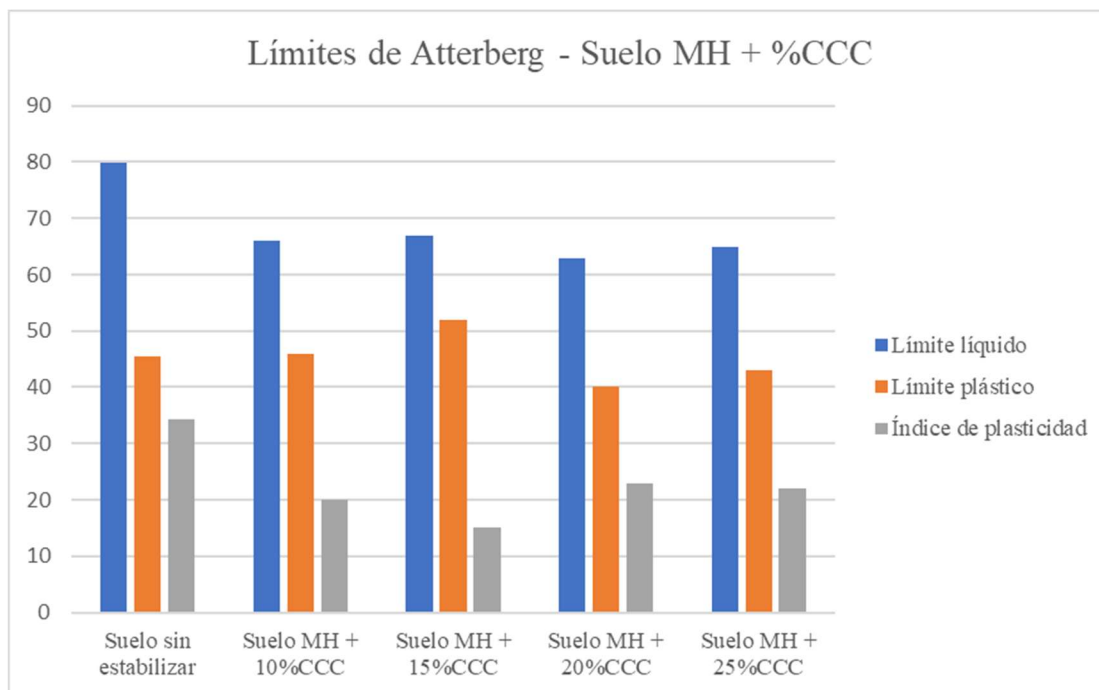
Límites de Atterberg	Límite líquido (%)	65
	Límite plástico (%)	43
	Índice de plasticidad (%)	22
Clasificación SUCS	MH	

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 41. Diagrama de fluidez - MH +25%CCC
Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la Gráfica 42, una comparación del comportamiento de los límites de Atterberg para las mezclas de suelo 3 con diferentes proporciones de ceniza de cáscara de café, con respecto al suelo en estado natural o sin estabilizar.



Gráfica 42. Resumen - Límites de Atterberg - MH + %CCC
Fuente: Elaboración propia.

Se observa el efecto de la dosificación de ceniza en las diferentes proporciones sobre la plasticidad del suelo limoso de alta plasticidad. Se determinó una considerable disminución del límite líquido y del índice de plasticidad al agregarle el aditivo. La muestra de suelo sin estabilizar posee un límite líquido de 79.8% y un índice de plasticidad de 34.3%, y, la mayor disminución presentada en dichos valores le corresponde a la mezcla de suelo con 15%CCC, la cual obtuvo un límite líquido de 63% y un índice de plasticidad del 15%. Así, se demostró que la reacción entre el suelo limoso de alta plasticidad y la CCC genera una disminución representativa sobre la plasticidad del suelo.

Lo anterior puede indicar que el suelo se convierte en uno más estable, convirtiéndose en un suelo menos expansivo y con el cual se puede realizar una mejor compactación, pues a menos índice de plasticidad, menor es el potencial de expansión.

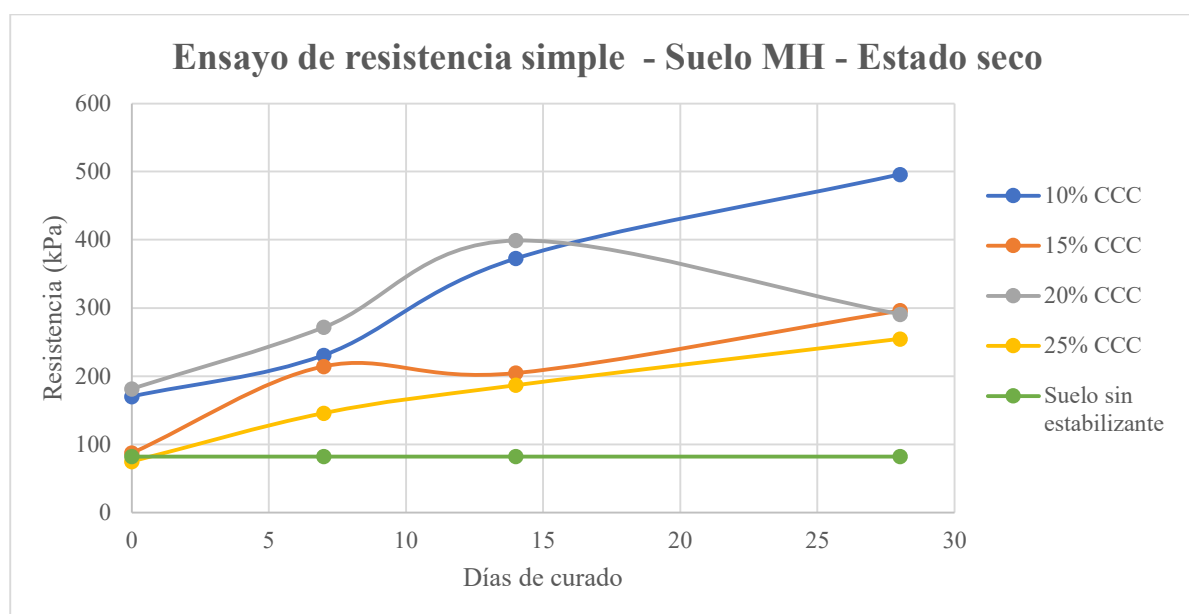
6.3.2. Resistencia a la compresión inconfínada

Los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión inconfínada (UCS) realizada sobre probetas en estado seco para las mezclas de suelo 3 - Limo de alta plasticidad (MH) con los diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de café (CCC) se muestran en la Tabla 57 y en la Gráfica 43.

Tabla 57. Resumen - Resistencia a la compresión inconfínada (Estado seco) - MH + %CCC

Datos promedio - Probetas en estado seco - MH					
Tiempo de curado (días)	Suelo sin estabilizante	10% CCC	15% CCC	20% CCC	25% CCC
	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)
0	82.49	170.33	87.6	181.61	75.23
7	82.49	230.87	214.6	271.95	146.13
14	82.49	372.89	204.96	399.04	186.97
28	82.49	496.08	296.38	291.11	254.87

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 43. Resistencia vs Tiempo de curado (UCS) - Estado seco - MH +%CCC

Fuente: Elaboración propia.

La resistencia del suelo limoso de alta plasticidad estabilizado con los diferentes porcentajes de ceniza es, desde el día 0, mayor al valor de resistencia del suelo en estado natural (82.49 kPa). Y, además, medida que el tiempo de curado va incrementando, se observa un aumento en la resistencia pues, para 28 días de curado y un porcentaje de adición del 10%CCC, la resistencia del suelo limoso de baja plasticidad logra aumentar 6 veces su valor, llegando a ser de 496.08 kPa.

Cabe mencionar que, para la realización de este ensayo, al igual que con el suelo 2, se presentaron variaciones en el lugar de almacenamiento de las probetas, pues las cámaras húmedas

donde se ubicaron para cumplir con el tiempo de curado fueron diferentes para cada porcentaje, por lo cual afectaron la humedad de las probetas. Lo anterior puede explicar el comportamiento de disminución de resistencia para las mezclas de suelo con 20%CCC. Sin embargo, para los porcentajes de adición de 10%CCC, 15%CCC y 25%CCC, se observa una tendencia al aumento de la resistencia a medida que transcurre el tiempo de curado.

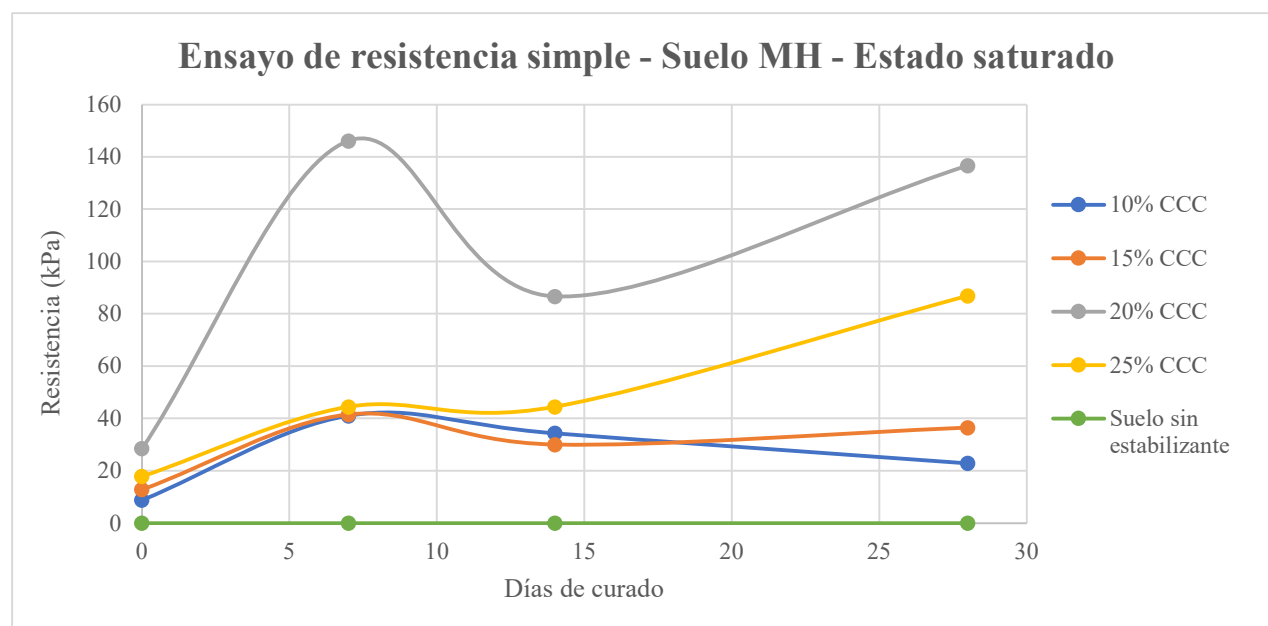
6.3.3. Ensayo de estabilidad al agua

Los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión inconfina (UCS) realizada sobre probetas en estado saturado para las mezclas de suelo 3 - Limo de alta plasticidad (CH) con los diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de café (CCC) se muestran en la Tabla 58 y en la Gráfica 44.

Tabla 58. Resumen - Resistencia a la compresión inconfina (Estado saturado) - MH + %CCC

Datos promedio - Probetas en estado saturado - MH					
Tiempo de curado (días)	Suelo sin estabilizante	10% CCC	15% CCC	20% CCC	25% CCC
	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)
0	0	8.78	12.81	28.48	17.84
7	0	41.05	41.51	146.13	44.43
14	0	34.35	30.01	86.67	44.46
28	0	22.83	36.5	136.69	86.93

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 44. Resistencia vs Tiempo de curado (UCS) - Estado saturado - MH +%CCC

Fuente: Elaboración propia.

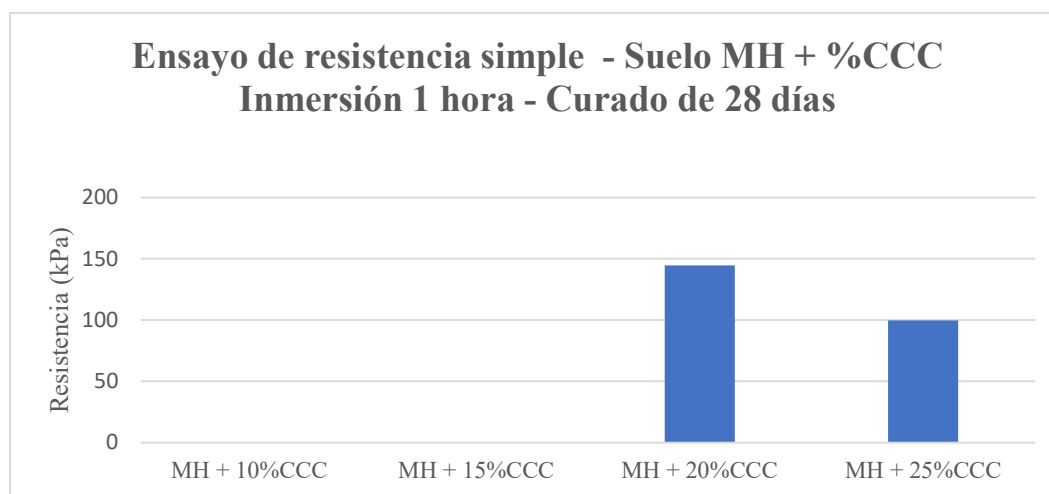
Se realizó el ensayo de estabilidad al agua con el fin de determinar el comportamiento de la mezcla de suelo limoso de alta plasticidad con CCC cuando se encuentra a la intemperie. Se puede observar que el agua tiene un efecto negativo sobre el suelo, disminuyendo su resistencia a cero, por lo que no es capaz de soportar ningún tipo de carga, convirtiéndolo en un suelo muy inestable, sin embargo, para las mezclas de suelo con aditivo, a medida que aumenta el tiempo de curado, aumenta la resistencia, lo cual indica, tal como con el suelo 1 y 2, que la CCC tiene un efecto estabilizante en presencia del agua.

Es así que, para una adición de 20%CCC, la resistencia del suelo logró llegar a ser de 136.69kPa. Lo anterior implica que la CCC si aporta resistencia al suelo en condiciones húmedas, sin embargo, el exceso de material, tal como en condiciones secas, no permite una adecuada reacción Ceniza - Suelo.

De manera similar, se observa que, para porcentajes bajos de adición, como lo es 10%CCC y 15%CCC no existe una mejora significativa en la resistencia del suelo, lo cual puede deberse a la poca cantidad agregada que, no permite que la ceniza tenga un efecto óptimo.

Tal como sucedió con el suelo 1 y 2, entre mayor es el contenido de CCC en la mezcla, la absorción del agua es más rápida, ya que las que se saturaban con mayor rapidez eran aquellas que contenían 25%CCC. Lo anterior permite concluir, nuevamente, que la CCC absorbe con mucha facilidad el agua.

Ahora, se realizó el ensayo de resistencia a la compresión inconfiada (UCS) mediante el método B, para probetas sometidas a 28 días de curado. Los resultados de resistencia se observan en la Gráfica 45.



Gráfica 45. Resistencia a la compresión inconfiada (Inmersión a 1 hora), 28 días de curado- MH + %CCC.
Fuente: Elaboración propia.

Debido a la actividad puzolánica procedente de la mezcla de suelo con CCC, se genera una estabilidad al agua, pues, aunque para porcentajes de adición del 10%CCC y 15%CCC las probetas colapsaron antes de cumplir con el tiempo de inmersión, para valores mayores si se logró presenciar un aumento en la resistencia.

6.4. Mezclas de Suelo 4 - Arcilla de baja plasticidad (CL) con diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de café

A continuación, se presentan los resultados de la dosificación de ceniza de cáscara de café (CCC) sobre el suelo 1 - arcilla de alta plasticidad (CH).

6.4.1. Límites de Atterberg y Clasificación SUCS

Se realizó la determinación de los límites de Atterberg, para así, clasificarlos y evaluar los efectos de la ceniza (CCC) en el comportamiento de la plasticidad del suelo 1.

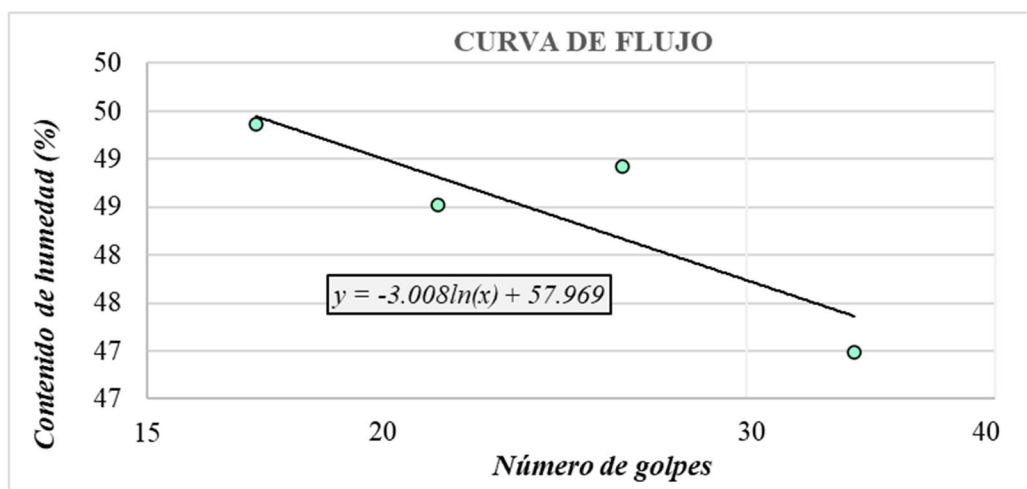
10% de ceniza de cáscara de café

Los resultados de los límites de consistencia y la clasificación SUCS del Suelo 4 estabilizado con 10% CCC se muestran en la Tabla 59 y en la Gráfica 46. De acuerdo con estos ensayos, se determinó que el suelo estabilizado posee un límite líquido de 48% un límite plástico de 38% y un índice de plasticidad de 10%, lo que permite clasificarlo como un limo de baja plasticidad (ML).

Tabla 59. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - CL + 10%CCC

Límites de Atterberg	Límite líquido (%)	48
	Límite plástico (%)	38
	Índice de plasticidad (%)	10
Clasificación SUCS	ML	

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 46. Diagrama de fluidez - CL +10%CCC

Fuente: Elaboración propia.

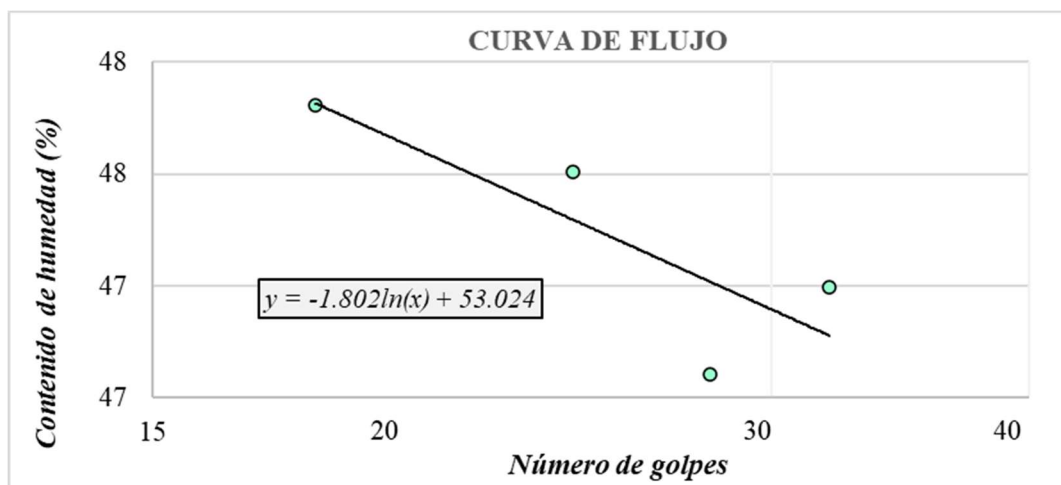
15% de ceniza de cáscara de café

Los resultados de los límites de consistencia y la clasificación SUCS del Suelo 4 estabilizado con 15% CCC se muestran en la Tabla 60 y en la Gráfica 47. De acuerdo con estos ensayos, se determinó que el suelo estabilizado posee un límite líquido de 47% un límite plástico de 33% y un índice de plasticidad de 15%, lo que permite clasificarlo como un limo de baja plasticidad (ML).

Tabla 60. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - CL + 15%CCC

Límites de Atterberg	Límite líquido (%)	47
	Límite plástico (%)	33
	Índice de plasticidad (%)	15
Clasificación SUCS	ML	

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 47. Diagrama de fluidez - CL + 15%CCC

Fuente: Elaboración propia.

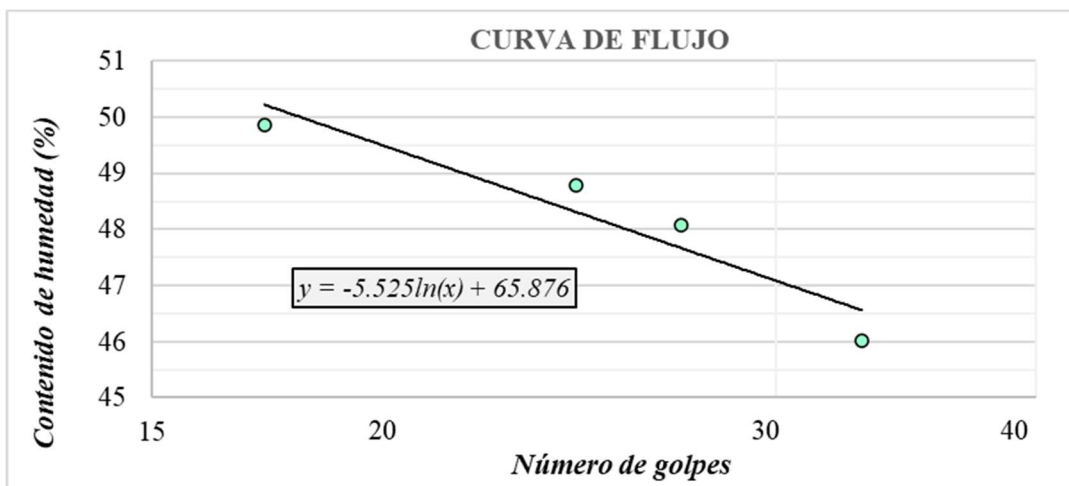
20% de ceniza de cáscara de café

Los resultados de los límites de consistencia y la clasificación SUCS del Suelo 4 estabilizado con 20% CCC se muestran en la Tabla 61 y en la Gráfica 48. De acuerdo con estos ensayos, se determinó que el suelo estabilizado posee un límite líquido de 48% un límite plástico de 36% y un índice de plasticidad de 12%, lo que permite clasificarlo como un limo de baja plasticidad (ML).

Tabla 61. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - CL + 20%CCC

Límites de Atterberg	Límite líquido (%)	48
	Límite plástico (%)	36
	Índice de plasticidad (%)	12
Clasificación SUCS	ML	

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 48. Diagrama de fluidez - CL +20%CCC
Fuente: Elaboración propia.

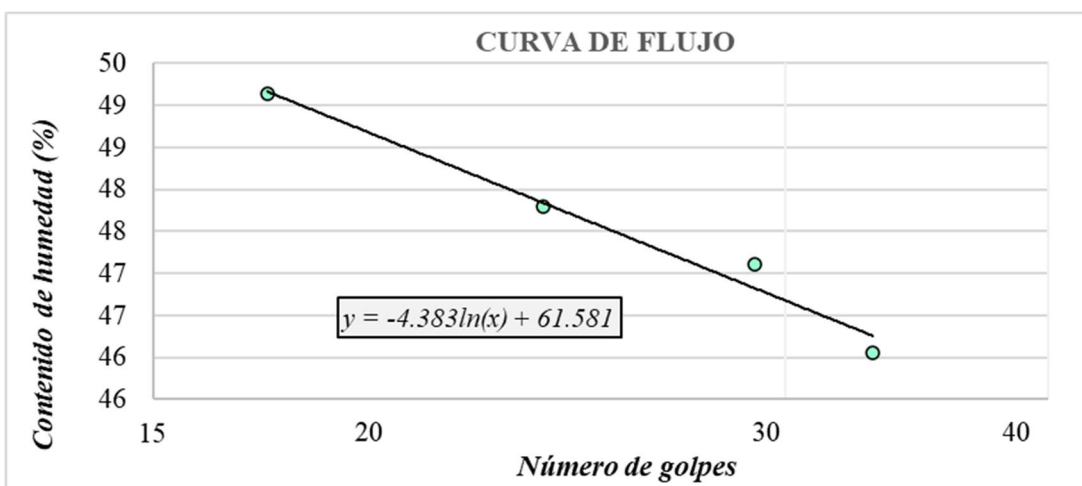
25% de ceniza de cáscara de café

Los resultados de los límites de consistencia y la clasificación SUCS del Suelo 4 estabilizado con 25% CCC se muestran en la Gráfica 49. De acuerdo con estos ensayos, se determinó que el suelo estabilizado posee un límite líquido de 47% un límite plástico de 36% y un índice de plasticidad de 11%, lo que permite clasificarlo como un limo de baja plasticidad (ML).

Tabla 62. Datos de los límites de consistencia y clasificación SUCS - CL + 25%CCC

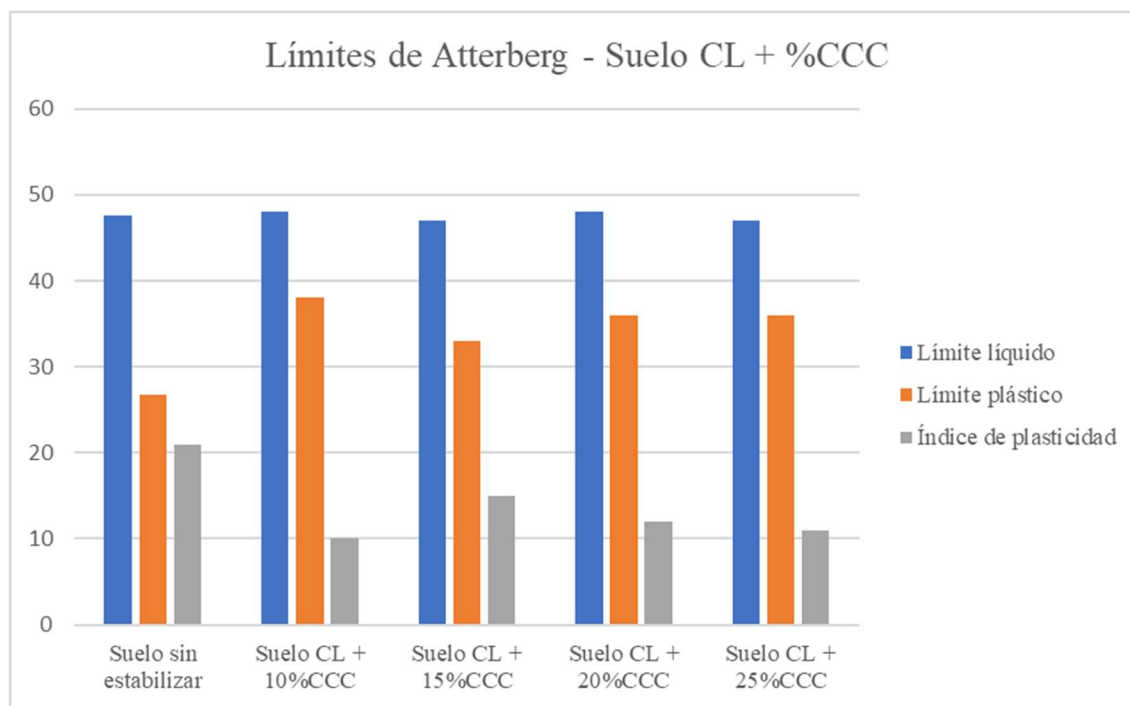
Límites de Atterberg	Límite líquido (%)	47
	Límite plástico (%)	36
	Índice de plasticidad (%)	11
Clasificación SUCS	ML	

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 49. Diagrama de fluidez - CL +25%CCC
Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la Gráfica 50, una comparación del comportamiento de los límites de Atterberg para las mezclas de suelo 3 con diferentes proporciones de ceniza de cáscara de café, con respecto al suelo en estado natural o sin estabilizar.



Gráfica 50. Resumen - Límites de Atterberg - CL + %CCC

Fuente: Elaboración propia.

Se observa el efecto de la dosificación de ceniza en las diferentes proporciones sobre la plasticidad del suelo arcilloso de baja plasticidad. Se determinó que no existen cambios significativos en el límite líquido, sin embargo, existe un aumento en el límite plástico que, como consecuencia, genera una reducción del índice de plasticidad al agregarle el aditivo. La muestra de suelo sin estabilizar posee un límite plástico de 26.7% y un índice de plasticidad de 21%, y, la mayor variación presentada en dichos valores le corresponde a la mezcla de suelo con 10%CCC, la cual obtuvo un límite plástico de 38% y un índice de plasticidad del 10%. Así, se observó que la reacción entre el suelo arcilloso de baja plasticidad y la CCC genera una disminución representativa sobre la plasticidad del suelo. Lo anterior también se evidencia en el cambio de clasificación del suelo, pues en estado natural se clasifica como una arcilla de baja plasticidad y, al agregarle la ceniza de cáscara de café, su clasificación cambia a un limo de baja plasticidad.

Lo anterior implica que el suelo se convierte en uno más estable, convirtiéndose en un suelo menos expansivo y con el cual se puede realizar una mejor compactación, pues a menor índice de plasticidad, menor es el potencial de expansión.

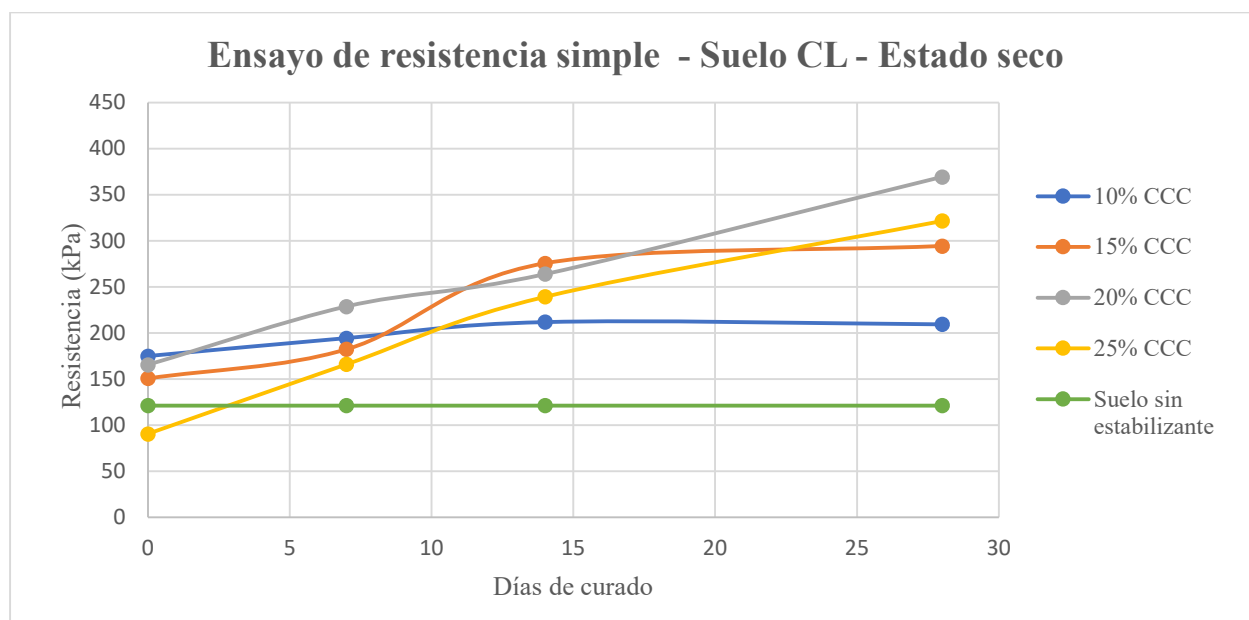
6.4.2. Resistencia a la compresión inconfínada

Los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión inconfínada (UCS) realizada sobre probetas en estado seco para las mezclas de suelo 4 - Arcilla de baja plasticidad (CH) con los diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de café (CCC) se muestran en la Tabla 63 y en la Gráfica 51.

Tabla 63. Resumen - Resistencia a la compresión inconfínada (Estado seco) - CL + %CCC

Datos promedio - Probetas en estado seco - CL					
Tiempo de curado (días)	Suelo sin estabilizante	10% CCC	15% CCC	20% CCC	25% CCC
	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)
0	121.25	175.01	150.76	165.56	90.50
7	121.25	194.45	182.35	228.8	166.11
14	121.25	211.97	275.66	264.10	239.46
28	121.25	209.55	294.39	369.45	321.63

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 51. Resistencia vs Tiempo de curado (UCS) - Estado seco - CL + %CCC

Fuente: Elaboración propia.

Se observa la influencia que tiene la CCC sobre el suelo arcilloso de baja plasticidad, mostrando un considerable mejoramiento. Desde el día 0, la resistencia del suelo es menor en su estado natural (121.25 kPa) en comparación con las distintas mezclas de suelo con aditivo y, a medida que transcurre su tiempo de curado, dichas mezclas van aumentando su resistencia.

Así, para un porcentaje de adición de 10% CCC se obtuvo una resistencia de 209.55 kPa; para el 15% CCC aumentó a 294.39 kPa; para el 20% aumentó a 369.45 kPa; y para el 25% CCC aumentó a 321.63 kPa. De aquí, se observa que la resistencia del suelo es triplicada al adicionarle

el 15%CCC, por lo que se puede establecer a dicho porcentaje cómo el óptimo para estabilizar una arcilla de baja plasticidad (CH). Al comparar los resultados obtenidos para este tipo de suelo con respecto al suelo 1, se observa un comportamiento similar, por lo que la presencia de arcilla en el suelo es fundamental en las reacciones de la mezcla.

Al igual que para los suelos 1, 2 y 3, para el 25% CCC de adición al suelo, la resistencia obtenida fue menor a la obtenida con 20%CCC. Esto puede deberse a un exceso de aditivo, dificultando así la reacción Ceniza - Suelo, disminuyendo la unión entre dichos materiales. Además, el alto contenido de CCC, al ser tan liviana, aportaría una menor densidad al suelo, haciéndolo propenso a fallar.

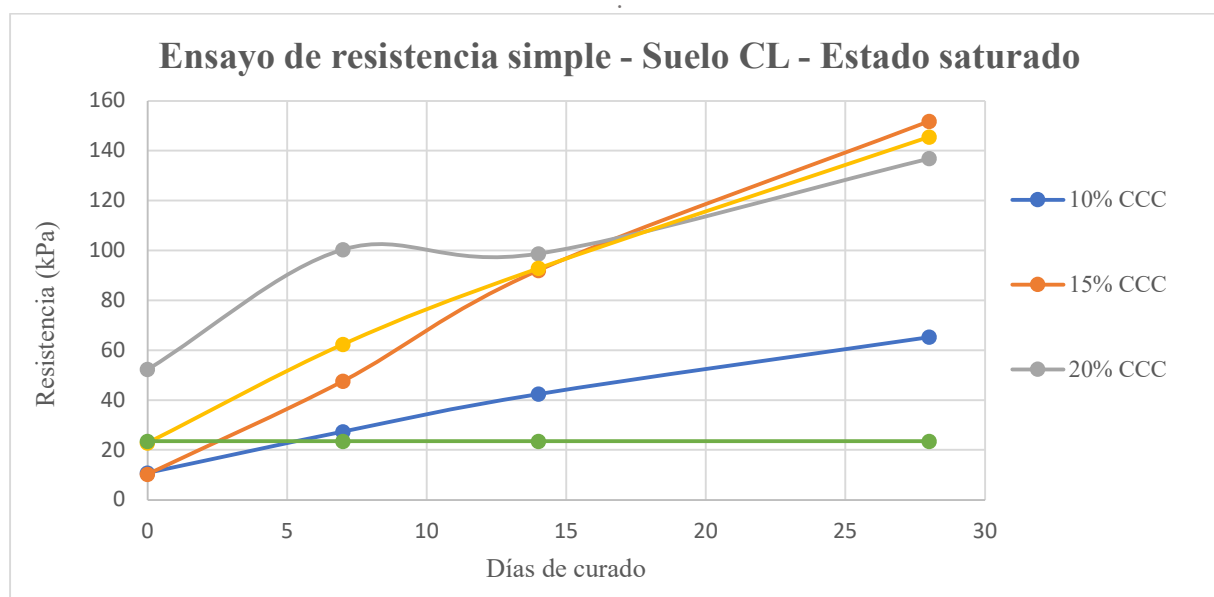
6.4.3. Ensayo de estabilidad al agua

Los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión inconfina (UCS) realizada sobre probetas en estado saturado para las mezclas de suelo 4 - Arcilla de baja plasticidad (CL) con los diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de café (CCC) se muestran en la Tabla 64 y en la Gráfica 52.

Tabla 64. Resumen - Resistencia a la compresión inconfina (Estado saturado) - CL + %CCC

Datos promedio - Probetas en estado saturado - CL					
Tiempo de curado (días)	Suelo sin estabilizante	10% CCC	15% CCC	20% CCC	25% CCC
	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)	Resistencia (kPa)
0	23.52	10.86	10.36	52.35	22.90
7	23.52	27.39	47.66	100.38	62.4
14	23.52	42.48	92.07	98.71	92.87
28	23.52	65.32	151.87	136.93	145.54

Fuente: Elaboración propia



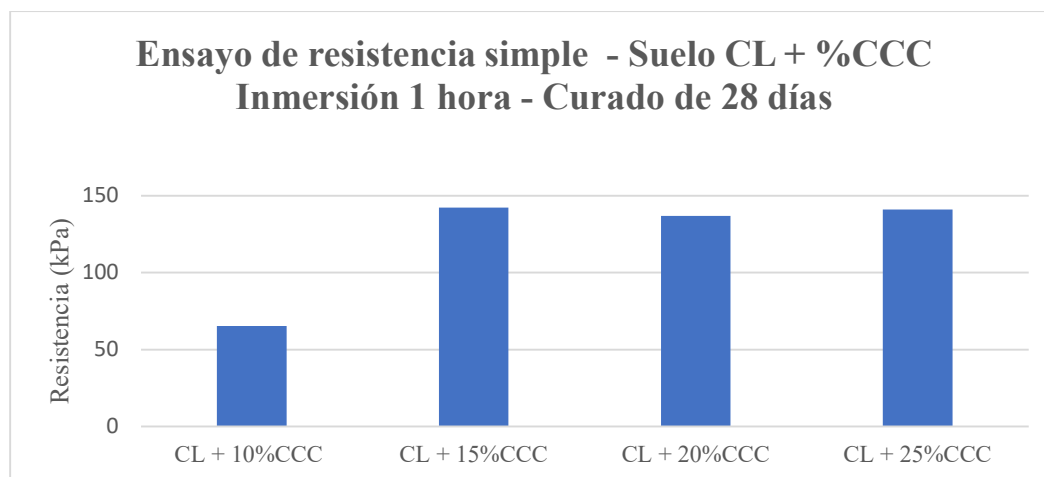
Gráfica 52. Resistencia vs Tiempo de curado (UCS) - Estado saturado - CL +%CCC

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó el ensayo de estabilidad al agua con el fin de determinar el comportamiento de la mezcla de suelo arcilloso de baja plasticidad con CCC cuando se encuentra a la intemperie. Se puede observar que el agua tiene un efecto negativo sobre el suelo, disminuyendo su resistencia a un 19% de la resistencia que tiene en estado seco y, además, para las mezclas de suelo con aditivo, se presentan valores similares a los que tiene el suelo sin estabilizar, sin embargo, para dichas mezclas, a medida que aumenta el tiempo de curado, aumenta la resistencia, lo cual indica que la CCC tiene un efecto estabilizante en presencia del agua. Las fuerzas de atracción entre las partículas del suelo estabilizado funcionan de manera similar a como lo haría un material cementante luego de su etapa de curado, generando así, que la presión capilar generada en las paredes de los poros disminuya, eliminando paulatinamente el riesgo de colapso.

Es así que, para una adición de 10%CCC, la resistencia del suelo logró llegar a valores de 65.32kPa, para el 15%CCC alcanzó valores de 151.87kPa; para el 20%CCC llegó a 136.93kPa; y para un 25%CCC, la resistencia del suelo fue de 145.54kPa. Al igual que para los suelos 1, 2 y 3, entre mayor es el contenido de CCC en la mezcla, la absorción del agua es más rápida, lo anterior se evidenciaba en el momento de saturar las probetas, ya que las que se saturaban con mayor rapidez eran aquellas que contenían 25%CCC. Lo anterior implica que la ceniza de cáscara de café le confiere resistencia al suelo en condiciones húmedas y, por lo tanto, genera una estabilidad al agua, la cual se va consolidando al paso del tiempo y que, además, el porcentaje que generó mejores resultados fue de 15%CCC.

De igual manera, se realizó el ensayo de resistencia a la compresión inconfiada (UCS) mediante el método B, para probetas sometidas a 28 días de curado. Los resultados de resistencia se observan en la Gráfica 53.



Gráfica 53. Resistencia a la compresión inconfiada (Inmersión a 1 hora), 28 días de curado - CL + %CCC.
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados demuestran, nuevamente, que las reacciones químicas que tiene el suelo con la CCC generan, a lo largo del tiempo, una mayor estabilidad, permitiendo la mezcla pueda ser sometida a procesos de inmersión. Por lo tanto, se establece que, para un suelo arcilloso de baja plasticidad, en condiciones húmedas, puede ser estabilizado de manera óptima con la ceniza de cáscara de café. Comprobando así que, independientemente del suelo al cual se le está aplicando la CCC, esta se comporta de manera similar a como lo haría un material cementante.

7. Conclusiones y recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos y del análisis realizado, se puede concluir que:

- Los suelos provenientes de distintas regiones del departamento del Cauca se clasificaron como suelos finos (CH, CL, MH y ML, de acuerdo a la clasificación SUCS). Estos presentan muy poca resistencia y una baja o nula estabilidad en presencia del agua, sin embargo, son comúnmente utilizados como suelos de subrasante en las carreteras terciarias del departamento, por lo cual es importante encontrar alternativas que mejoren sus propiedades para garantizar que las vías terciarias del departamento sean duraderas con una inversión baja y cómodas para transitar.
- Se validó que la incorporación de cenizas de cáscara de café conlleva a notables mejoras en el comportamiento de los suelos finos que se pretenden utilizar como subrasante, especialmente para las condiciones particulares del departamento del Cauca. Estas mejoras abarcan aspectos como la resistencia a la compresión y la permeabilidad del suelo. A partir de estos resultados se puede afirmar que las muestras estabilizadas con CCC son más estables en comparación con las muestras de suelo sin aditivo, debido a la actividad puzolánica que genera, optimizando las propiedades geotécnicas del suelo y permitiendo la formación de una estructura más rígida que, como consecuencia, generaría la mejora en la calidad y durabilidad de las vías terciarias no pavimentadas de la región.
- Se logró establecer la dosificación óptima de ceniza de cáscara de café y suelo en el proceso de estabilización, basándose en las metodologías y normativas aplicables. La investigación permitió identificar las proporciones adecuadas para lograr una mejora sustancial en las propiedades del suelo de subrasante pues, aunque cada suelo tuvo comportamientos particulares para cada porcentaje de adición, para las arcillas de alta y baja plasticidad (CH y CL), se obtuvieron los mejores resultados con un porcentaje de adición del 15%CCC, aumentando la resistencia hasta un 300%. De manera similar, para los limos de baja plasticidad (ML), se obtuvieron mejores resultados para un porcentaje de adición del 25%CCC, aumentando la resistencia hasta un 200% y para los limos de alta plasticidad (MH), el porcentaje que arrojó mejores resultados fue del 20%CCC, aumentando su resistencia hasta en un 200%.
- La adición de ceniza de cáscara de café reduce la plasticidad de los suelos. Para los suelos CH y MH, el límite líquido (LL) y el índice de plasticidad (IP) disminuyeron hasta en un 44% al adicionarles CCC. De manera similar ocurrió con el suelo CL, el cual, al adicionarle CCC, su límite plástico (LP) aumentó y, por lo tanto, disminuyó en un 47% su índice de plasticidad (IP). Sin embargo, para el suelo ML, no se observaron cambios representativos. Dado que el IP es un buen indicador del comportamiento expansivo de los suelos, reducir dicho valor implica una reducción en el potencial de expansión de los suelos tratados.
- La ceniza de cáscara de café funciona como un material conglomerante, debido a la poca afinidad que tiene con el agua, por lo que permite potenciar las propiedades de los suelos en condiciones húmedas a las cuales se verá diariamente expuesto en campo. Con los resultados obtenidos en el ensayo de estabilidad al agua, se comprobó que entre mayor sea el porcentaje de adición de CCC, el comportamiento cementante sobre los suelos será mayor, volviéndolos capaces de soportar cargas en presencia del agua, sin que exista un riesgo de colapso, incluso para casos extremos cómo lo es en inmersión.
- Los desechos provenientes de procesos agrícolas, como lo es la ceniza de cáscara de café (CCC), pueden ser aprovechados de manera efectiva para estabilizar suelos finos destinados a diversas aplicaciones dentro del ámbito de la ingeniería civil. La incorporación de dichos

residuos como agentes estabilizantes puede resultar en la disminución de la contaminación ambiental que normalmente estaría asociada con la disposición final de estos, ya que son altamente contaminantes y son comúnmente almacenados y/o desechados en puntos no autorizados próximos a fuentes de agua superficial como ríos, quebradas, etc. Al mismo tiempo, puede contribuir a la reducción de costos relacionados con la construcción de carreteras y taludes, pues se disminuye la necesidad de depender de materiales convencionales o la importación de insumos.

- Colombia, como país cafetero, genera, aproximadamente, 280 mil toneladas de residuos al año (Caicedo, 2020), por lo que la utilización de la ceniza de cáscara de café como estabilizador de suelos se convierte en una oportunidad de aprovechamiento de estos, que puede beneficiar a aquellos campesinos caficultores, optimizando el proceso actual de la producción de café, mejorando la infraestructura vial por la cual se transporta este producto, reduciendo costos en combustible, tiempos de transporte, además del aprovechamiento óptimo de los residuos, que a su vez puede generar ganancias financieras adicionales, puesto que pueden comercializar dichos residuos, aumentando la cadena de valor. Es aquí que se tiene en cuenta el concepto de economía circular, donde las empresas que están produciendo estos residuos, pueden empezar a comercializarlos para su empleo en procesos de mejoramiento de suelo.

Las recomendaciones para trabajo futuro se presentan a continuación:

- Realizar un análisis químico de la ceniza de cáscara de café (CCC) que permita establecer un proceso de combustión óptimo; y también analizar la composición química de los suelos en estado virgen y de las mezclas realizadas, para observar las reacciones químicas de las partículas y, por ende, predecir el comportamiento de cada suelo al ser estabilizado.
- Evaluar la efectividad de la estabilización en suelos gruesos al aplicarles ceniza de cáscara de café. La cantidad de estudios realizados en suelos finos es amplia, sin embargo, la aplicación del aditivo en suelos gruesos es inferior, por lo que es indispensable conocer el comportamiento que este tipo de suelos pueden tener al aplicarles el aditivo.
- Investigar el efecto de la ceniza de cáscara de café en conjunto con otros aditivos, ya sea con otros tipos de desechos agrícolas o con materiales convencionales, como la cal, ya que las investigaciones existentes respecto a este tema, a pesar de ser pocas, muestran resultados favorables y más efectivos en el proceso de estabilización.
- Realizar el proceso de estabilización en campo. Es esencial que se evalúe el comportamiento de la ceniza de cáscara de café sobre suelos que se encuentren en tramos de vía existentes, para determinar de qué manera las condiciones reales de la vía; como el clima, topografía, geometría vial, entre otros; puede afectar la efectividad de la estabilización. Además, se recomienda evaluar la longevidad de esta mejora, pues la vida útil de una carretera es extensa y, para generar confiabilidad en esta nueva opción de tratamiento, es necesaria una evaluación a largo plazo.
- Para tener en cuenta qué proceso incorpora mayor cantidad de dióxido de carbono (CO_2) al medio ambiente, al comparar los métodos convencionales y este método alternativo utilizando ceniza de cascara de café (CCC), se recomienda realizar un estudio de la huella de carbono, donde éste, junto con el estudio de las bondades ambientales de la utilización de los residuos, pueden entregar un conocimiento más preciso y objetivo del empleo de esta alternativa desde lo ambiental y económico.

8. Bibliografía

- Alvarez Larreatigue, C. M., & Fuentes Salas, L. J. (2020). *Ceniza de cáscara de café para mejora de la resistencia en subrasante con suelos arcillosos, Jaén*. [Universidad César Vallejo]. http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Atahu, M. K., Saathoff, F., & Gebissa, A. (2019). Strength and compressibility behaviors of expansive soil treated with coffee husk ash. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 11(2), 337–348. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.11.004>
- Atahu, M. K., Saathoff, F., & Gebissa, A. (2020). Effect of Coffee Husk Ash on Geotechnical Properties of Expansive Soil. *International Journal of Current Research*, 9(02), 46401–46406. <http://www.journalcra.com>
- Caicedo Velasco, D. M. (2020). *Aprovechamiento de los residuos sólidos producidos por la cadena productiva del café para la obtención de etanol en el Valle del Cauca*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Camargo Triana, E. J., & Peralta Melo, M. Á. (2020). *Evaluación del comportamiento de la resistencia de un suelo arcilloso con adición de ceniza de cascarilla de café en el municipio de Viotá-Cundinamarca*. Universidad Piloto de Colombia.
- Cárdenas Grisales, J. (2013). *Diseño geométrico de carreteras* (E. Ediciones (ed.); 2nd ed.).
- Cobos Molina, M. A., Ortegón Ramirez, C. T., & Peralta Zarrate, J. C. (2019). *Caracterización del comportamiento geotécnico de suelos de origen volcánico estabilizados con cenizas provenientes de cáscara de coco y cisco de café*. Universidad Cooperativa de Colombia.
- Comité de Cafeteros del Cauca. (2022). *Café de Cauca*. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. <https://cauca.federaciondecafeteros.org/cafe-de-cauca/>
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2016). Política para la Gestión de la Red Terciaria: presupuesto informado por resultados. *Departamento Nacional de Planeación*, 1–50. https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Presentaciones/RED_Terciaria_CCI_DNP.pdf
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2018). Mejoramiento de vías terciarias - vías de tercer orden. *Proyectos TIPO. Soluciones Ágiles Para Un Nuevo País*, 63.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2022). *Ficha Territorial - Departamento de Cauca*. TerriData - Sistema de Estadísticas Territoriales. <https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/perfiles/19000>
- Escobar Blas, G. E., & Reyes Asto, D. A. (2022). *Influencia de la ceniza de café y cáscara de huevo para la estabilización de subrasante de un pavimento flexible del tramo Santa Elena - El Carmelo, Virú, 2022*. Universidad Privada del Norte.
- Federación Nacional de cafeteros. (2006). Descripción del proceso productivo y del beneficio del café. Guía tecnológica del cultivo. In *Guía Ambiental para el Sector Cafetero*. <https://www.federaciondecafeteros.org/static/files/8Capitulo6.pdf>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia-FNC. (2020). Informe de Gestión Cauca 2020. In *Comité de Cafeteros del Cauca*. <https://cauca.federaciondecafeteros.org/app/uploads/sites/2/2021/04/INFORME-DE-GESTIÓN-con-enlaces.pdf>
- Gonzales Cuellar, T. (2021). *Estabilización de suelos con cascarilla de café en caminos vecinales, tramo Dormenduyoc – Belenpata, Distrito de Echarati, La Convención – Cusco, 2021 TESIS* [Universidad César Vallejo]. http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-

- SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hernández García, A. F., & Herrera Vargas, M. F. (2019). *Análisis de la relación de soporte y resistencia a la compresión de un suelo arcillo-limoso en la vereda de Liberia del municipio de Viotá Cundinamarca estabilizado con ceniza de cascarilla de café* [Universidad de La Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1520&context=ing_civil
- Hernández Toledo, U. I. (2010). *Efecto de una puzolana de desperdicio agrícola y el tiempo de curado en la corrosión del ferrocemento*. Instituto Politécnico Nacional.
- Huancapaza Laura, A. P. (2021). *Influencia de la ceniza de cascara de café en las propiedades físico mecánicas de la sub rasante, Yanahuaya-Sandia-Puno 2021* [Universidad César Vallejo]. http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Laguna Peñaloza, O. I., & Chacón Charcas, J. M. (2020). *Análisis comparativo del comportamiento a la resistencia de un suelo fino con adición de ceniza de cascarilla de arroz y ceniza de cascarilla de café*. [Universidad Piloto de Colombia]. <http://mpoc.org.my/malaysian-palm-oil-industry/>
- Manals Cutiño, E., Salas Tort, D., & Penedo Medina, M. (2018). Caracterización de la biomasa vegetal “cascarilla de café.” *Tecnología Química*, 38(1), 169–181. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852018000100013&lng=es&tlng=es
- Mantilla Duarte, J. (2019). *Optimización Del Proceso Conocido Como “Beneficio Humedo Y Seco” En La Industria De Café. Caso: Finca “Villa Ilma Maria” En El Municipio De Toledo, Norte De Santander* [Fundación Universidad de América]. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7287/1/294526-2019-I-GE.pdf>
- Munirwan, R. P., Sundary, D., Munirwansyah, & Bunyamin. (2021). Study of coffee husk ash addition for clay soil stabilization. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1087(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1087/1/012016>
- Munirwan, R. P., Taha, M. R., Taib, A. M., & Munirwansyah, M. (2022). Shear Strength Improvement of Clay Soil Stabilized by Coffee Husk Ash. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/app12115542>
- Olano Pérez, P. L. (2021). *Estabilización de suelos cohesivos mediante incorporación de cenizas cascarilla café arábica, carretera Guineasa Mañumal km.0+000 al km.7+500,Utcubamba*. [Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/74141>
- Olano Pérez, P. L., Marín Bardales, N. H., & Benites Chero, J. C. (2021). Incremento del valor de soporte del suelo adicionando eco estabilizante a partir de cenizas de cascarilla de café arábica. *Suelos Ecuatoriales*, 51(1 & 2), 68–76. [https://doi.org/10.47864/SE\(51\)2021p68-76](https://doi.org/10.47864/SE(51)2021p68-76)
- Oliveros Tascón, C. E., Sanz Uribe, J. R., Ramírez Gómez, C. A., & Peñuela Martínez, A. E. (2013). Aprovechamiento eficiente de la energía en el secado mecánico del café. *Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé)*, 8(380). <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/370>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible - 9: Industria, Innovación e Infraestructuras*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure/>
- Ortiz Parra, C. A. (2021). *Estimación de la resistencia de un suelo fino con adición de ceniza de cascariila de café con relación a uno sin modificar*. Universidad Piloto de Colombia.
- Ríos, G. (2019). *Infraestructura y logística: herramientas para el desarrollo económico*. CAF - Banco de Desarrollo de America Latina. <https://www.caf.com/es/conocimiento/visiones/2019/04/infraestructura-y-logistica->

herramientas-para-el-desarrollo-economico

- Rivera, J. F., Aguirre-Guerrero, A., Mejía de Gutiérrez, R., & Orobio, A. (2020). Estabilización química de suelos - Materiales convencionales y activados alcalinamente (revisión). *Informador Técnico*, 84(2), 43–67. <https://doi.org/10.23850/22565035.2530>
- Rodríguez Valencia, N., Sanz Uribe, J. R., Oliveros Tascón, C. E., & Ramírez Gómez, C. A. (2015). Beneficio del Café en Colombia. In *Cenicafé*. https://www.cenicafe.org/es/publications/Final_libro_Beneficio_isbn.pdf
- Rozas, P., & Sanchez, R. (2004). Desarrollo de infraestructura y crecimiento económico: revisión conceptual. In *Naciones Unidas CEPAL* (Vol. 75). https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6441/S048642_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Urrego Yepes, W., & Godoy Pernalet, M. jose. (2021). Revisión - Aprovechamiento de los residuos de la agroindustria del café en la elaboración de materiales compuestos de matriz polimérica. *Prospectiva*, 19(2), 15. <http://ojs.uac.edu.co/index.php/prospectiva/article/download/2590/2418>
- Vargas, Y. E., Gutierrez, Y. M., & Rojas Marulanda, J. R. (2020). *Estabilización de afirmado con ceniza proveniente de desechos de cascarilla de café para aplicar en suelos de construcción de vías* [Universidad Cooperativa de Colombia]. <https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/5822%0Ahttps://www.redalyc.org/jatsRepo/3832/383257036005/383257036005.pdf>

ANEXOS



PROYECTO:

SOLICITADO POR: ING.FERNEY QUIÑÓNEZ

LOCALIZACIÓN:

DESCRIPCIÓN: ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD COLOR ROJO

COORDENADAS:

REF. Nº:

1

MUESTRA Nº

1

PROFUNDIDAD (m)

FECHA RECIBIDO:

2/02/2023

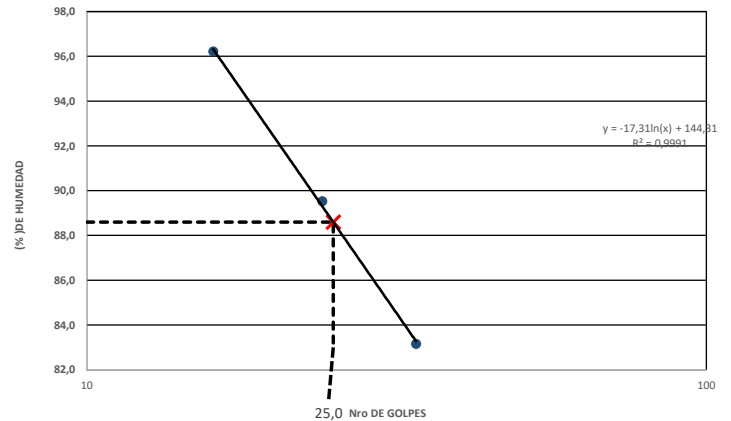
FECHA ENSAYO:

28/02/2023

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - INV E-125 - 13

Numero de golpes	34	24	16
Masa húmeda + Tara, (g)	20,64	21,15	23,29
Masa seca + Tara, (g)	13,83	13,71	14,65
Masa de Tara, (g)	5,64	5,40	5,67
Masa del agua, (g)	6,81	7,44	8,64
Masa seca, (g)	8,19	8,31	8,98
Humedad, (%)	83,2	89,5	96,2
LÍMITE PLÁSTICO INV E-126- 13			HUMEDAD INV E-122-13
Masa húmeda + Tara, (g)	18,56	22,29	234,30
Masa seca + Tara, (g)	15,16	17,92	136,50
Masa de Tara, (g)	5,63	5,65	34,32
Masa del agua, (g)	3,40	4,37	97,80
Masa seca, (g)	9,53	12,27	102,18
Humedad, (%)	35,7	35,6	95,7

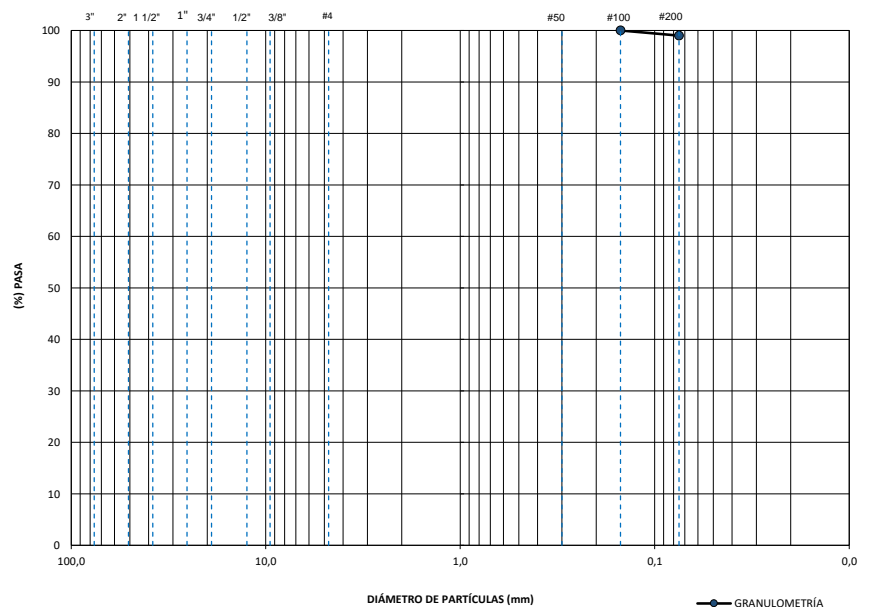
CURVA DE FLUIDEZ



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INV E-213-13

CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA MUESTRA

Masa seca después de lavar (g)	2,4	Masa seca Total antes del lavado, (g)	230,3	
Tamiz	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
(Pulg.)	(mm)			
4"	101,60	0,0		
3"	76,2	0,0		
2"	50,8	0,0	0,0	100,0
1 1/2"	38,1	0,0	0,0	100,0
1"	25,4	0,0	0,0	100,0
3/4"	19	0,0	0,0	100,0
1/2"	12,5	0,0	0,0	100,0
3/8"	9,5	0,0	0,0	100,0
#4	4,75	0,0	0,0	100,0
#8	2,4	0,0	0,0	100,0
#16	1,18	0,0	0,0	100,0
#30	0,6	0,0	0,0	100,0
#50	0,3	0,0	0,0	100,0
#100	0,15	0,0	0,0	100,0
#200	0,075	2,3	1,0	99,0
Pasa #200	227,9	99,0	100,0	0,0



RESULTADOS

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

% de Gravas:	D60(mm):	Cu	% Limite Líquido	88,6	CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION) INV E 180 - 13	A-7-5(64)
0,0		N/A	% Limite Plástico	35,6	SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S. INV E-181 - 13	CH
% de Arena:	D30(mm):	Cc	Especificación Art. 300 - Afirmados			
1,0		N/A <th>% Indice de Plasticidad</th> <td>52,9</td> <td></td> <td></td>	% Indice de Plasticidad	52,9		
% de Finos:	(D10 mm diámetro efectivo):					
99,0						

OBSERVACIONES:

Nestor Fabian Guerrero P.
 NESTOR FABIAN GUERRERO P.
 Geotecnólogo
 M.P. 109536-06/136 CAU

EJECUTO / REVISÓ

Fernando Jarama B.
 FERNANDO JARAMA JAMAR B. GONZALEZ
 Ingeniero Civil
 M.P. 109536-06/136 CAU

APROBÓ



PROYECTO:

SOLICITADO POR: ING.FERNEY QUIÑÓNEZ

LOCALIZACIÓN:

DESCRIPCIÓN: LIMO DE BAJA PLASTICIDAD COLOR ROSADO

COORDENADAS:

REF. Nº:

1

MUESTRA Nº

2

PROFUNDIDAD (m)

FECHA RECIBIDO:

2/02/2023

FECHA ENSAYO:

28/02/2023

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - INV E-125 - 13

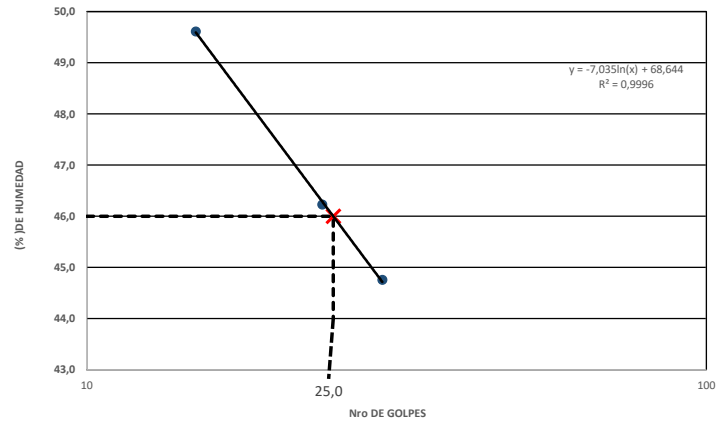
	30	24	15
Numero de golpes			
Masa húmeda + Tara, (g)	25,84	25,79	26,71
Masa seca + Tara, (g)	19,61	19,48	19,69
Masa de Tara, (g)	5,69	5,83	5,54
Masa del agua, (g)	6,23	6,31	7,02
Masa seca, (g)	13,92	13,65	14,15
Humedad, (%)	44,8	46,2	49,6

LÍMITE PLÁSTICO INV E-126-13

HUMEDAD INV E-122-13

	24,06	24,10	234,30
Masa húmeda + Tara, (g)			
Masa seca + Tara, (g)	19,34	19,34	136,50
Masa de Tara, (g)	5,76	5,65	34,32
Masa del agua, (g)	4,72	4,76	97,80
Masa seca, (g)	13,58	13,69	102,18
Humedad, (%)	34,8	34,8	95,7

CURVA DE FLUIDEZ

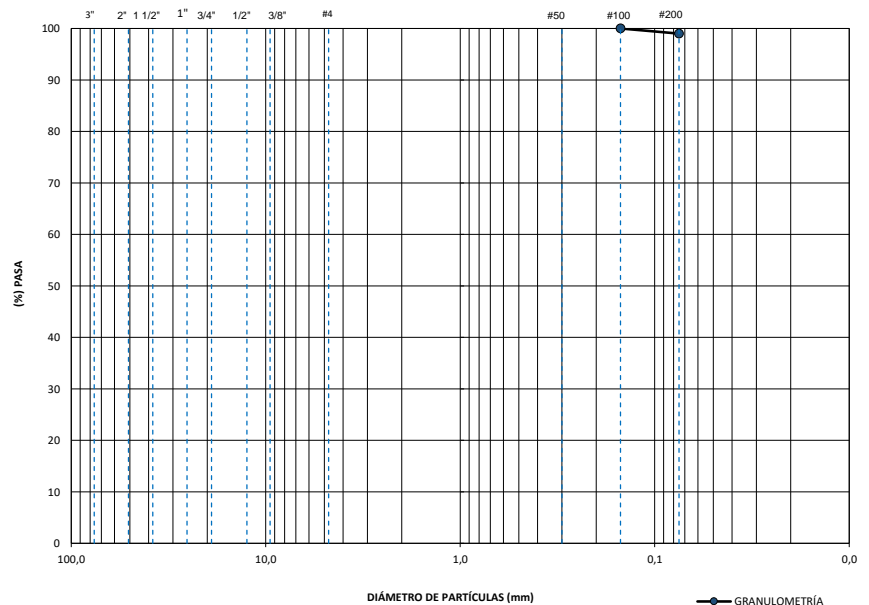


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INV E-213-13

CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA MUESTRA

Masa seca después de lavar (g)	2,4	Masa seca Total antes del lavado, (g)	230,3
--------------------------------	-----	---------------------------------------	-------

Tamiz	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
(Pulg.)	(mm)			
4"	101,60	0,0		
3"	76,2	0,0		
2"	50,8	0,0	0,0	100,0
1 1/2"	38,1	0,0	0,0	100,0
1"	25,4	0,0	0,0	100,0
3/4"	19	0,0	0,0	100,0
1/2"	12,5	0,0	0,0	100,0
3/8"	9,5	0,0	0,0	100,0
#4	4,75	0,0	0,0	100,0
#8	2,4	0,0	0,0	100,0
#16	1,18	0,0	0,0	100,0
#30	0,6	0,0	0,0	100,0
#50	0,3	0,0	0,0	100,0
#100	0,15	0,0	0,0	100,0
#200	0,075	2,3	1,0	99,0
Pasa #200	227,9	99,0	100,0	0,0



RESULTADOS

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

% de Gravas:	D60(mm):	Cu	% Limite Líquido	46,0	CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION) INV E 180 - 13	A-7-5(16)
0,0		N/A	% Limite Plástico	34,8	SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S. INV E-181 - 13	ML
% de Arena:	D30(mm):	Cc			Especificación Art. 300 - Afirmados	
1,0		N/A	% Indice de Plasticidad	11,2		
% de Finos:	(D10 mm diámetro efectivo):					
99,0						

OBSERVACIONES:

Nestor Fabian Guerrero P.
 NESTOR FABIAN GUERRERO P.
 Geotecnólogo
 M.P. 109536-06/136 CAU

EJECUTO / REVISÓ

Fernando Gómez Bonilla
 FERNANDO GÓMEZ BONILLA
 Ingeniero Civil
 M.P. 109536-06/136 CAU

APROBÓ



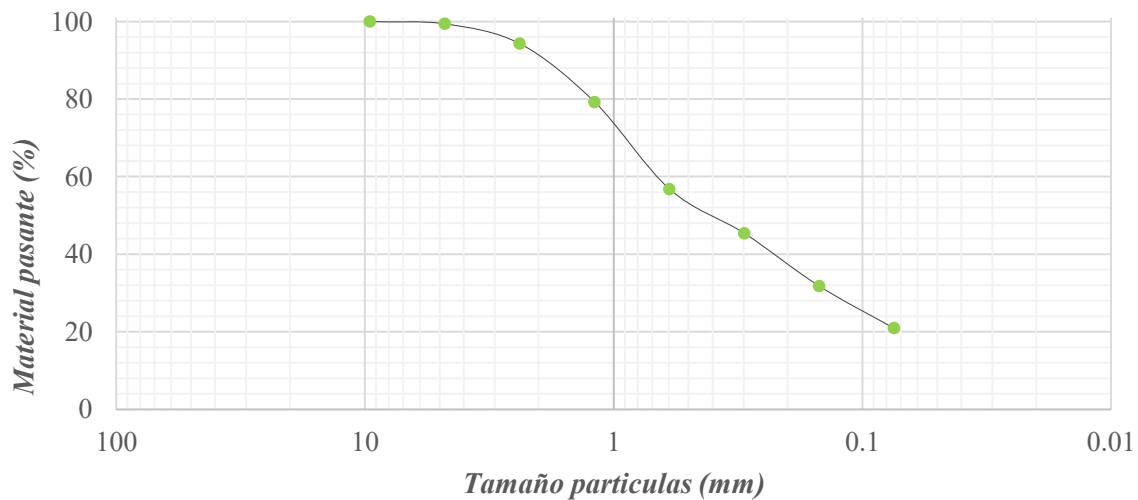
GRANULOMETRÍA DE CENIZA DE CÁSCARA DE CAFÉ
Norma INV E 213-13

DATOS DE GRANULOMETRIA

Masa del material húmedo: 362.9 g

TAMIZ	MASA RETENIDA	% MASA RETENIDA	% RETENIDA ACUMULADA	% PASA	% PASA APROXIMADO
3/8 "	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0
N° 4	2.2	0.6	0.6	99.4	99.0
N° 8	18.6	5.1	5.7	94.3	94.0
N° 16	54.8	15.1	20.8	79.2	79.0
N° 30	81.4	22.4	43.3	56.7	57.0
N° 50	41.27	11.4	54.6	45.4	45.0
N° 100	49.43	13.6	68.2	31.8	32.0
N° 200	39.45	10.9	79.1	20.9	20.9
Pasa N° 200	75.79	20.9	100.0	0.0	0.0

CURVA GRANULOMÉTRICA - CENIZA DE CÁSCARA DE CAFÉ

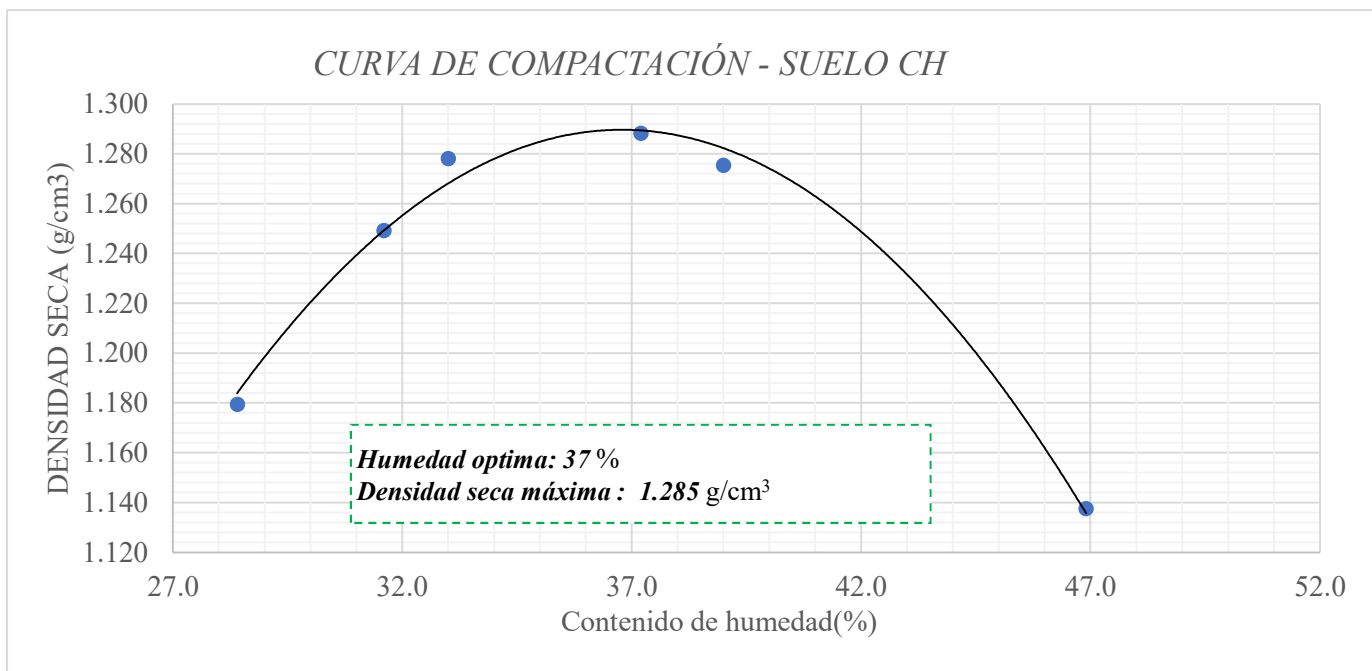


COEFICIENTES	D10	#¡REF!	Cu = 17.707 Cc = 0.724
	D30	#¡REF!	
	D60	#¡REF!	



RELACIONES HUMEDAD- PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS
(Ensayo normal de compactación)
Norma INV E 631-13

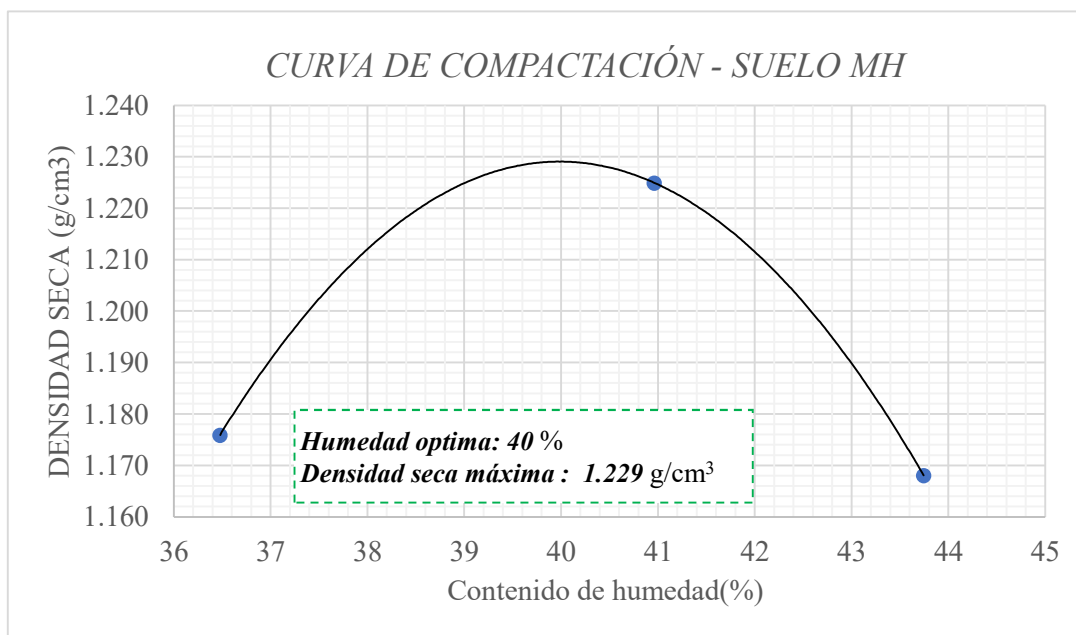
Prueba N°	1	2	3	4	5	6
N° de golpes	25	25	25	25	25	25
Humedad deseada (%)	38.0	41.0	44.0	47.0	47.0	47.0
Humedad Inicial de la muestra (%)	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Humedad adicional (%)	6.0	9.0	12.0	15.0	15.0	15.0
Peso muestra humeda (g)	450	450	450	450	451	452
Peso muestra seca (g)	341	341	341	341	342	342
Agua adicional (cm ³)	20	31	41	51	51	51
Molde N°						
Peso muestra humeda mas molde (g)	297.3	322.74	333.7	347	349.8	331.4
Peso molde (g)						
Peso muestra humeda (g)	297.3	322.74	333.7	347	349.8	331.4
Humedad de horno (%)	28.4	31.6	33.0	37.2	39.0	46.9
Peso muestra seca (g)	231.54	245.24	250.90	252.92	251.65	225.60
Volumen del molde (cm ³)	196.3	196.3	196.3	196.3	197.3	198.3
Densidad muestra seca (g/cm ³)	1.180	1.249	1.278	1.288	1.275	1.138





RELACIONES HUMEDAD- PESO UNITARIO SECO EN LOS
SUELOS(Ensayo normal de compactación)
Norma INV E 631-13

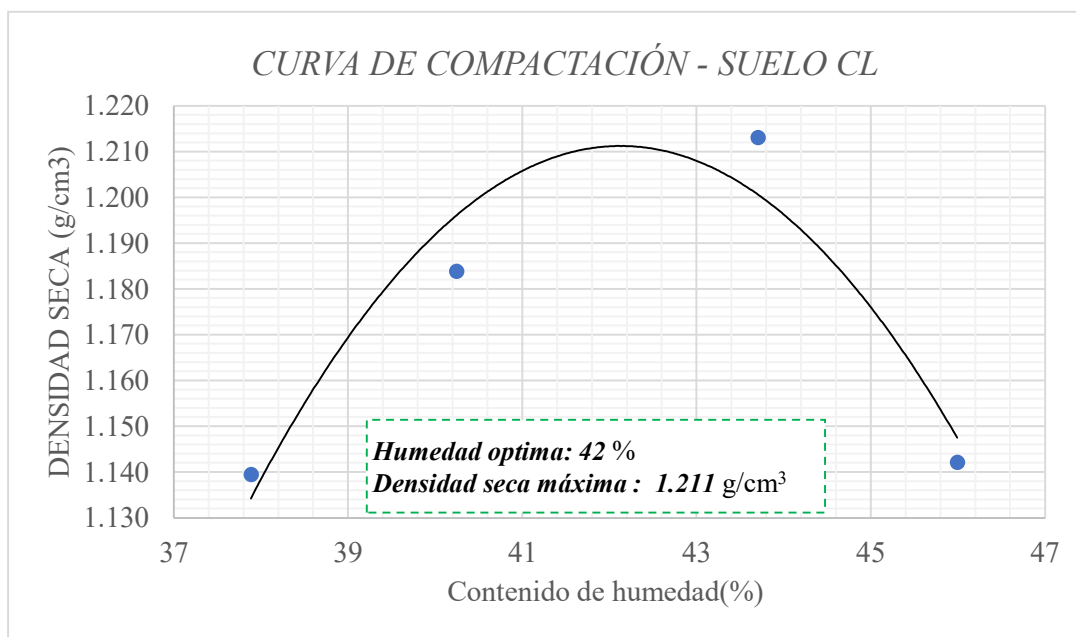
Prueba N°	1	2	3	
N° de golpes	25	25	25	
Humedad deseada (%)	38.0	42.0	46.0	
Humedad Inicial de la muestra (%)	30.0	30.0	30.0	
Humedad adicional (%)	8.0	12.0	16.0	
Peso muestra humeda (g)	3000	3000	3000	
Peso muestra seca (g)	2308	2308	2308	
Agua adicional (cm ³)	185	277	369	
Molde N°	1	7	1	
Peso muestra humeda mas molde (g)	3510	3610	3580	
Peso molde (g)	1995	1980	1995	
Peso muestra humeda (g)	1515	1630	1585	
Humedad de horno (%)	36	41	44	
Peso muestra seca (g)	1110	1156	1103	
Volumen del molde (cm ³)	944	944	944	
Densidad muestra seca (g/cm ³)	1.176	1.225	1.168	





RELACIONES HUMEDAD- PESO UNITARIO SECO EN LOS
SUELOS(Ensayo normal de compactación)
Norma INV E 631-13

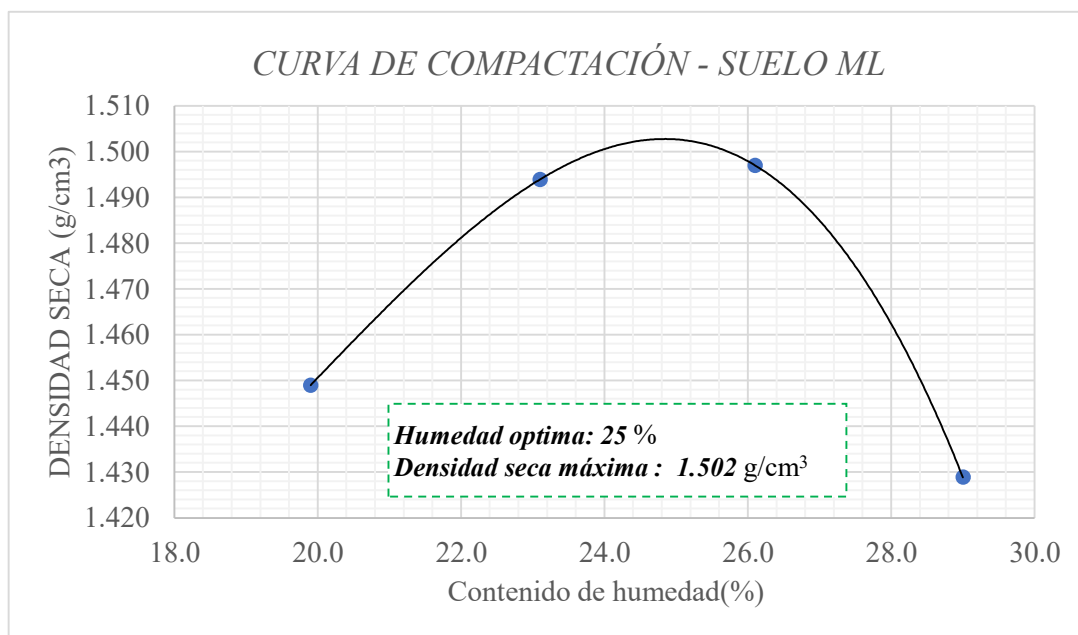
Prueba N°	1	2	3	4
N° de golpes	25	25	25	25
Humedad deseada (%)	38.0	41.0	44.0	47.0
Humedad Inicial de la muestra (%)	32.0	32.0	32.0	32.0
Humedad adicional (%)	6.0	9.0	12.0	15.0
Peso muestra humeda (g)	450	450	450	450
Peso muestra seca (g)	341	341	341	341
Agua adicional (cm ³)	20	31	41	51
Molde N°				
Peso muestra humeda mas molde (g)	1458.4	1475.9	1492.2	1477.3
Peso molde (g)	1150	1150	1150	1150
Peso muestra humeda (g)	308.4	325.9	342.2	327.3
Humedad de horno (%)	38	40	44	46
Peso muestra seca (g)	224	232	238	224
Volumen del molde (cm ³)	196.3	196.3	196.3	196.3
Densidad muestra seca (g/cm ³)	1.139	1.184	1.213	1.142





RELACIONES HUMEDAD- PESO UNITARIO SECO EN LOS
SUELOS(Ensayo normal de compactación)
Norma INV E 631-13

Prueba N°	1	2	3	4
N° de golpes	25	25	25	25
Humedad deseada (%)	21.0	24.0	27.0	30.0
Humedad Inicial de la muestra (%)	18.0	18.0	18.0	18.0
Humedad adicional (%)	3.0	6.0	9.0	12.0
Peso muestra humeda (g)	3000	3000	3000	3000
Peso muestra seca (g)	2542	2542	2542	2542
Agua adicional (cm ³)	76	153	229	305
Molde N°	9	2	6	7
Peso muestra humeda mas molde (g)	3645	3722	3750	3730
Peso molde (g)	2005	1986	1968	1990
Peso muestra humeda (g)	1640	1736	1782	1740
Humedad de horno (%)	19.9	23.1	26.1	29.0
Peso muestra seca (g)	1368	1410	1413	1349
Volumen del molde (cm ³)	944	944	944	944
Densidad muestra seca (g/cm ³)	1.449	1.494	1.497	1.429

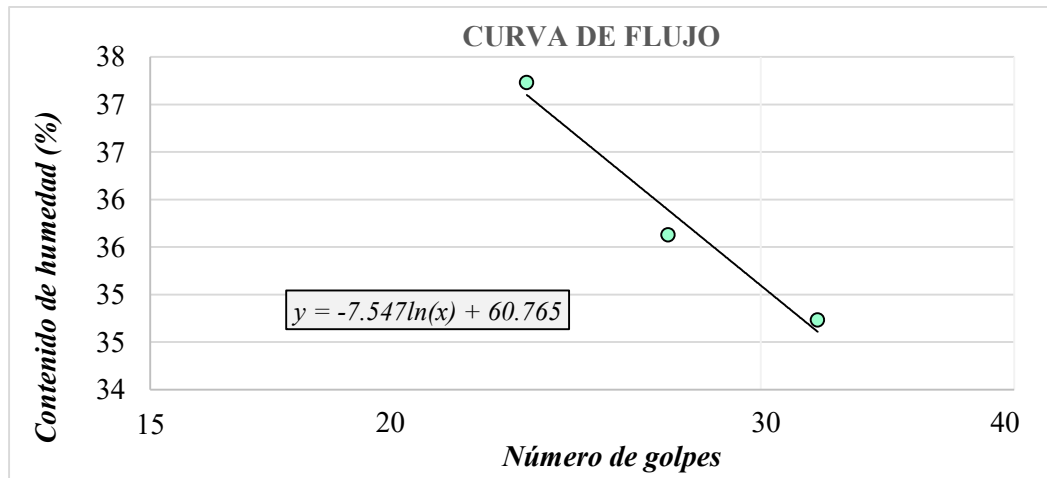




CLASIFICACIÓN SUELO FINO- Límites de Atterberg
Norma INV E 125-13 / INV E 126-13

SUELO ML + CENIZA DE CÁSCARA DE CAFÉ 10%

PARÁMETRO	LÍMITE LÍQUIDO		
Número de prueba	1	2	3
Número de golpes	23	27	32
Masa del recipiente (g)	5.034	5.478	5.625
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	11.377	15.565	14.275
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	9.656	12.915	12.045
Masa del agua (g)	1.721	2.65	2.23
Masa suelo seco (g)	4.622	7.437	6.42
Contenido de humedad (%)	37	36	35
LÍMITE LÍQUIDO (%) =			36



PARÁMETRO	LÍMITE PLÁSTICO	
Número de prueba	1	2
Masa del recipiente (g)	5.498	4.98
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	37.391	41.63
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	30.973	34.164
Masa del agua (g)	6.418	7.466
Masa suelo seco (g)	25.475	29.184
Contenido de humedad (%)	25	26
LÍMITE PLASTICO (%) =		25

RESULTADOS (%)	LL	36
	LP	25
	IP	11

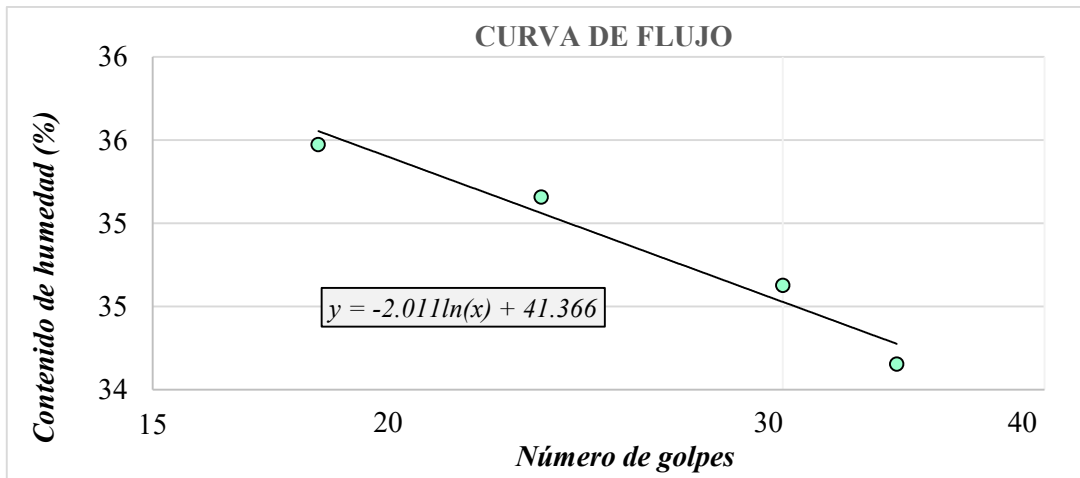
CLASIFICACIÓN SUCS	ML
-----------------------	----



CLASIFICACIÓN SUELO FINO- Límites de Atterberg
Norma INV E 125-13 / INV E 126-13

SUELO ML + CENIZA DE CÁSCARA DE CAFÉ 15%

PARÁMETRO	LÍMITE LÍQUIDO			
Número de prueba	1	2	3	4
Número de golpes	18	23	30	34
Masa del recipiente (g)	5.057	5.059	5.147	5.19
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	16.808	16.607	16.752	17.045
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	13.731	13.603	13.767	14.027
Masa del agua (g)	3.077	3.00	2.985	3.018
Masa suelo seco (g)	8.674	8.544	8.62	8.836
Contenido de humedad (%)	35	35	35	34
LÍMITE LÍQUIDO (%) =				35



PARÁMETRO	LÍMITE PLÁSTICO	
Número de prueba	1	2
Masa del recipiente (g)	4.852	5.259
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	35.937	36.105
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	29.177	29.366
Masa del agua (g)	6.76	6.739
Masa suelo seco (g)	24.325	24.107
Contenido de humedad (%)	28	28
LÍMITE PLASTICO (%) =		28

RESULTADOS (%)	LL	35
	LP	28
	IP	7

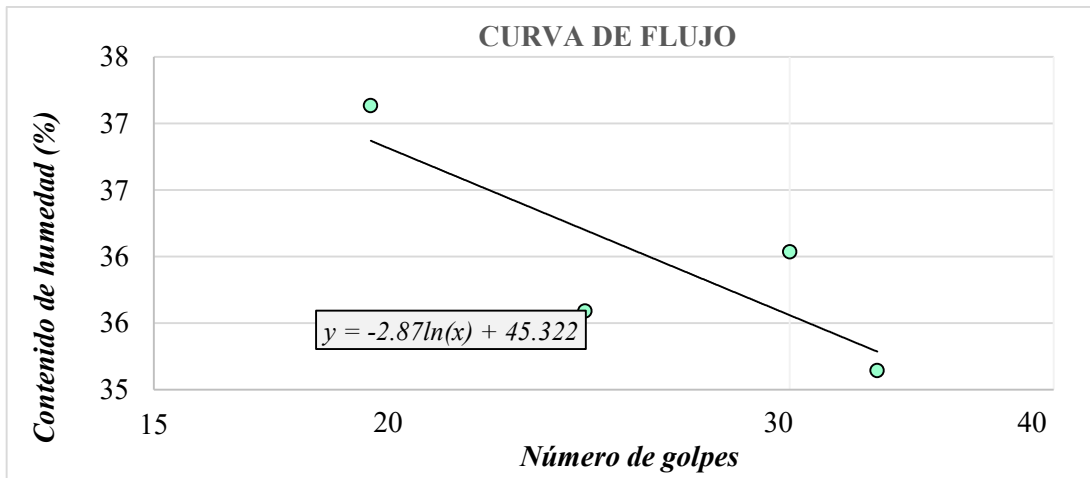
CLASIFICACIÓN SUCS	ML
--------------------	----



CLASIFICACIÓN SUELO FINO- Límites de Atterberg
Norma INV E 125-13 / INV E 126-13

SUELO ML + CENIZA DE CÁSCARA DE CAFÉ 20%

PARÁMETRO	LÍMITE LÍQUIDO			
Número de prueba	1	2	3	4
Número de golpes	19	24	30	33
Masa del recipiente (g)	5.586	5.132	5.133	5.27
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	20.213	24.153	16.197	18.375
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	16.252	19.16	13.266	14.967
Masa del agua (g)	3.961	4.99	2.931	3.408
Masa suelo seco (g)	10.666	14.028	8.133	9.697
Contenido de humedad (%)	37	36	36	35
LÍMITE LÍQUIDO (%) =				36



PARÁMETRO	LÍMITE PLÁSTICO	
Número de prueba	1	2
Masa del recipiente (g)	5.504	5.065
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	24.045	22.292
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	20.191	18.709
Masa del agua (g)	3.854	3.583
Masa suelo seco (g)	14.687	13.644
Contenido de humedad (%)	26	26
LÍMITE PLASTICO (%) =		26

RESULTADOS (%)	LL	36
	LP	26
	IP	10

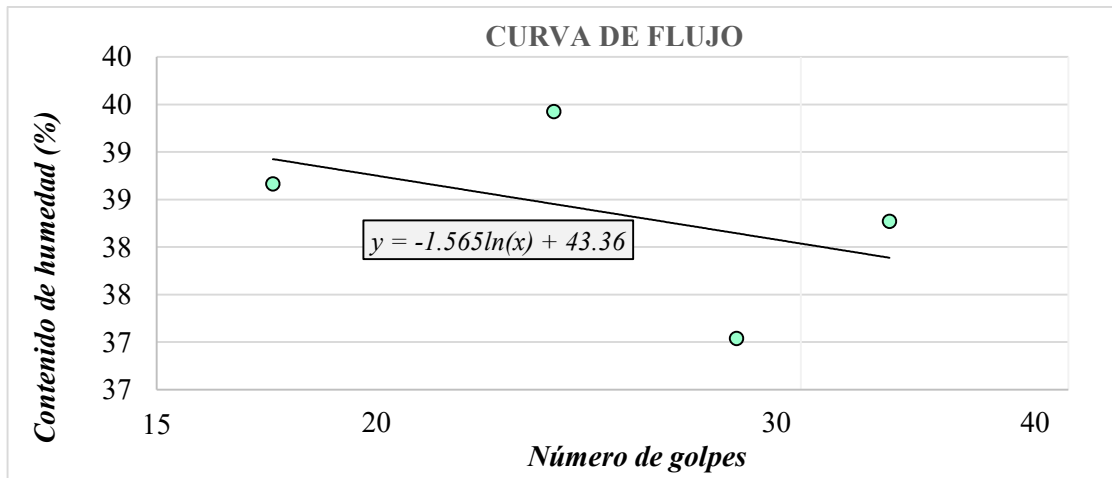
CLASIFICACIÓN SUCS	ML
-----------------------	----



CLASIFICACIÓN SUELO FINO- Límites de Atterberg
Norma INV E 125-13 / INV E 126-13

SUELO ML + CENIZA DE CÁSCARA DE CAFÉ 25%

PARÁMETRO	LÍMITE LÍQUIDO			
	1	2	3	4
Número de prueba	1	2	3	4
Número de golpes	17	23	28	33
Masa del recipiente (g)	5.772	5.007	5.464	5.004
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	36.731	24.128	26.346	26.948
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	28.098	18.721	20.702	20.874
Masa del agua (g)	8.633	5.41	5.644	6.074
Masa suelo seco (g)	22.326	13.714	15.238	15.87
Contenido de humedad (%)	39	39	37	38
LÍMITE LÍQUIDO (%) =				38



PARÁMETRO	LÍMITE PLÁSTICO	
	1	2
Número de prueba	1	2
Masa del recipiente (g)	5.865	5.571
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	31.632	24.705
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	26.481	20.874
Masa del agua (g)	5.151	3.831
Masa suelo seco (g)	20.616	15.303
Contenido de humedad (%)	25	25
LÍMITE PLÁSTICO (%) =		25

RESULTADOS (%)	LL	38
	LP	25
	IP	13

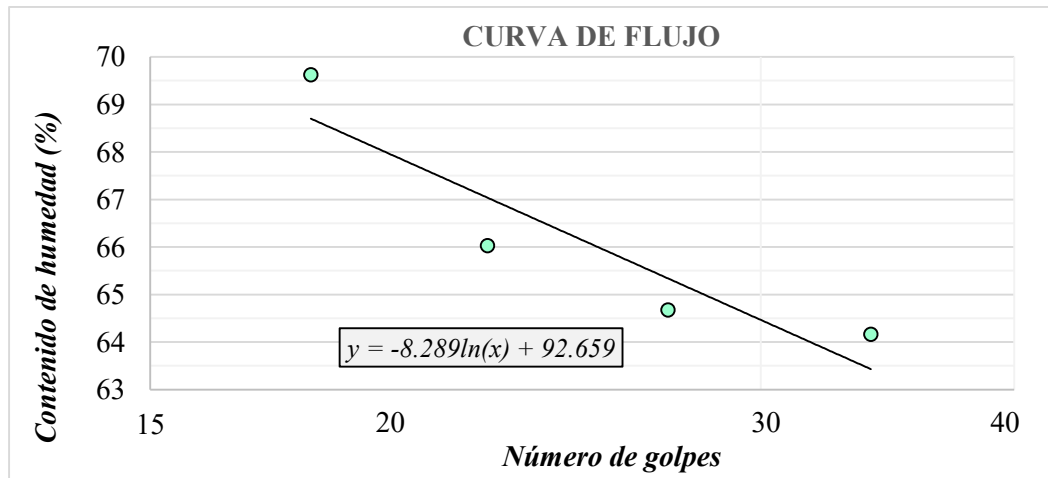
CLASIFICACIÓN SUCS	ML
--------------------	----



CLASIFICACIÓN SUELO FINO- Límites de Atterberg
Norma INV E 125-13 / INV E 126-13

SUELO MH + CENIZA DE CÁSCARA DE CAFÉ 10%

PARÁMETRO	LÍMITE LÍQUIDO			
Número de prueba	1	2	3	4
Número de golpes	18	22	27	34
Masa del recipiente (g)	5.012	5.321	4.929	5.116
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	13.356	16.769	19.997	18.059
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	9.931	12.216	14.079	13
Masa del agua (g)	3.425	4.55	5.918	5.059
Masa suelo seco (g)	4.919	6.895	9.15	7.884
Contenido de humedad (%)	70	66	65	64
LÍMITE LÍQUIDO (%) =				66



PARÁMETRO	LÍMITE PLÁSTICO	
Número de prueba	1	2
Masa del recipiente (g)	14.2	14.6
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	23	21.4
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	20.3	19.2
Masa del agua (g)	2.7	2.200
Masa suelo seco (g)	6.1	4.6
Contenido de humedad (%)	44	48
LÍMITE PLASTICO (%) =		46

RESULTADOS (%)	LL	66
	LP	46
	IP	20

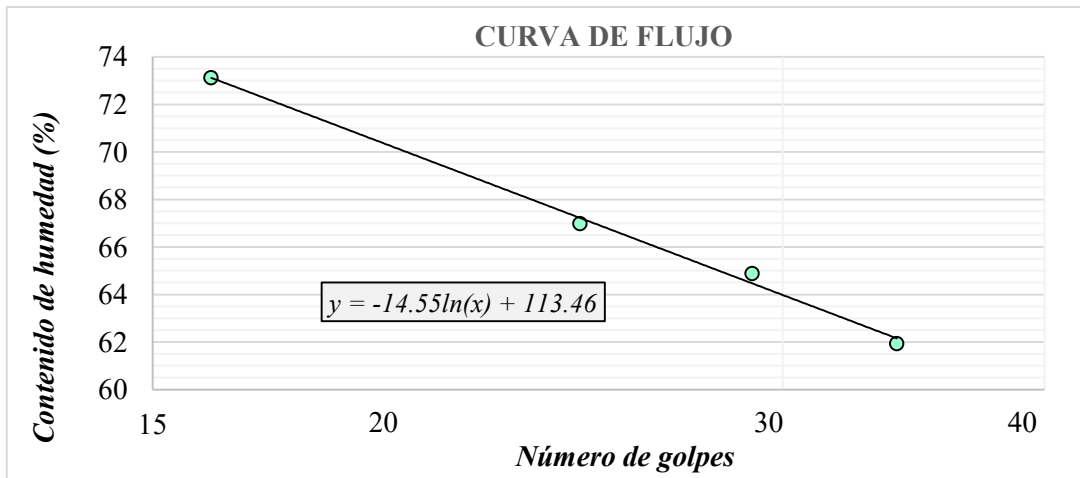
CLASIFICACIÓN SUCS	MH
-----------------------	----



CLASIFICACIÓN SUELO FINO- Límites de Atterberg
Norma INV E 125-13 / INV E 126-13

SUELO MH + CENIZA DE CÁSCARA DE CAFÉ 15%

PARÁMETRO	LÍMITE LÍQUIDO			
Número de prueba	1	2	3	4
Número de golpes	16	24	29	34
Masa del recipiente (g)	4.929	5.285	5.142	4.96
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	19.232	17.616	18.598	19.202
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	13.19	12.669	13.302	13.753
Masa del agua (g)	6.042	4.95	5.296	5.449
Masa suelo seco (g)	8.261	7.384	8.16	8.797
Contenido de humedad (%)	73	67	65	62
LÍMITE LÍQUIDO (%) =				67



PARÁMETRO	LÍMITE PLÁSTICO	
Número de prueba	1	2
Masa del recipiente (g)	5.266	5.152
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	28.3	30.939
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	20.51	22.108
Masa del agua (g)	7.79	8.831
Masa suelo seco (g)	15.244	16.956
Contenido de humedad (%)	51	52
LÍMITE PLASTICO (%) =		52

RESULTADOS (%)	LL	67
	LP	52
	IP	15

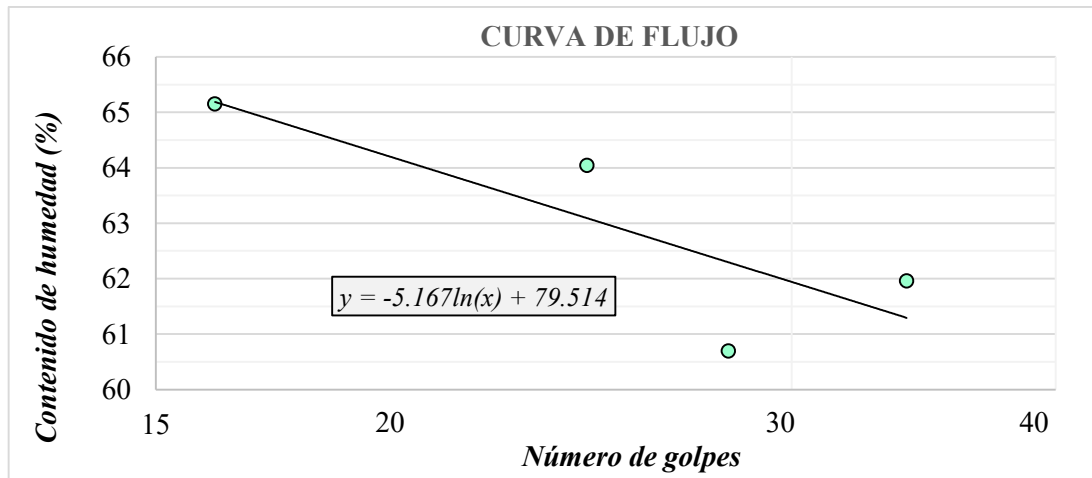
CLASIFICACIÓN SUCS	MH
--------------------	----



CLASIFICACIÓN SUELO FINO- Límites de Atterberg
Norma INV E 125-13 / INV E 126-13

SUELO MH + CENIZA DE CÁSCARA DE CAFÉ 20%

PARÁMETRO	LÍMITE LÍQUIDO			
Número de prueba	1	2	3	4
Número de golpes	16	24	28	34
Masa del recipiente (g)	5.391	5.300	5.721	5.482
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	29.709	26.17	31.788	26.306
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	20.115	18.022	21.942	18.339
Masa del agua (g)	9.594	8.15	9.846	7.967
Masa suelo seco (g)	14.724	12.722	16.221	12.857
Contenido de humedad (%)	65	64	61	62
LÍMITE LÍQUIDO (%) =				63



PARÁMETRO	LÍMITE PLÁSTICO	
Número de prueba	1	2
Masa del recipiente (g)	11.859	11.868
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	29.947	28.756
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	24.787	23.934
Masa del agua (g)	5.16	4.822
Masa suelo seco (g)	12.928	12.066
Contenido de humedad (%)	40	40
LÍMITE PLASTICO (%) =		40

RESULTADOS (%)	LL	63
	LP	40
	IP	23

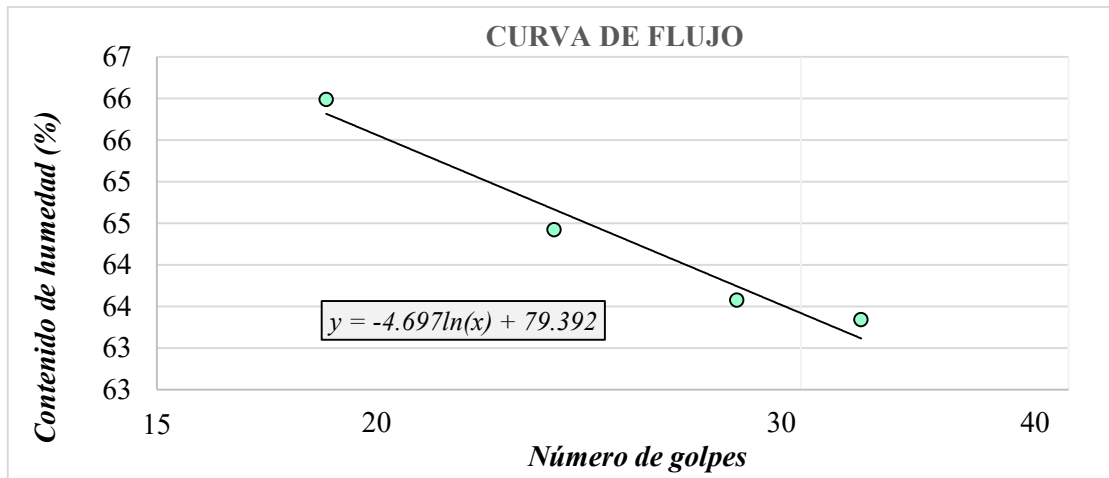
CLASIFICACIÓN SUCS	MH
-----------------------	----



CLASIFICACIÓN SUELO FINO- Límites de Atterberg
Norma INV E 125-13 / INV E 126-13

SUELO MH + CENIZA DE CÁSCARA DE CAFÉ 25%

PARÁMETRO	LÍMITE LÍQUIDO			
	1	2	3	4
Número de prueba	1	2	3	4
Número de golpes	18	23	28	32
Masa del recipiente (g)	5.054	5.043	5.104	4.975
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	20.84	18.881	20.837	14.15
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	14.564	13.459	14.722	10.592
Masa del agua (g)	6.276	5.42	6.115	3.558
Masa suelo seco (g)	9.510	8.416	9.618	5.617
Contenido de humedad (%)	66	64	64	63
LÍMITE LÍQUIDO (%) =				65



PARÁMETRO	LÍMITE PLÁSTICO	
	1	2
Número de prueba	1	2
Masa del recipiente (g)	11.457	16.567
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	22.538	29.244
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	19.232	25.372
Masa del agua (g)	3.306	3.872
Masa suelo seco (g)	7.775	8.805
Contenido de humedad (%)	43	44
LÍMITE PLASTICO (%) =		43

RESULTADOS (%)	LL	65
	LP	43
	IP	22

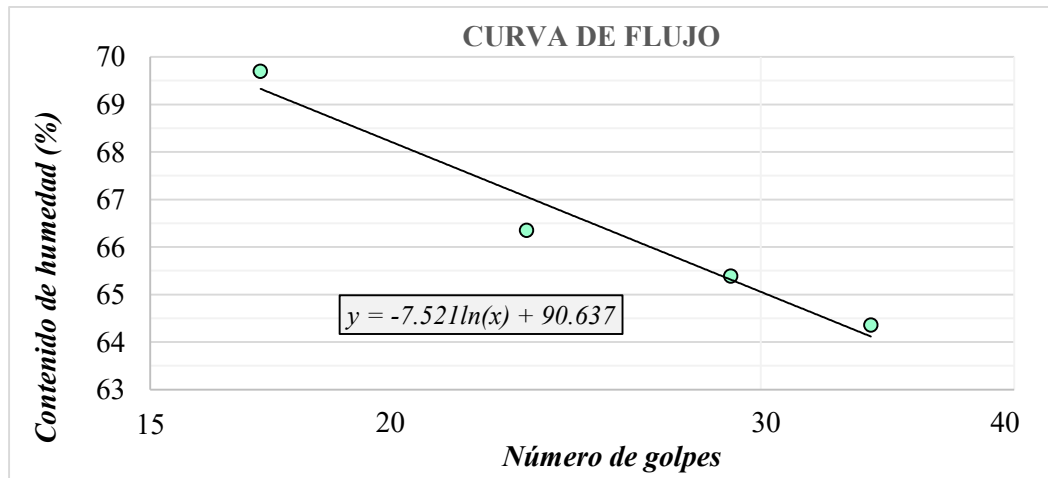
CLASIFICACIÓN SUCS	MH
--------------------	----



CLASIFICACIÓN SUELO FINO- Límites de Atterberg
Norma INV E 125-13 / INV E 126-13

SUELO CH + CENIZA DE CÁSCARA DE CAFÉ 10%

PARÁMETRO	LÍMITE LÍQUIDO			
Número de prueba	1	2	3	4
Número de golpes	17	23	29	34
Masa del recipiente (g)	5.169	5.007	5.008	5.423
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	20.395	18.6	19.235	16.376
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	14.141	13.178	13.61	12.087
Masa del agua (g)	6.254	5.42	5.625	4.289
Masa suelo seco (g)	8.972	8.171	8.602	6.664
Contenido de humedad (%)	70	66	65	64
LÍMITE LÍQUIDO (%) =				66



PARÁMETRO	LÍMITE PLÁSTICO	
Número de prueba	1	2
Masa del recipiente (g)	15.4	14
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	23.3	23.5
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	21.5	21.2
Masa del agua (g)	1.8	2.300
Masa suelo seco (g)	6.1	7.2
Contenido de humedad (%)	30	32
LÍMITE PLASTICO (%) =		31

RESULTADOS (%)	LL	66
	LP	31
	IP	36

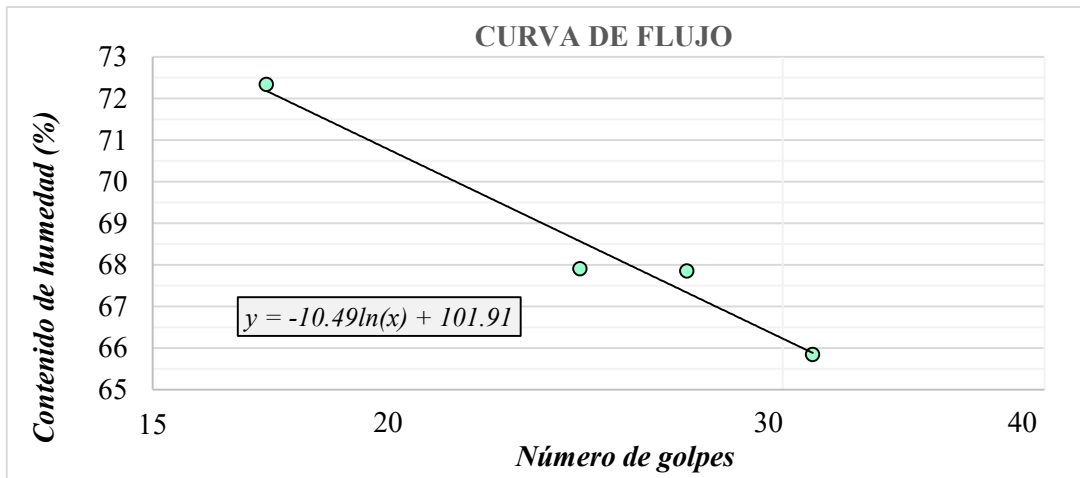
CLASIFICACIÓN SUCS	CH
-----------------------	----



CLASIFICACIÓN SUELO FINO- Límites de Atterberg
Norma INV E 125-13 / INV E 126-13

SUELO CH + CENIZA DE CÁSCARA DE CAFÉ 15%

PARÁMETRO	LÍMITE LÍQUIDO			
Número de prueba	1	2	3	4
Número de golpes	17	24	27	31
Masa del recipiente (g)	5.61	4.898	5.9	5.00
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	23.358	21.558	20	18.6
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	15.908	14.82	14.3	13.2
Masa del agua (g)	7.45	6.74	5.7	5.4
Masa suelo seco (g)	10.298	9.922	8.4	8.2
Contenido de humedad (%)	72	68	68	66
LÍMITE LÍQUIDO (%) =				68



PARÁMETRO	LÍMITE PLÁSTICO	
Número de prueba	1	2
Masa del recipiente (g)	4.896	5.244
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	13.294	14.256
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	11.249	12.074
Masa del agua (g)	2.045	2.182
Masa suelo seco (g)	6.353	6.83
Contenido de humedad (%)	32	32
LÍMITE PLASTICO (%) =		32

RESULTADOS (%)	LL	68
	LP	32
	IP	36

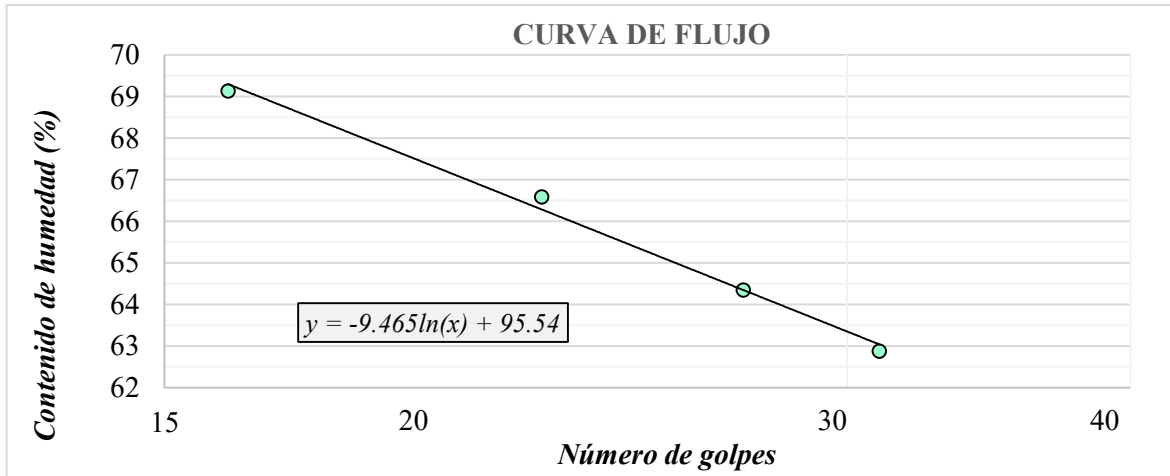
CLASIFICACIÓN SUCS	CH
-----------------------	----



CLASIFICACIÓN SUELO FINO- Límites de Atterberg
Norma INV E 125-13 / INV E 126-13

SUELO CH + CENIZA DE CÁSCARA DE CAFÉ 20%

PARÁMETRO	LÍMITE LÍQUIDO			
Número de prueba	1	2	3	4
Número de golpes	16	22	27	31
Masa del recipiente (g)	4.932	5.643	5.025	5.141
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	25.619	24.786	26.031	23.949
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	17.163	17.134	17.806	16.688
Masa del agua (g)	8.456	7.65	8.225	7.261
Masa suelo seco (g)	12.231	11.491	12.781	11.547
Contenido de humedad (%)	69	67	64	63
LÍMITE LÍQUIDO (%) =				65



PARÁMETRO	LÍMITE PLÁSTICO	
Número de prueba	1	2
Masa del recipiente (g)	15.2	14.8
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	21.3	21.6
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	19.595	20
Masa del agua (g)	1.705	1.600
Masa suelo seco (g)	4.395	5.2
Contenido de humedad (%)	39	31
LÍMITE PLASTICO (%) =		35

RESULTADOS (%)	LL	65
	LP	35
	IP	30

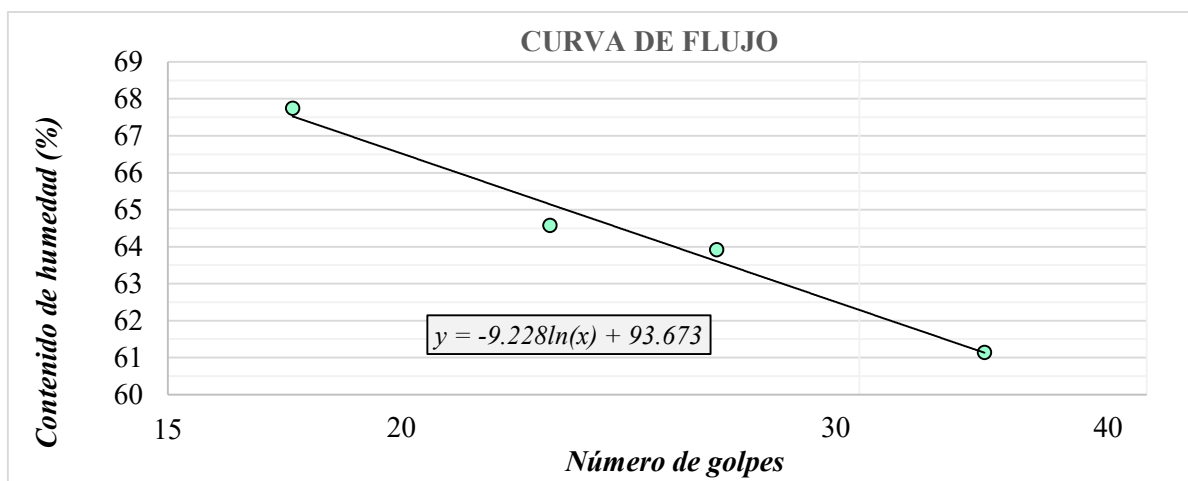
CLASIFICACIÓN SUCS	MH
-----------------------	----



CLASIFICACIÓN SUELO FINO- Límites de Atterberg
Norma INV E 125-13 / INV E 126-13

SUELO CH + CENIZA DE CÁSCARA DE CAFÉ 25%

PARÁMETRO	LÍMITE LÍQUIDO			
Número de prueba	1	2	3	4
Número de golpes	17	22	26	34
Masa del recipiente (g)	4.905	5.66	5.549	5.665
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	19.52	19.89	21.378	20.01
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	13.617	14.306	15.205	14.567
Masa del agua (g)	5.903	5.58	6.173	5.443
Masa suelo seco (g)	8.712	8.646	9.656	8.902
Contenido de humedad (%)	68	65	64	61
LÍMITE LÍQUIDO (%) =				64



PARÁMETRO	LÍMITE PLÁSTICO	
Número de prueba	1	2
Masa del recipiente (g)	5.444	5.587
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	18.47	19.569
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	15.164	16.02
Masa del agua (g)	3.306	3.549
Masa suelo seco (g)	9.72	10.433
Contenido de humedad (%)	34	34
LÍMITE PLASTICO (%) =		34

RESULTADOS (%)	LL	64
	LP	34
	IP	30

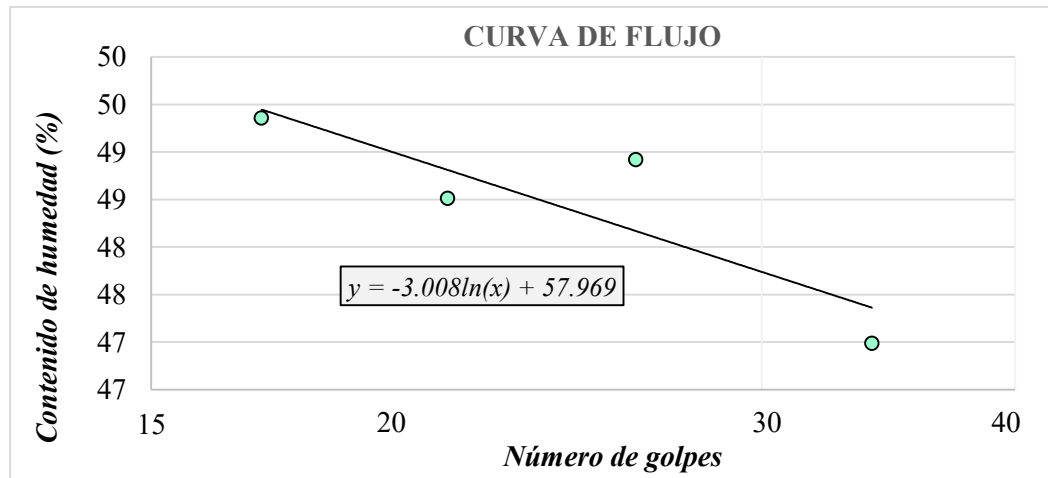
CLASIFICACIÓN SUCS	MH
-----------------------	----



CLASIFICACIÓN SUELO FINO- Límites de Atterberg
Norma INV E 125-13 / INV E 126-13

SUELO CL + CENIZA DE CÁSCARA DE CAFÉ 10%

PARÁMETRO	LÍMITE LÍQUIDO			
Número de prueba	1	2	3	4
Número de golpes	17	21	26	34
Masa del recipiente (g)	5.166	4.979	4.893	5.587
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	21.131	23.049	21.215	19.523
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	15.855	17.146	15.853	15.068
Masa del agua (g)	5.276	5.90	5.362	4.455
Masa suelo seco (g)	10.689	12.167	10.96	9.481
Contenido de humedad (%)	49	49	49	47
LÍMITE LÍQUIDO (%) =				48



PARÁMETRO	LÍMITE PLÁSTICO	
Número de prueba	1	2
Masa del recipiente (g)	4.934	5.46
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	36.528	36.27
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	27.855	27.792
Masa del agua (g)	8.673	8.478
Masa suelo seco (g)	22.921	22.332
Contenido de humedad (%)	38	38
LÍMITE PLASTICO (%) =		38

RESULTADOS (%)	LL	48
	LP	38
	IP	10

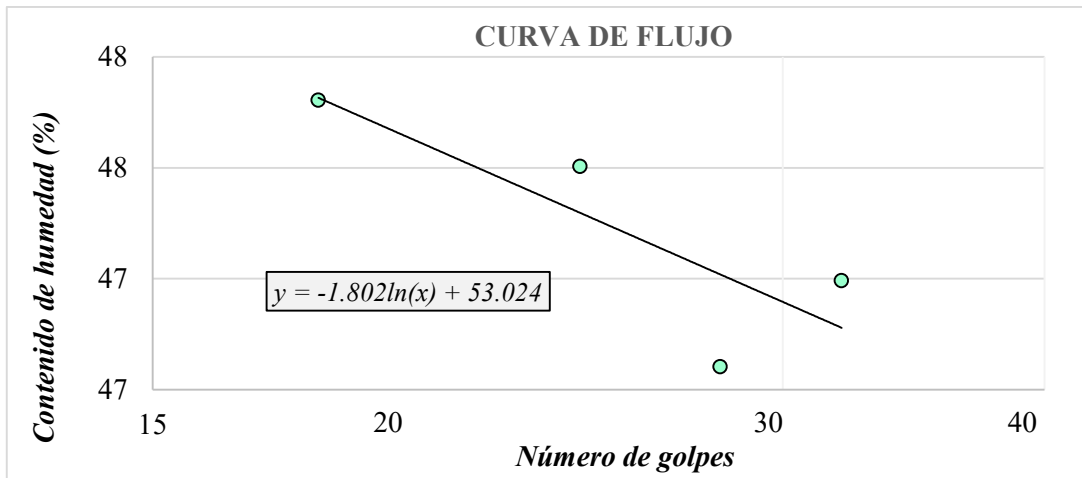
CLASIFICACIÓN SUCS	ML
-----------------------	----



CLASIFICACIÓN SUELO FINO- Límites de Atterberg
Norma INV E 125-13 / INV E 126-13

SUELO CL + CENIZA DE CÁSCARA DE CAFÉ 15%

PARÁMETRO	LÍMITE LÍQUIDO			
Número de prueba	1	2	3	4
Número de golpes	18	24	28	32
Masa del recipiente (g)	4.958	5.323	4.951	5.62
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	12.505	12.576	12.117	13.561
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	10.064	10.24	9.839	11.022
Masa del agua (g)	2.441	2.34	2.278	2.539
Masa suelo seco (g)	5.106	4.917	4.888	5.403
Contenido de humedad (%)	48	48	47	47
LÍMITE LÍQUIDO (%) =				47



PARÁMETRO	LÍMITE PLÁSTICO	
Número de prueba	1	2
Masa del recipiente (g)	5.242	5.660
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	19.924	19.194
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	16.319	15.864
Masa del agua (g)	3.605	3.330
Masa suelo seco (g)	11.077	10.204
Contenido de humedad (%)	33	33
LÍMITE PLASTICO (%) =		33

RESULTADOS (%)	LL	47
	LP	33
	IP	15

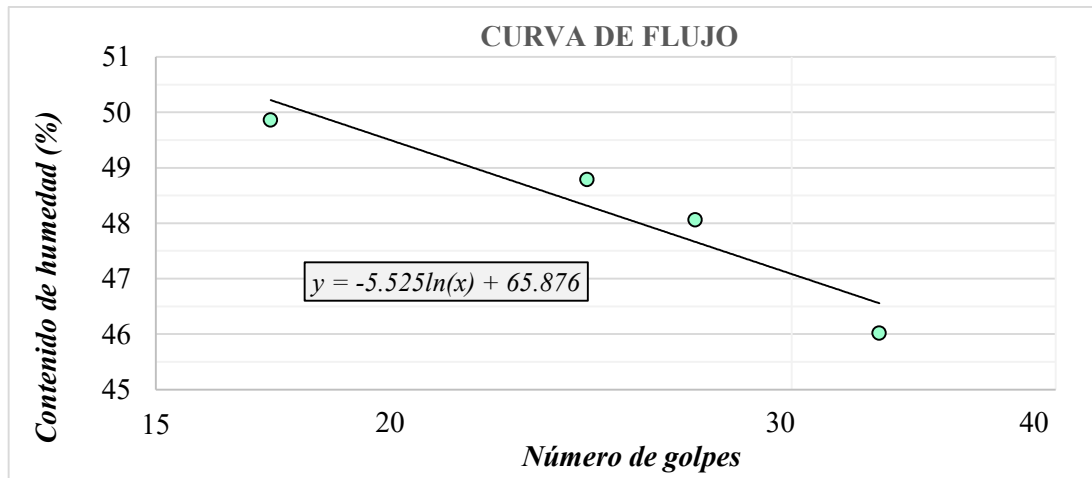
CLASIFICACIÓN SUCS	ML
--------------------	----



CLASIFICACIÓN SUELO FINO- Límites de Atterberg
Norma INV E 125-13 / INV E 126-13

SUELO CL + CENIZA DE CÁSCARA DE CAFÉ 20%

PARÁMETRO	LÍMITE LÍQUIDO			
Número de prueba	1	2	3	4
Número de golpes	17	24	27	33
Masa del recipiente (g)	5.439	5.791	5.130	5.591
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	25.306	23.078	23.726	22.733
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	18.6952	17.409	17.689	17.33
Masa del agua (g)	6.6108	5.67	6.037	5.403
Masa suelo seco (g)	13.256	11.618	12.559	11.739
Contenido de humedad (%)	50	49	48	46
LÍMITE LÍQUIDO (%) =				48



PARÁMETRO	LÍMITE PLÁSTICO	
Número de prueba	1	2
Masa del recipiente (g)	5.505	5.111
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	38.438	40.357
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	29.646	30.975
Masa del agua (g)	8.792	9.382
Masa suelo seco (g)	24.141	25.864
Contenido de humedad (%)	36	36
LÍMITE PLASTICO (%) =		36

RESULTADOS (%)	LL	48
	LP	36
	IP	12

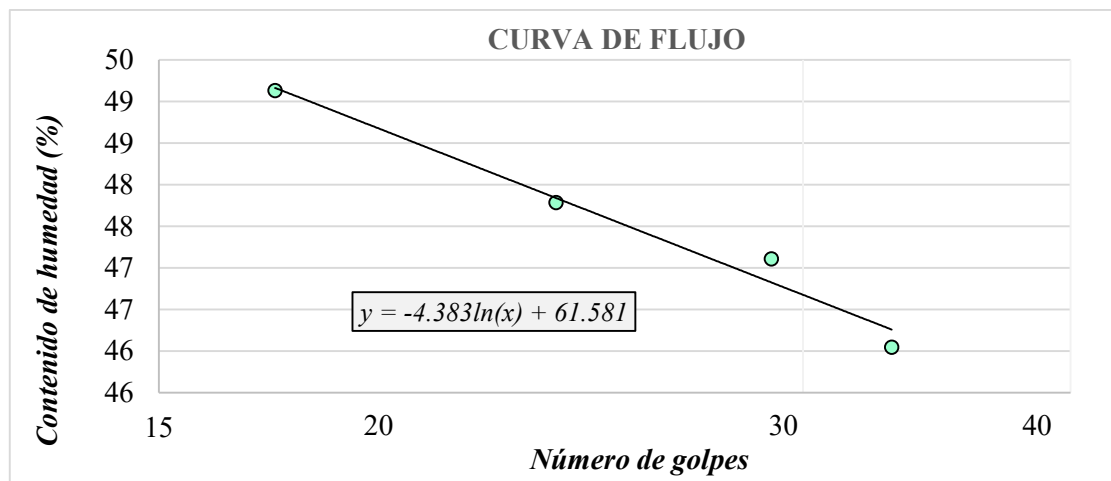
CLASIFICACIÓN SUCS	ML
-----------------------	----



CLASIFICACIÓN SUELO FINO- Límites de Atterberg
Norma INV E 125-13 / INV E 126-13

SUELO CL + CENIZA DE CÁSCARA DE CAFÉ 25%

PARÁMETRO	LÍMITE LÍQUIDO			
Número de prueba	1	2	3	4
Número de golpes	17	23	29	33
Masa del recipiente (g)	4.905	5.147	4.938	5.508
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	19.662	20.585	21.332	20.443
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	14.8	15.593	16.082	15.734
Masa del agua (g)	4.862	4.99	5.25	4.709
Masa suelo seco (g)	9.895	10.446	11.144	10.226
Contenido de humedad (%)	49	48	47	46
LÍMITE LÍQUIDO (%) =				47



PARÁMETRO	LÍMITE PLÁSTICO	
Número de prueba	1	2
Masa del recipiente (g)	5.121	5.571
Masa del recipiente mas suelo humedo (g)	19.094	22.8
Masa del recipiente mas suelo seco (g)	15.401	18.21
Masa del agua (g)	3.693	4.590
Masa suelo seco (g)	10.28	12.639
Contenido de humedad (%)	36	36
LÍMITE PLASTICO (%) =		36

RESULTADOS (%)	LL	47
	LP	36
	IP	11

CLASIFICACIÓN SUCS	ML
-----------------------	----



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	No aplica
PORCENTAJE	0%

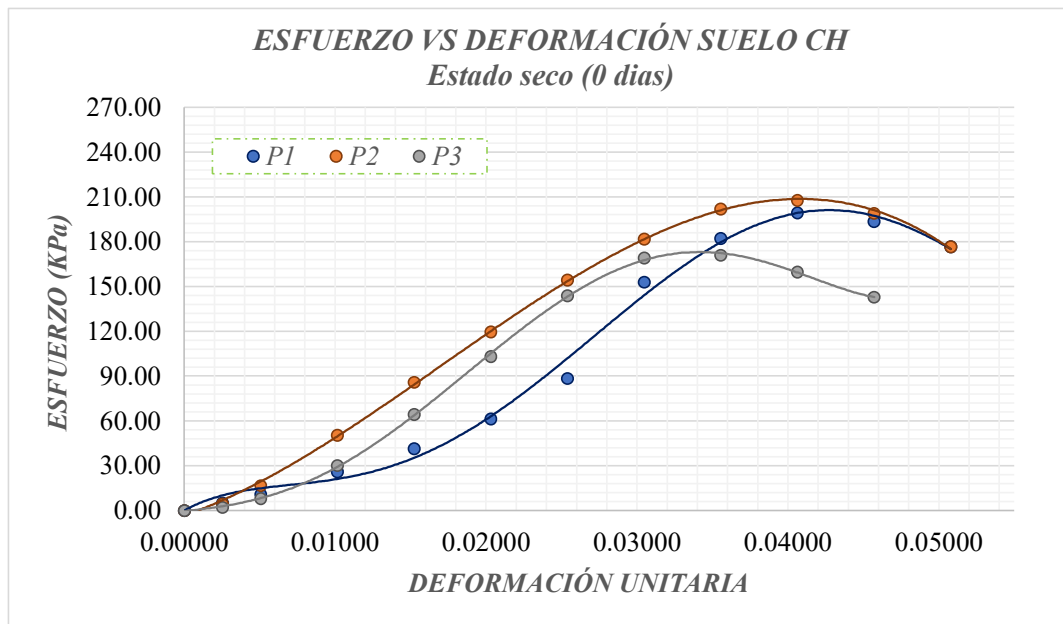


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P1	0.04064	199.39
2	P2	0.04064	207.75
3	P3	0.03556	171.01
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			192.72



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	No aplica
PORCENTAJE	0%

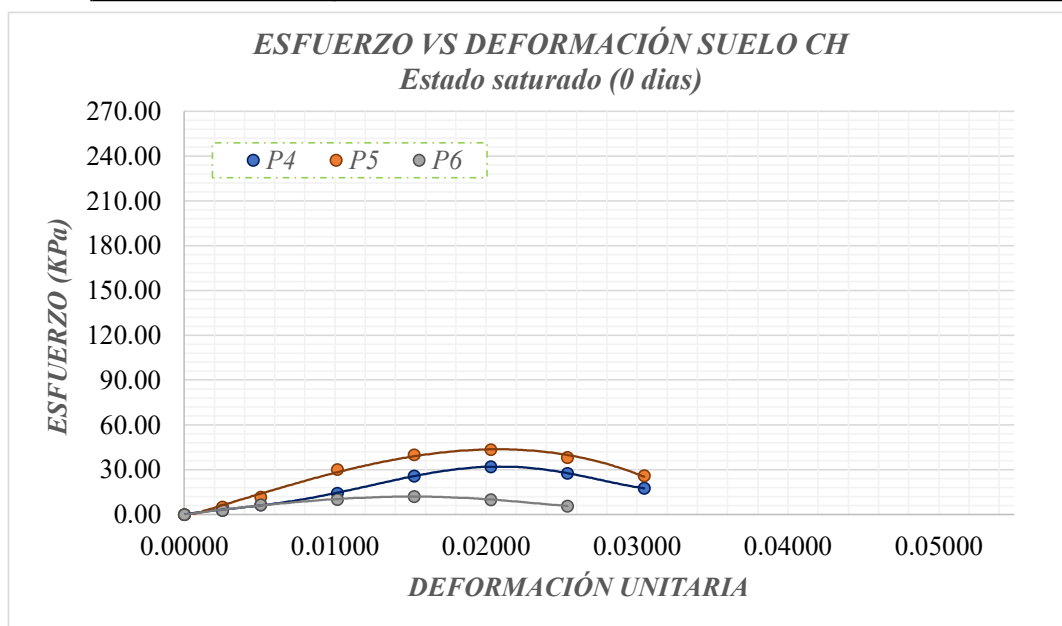


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P4	0.02032	32.04
2	P5	0.02032	43.43
3	P6	0.01524	12.17
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			29.21



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

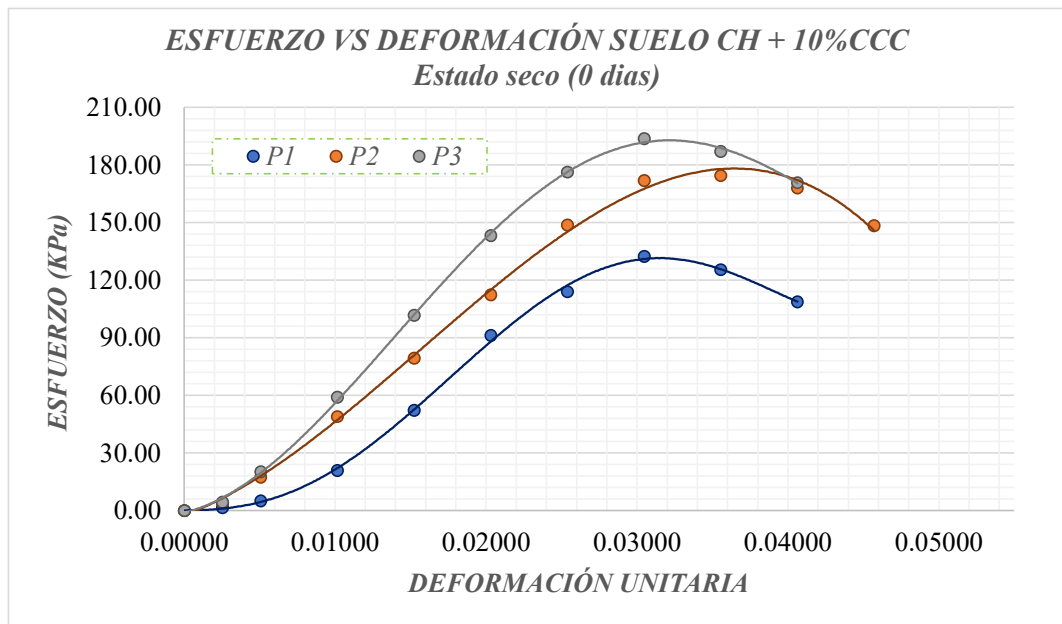


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P1	0.03048	132.45
2	P2	0.03556	174.51
3	P3	0.03048	193.75
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			184.13



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

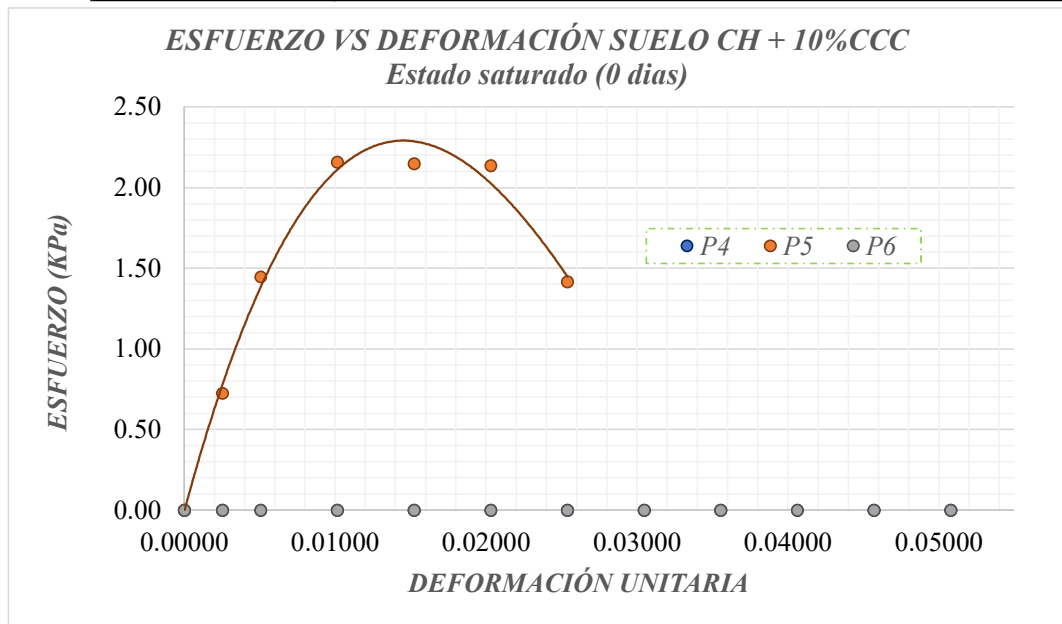


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P4	0.00000	0.00
2	P5	0.01524	2.15
3	P6	0	0.00
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			2.15



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

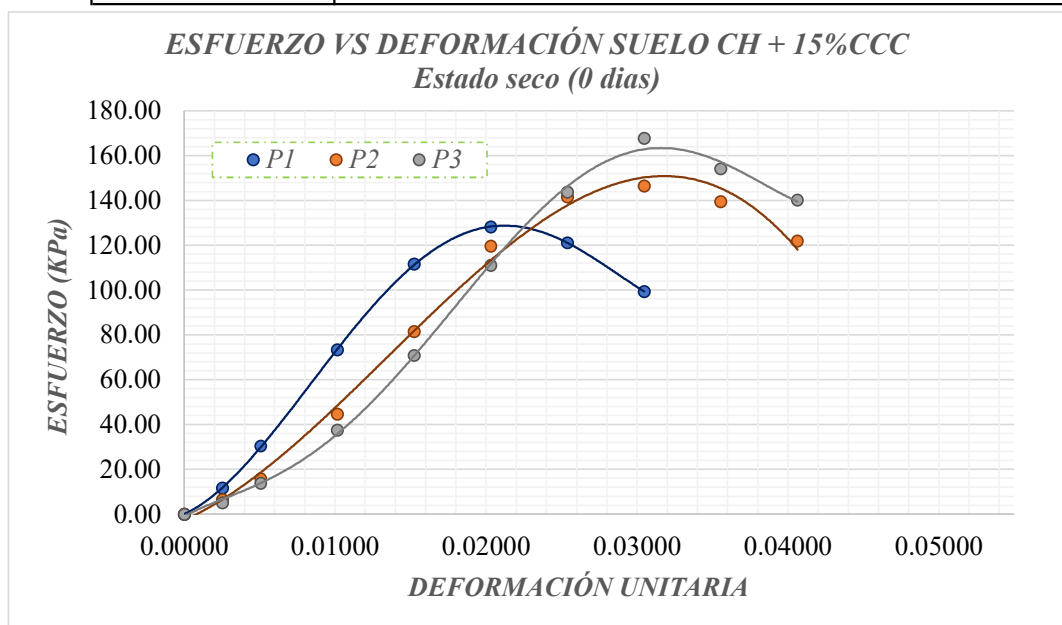


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P1	0.02032	128.15
2	P2	0.03048	146.55
3	P3	0.03048	167.68
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			147.46



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

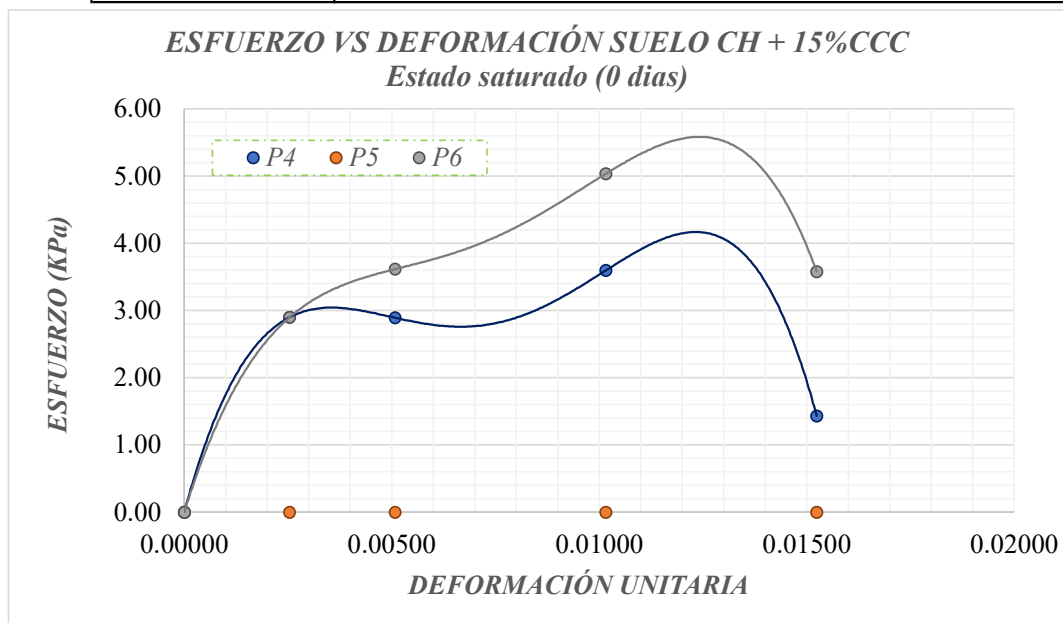


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P4	0.01016	3.60
2	P5	0	0.00
3	P6	0.01016	5.04
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			4.32



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

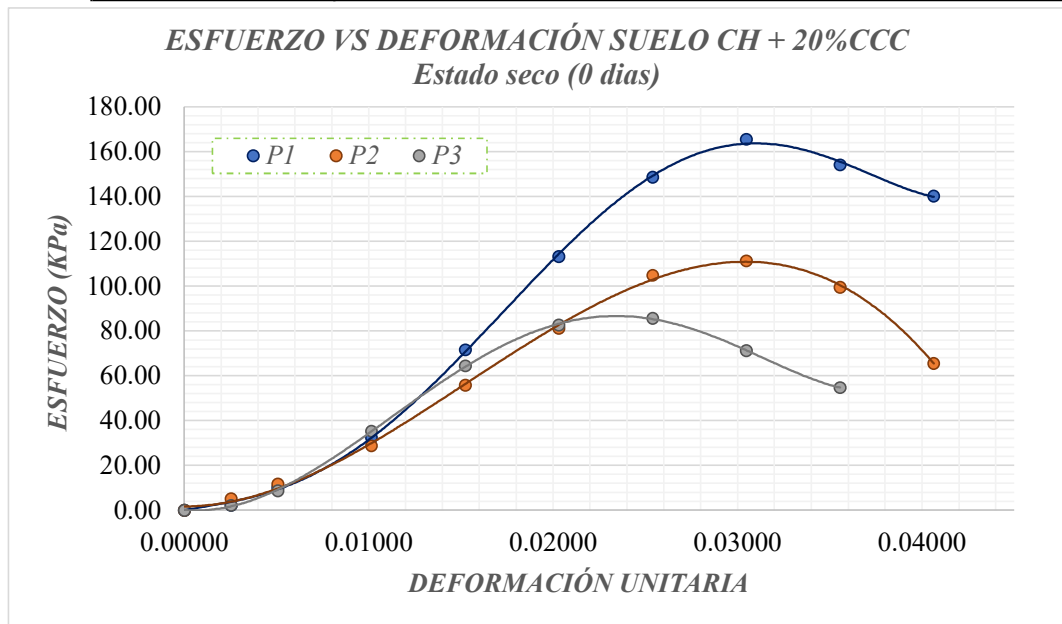


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P1	0.03048	165.57
2	P2	0.03048	111.32
3	P3	0.0254	85.70
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			138.44



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152-13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

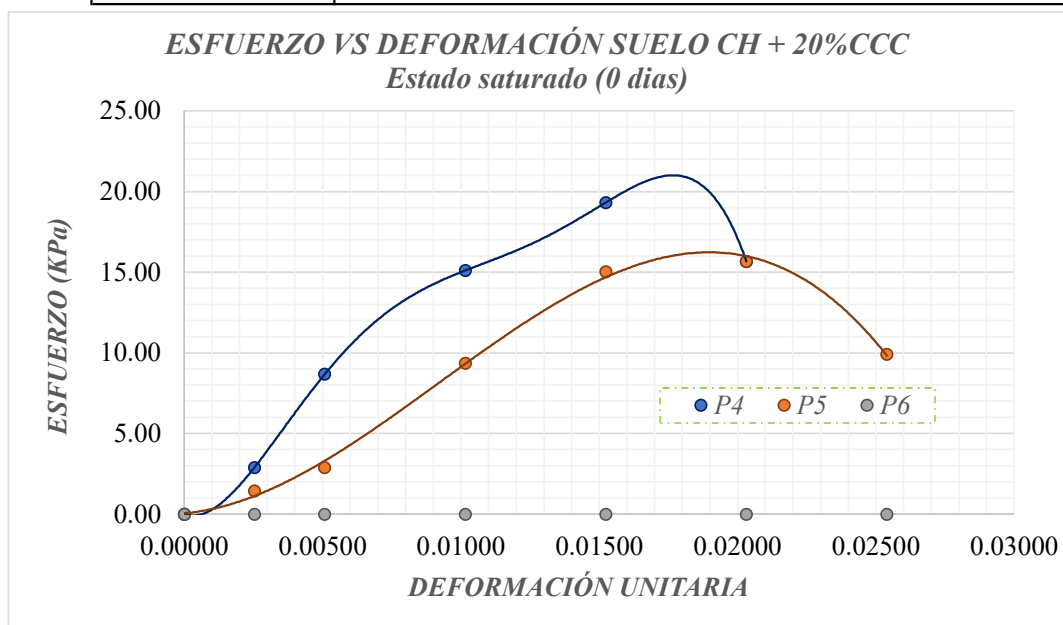


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P4	0.01524	19.32177
2	P5	0.02032	15.66245
3	P6	0.00000	0.00000
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			17.49



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

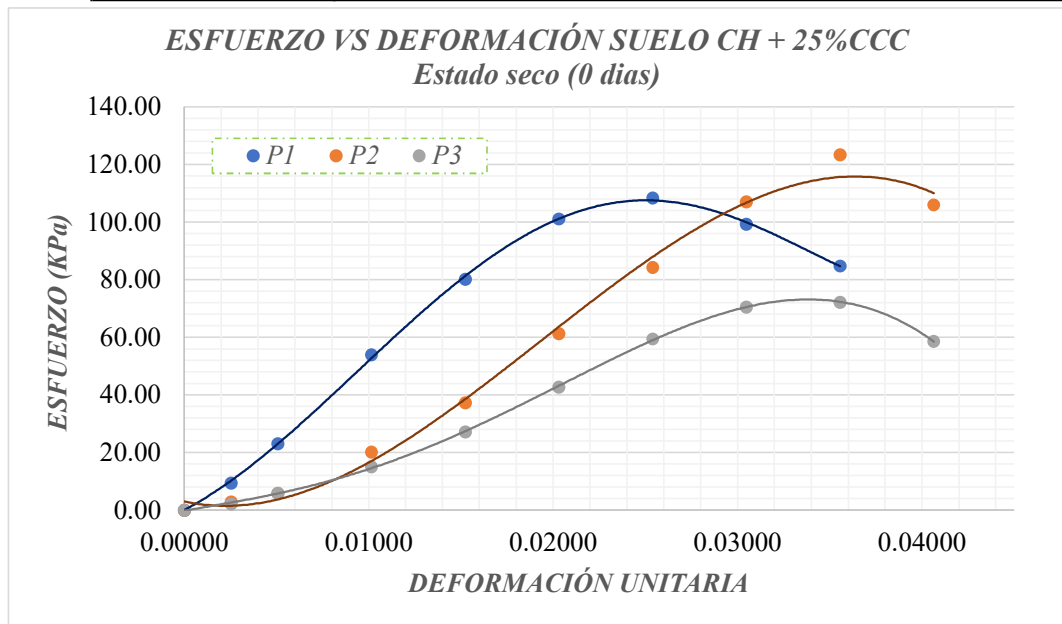


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P1	0.02540	108.36
2	P2	0.03048	123.35
3	P3	0.02540	72.19
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			115.86



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152-13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

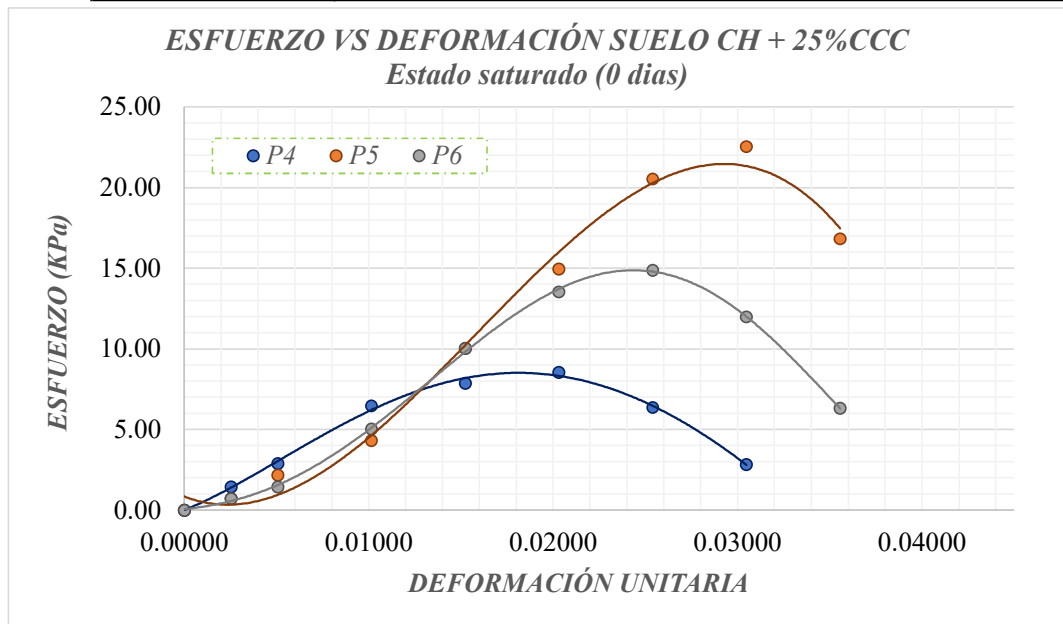


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P4	0.02032	8.54
2	P5	0.03048	22.55
3	P6	0.0254	14.87
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			18.71



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

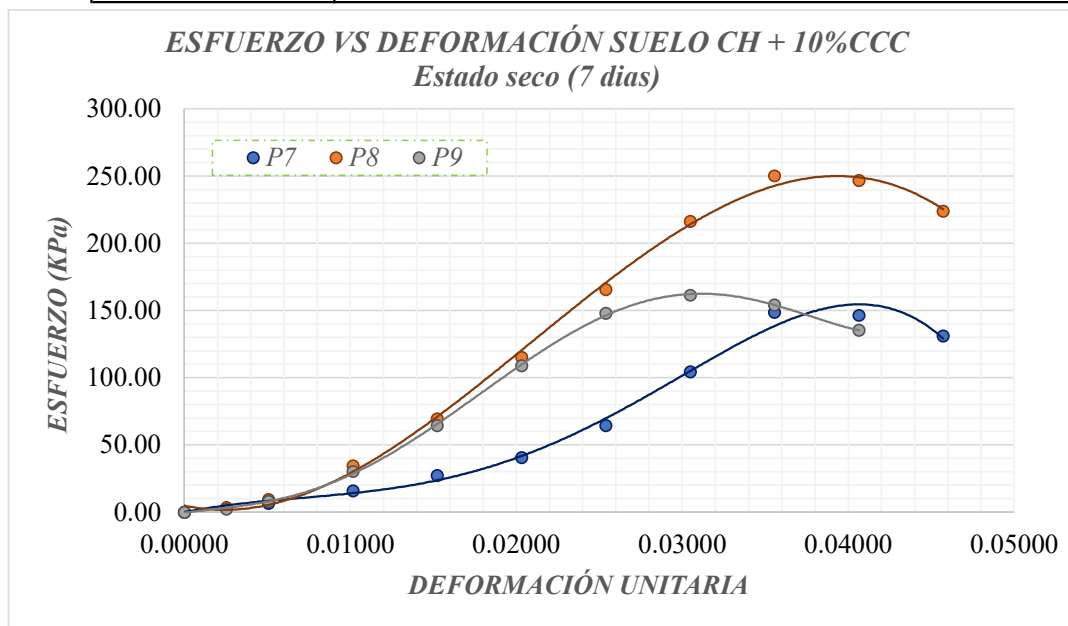


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P7	0.03556	148.58
2	P8	0.03556	250.21
3	P9	0.03048	161.34
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			199.39



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

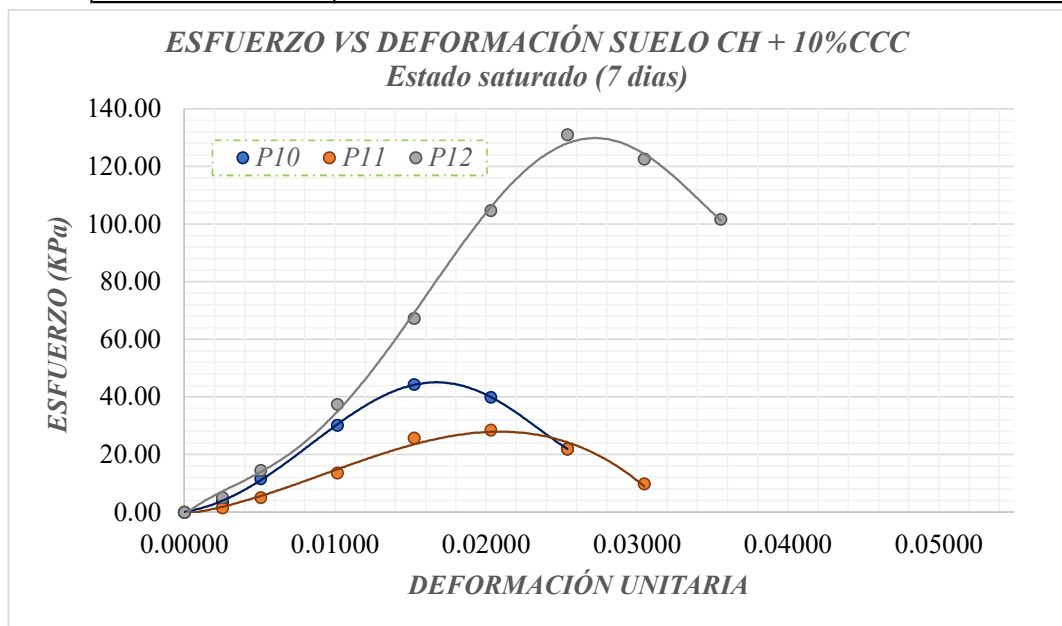


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P10	0.01524	44.37
2	P11	0.02032	28.48
3	P12	0.0254	131.02
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			87.70



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

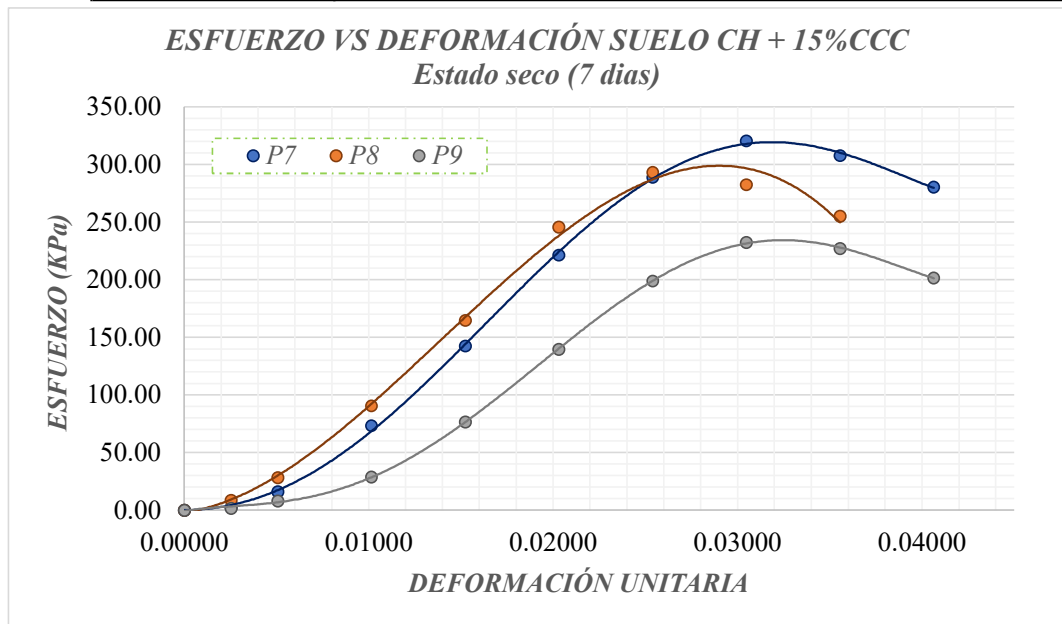


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P7	0.03048	320.57
2	P8	0.0254	293.21
3	P9	0.03048	232.50
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			306.89



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

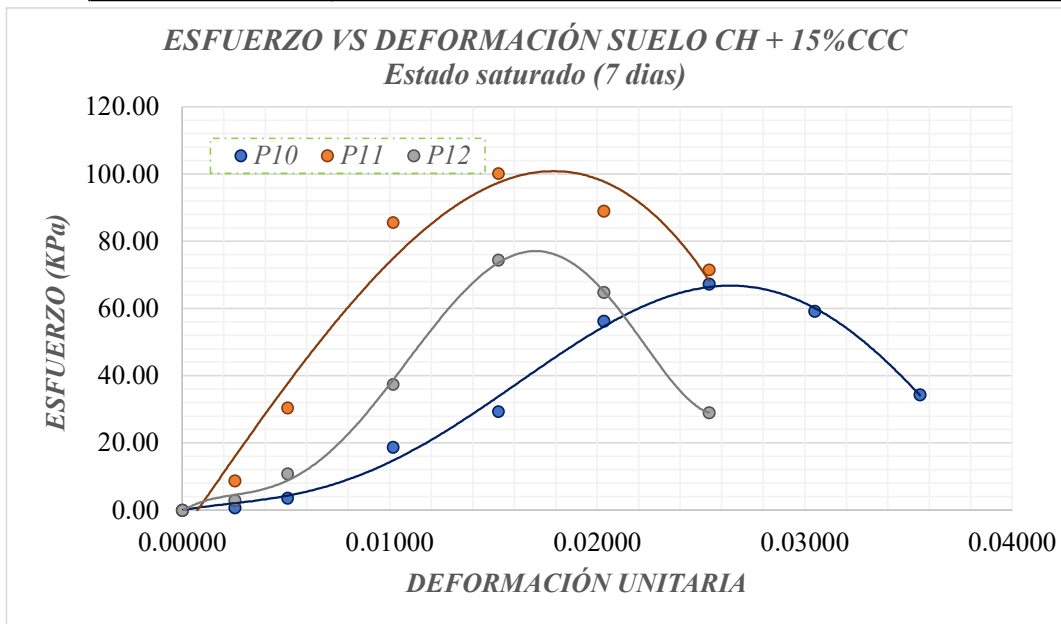


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P10	0.02540	67.28
2	P11	0.01524	100.19
3	P12	0.01524	74.42
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			87.31



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

ESFUERZO VS DEFORMACIÓN SUELO CH + 20%CCC
Estado seco (7 días)

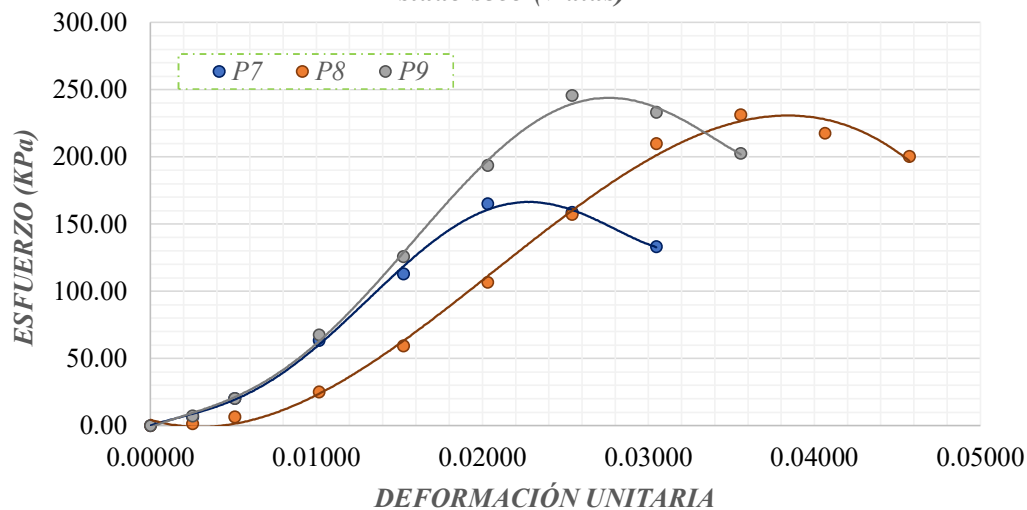


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu

Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P7	0.02032	165.17
2	P8	0.03556	231.28
3	P9	0.0254	245.76
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			238.52



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

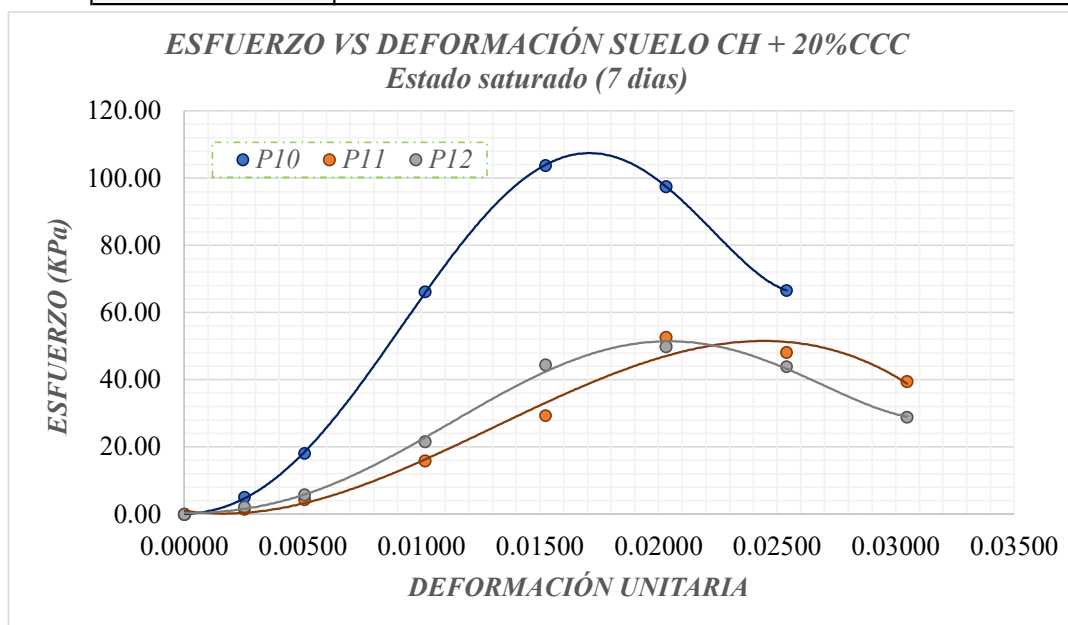


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P10	0.01524	103.77
2	P11	0.02032	52.68
3	P12	0.02032	49.84
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			51.26



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

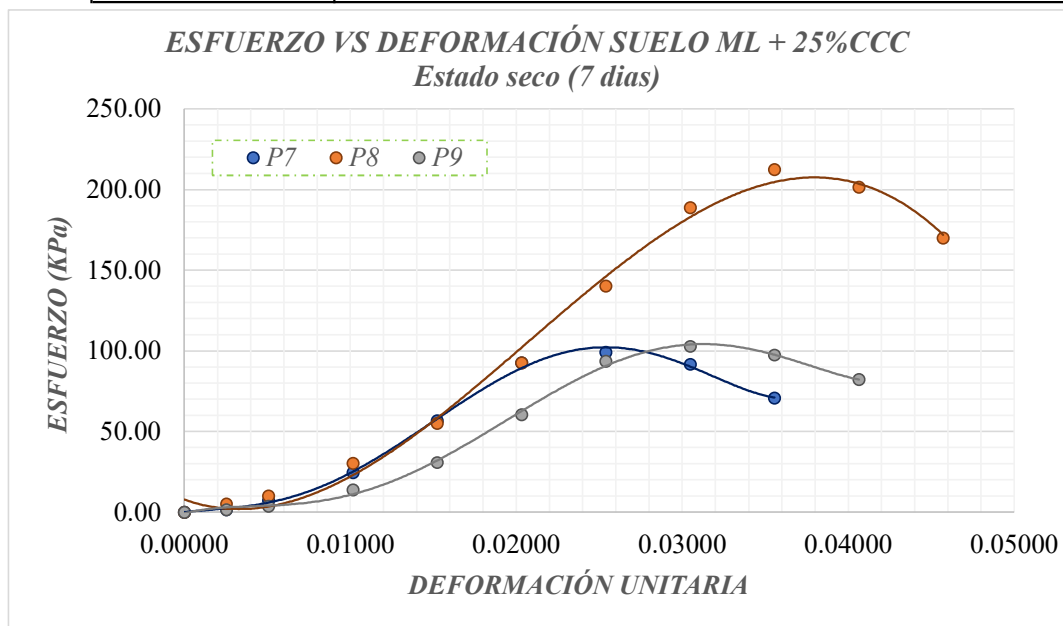


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P7	0.02540	99.15
2	P8	0.03556	212.36
3	P9	0.03048	102.86
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			138.13



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

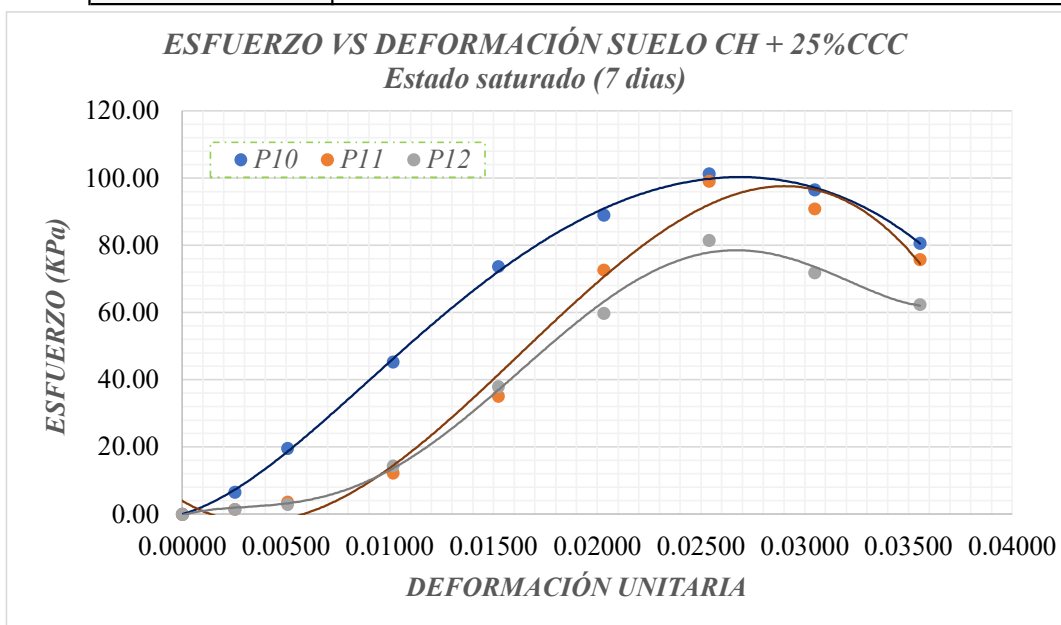


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P10	0.02540	101.28
2	P11	0.0254	99.15
3	P12	0.0254	81.45
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			90.30



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

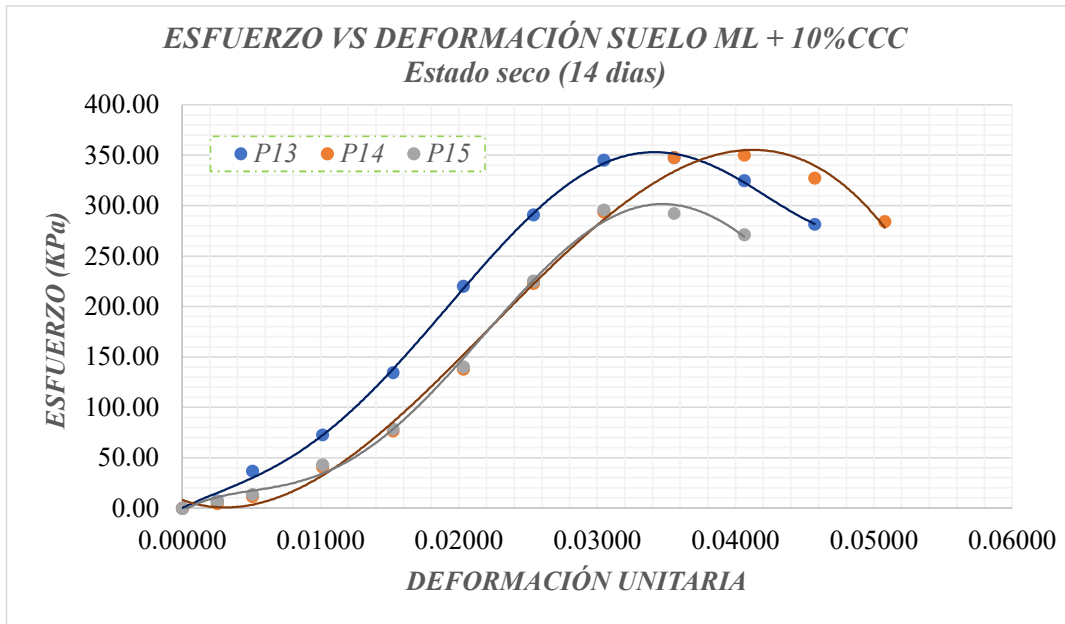


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P13	0.03556	347.62
2	P14	0.04064	349.98
3	P15	0.03556	295.91
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			348.80



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

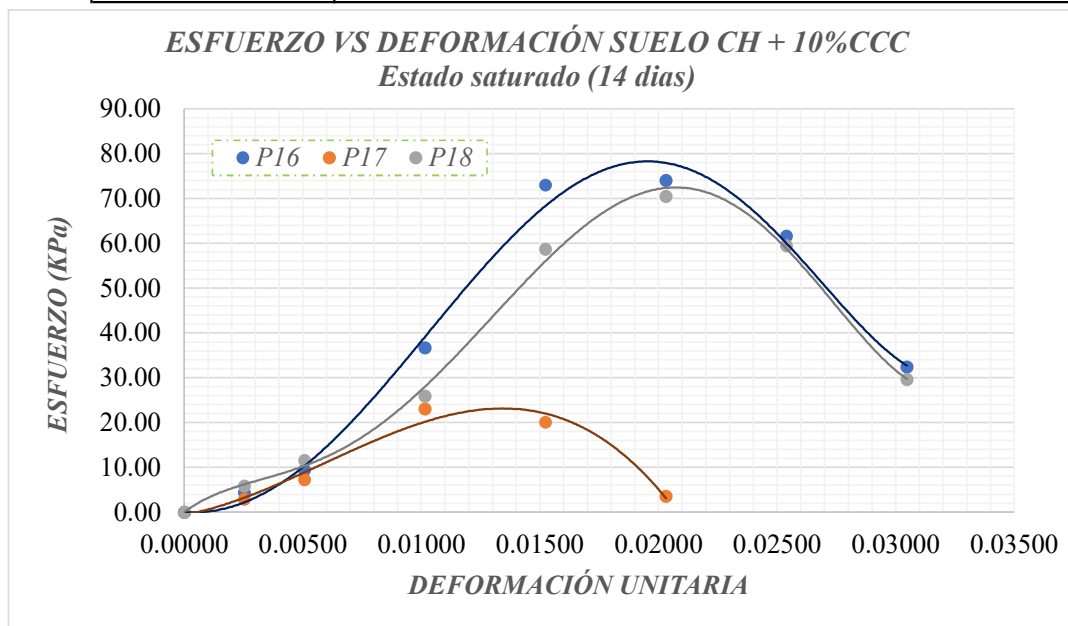


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P16	0.02032	74.04
2	P17	0.01016	23.02
3	P18	0.02032	70.48
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			72.26



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

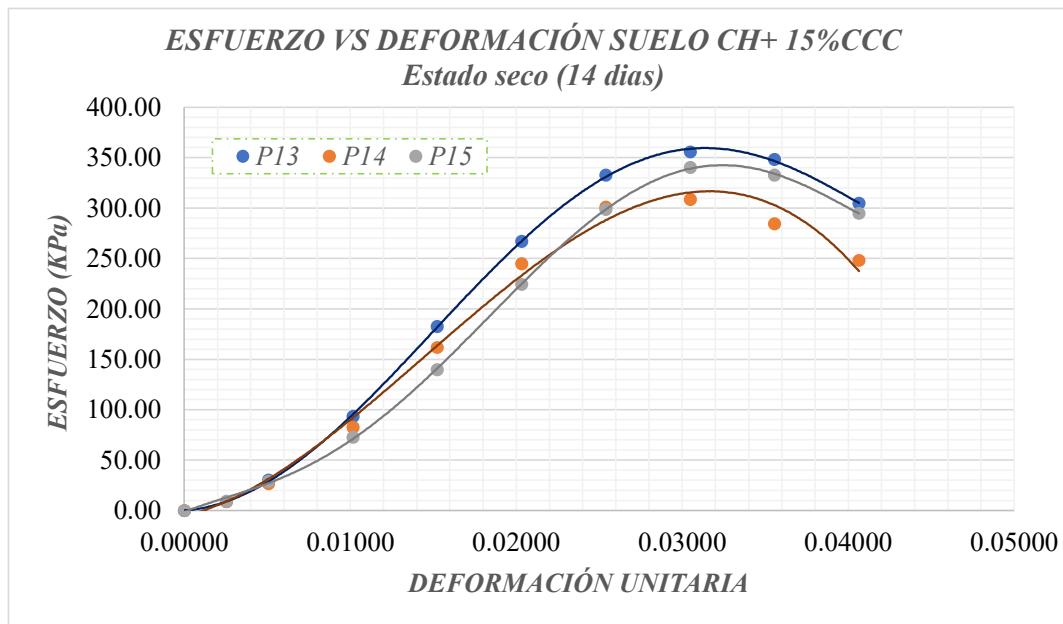


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P13	0.03556	355.80
2	P14	0.03048	308.59
3	P15	0.03048	340.30
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			348.05



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

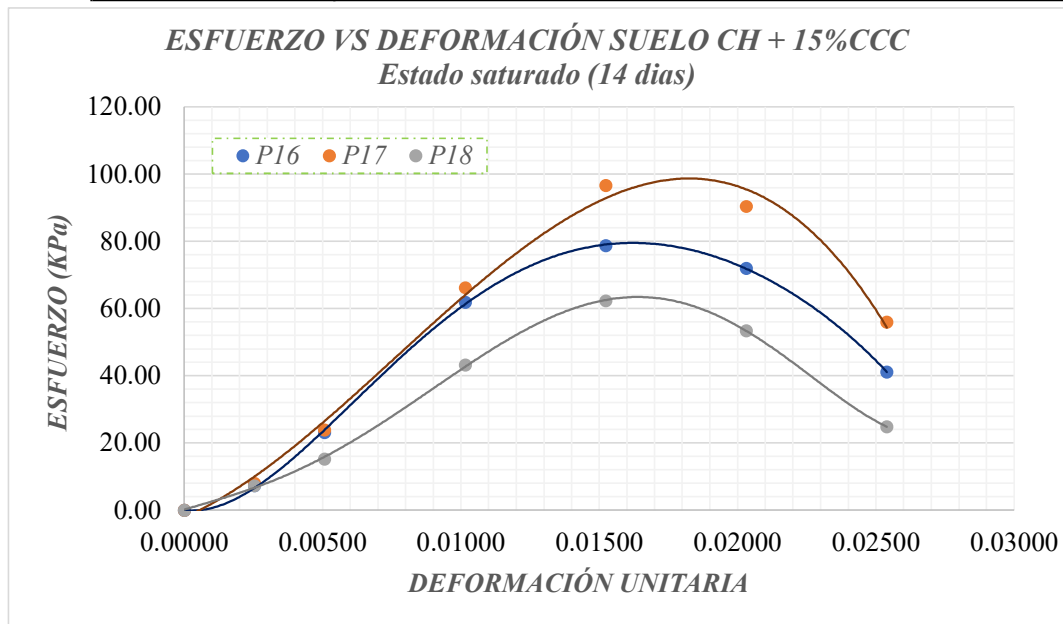


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P16	0.02540	78.72
2	P17	0.0254	96.61
3	P18	0.02032	62.26
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			79.20



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

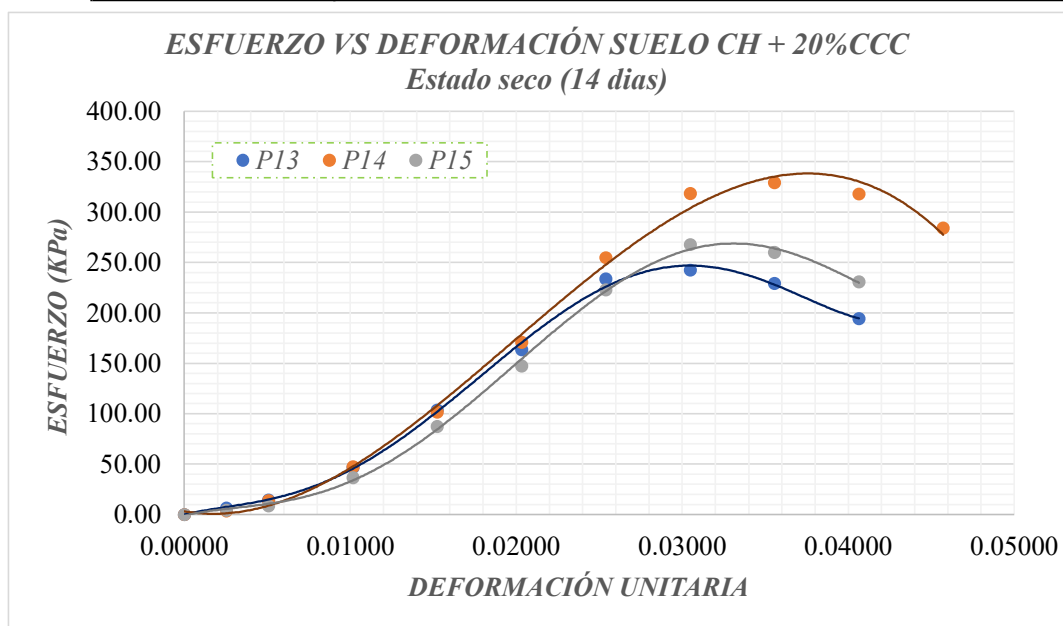


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P13	0.03048	242.36
2	P14	0.03556	329.40
3	P15	0.03048	267.73
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			285.88



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

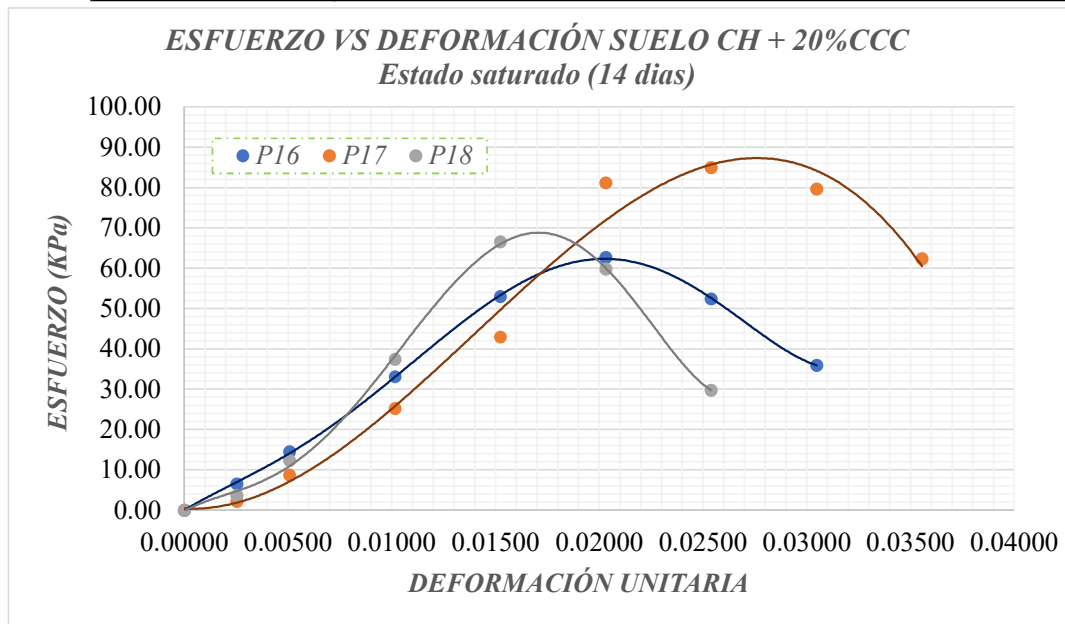


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P16	0.02032	62.65
2	P17	0.0254	84.99
3	P18	0.01524	66.55
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			71.40



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

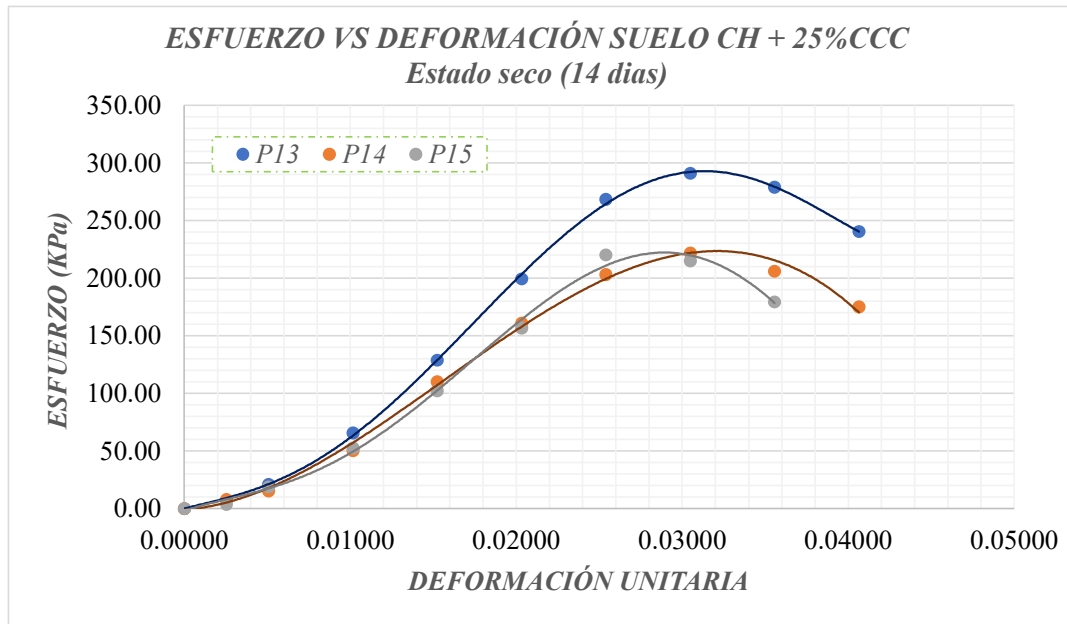


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P13	0.03048	290.98
2	P14	0.03048	221.93
3	P15	0.0254	220.26
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			244.39



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

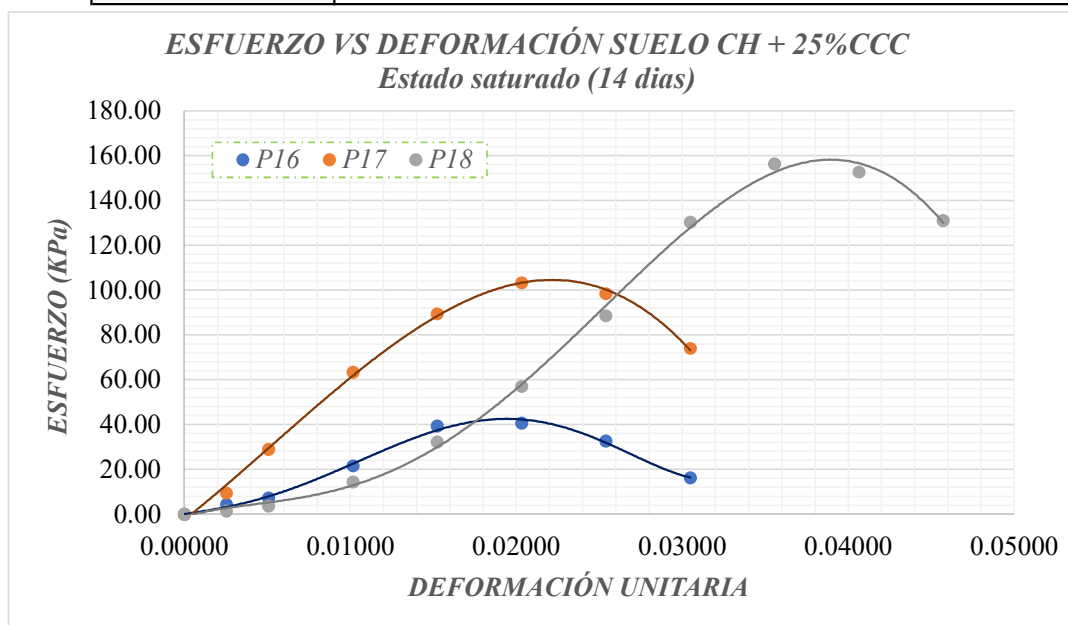


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P16	0.02032	40.58
2	P17	0.02032	103.23
3	P18	0.03556	156.29
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			129.76



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

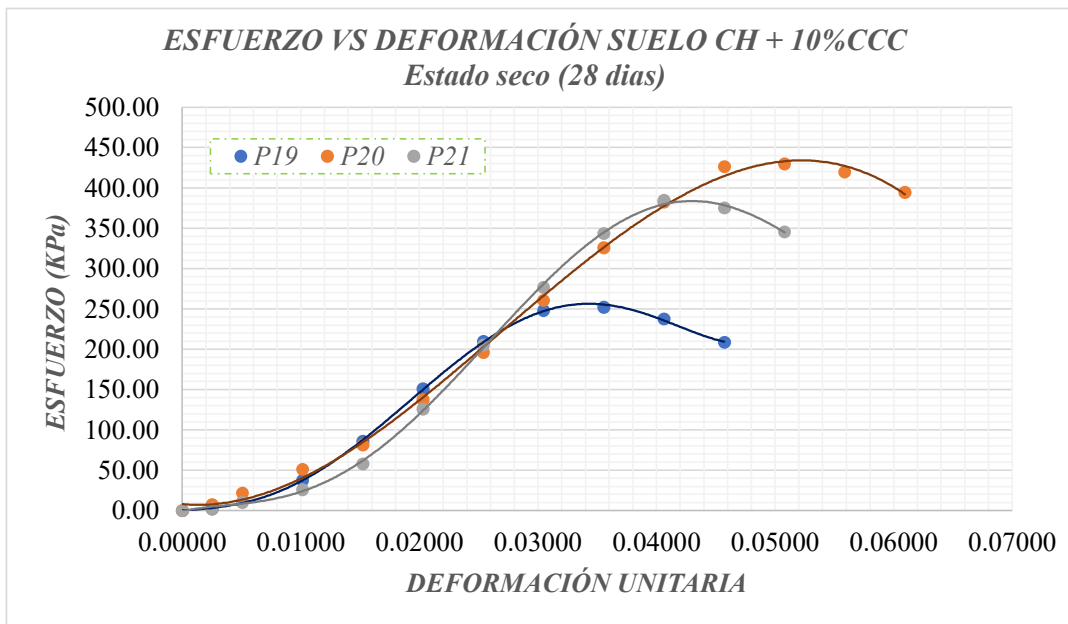


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P19	0.03556	252.31
2	P20	0.0508	429.73
3	P21	0.04064	384.83
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			407.28



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

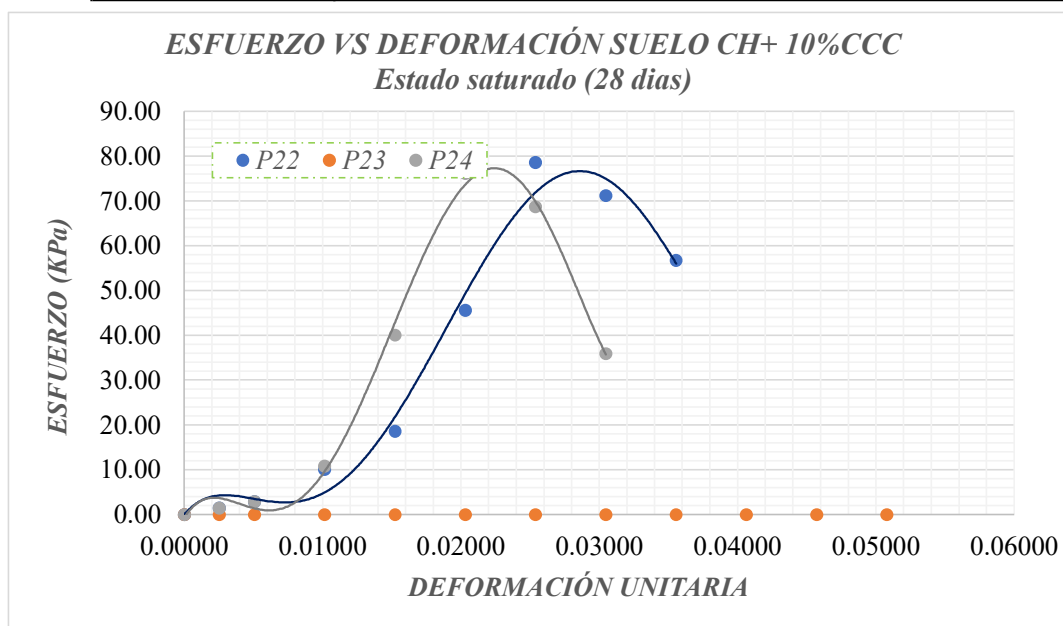


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P22	0.02540	78.61
2	P23	0	0.00
3	P24	0.02032	76.18
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			77.40



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

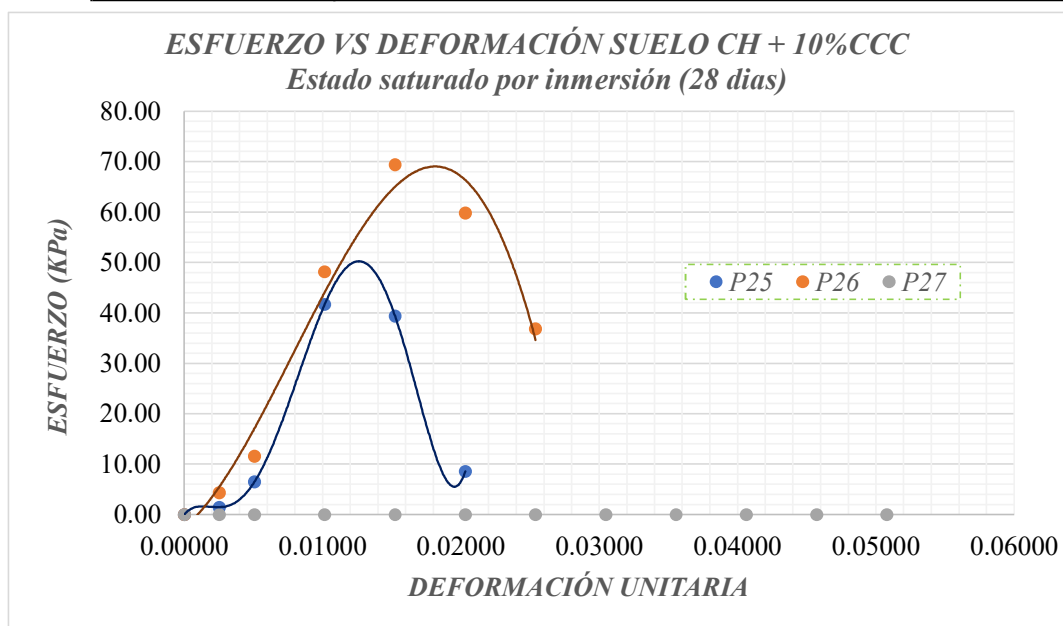


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P25	0.01016	41.72
2	P26	0.01524	69.42
3	P27	0	0.00
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			55.57



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

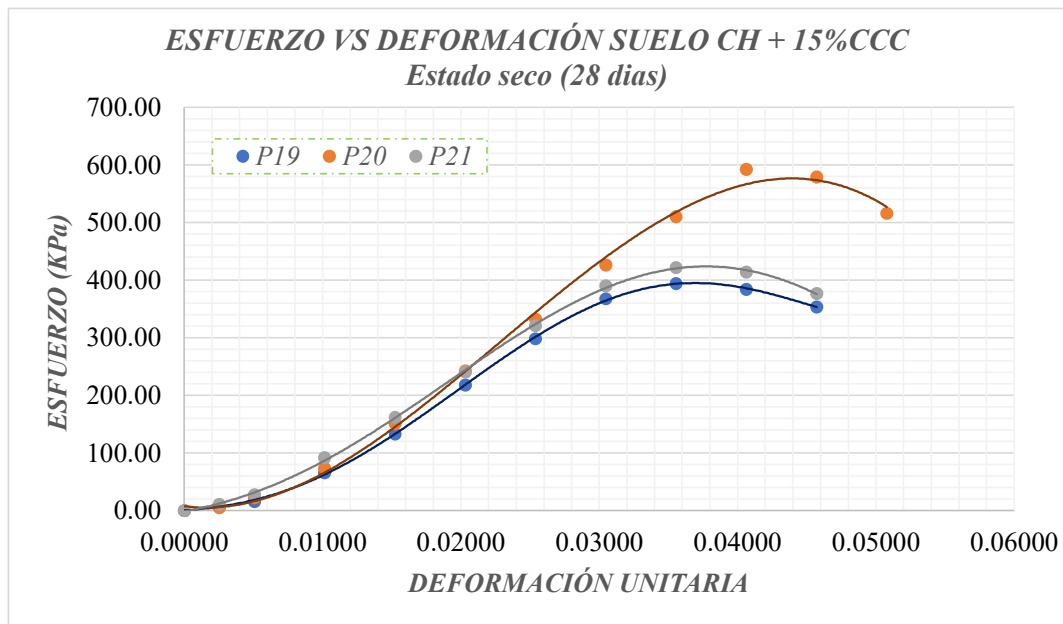


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P19	0.03556	393.88
2	P20	0.04064	592.59
3	P21	0.03556	421.91
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			507.25



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

ESFUERZO VS DEFORMACIÓN SUELO CH+ 15%CCC
Estado saturado (28 días)

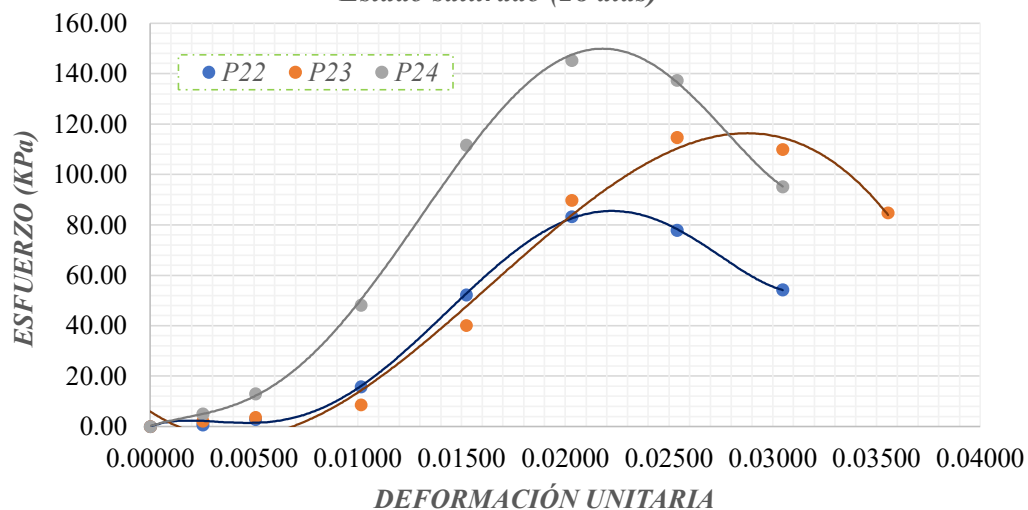


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu

Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P22	0.02032	83.30
2	P23	0.0254	114.73
3	P24	0.02032	145.23
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			129.98



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

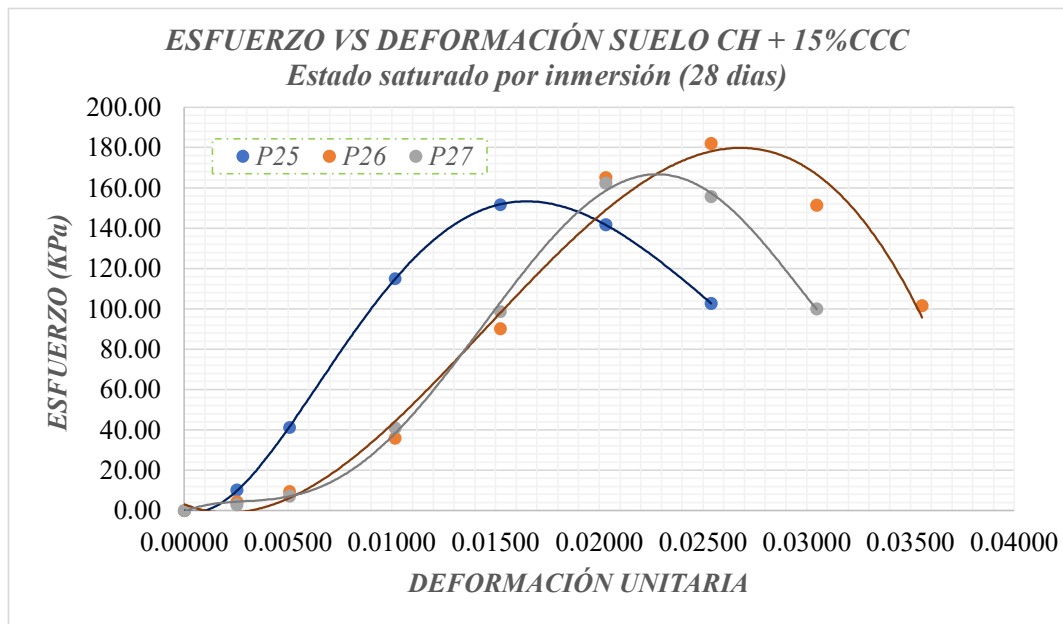


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P25	0.01524	151.71
2	P26	0.0254	182.02
3	P27	0.02032	162.32
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			165.35



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

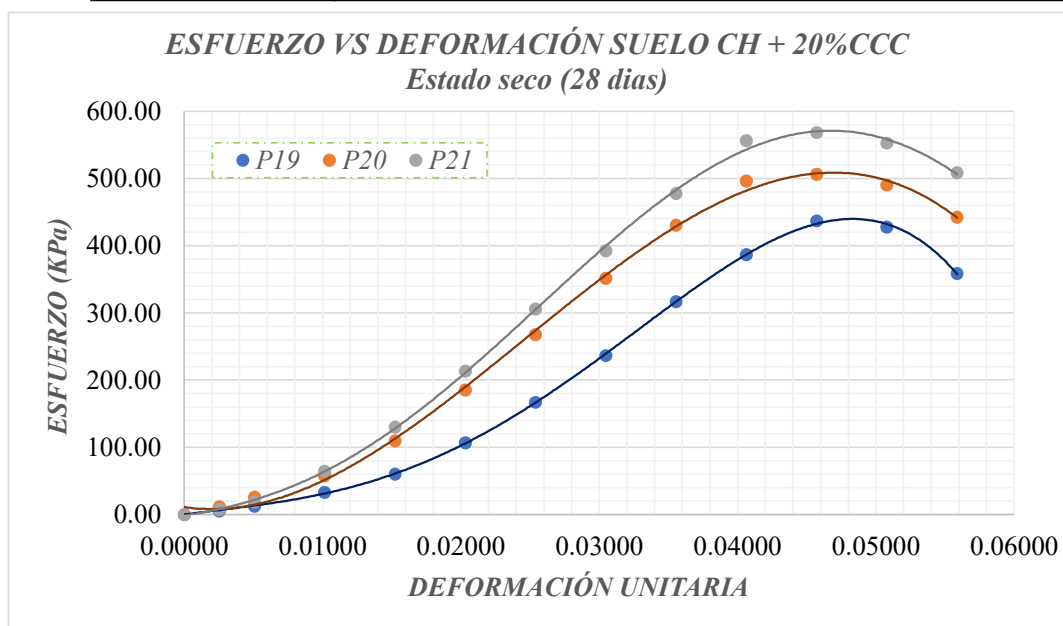


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P19	0.04572	436.89
2	P20	0.04572	506.23
3	P21	0.04572	568.65
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			537.44



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

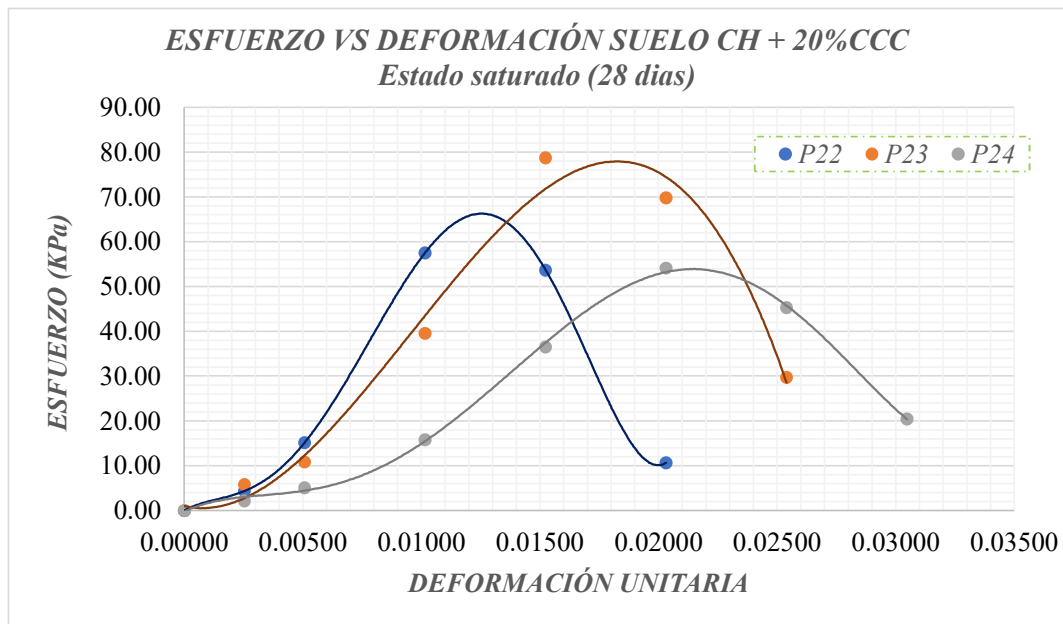


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P22	0.01016	57.55
2	P23	0.01524	78.72
3	P24	0.02032	54.11
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			63.46



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

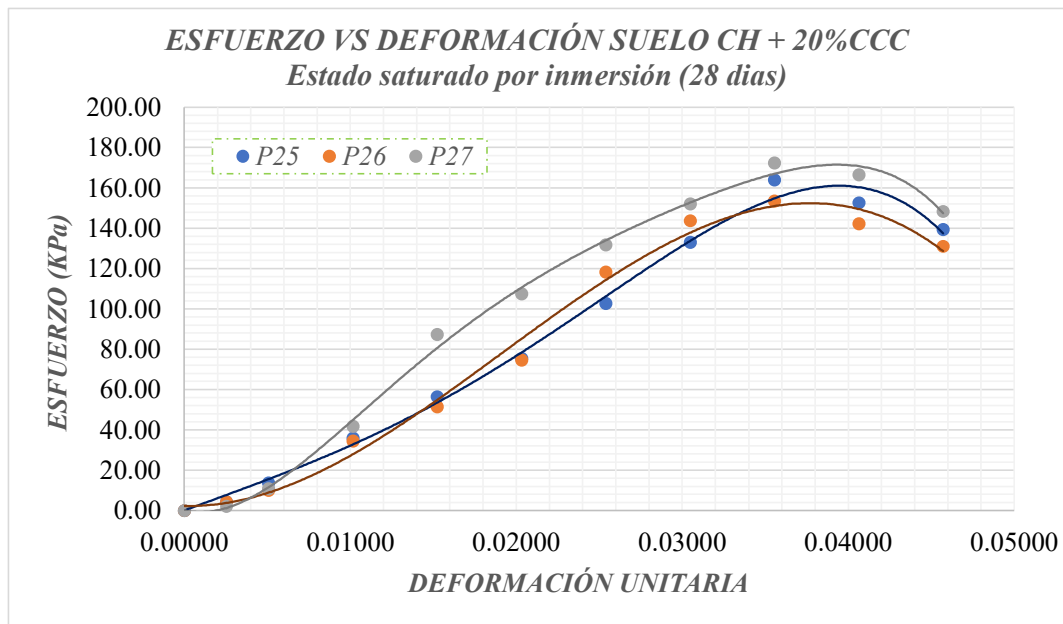


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P25	0.02032	
2	P26	0.01524	
3	P27	0.02032	
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			168.21



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

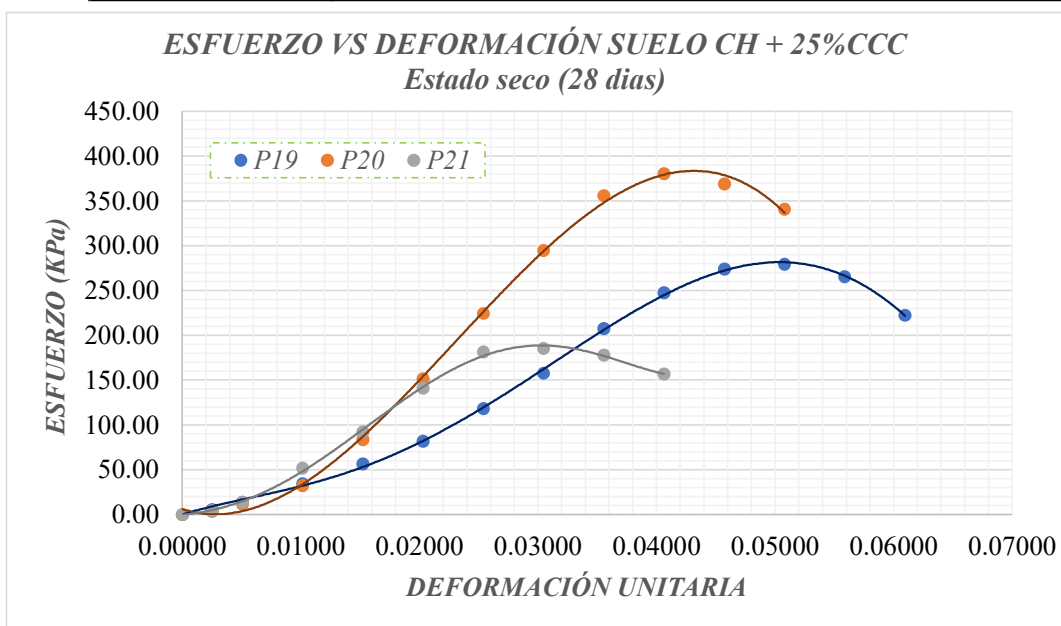


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P19	0.05080	279.36
2	P20	0.04064	380.65
3	P21	0.03048	185.30
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			330.01



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152-13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

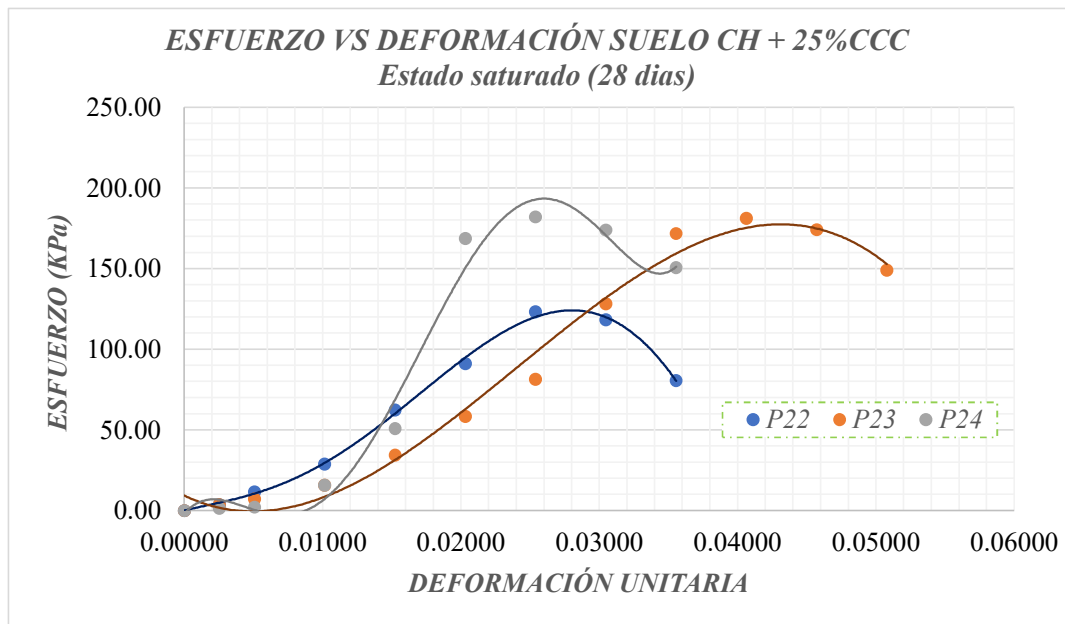


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P22	0.02540	123.23
2	P23	0.04064	181.26
3	P24	0.02032	182.02
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			181.64



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de alta plasticidad
SUCS	CH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

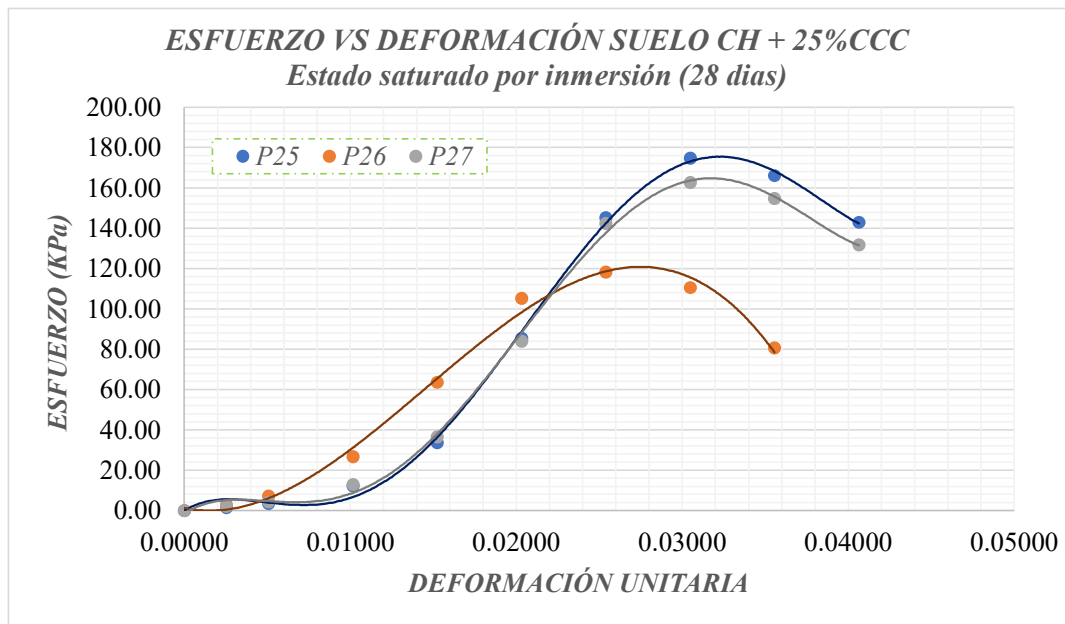


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P25	0.03048	174.73
2	P26	0.0254	118.28
3	P27	0.03048	162.75
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			168.74



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	No aplica
PORCENTAJE	0%

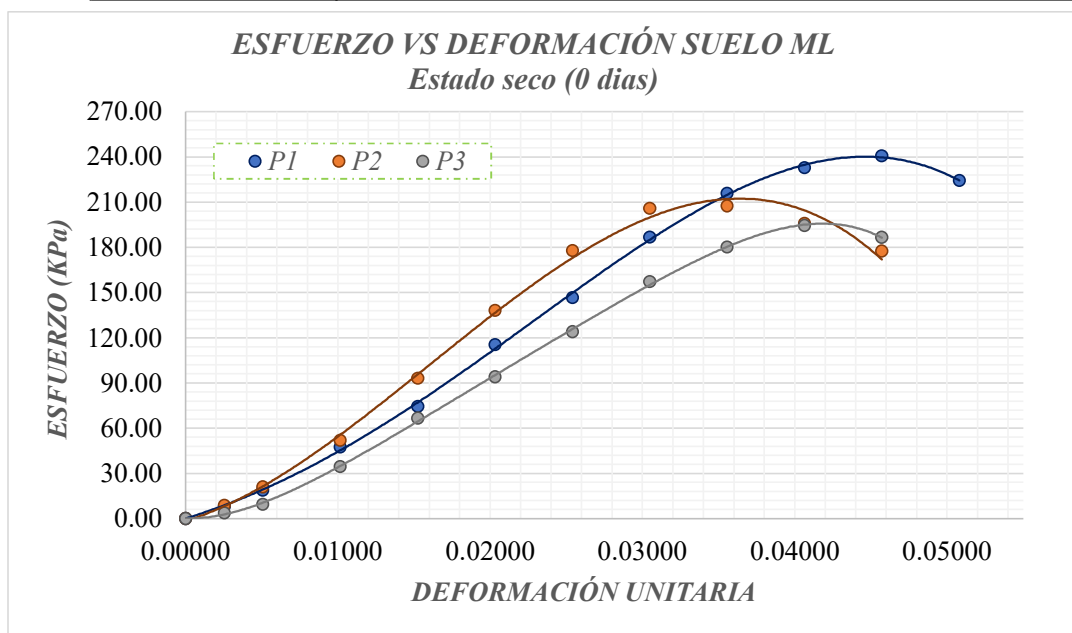


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P1	0.04064	240.63
2	P2	0.03556	207.45
3	P3	0.04064	194.51
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			214.20



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	No aplica
PORCENTAJE	0%

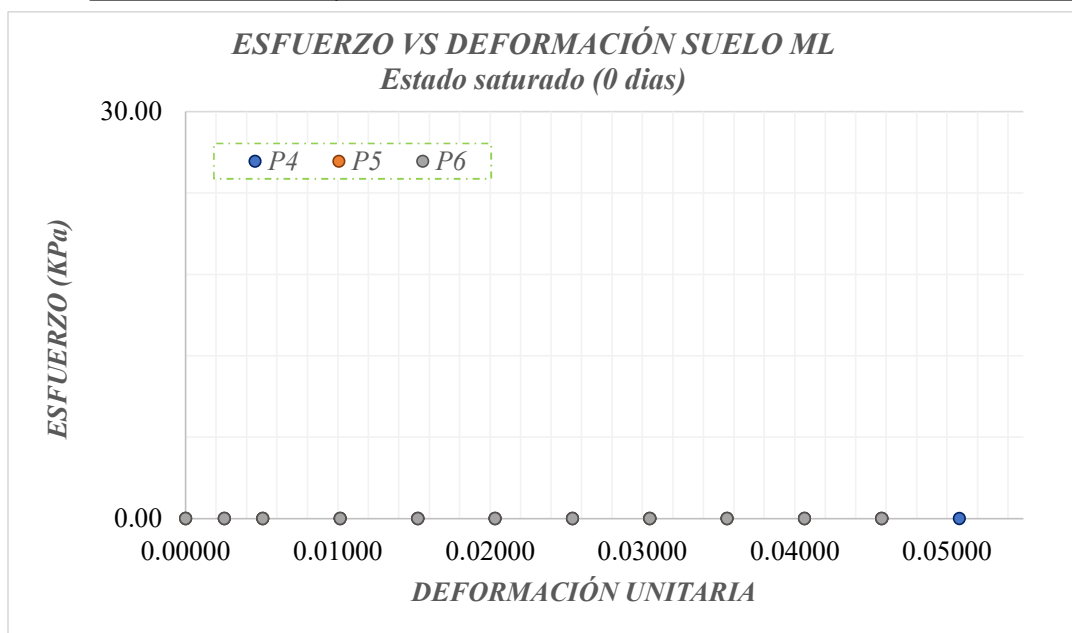


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
N°	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P4	NO SOPORTARON EL PROCESO DE SATURACIÓN	
2	P5		
3	P6		
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			0.00



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

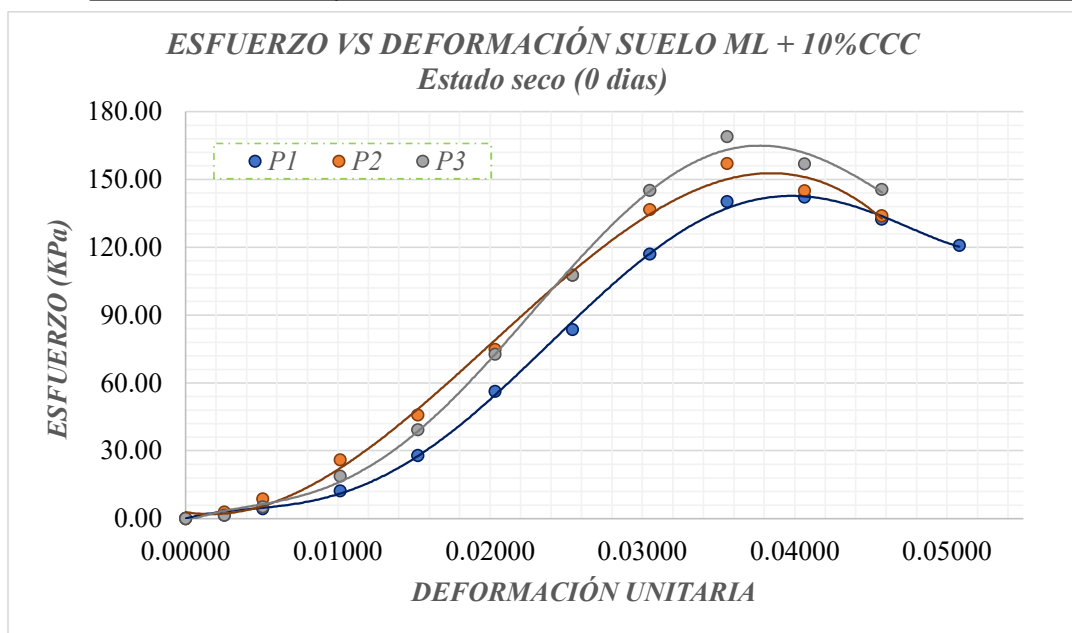


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P1	0.04064	142.22
2	P2	0.03556	156.99
3	P3	0.03556	168.91
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			156.04



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

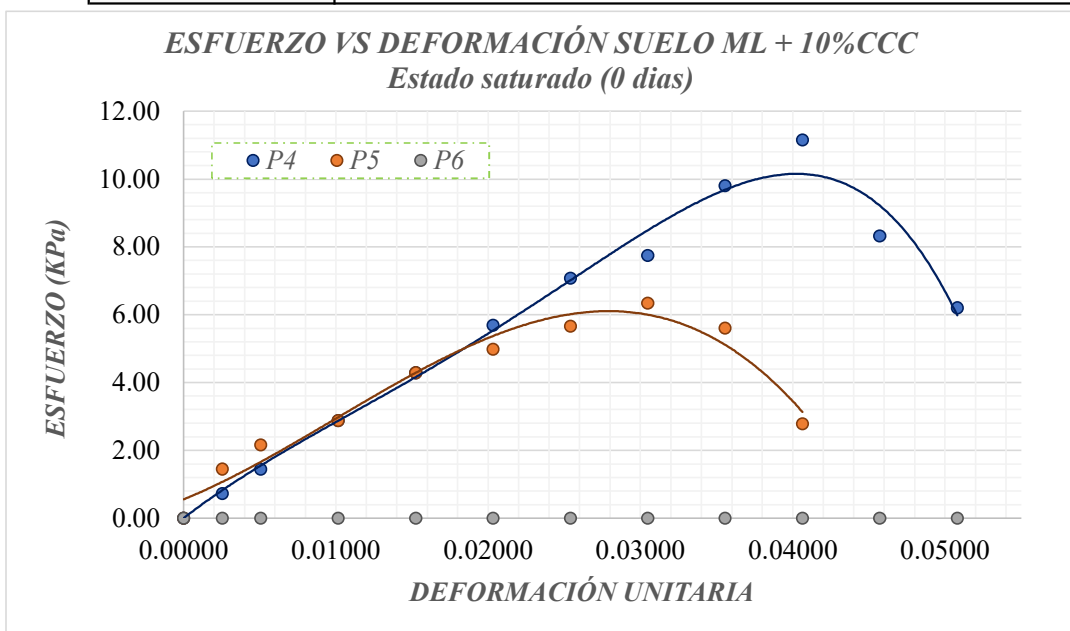


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P4	0.04064	11.15
2	P5	0.03048	6.34
3	P6	0	0.00
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			8.75



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

ESFUERZO VS DEFORMACIÓN SUELO ML + 15%CCC
Estado seco (0 días)

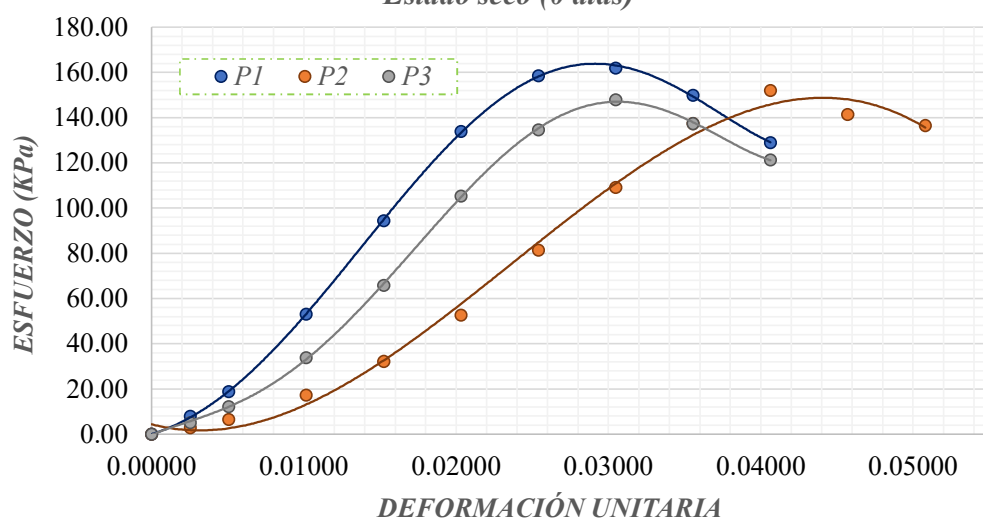


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu

Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P1	0.03048	162.05
2	P2	0.04064	151.98
3	P3	0.03048	147.95
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			153.99



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

ESFUERZO VS DEFORMACIÓN SUELO ML + 15%CCC
Estado saturado (0 días)

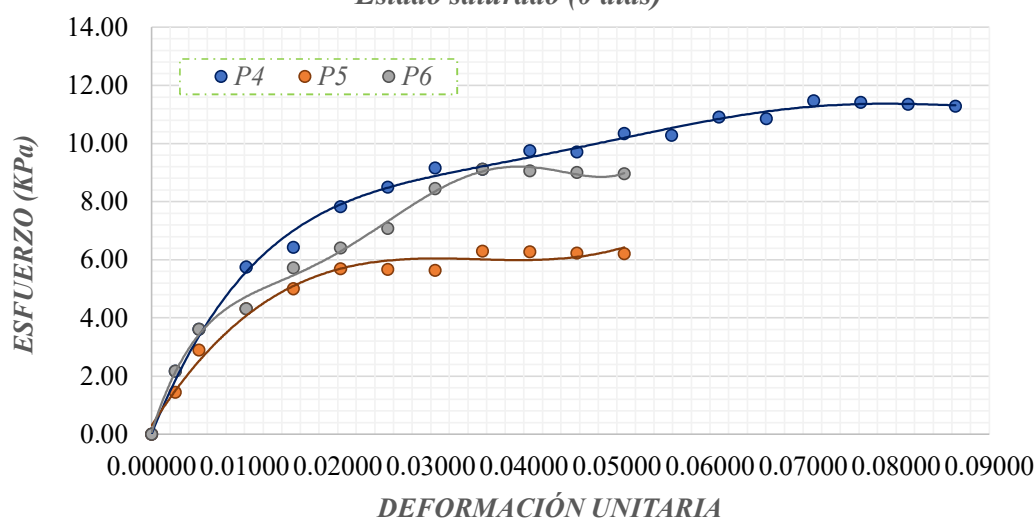


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu

Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P4	0.07112	11.48
2	P5	0.03556	6.31
3	P6	0.03556	9.11
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			8.96



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152-13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

ESFUERZO VS DEFORMACIÓN SUELO ML + 20%CCC
Estado seco (0 días)

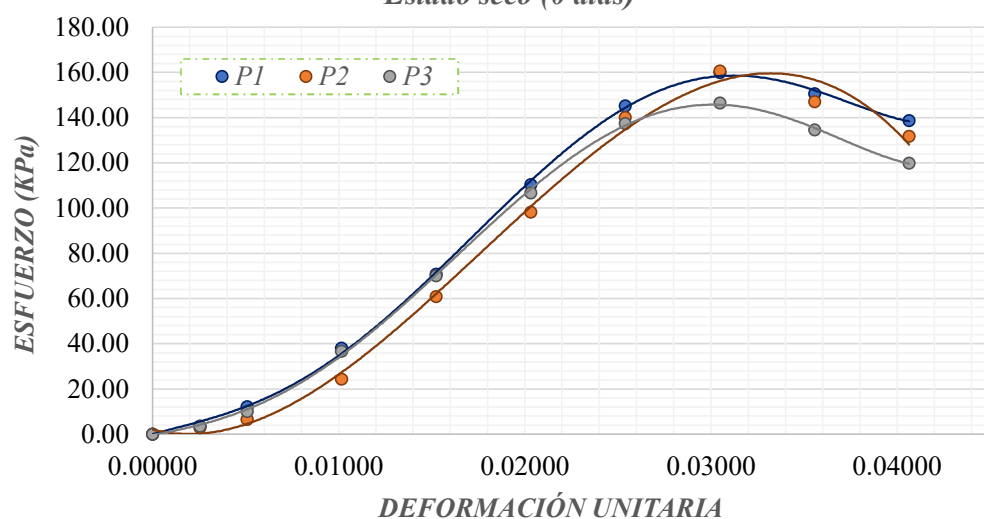


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu

Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P1	0.03048	159.93
2	P2	0.03048	160.64
3	P3	0.03048	146.55
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			155.70



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

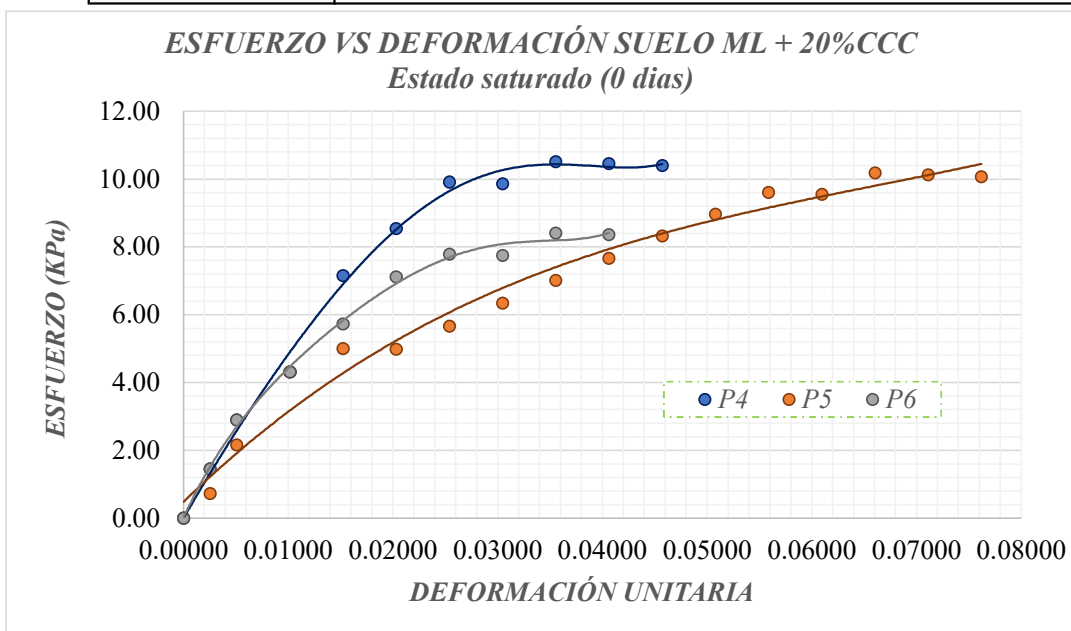


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P4	0.03556	10.51
2	P5	0.06604	10.18
3	P6	0.03556	8.41
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			9.70



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152-13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

ESFUERZO VS DEFORMACIÓN SUELO ML + 25%CCC
Estado seco (0 días)

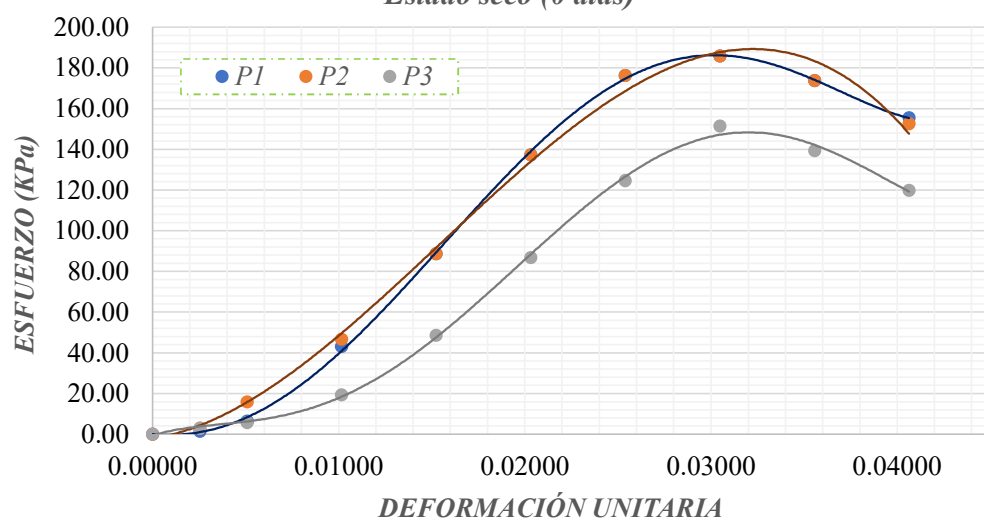


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu

Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P1	0.03048	186.00
2	P2	0.03048	186.00
3	P3	0.03048	151.48
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			174.49



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152-13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

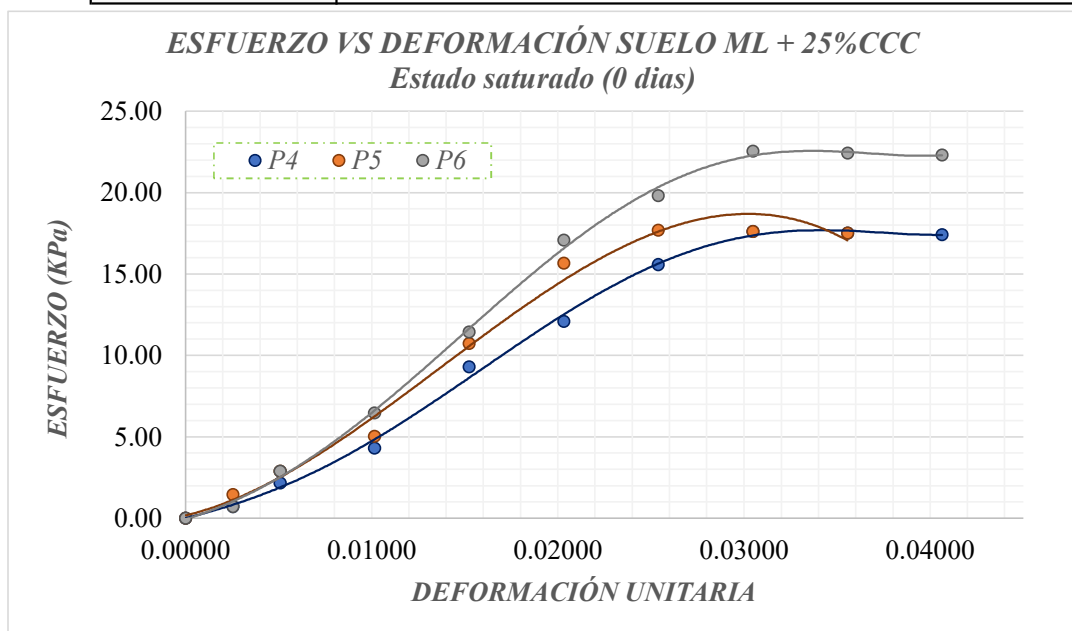


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P4	0.03048	17.61
2	P5	0.0254	17.71
3	P6	0.03048	22.55
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			19.29



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

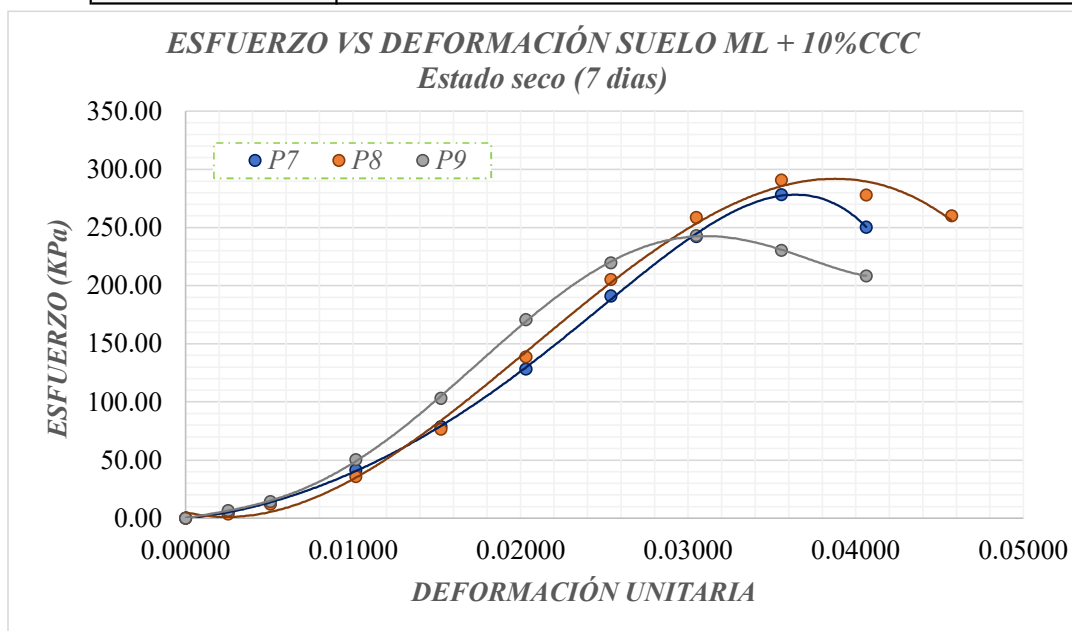


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P7	0.03556	278.24
2	P8	0.03556	290.85
3	P9	0.03048	243.07
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			270.72



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

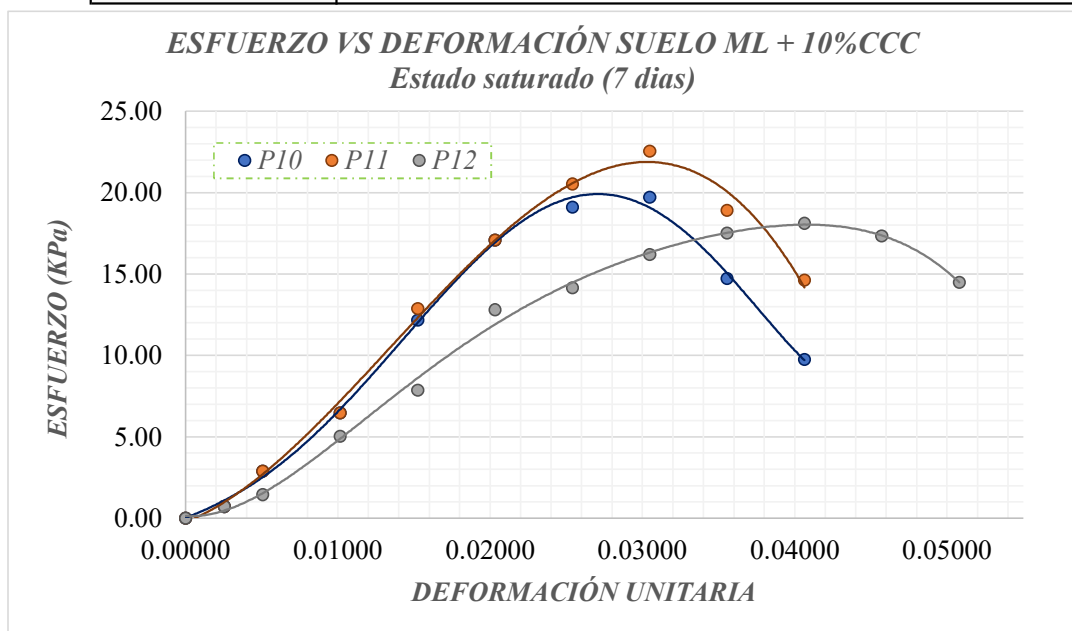


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P10	0.03048	19.73
2	P11	0.03048	22.55
3	P12	0.04064	18.13
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			20.13



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

ESFUERZO VS DEFORMACIÓN SUELO ML + 15%CCC
Estado seco (7 días)

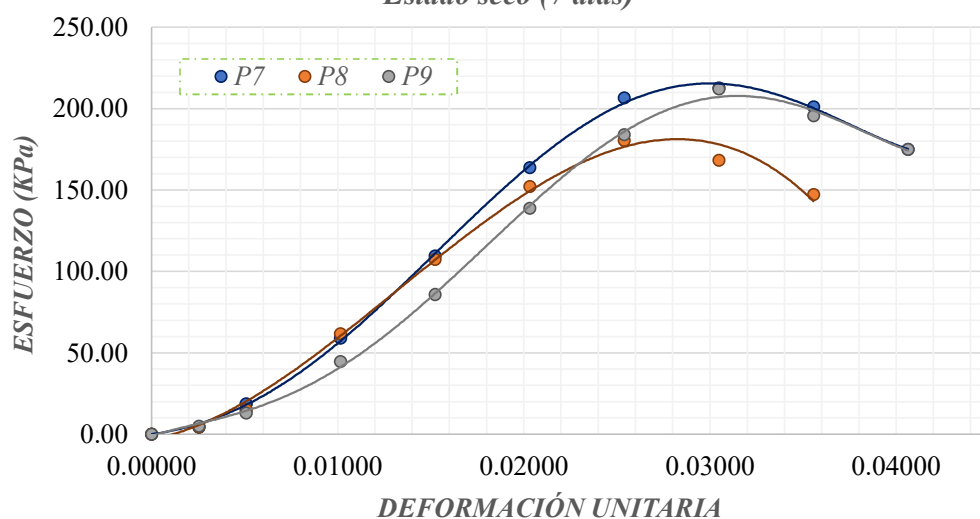


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu

Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P7	0.03048	212.77
2	P8	0.0254	180.60
3	P9	0.03048	212.07
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			201.81



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

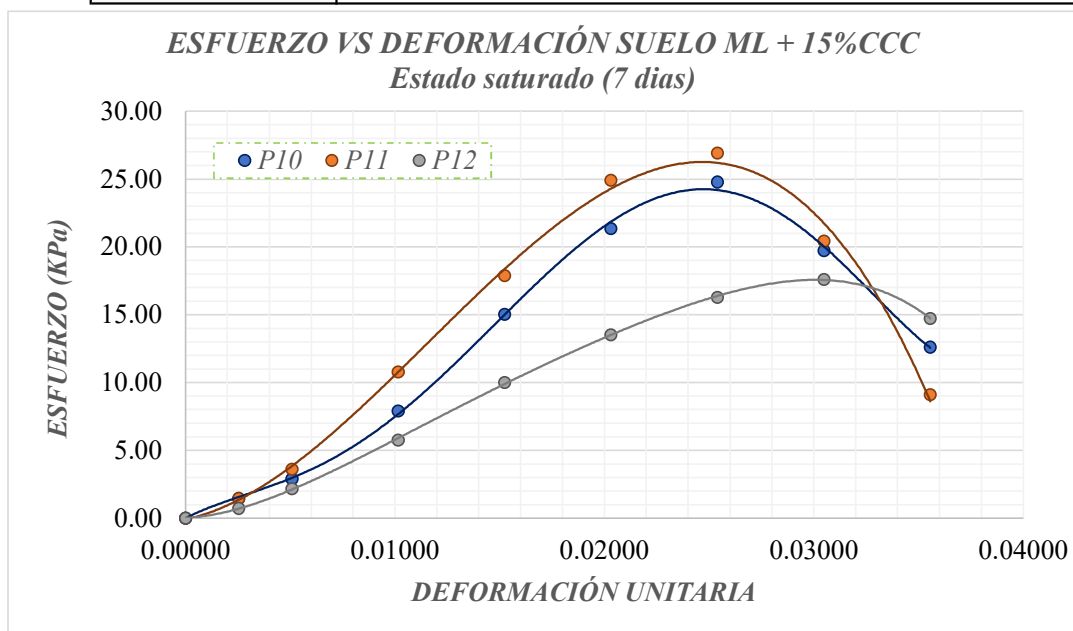


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P10	0.02540	24.79
2	P11	0.0254	26.91
3	P12	0.03048	17.61
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			23.11



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

ESFUERZO VS DEFORMACIÓN SUELO ML + 20%CCC
Estado seco (7 días)

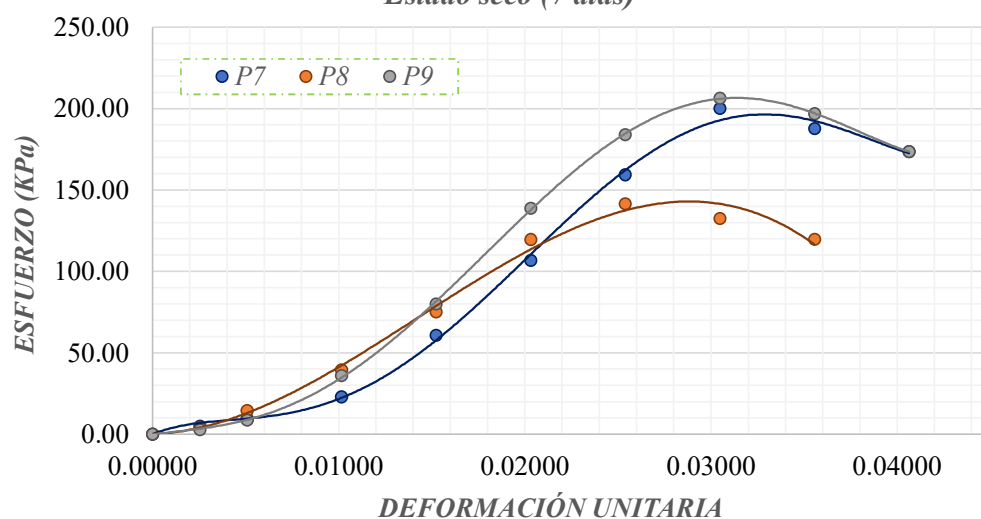


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu

Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P7	0.03048	200.09
2	P8	0.0254	141.65
3	P9	0.03048	206.43
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			203.26



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

ESFUERZO VS DEFORMACIÓN SUELO ML + 20%CCC
Estado saturado (7 días)

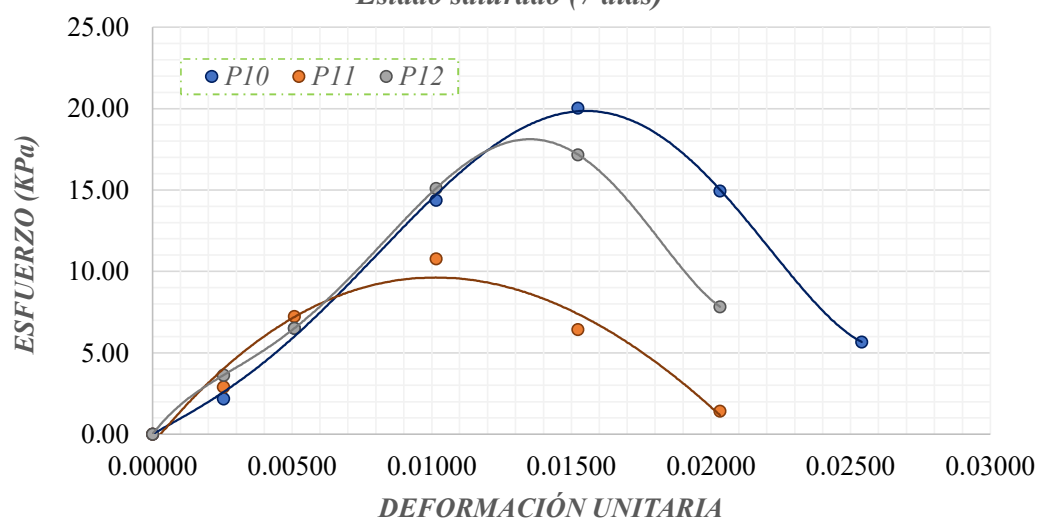


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu

Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P10	0.01524	20.04
2	P11	0.01016	10.79
3	P12	0.01524	17.17
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			18.61



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

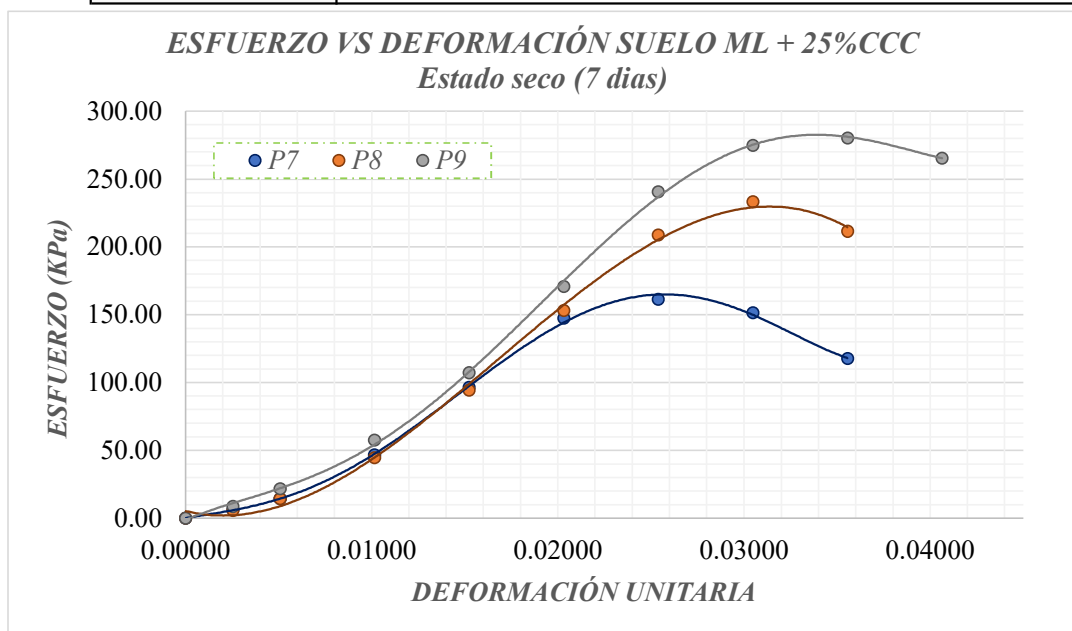


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P7	0.02540	161.48
2	P8	0.03048	233.20
3	P9	0.03556	280.34
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			256.77



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

ESFUERZO VS DEFORMACIÓN SUELO ML + 25%CCC
Estado saturado (7 días)

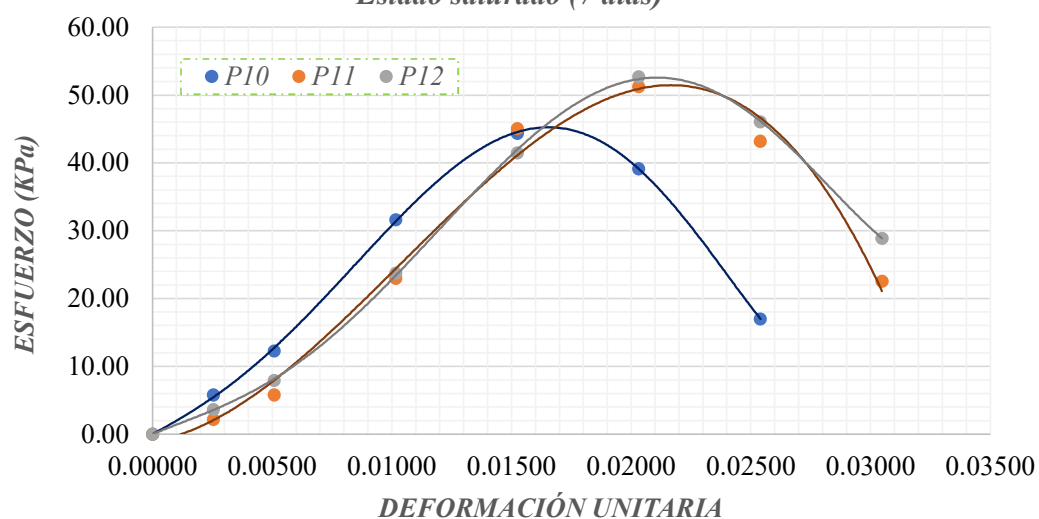


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu

Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P10	0.01524	44.37
2	P11	0.02032	51.26
3	P12	0.02032	52.68
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			49.44



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

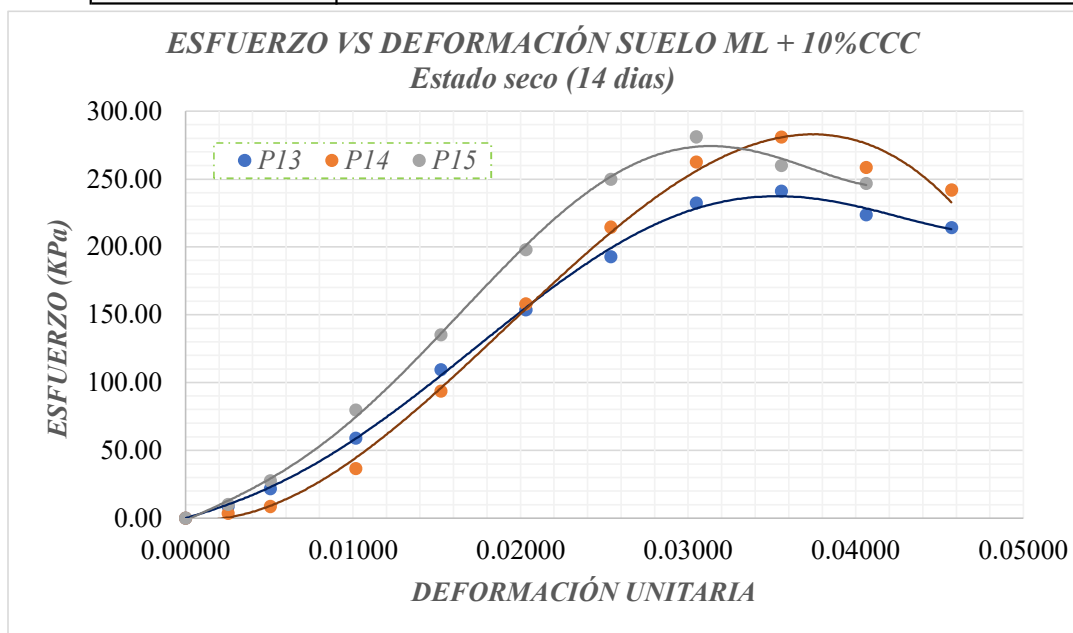


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P13	0.03556	241.09
2	P14	0.03556	281.04
3	P15	0.03048	281.11
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			281.08



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

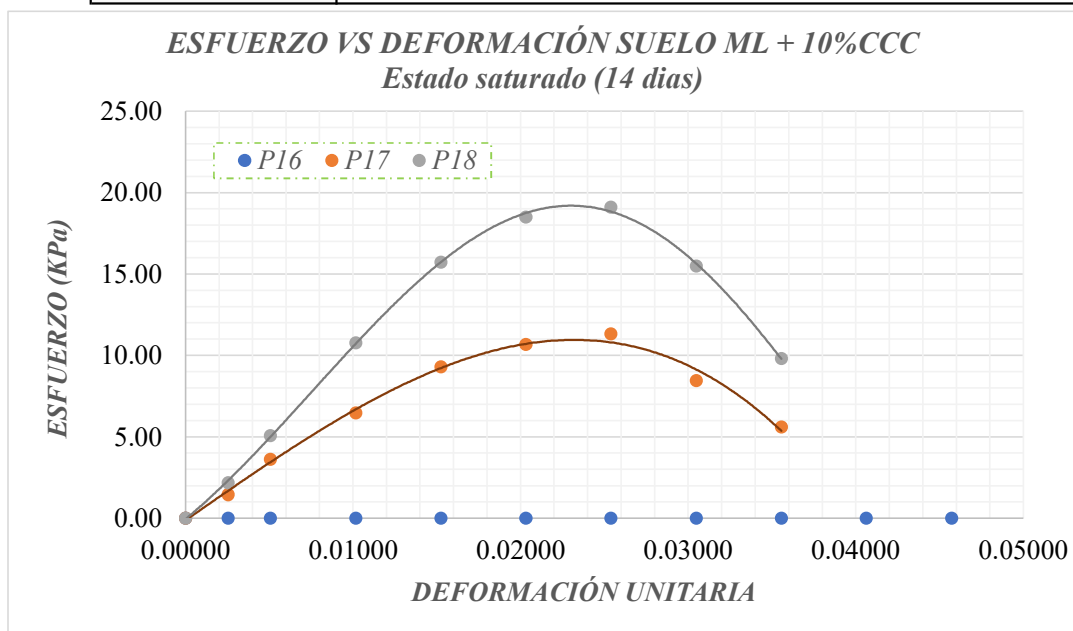


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P16	0.00000	0.00
2	P17	0.0254	11.33
3	P18	0.0254	19.12
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			15.23



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

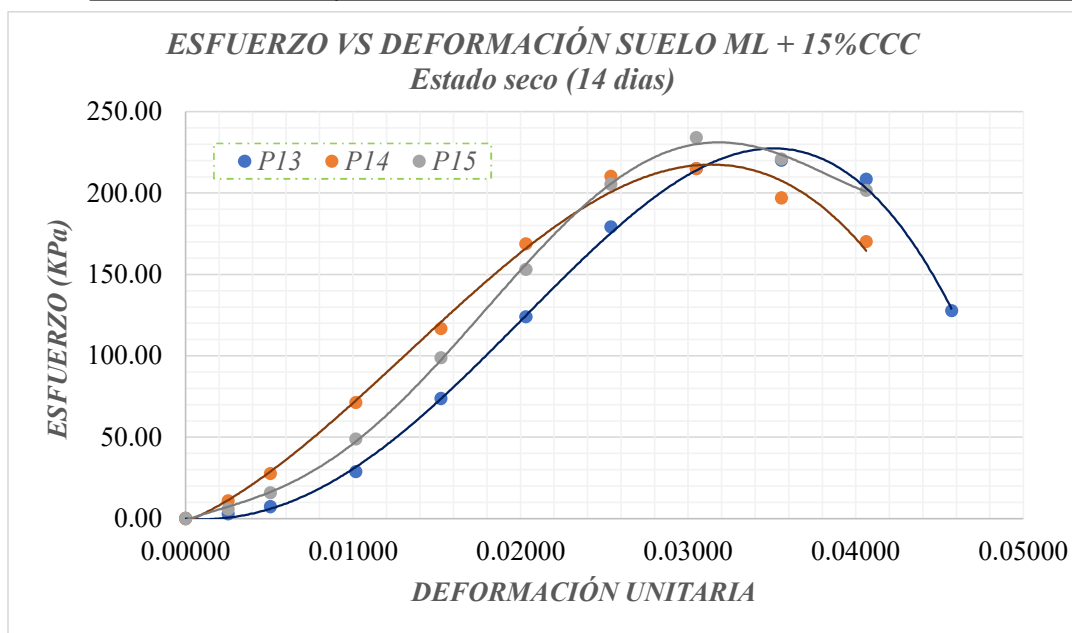


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P13	0.03556	220.07
2	P14	0.03048	214.89
3	P15	0.03048	233.91
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			222.95



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

ESFUERZO VS DEFORMACIÓN SUELO ML + 15%CCC
Estado saturado (14 días)

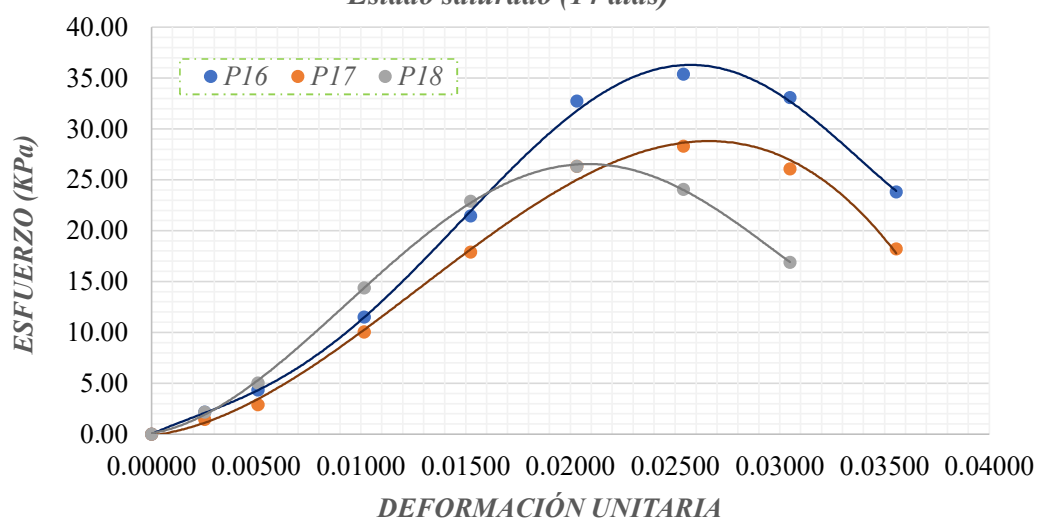


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu

Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P16	0.02540	35.41
2	P17	0.0254	28.33
3	P18	0.02032	26.34
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			30.03



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

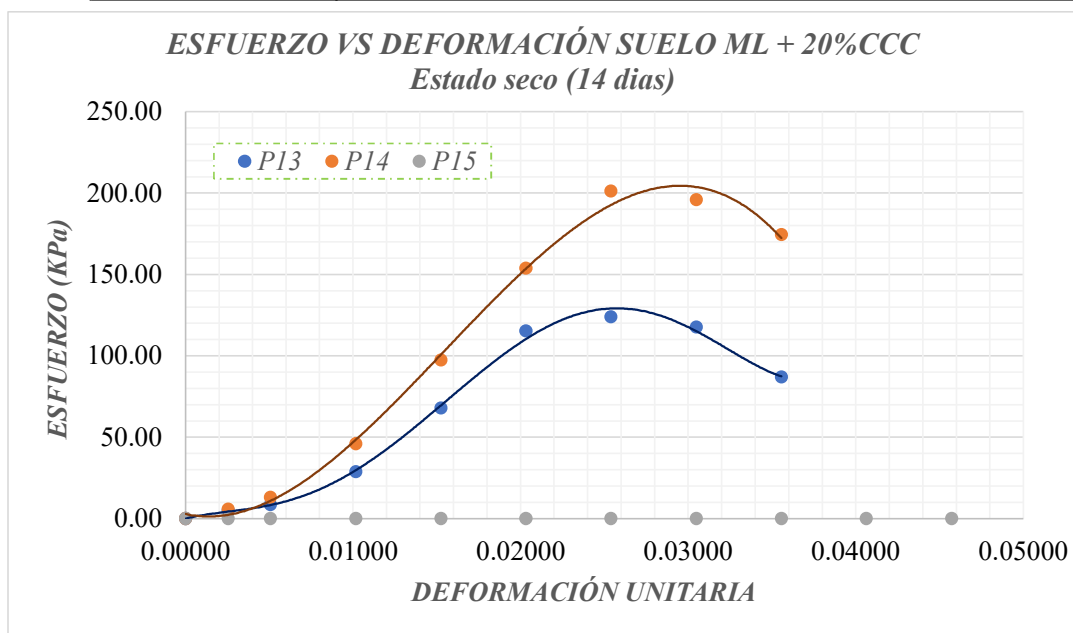


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P13	0.02540	123.94
2	P14	0.0254	201.14
3	P15	0	0.00
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			162.54



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

ESFUERZO VS DEFORMACIÓN SUELO ML + 20%CCC
Estado saturado (14 días)

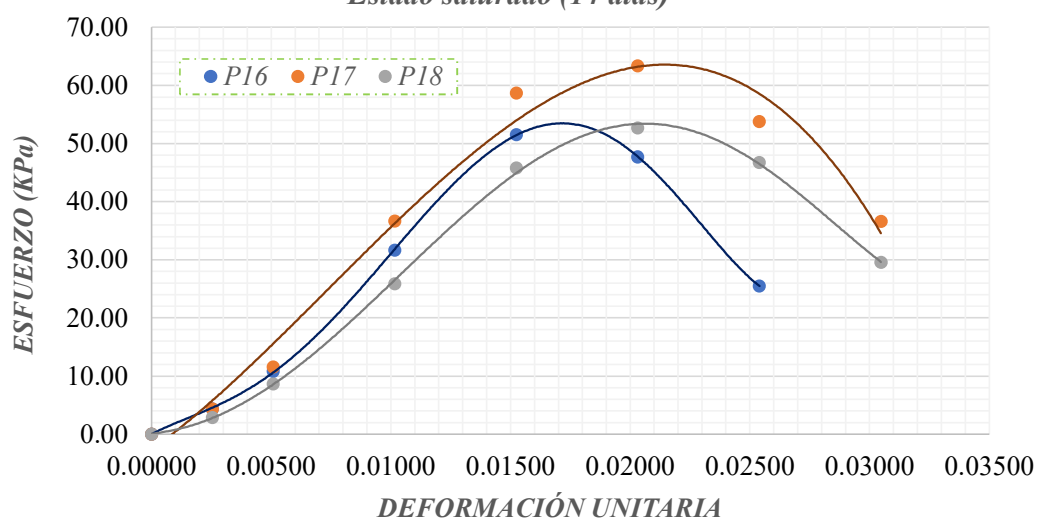


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu

Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P16	0.01524	51.52
2	P17	0.02032	63.36
3	P18	0.02032	52.68
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			55.86



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

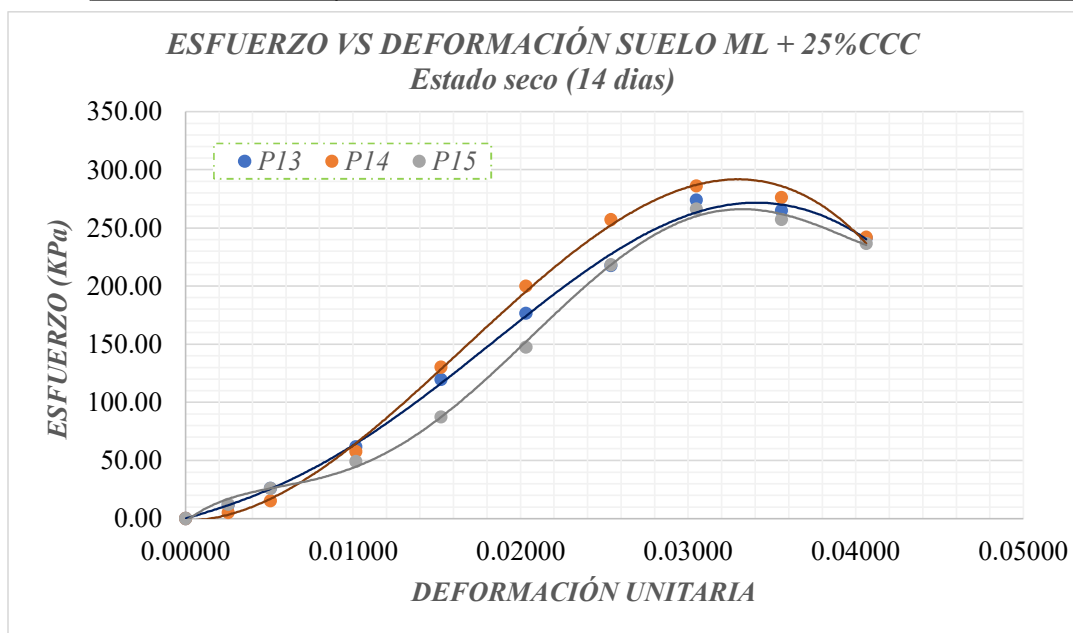


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P13	0.03048	274.07
2	P14	0.03048	286.05
3	P15	0.03048	266.32
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			275.48



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

ESFUERZO VS DEFORMACIÓN SUELO ML + 25%CCC
Estado saturado (14 días)

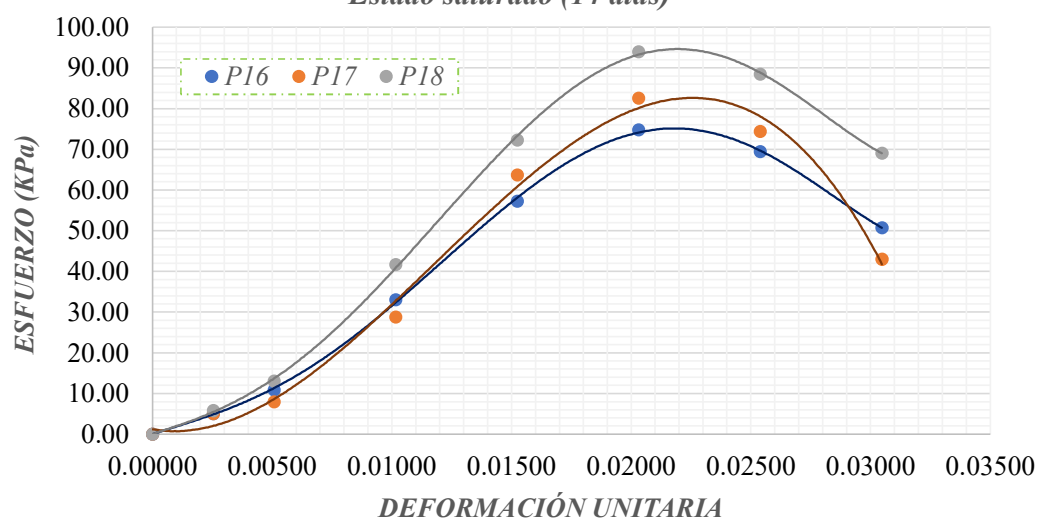


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu

Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P16	0.02032	74.75
2	P17	0.02032	82.58
3	P18	0.02032	93.97
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			83.77



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

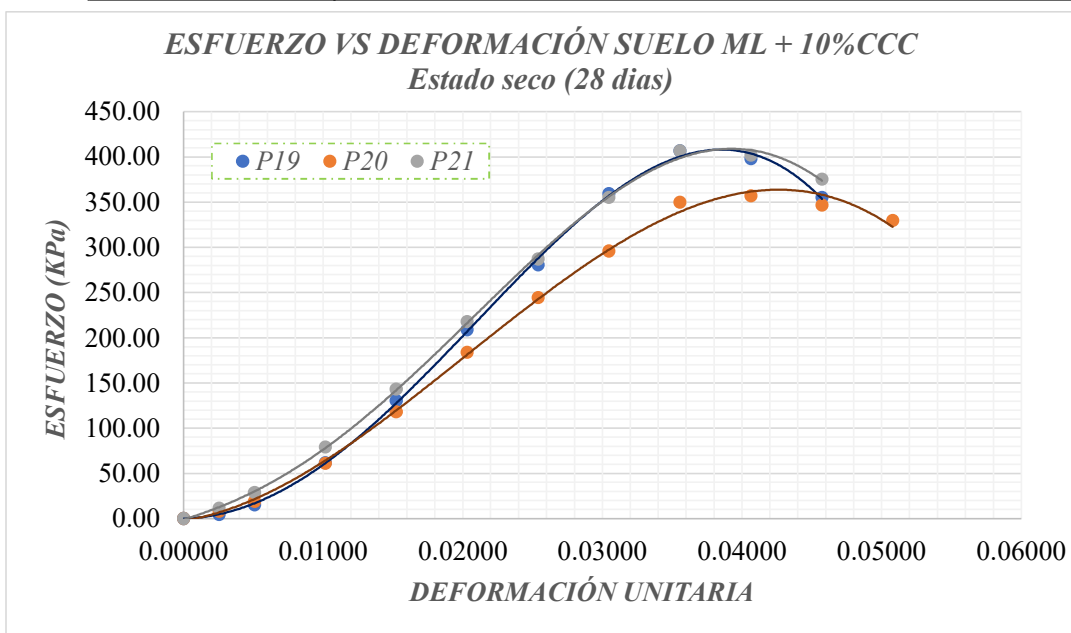


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P19	0.03556	406.50
2	P20	0.04064	349.73
3	P21	0.03556	406.50
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			406.50



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

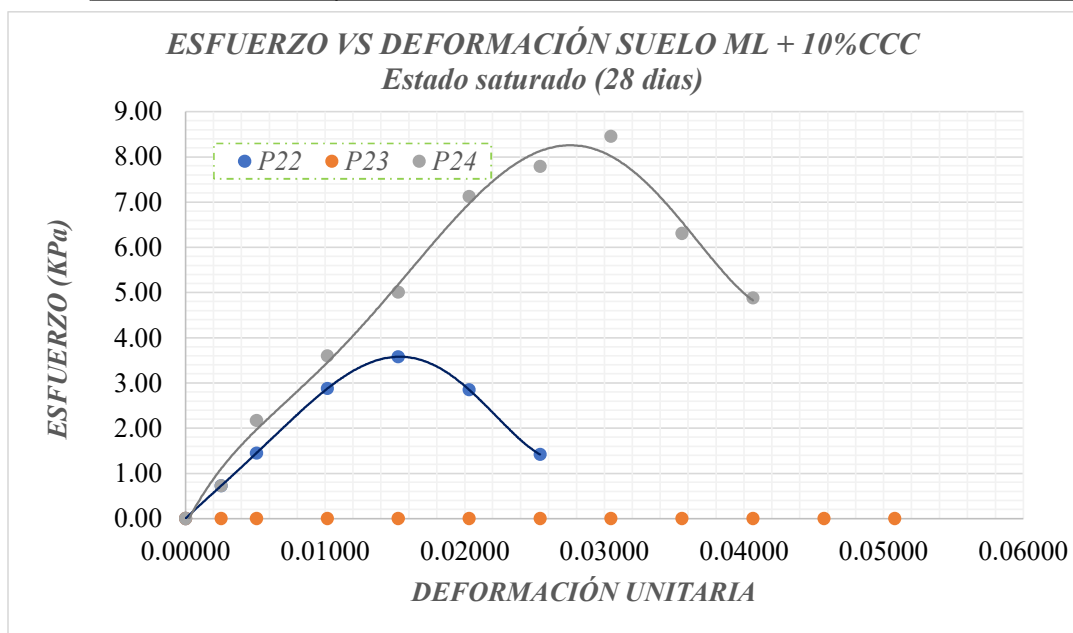


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P22	0.01524	3.58
2	P23	0	0.00
3	P24	0.03048	8.45
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			6.02



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

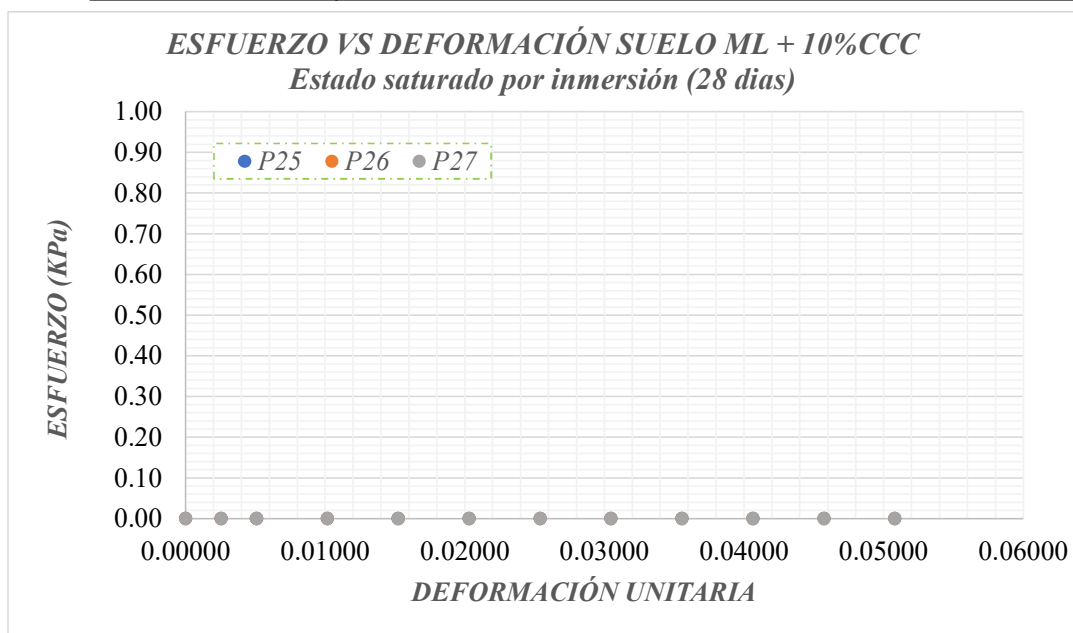


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P25	NO SOPORTARON PROCESOS DE SATURACIÓN POR INMERSIÓN	
2	P26		
3	P27		
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			0.00



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

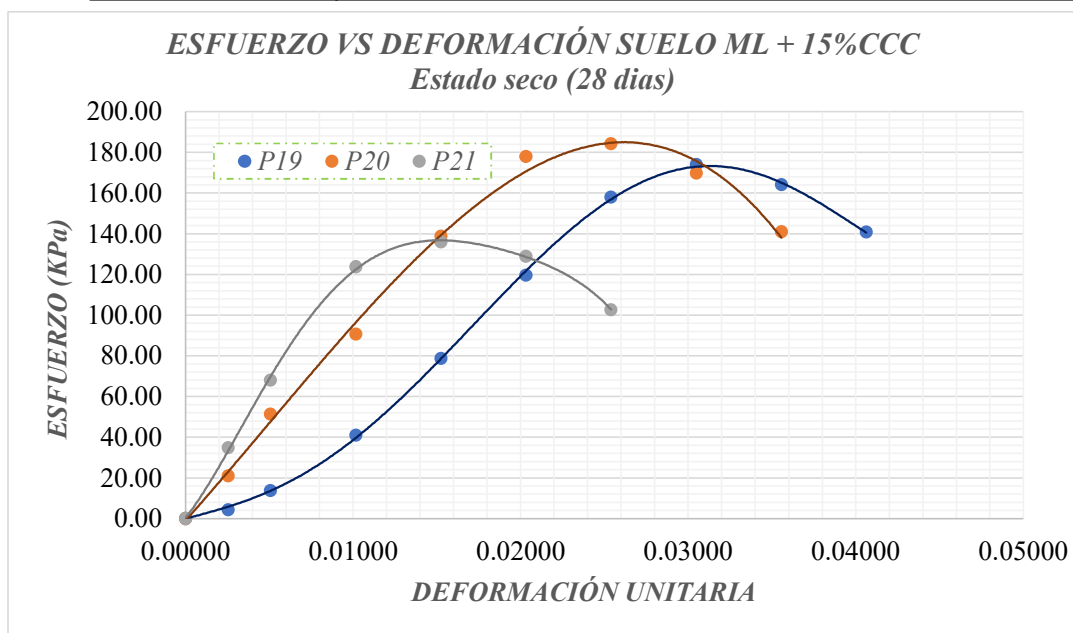


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P19	0.03048	174.02
2	P20	0.0254	184.14
3	P21	0.01524	135.97
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			179.08



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

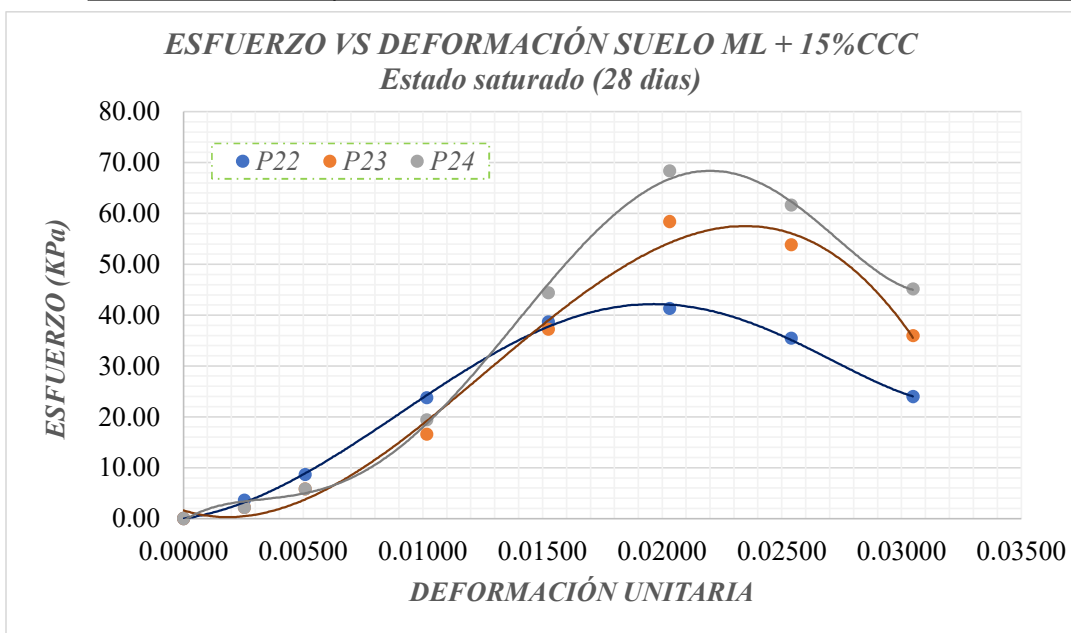


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P22	0.02032	41.29
2	P23	0.02032	58.38
3	P24	0.02032	68.35
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			56.01



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

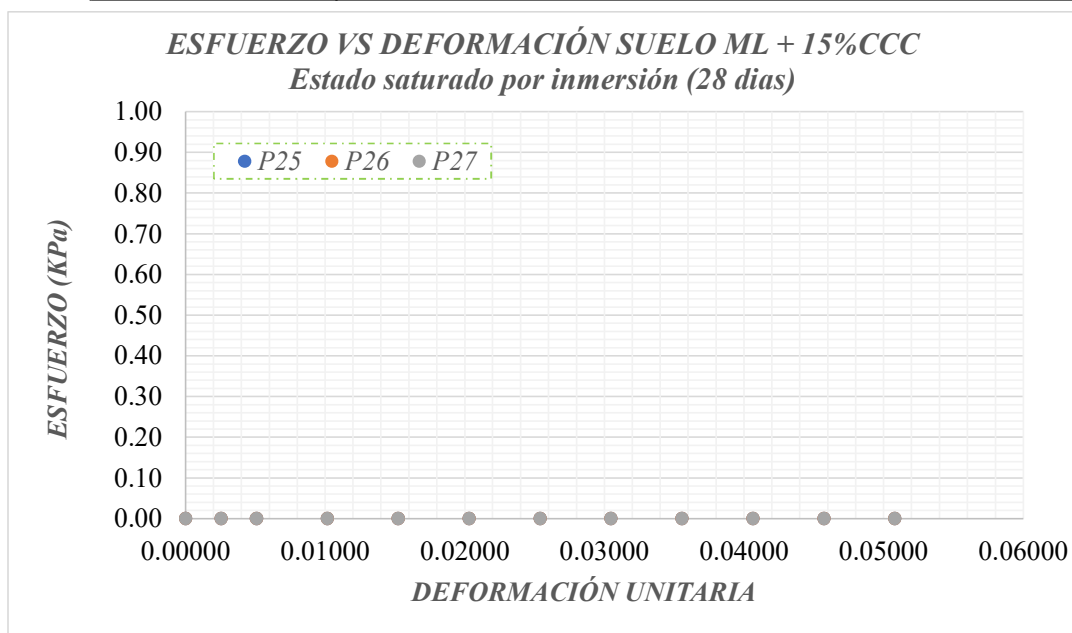


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
N°	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P25	NO SOPORTARON EL PROCESO DE SATURACIÓN POR INMERSIÓN	
2	P26		
3	P27		
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			0.00



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

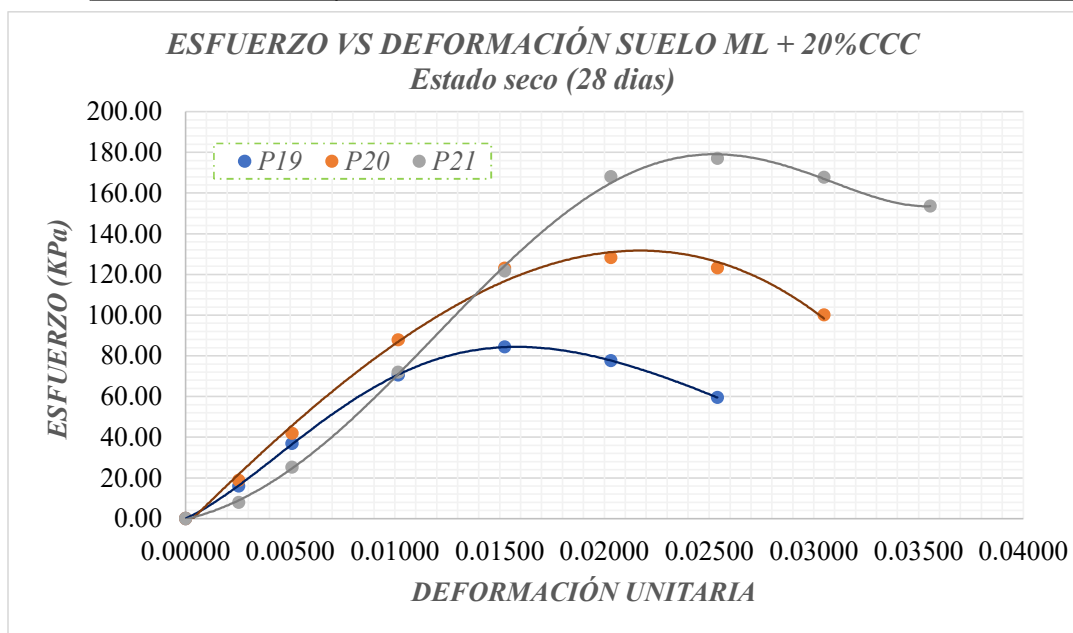


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P19	0.01524	84.44
2	P20	0.02032	128.15
3	P21	0.0254	177.06
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			152.60



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

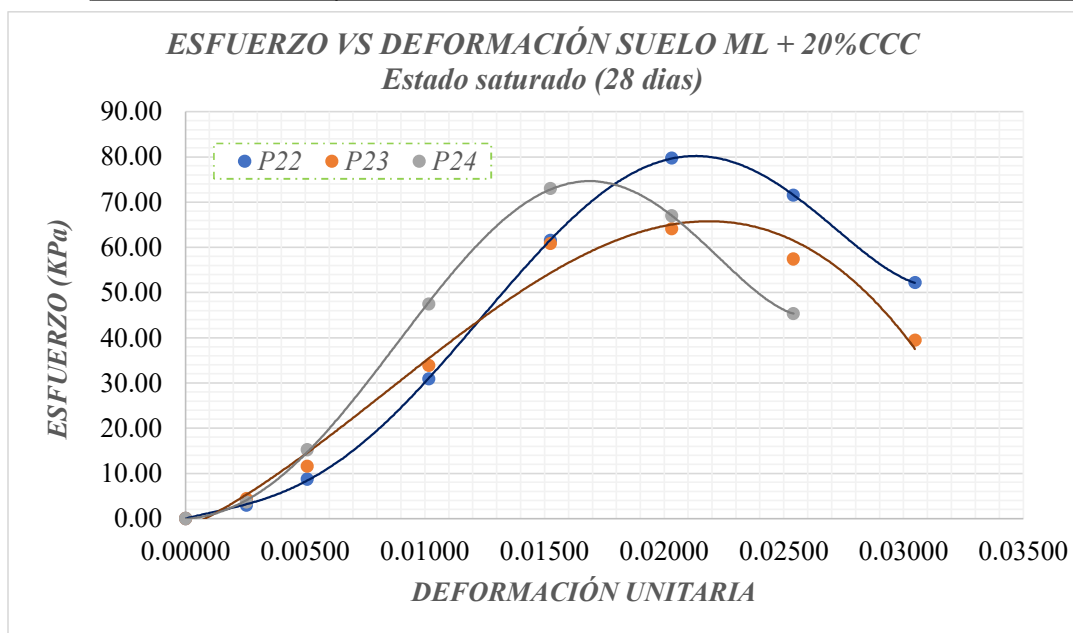


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P22	0.02032	79.74
2	P23	0.02032	64.07
3	P24	0.01524	72.99
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			72.27



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

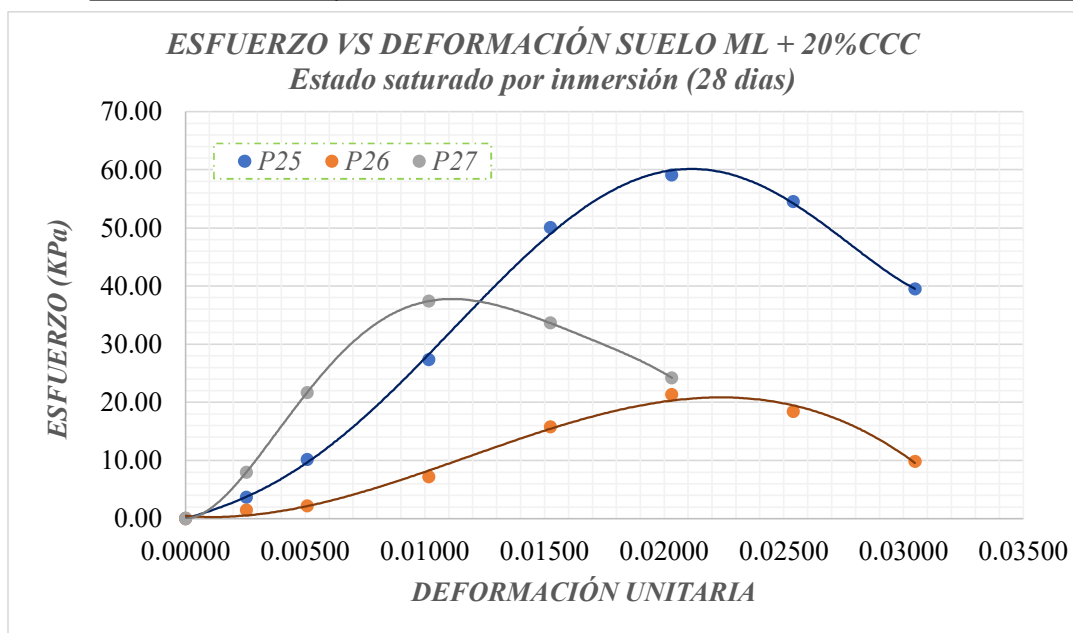


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P25	0.02032	59.09
2	P26	0.02032	21.36
3	P27	0.01016	37.40
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			48.25



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

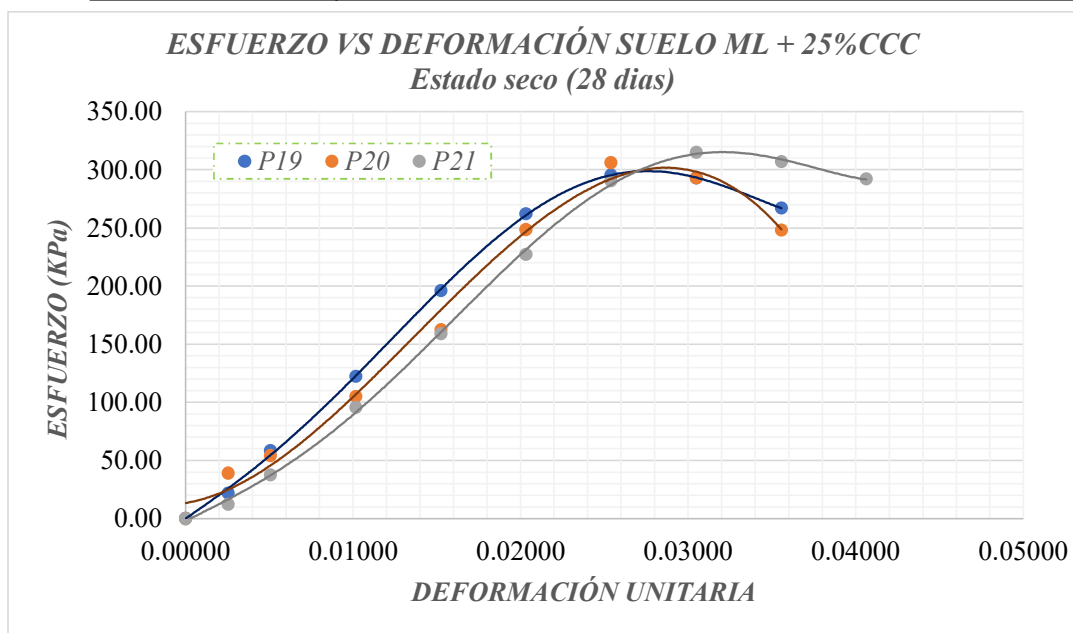


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P19	0.02540	295.34
2	P20	0.0254	305.96
3	P21	0.03048	314.93
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			310.45



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

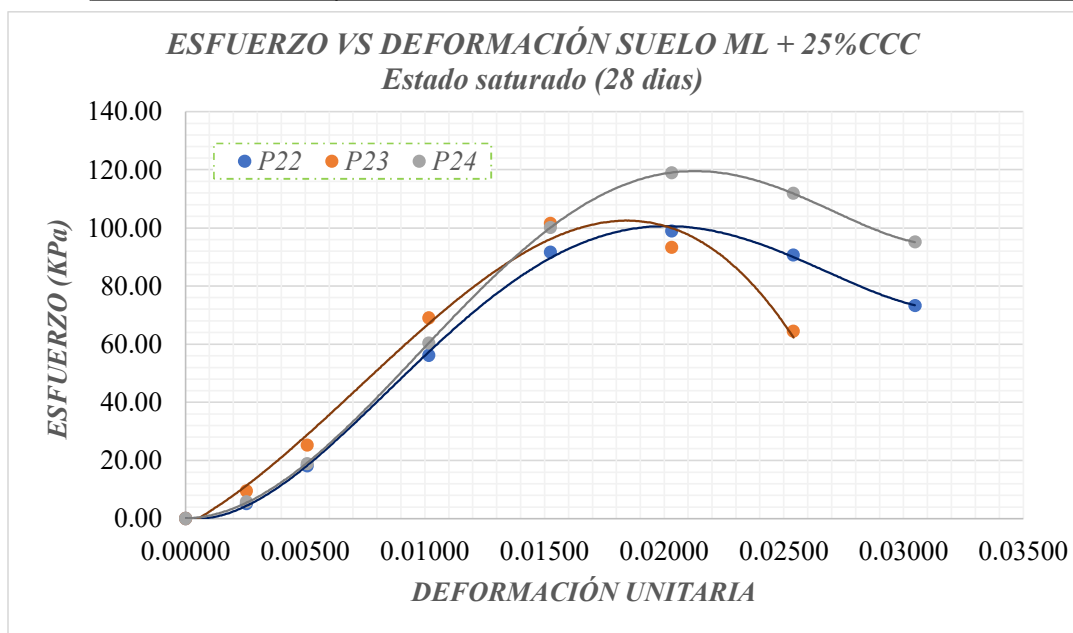


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P22	98.95820	98.96
2	P23	101.62	101.62
3	P24	118.89	118.89
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			106.49



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de baja plasticidad
SUCS	ML
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

ESFUERZO VS DEFORMACIÓN SUELO ML + 25%CCC
Estado saturado por inmersión (28 días)

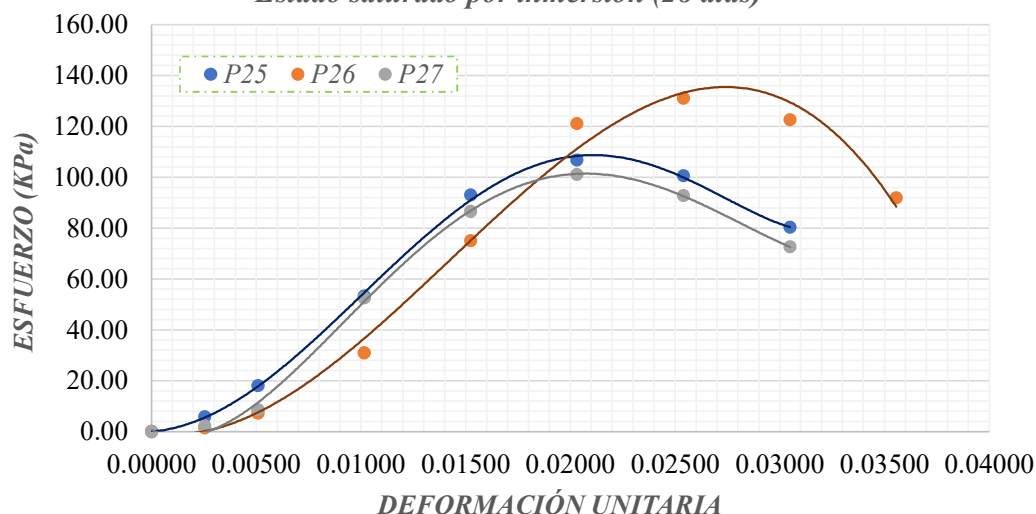


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu

Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P25	0.02032	106.79
2	P26	0.0254	131.02
3	P27	0.02032	101.09
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			112.97



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	No aplica
PORCENTAJE	0%

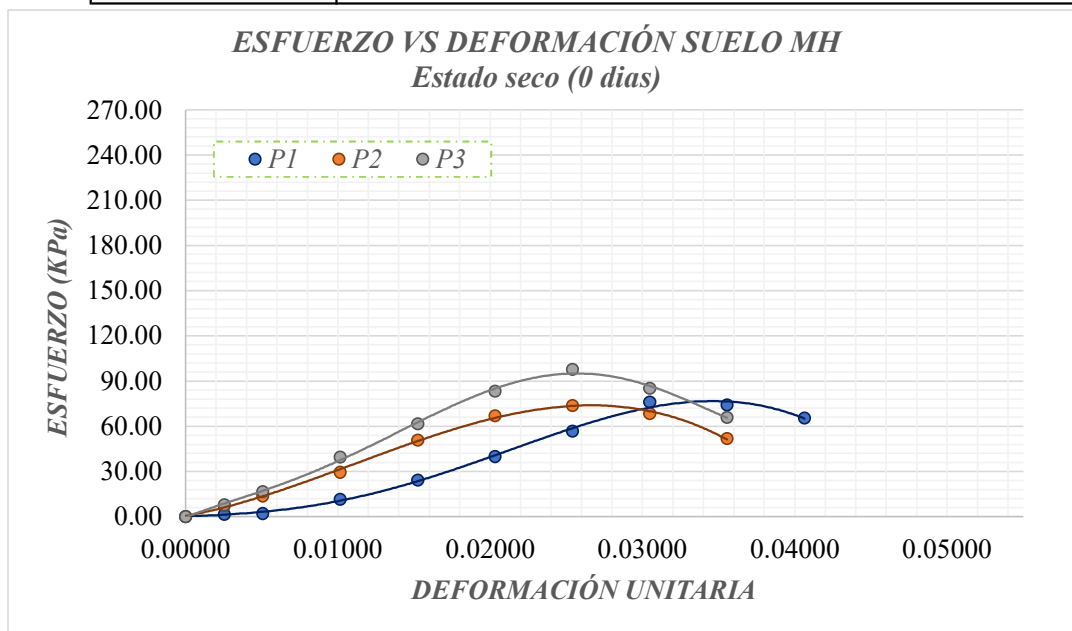


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P1	0.03048	76.09
2	P2	0.0254	73.66
3	P3	0.0254	97.74
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			82.49



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	No aplica
PORCENTAJE	0%

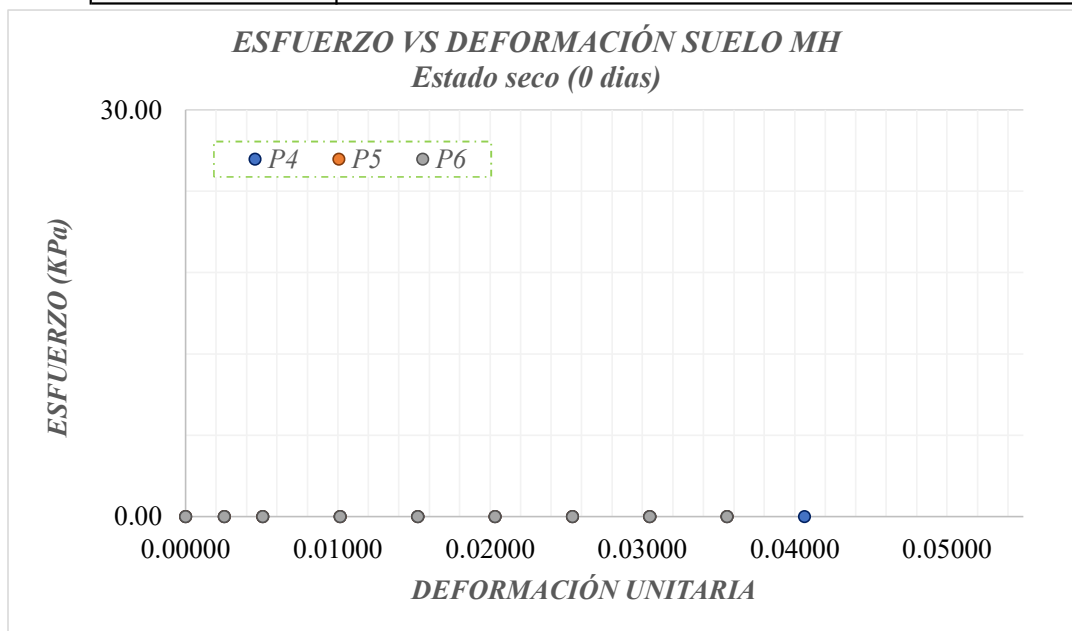


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P4	NO SOPORTARON EL PROCESO DE SATURACIÓN	
2	P5		
3	P6		
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			0.00



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

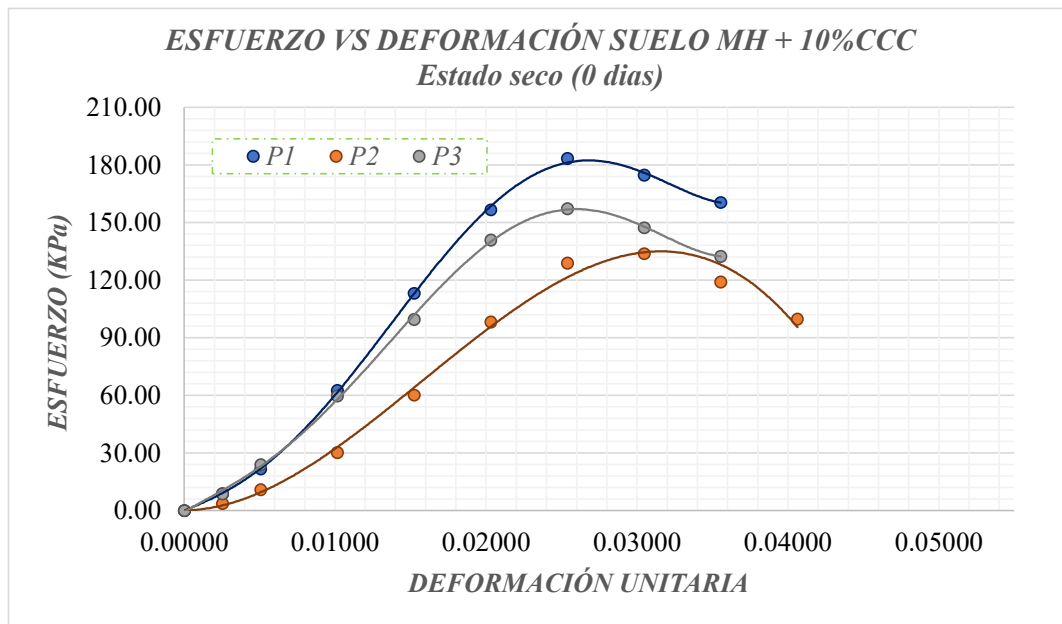


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P1	0.02540	183.43
2	P2	0.03048	133.86
3	P3	0.0254	157.23
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			170.33



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

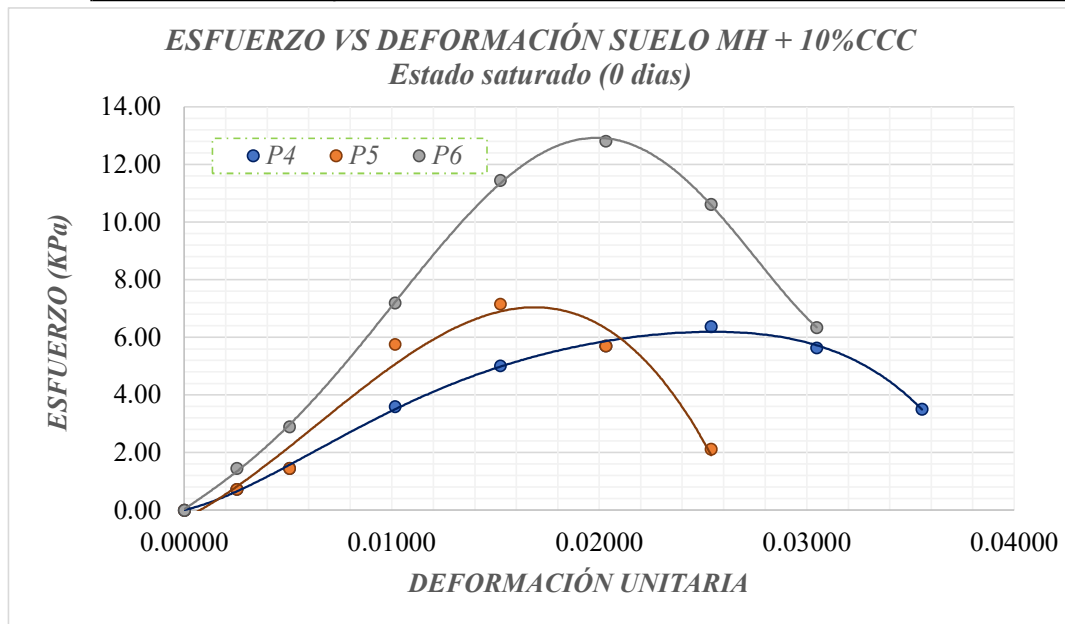


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P4	0.02540	6.37
2	P5	0.01524	7.16
3	P6	0.02032	12.81
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			8.78



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

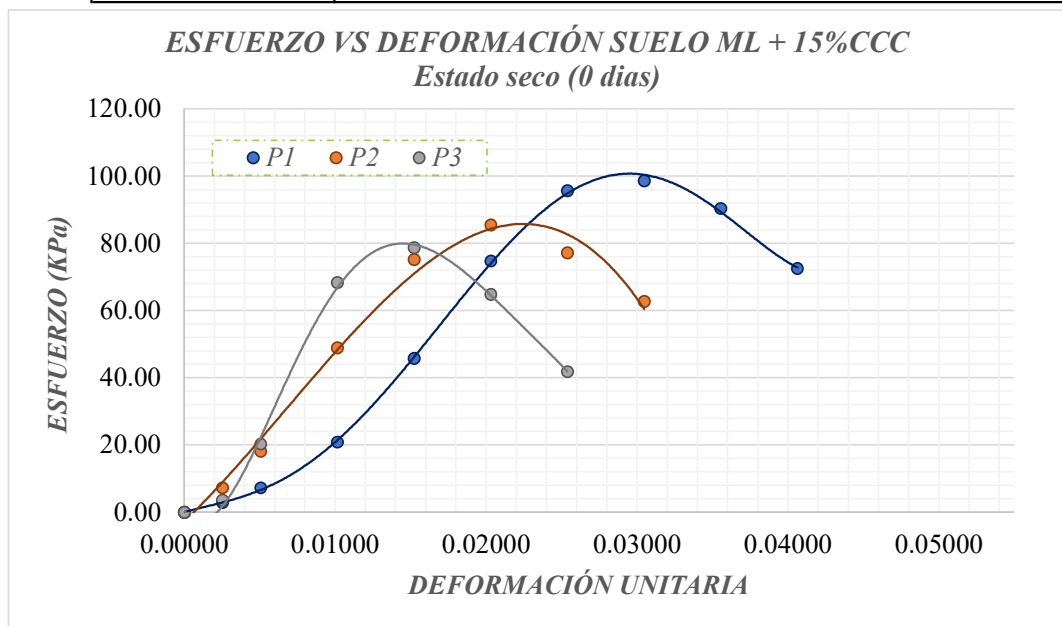


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P1	0.03048	98.64
2	P2	0.02032	85.43
3	P3	0.01524	78.72
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			87.60



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

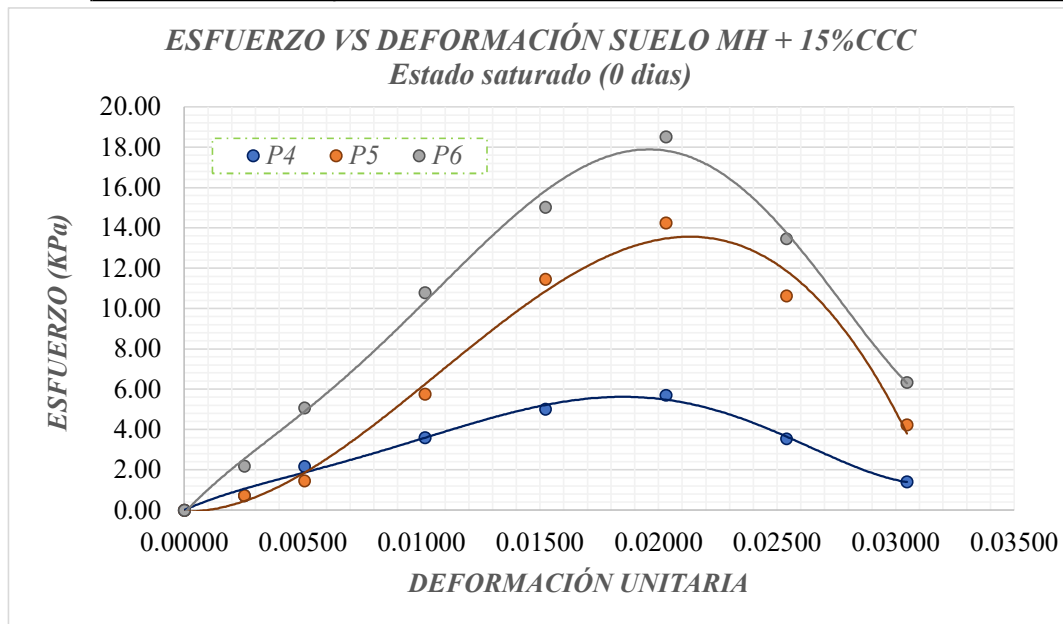


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P4	0.02032	5.70
2	P5	0.02032	14.24
3	P6	0.02032	18.51
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			12.81



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

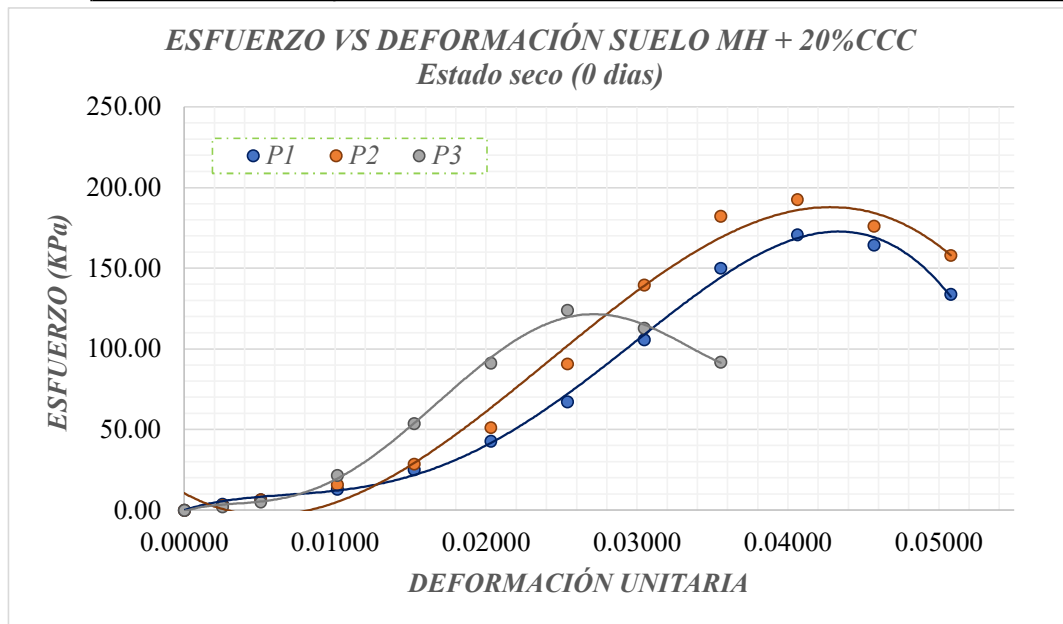


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P1	0.03048	170.80
2	P2	0.03048	192.42
3	P3	0.03048	123.94
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			181.61



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

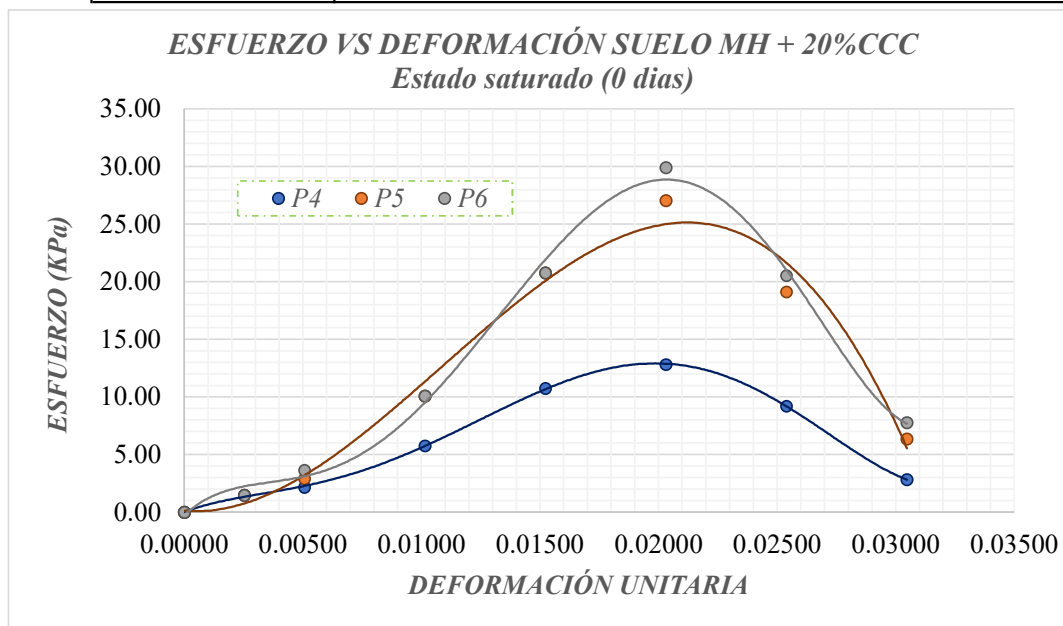


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - q_u			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P4	0.02032	12.81
2	P5	0.02032	27.05
3	P6	0.02032	29.90
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			28.48



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

ESFUERZO VS DEFORMACIÓN SUELO MH + 25%CCC
Estado seco (0 días)

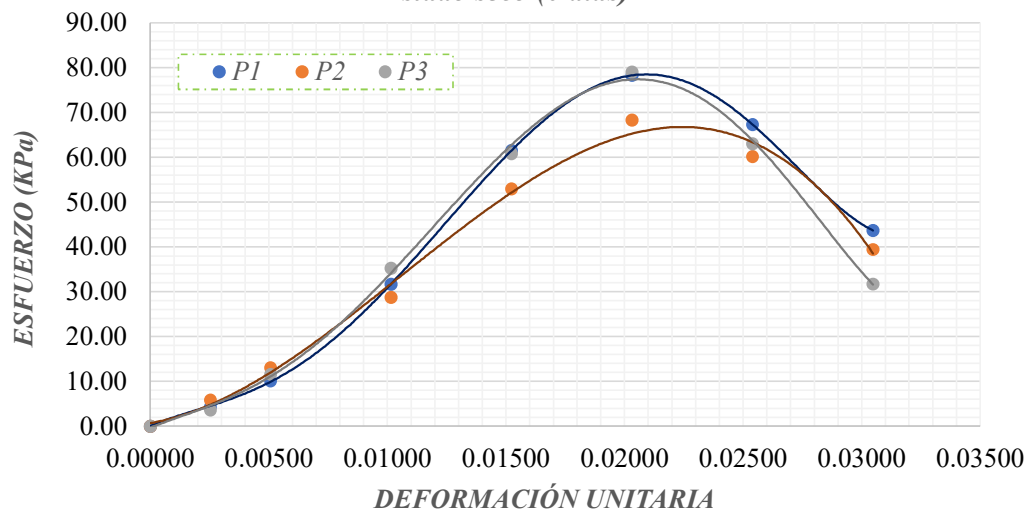


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu

Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P1	0.02032	78.31
2	P2	0.02032	68.35
3	P3	0.02032	79.02
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			75.23



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

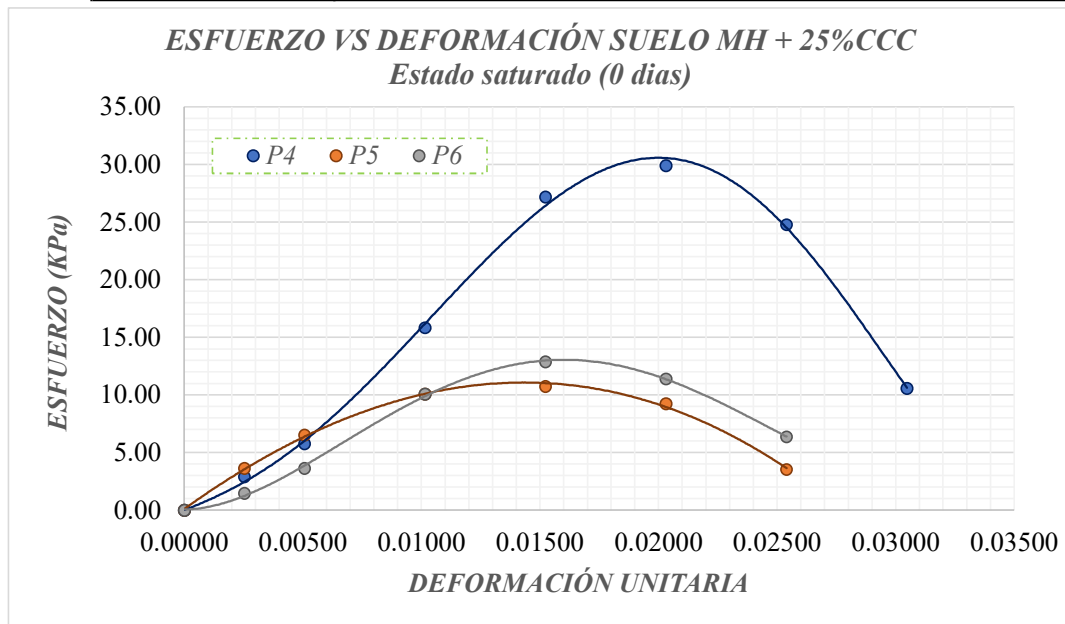


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P4	0.02032	29.90
2	P5	0.01524	10.73
3	P6	0.01524	12.88
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			17.84



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

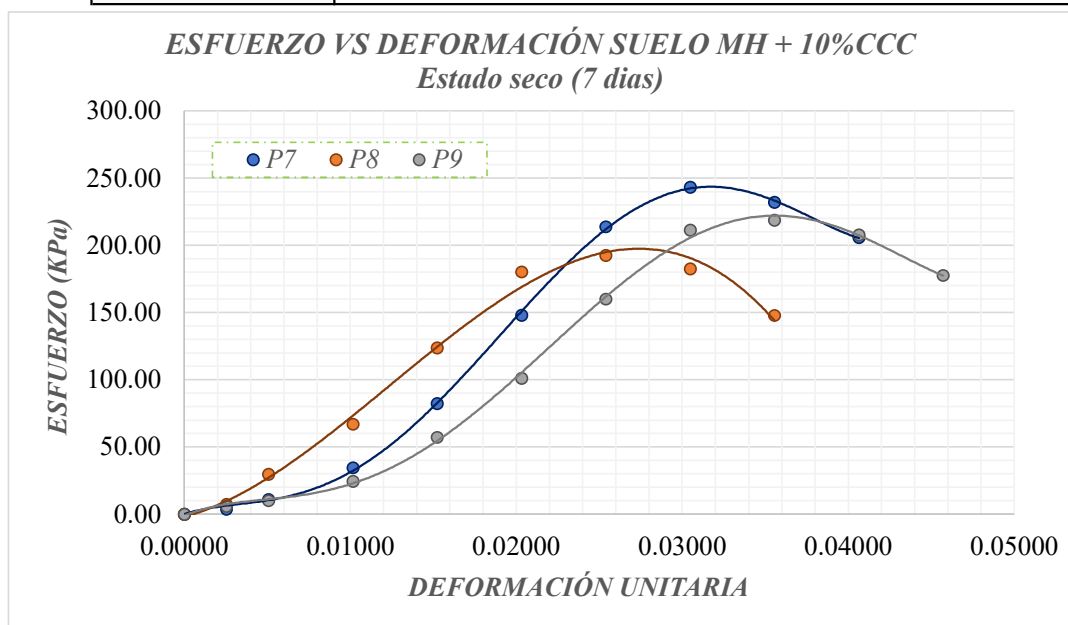


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P7	0.03048	243.07
2	P8	0.0254	192.64
3	P9	0.03556	218.67
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			230.87



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

ESFUERZO VS DEFORMACIÓN SUELO MH + 10%CCC
Estado saturado (7 días)

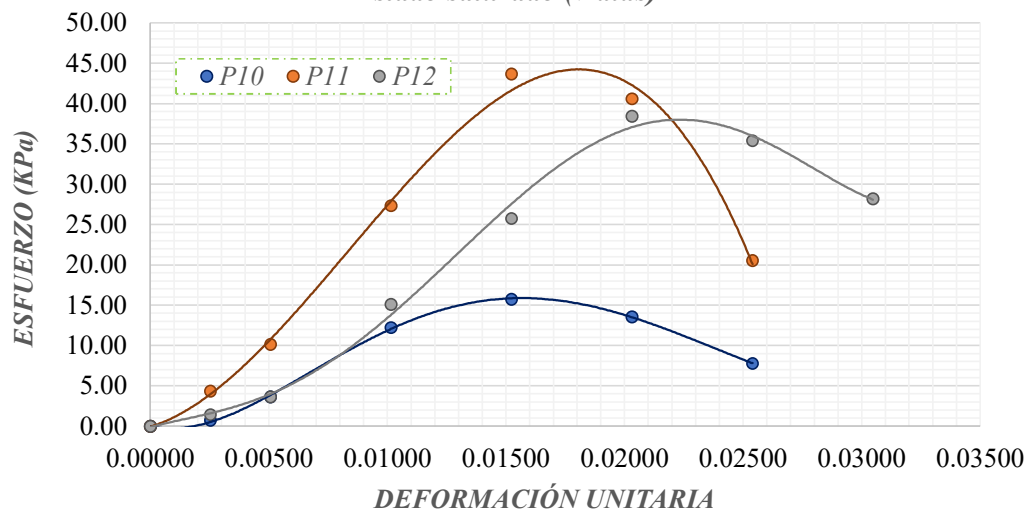


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu

Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P10	0.01524	15.74
2	P11	0.01524	43.65
3	P12	0.02032	38.44
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			41.05



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

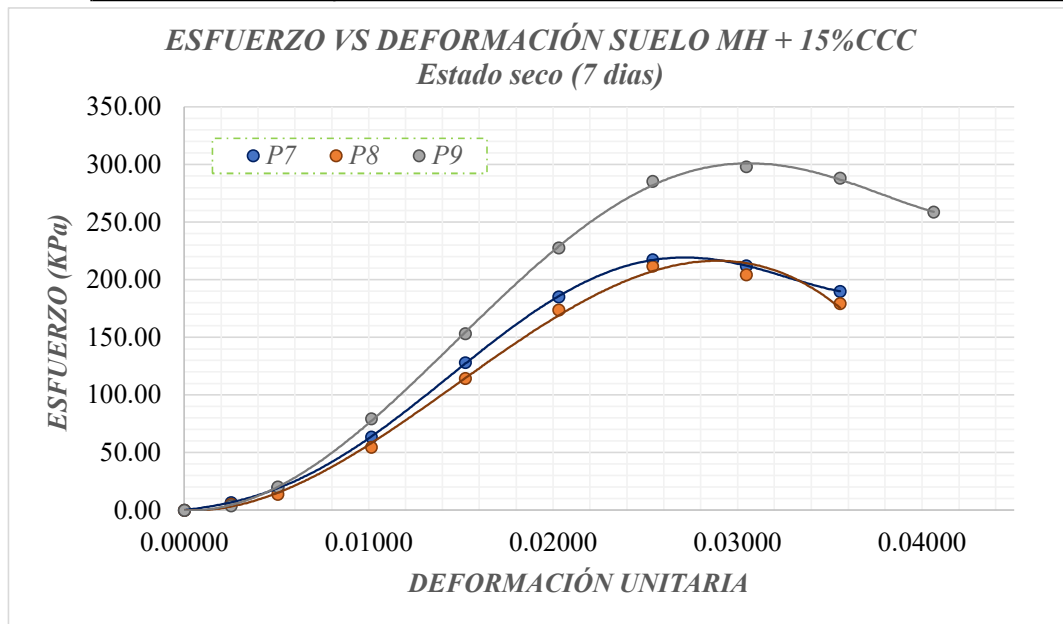


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P7	0.02540	217.43
2	P8	0.0254	211.76
3	P9	0.03048	298.02
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			214.60



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

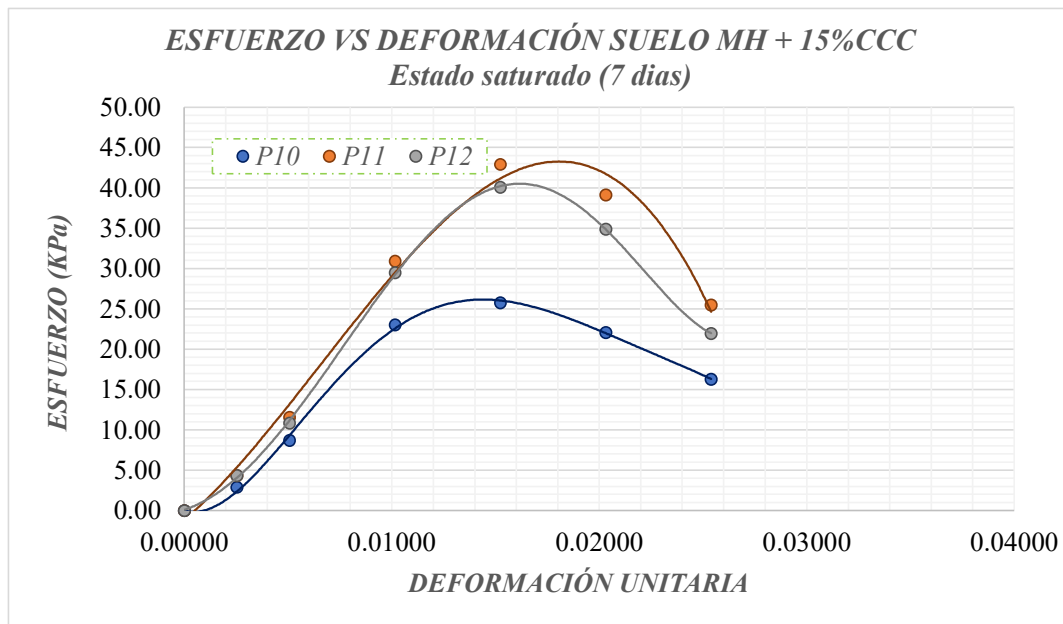


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P10	0.01524	25.76
2	P11	0.01524	42.94
3	P12	0.01524	40.07
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			41.51



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

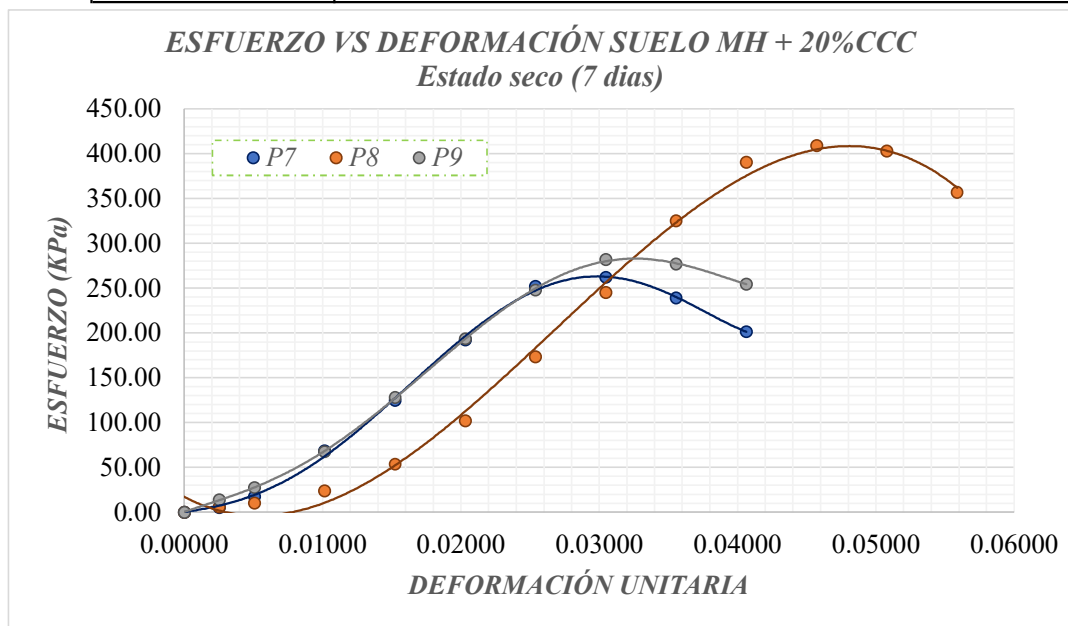


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P7	0.03048	262.09
2	P8	0.04572	409.15
3	P9	0.03048	281.82
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			271.95



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

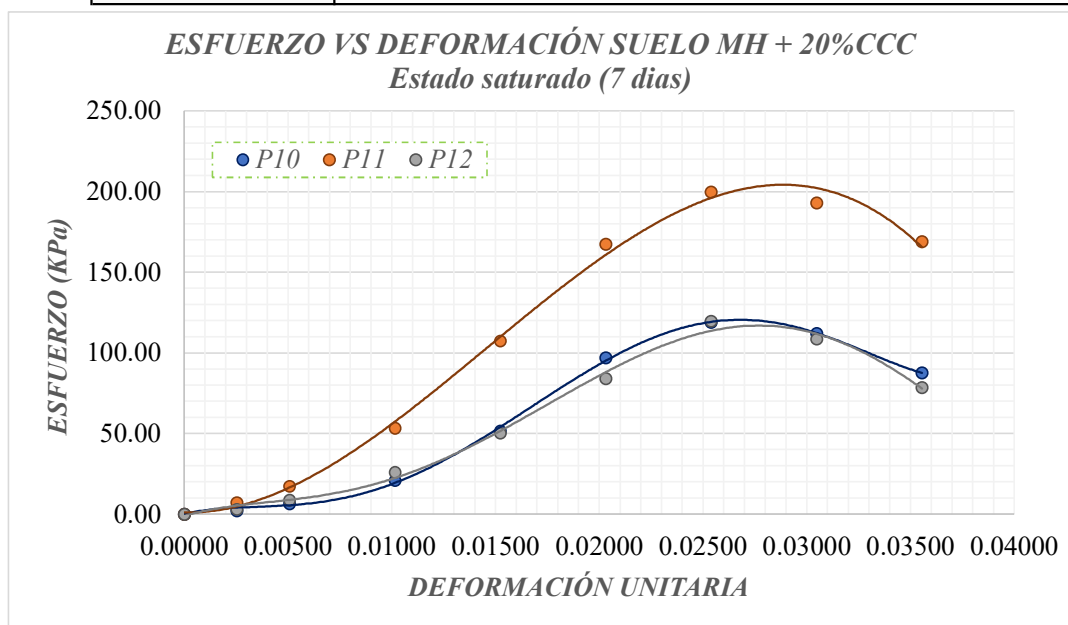


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P10	0.02540	118.98
2	P11	0.0254	199.72
3	P12	0.0254	119.69
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			146.13



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

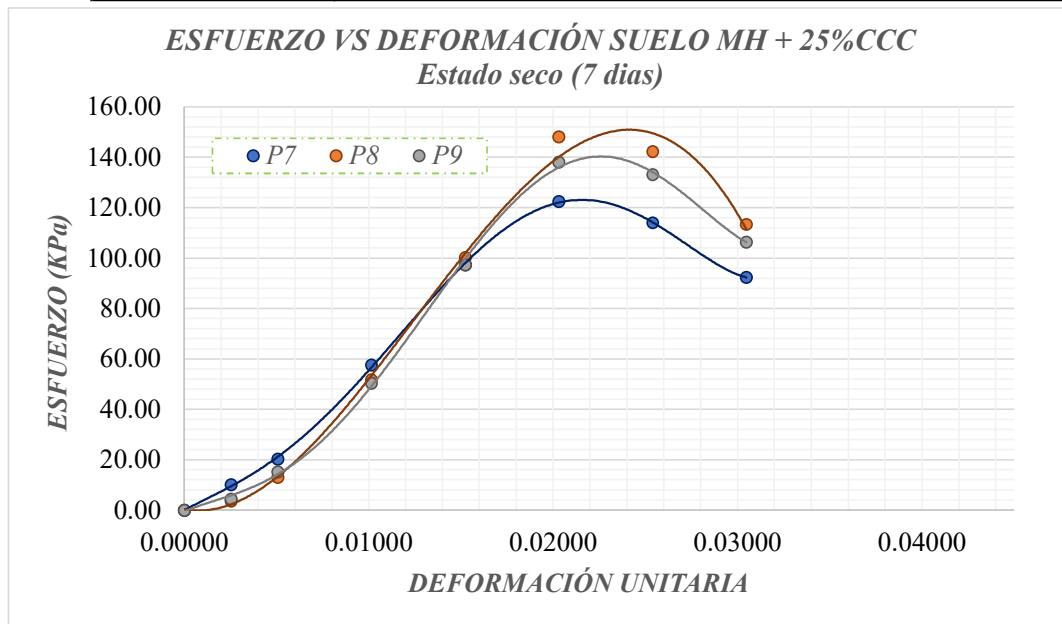


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - q_u			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P7	0.02032	122.45
2	P8	0.02032	148.08
3	P9	0.02032	138.11
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			136.22



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

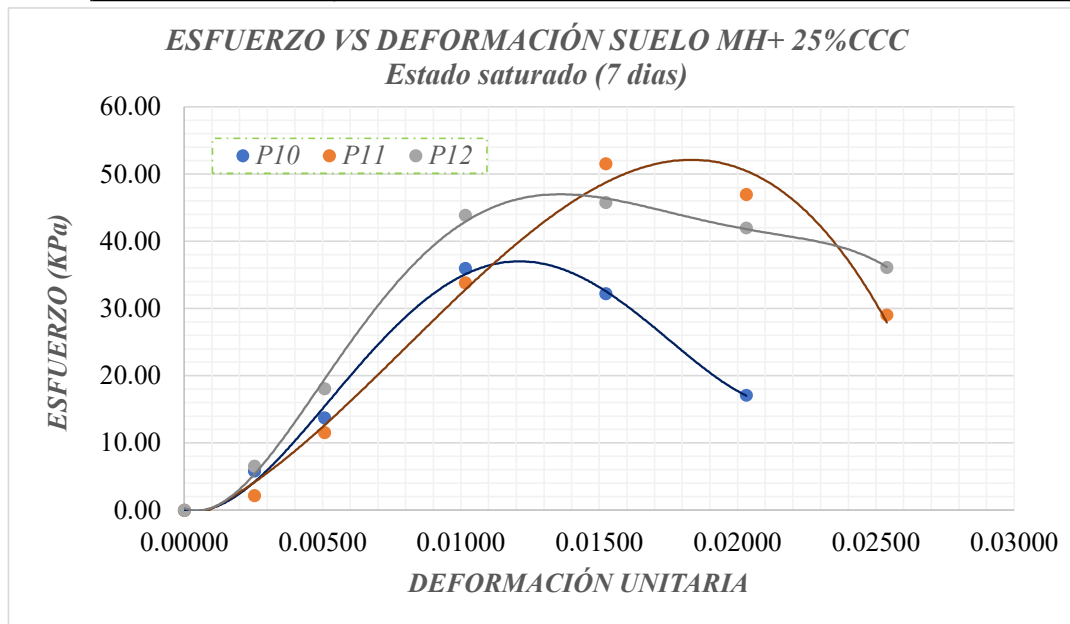


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P10	0.01016	35.97
2	P11	0.01524	51.52
3	P12	0.01524	45.80
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			44.43



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

ESFUERZO VS DEFORMACIÓN SUELO MH+ 10%CCC
Estado seco (14 días)

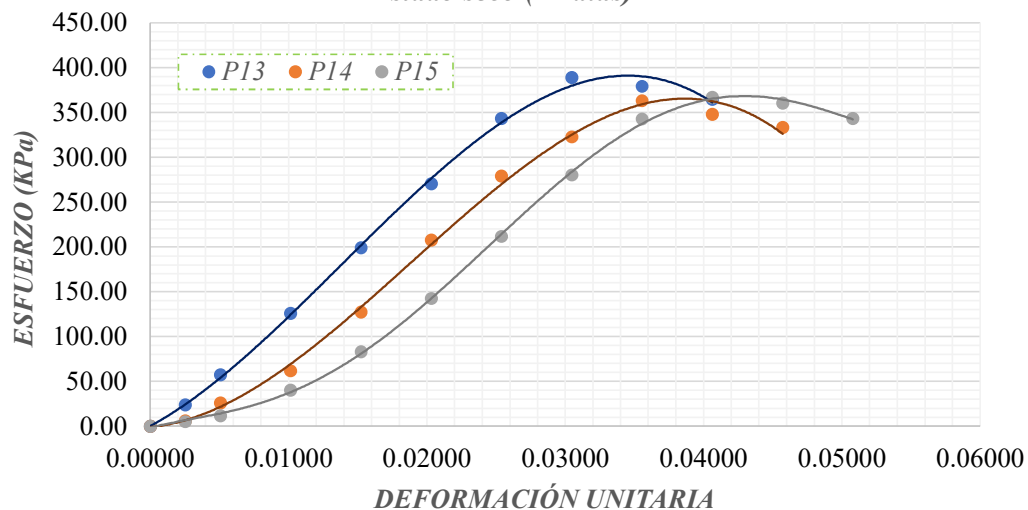


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu

Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P13	0.03048	388.91
2	P14	0.03556	363.04
3	P15	0.04064	366.71
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			372.89



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

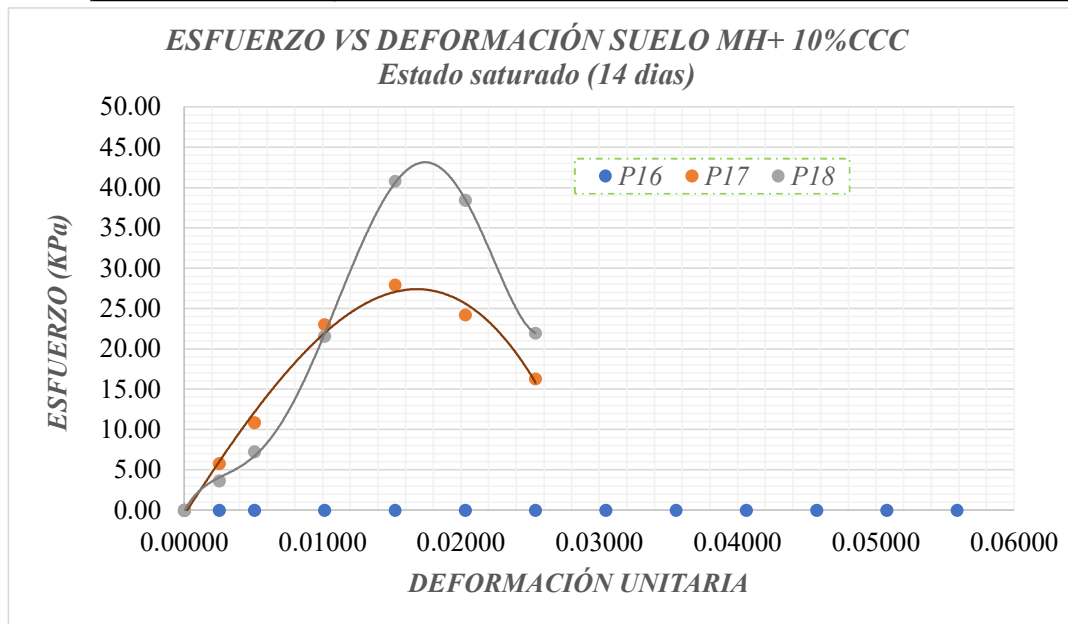


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P16	0.00000	0.00
2	P17	0.01524	27.91
3	P18	0.01524	40.79
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			34.35



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

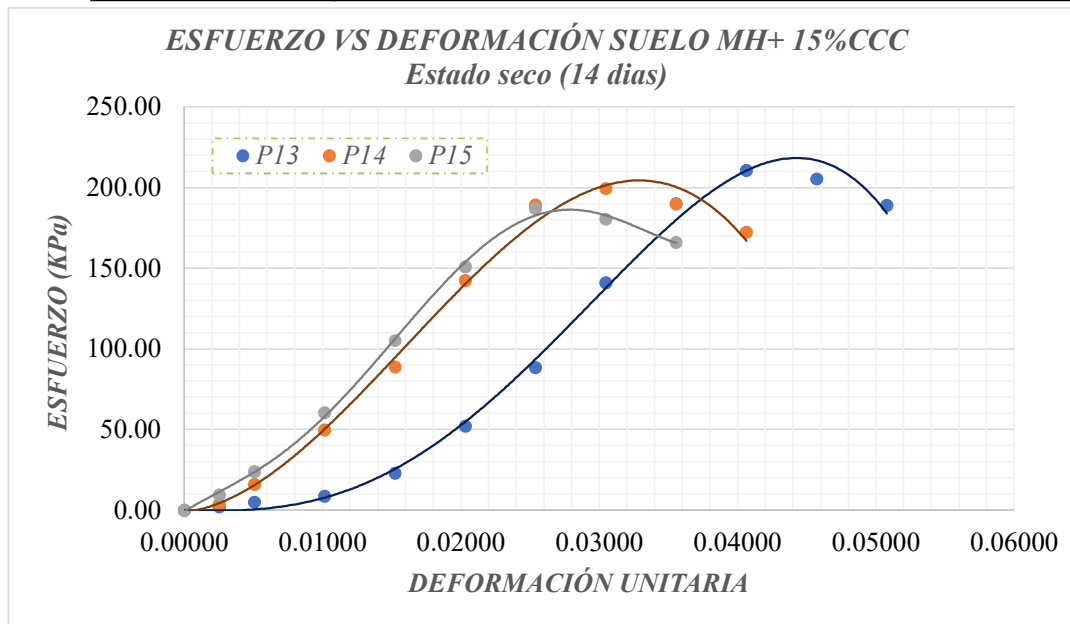


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P13	0.04064	210.54
2	P14	0.03048	199.39
3	P15	0.0254	186.97
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			204.96



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

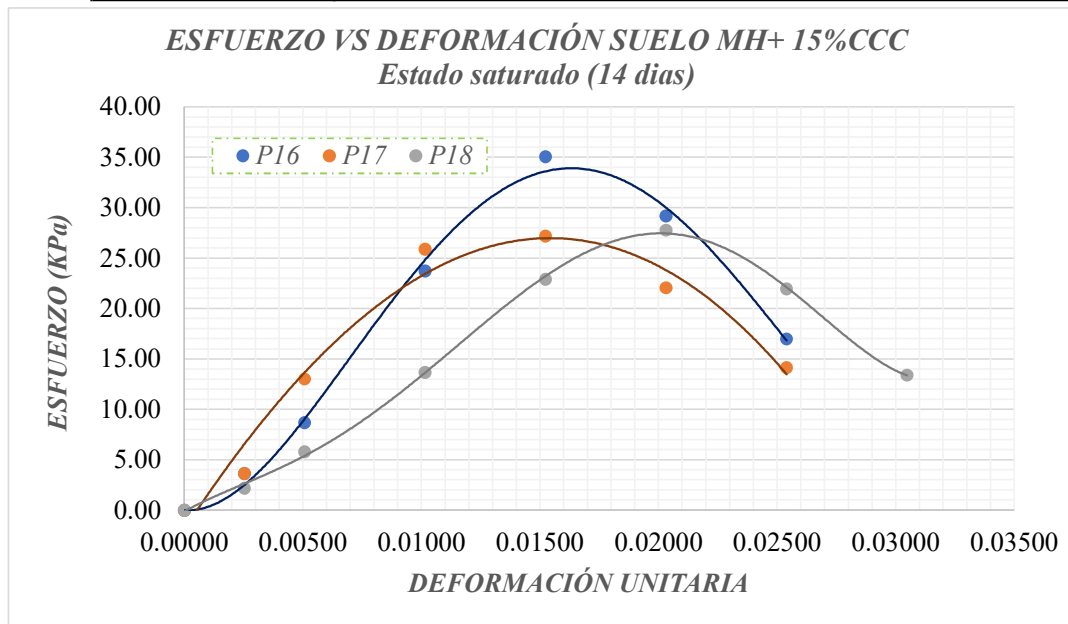


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P16	0.01524	35.07
2	P17	0.01524	27.19
3	P18	0.01524	27.77
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			30.01



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

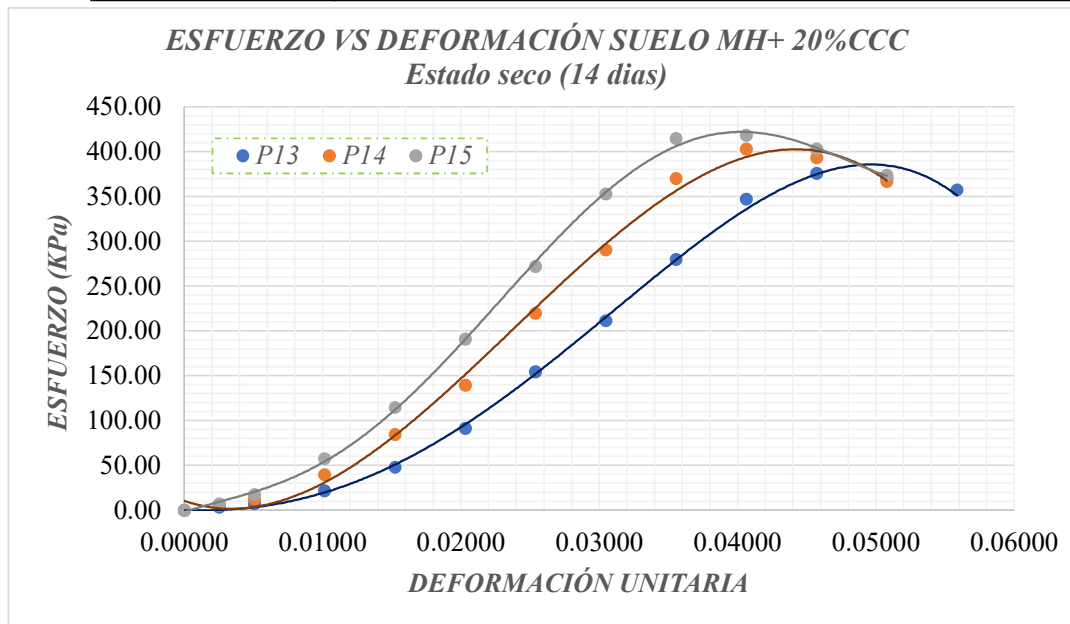


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P13	0.04572	375.86
2	P14	0.04064	402.96
3	P15	0.04064	418.30
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			399.04



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

ESFUERZO VS DEFORMACIÓN SUELO MH+ 20%CCC
Estado saturado (14 días)

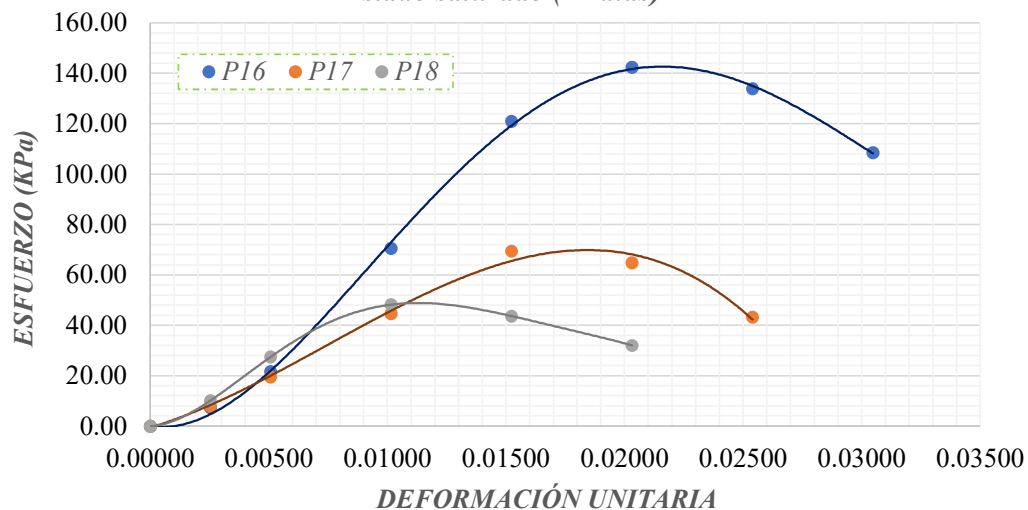


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu

Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P16	0.02032	142.39
2	P17	0.01524	69.42
3	P18	0.01016	48.19
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			86.67



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

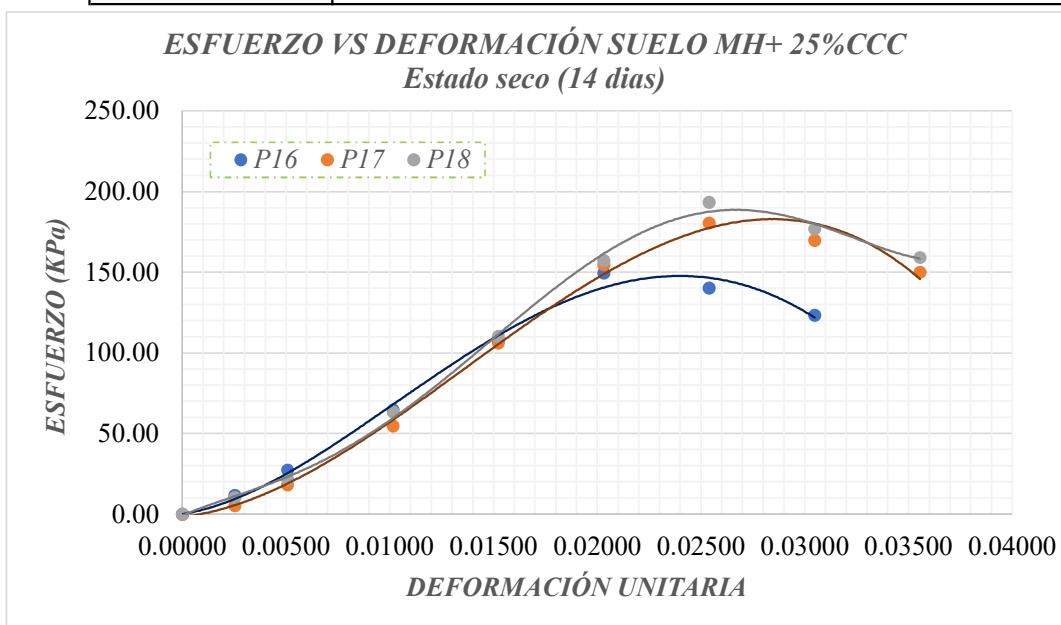


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P16	0.02032	149.51
2	P17	0.0254	180.60
3	P18	0.0254	193.35
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			186.97



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

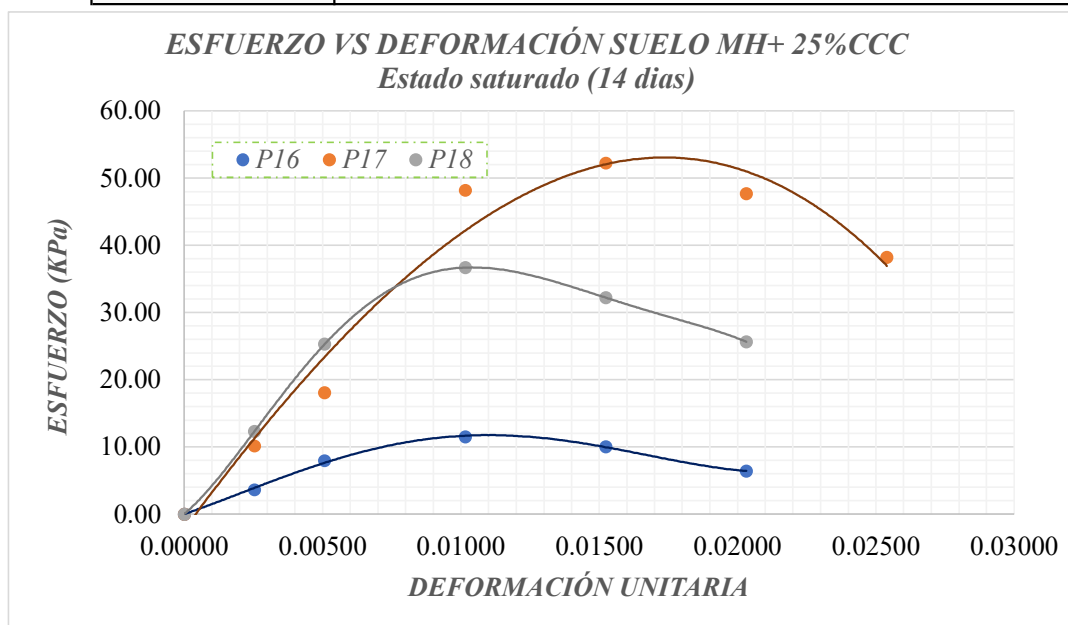


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P16	0.01016	11.51
2	P17	0.01524	52.24
3	P18	0.01016	36.68
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			44.46



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

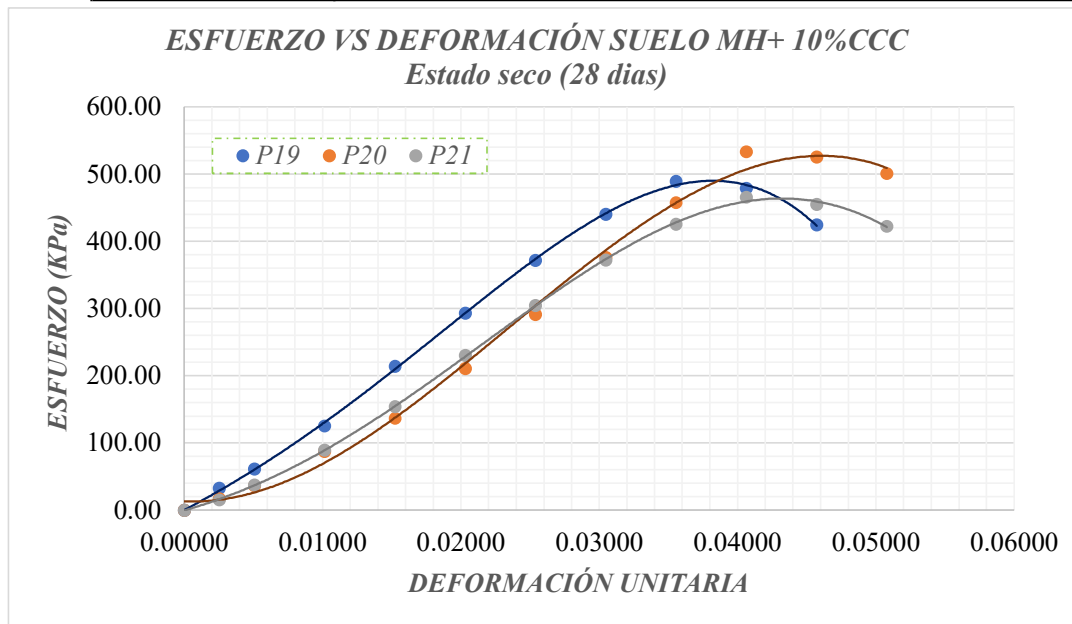


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P19	0.03556	489.20
2	P20	0.04064	533.33
3	P21	0.04064	465.70
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			496.08



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

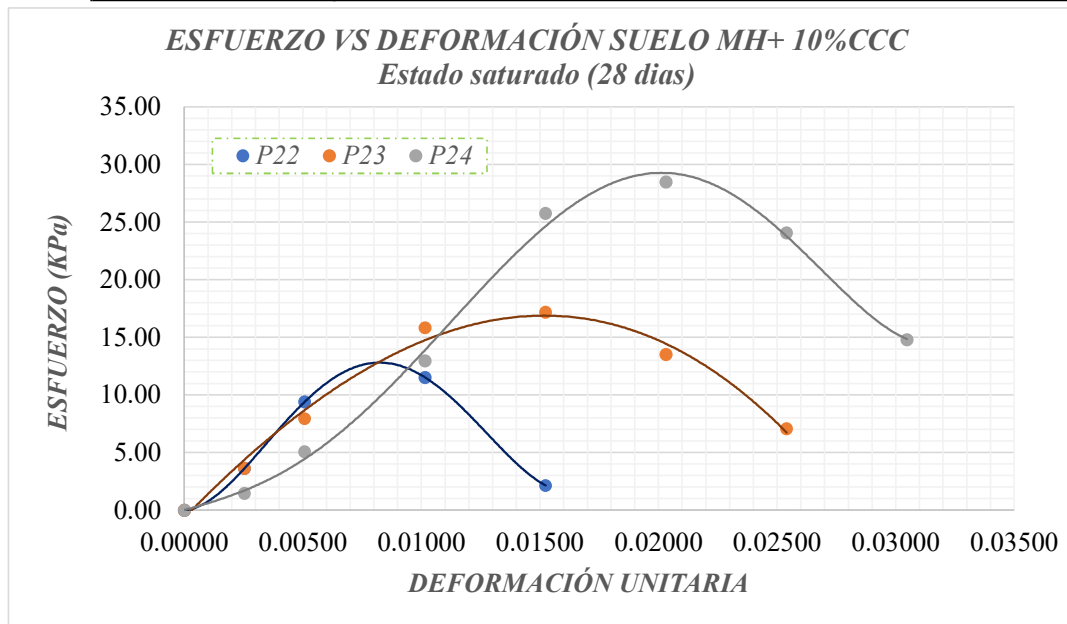


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P22	0.01016	11.51
2	P23	0.01524	17.17
3	P24	0.02032	28.48
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			22.83



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

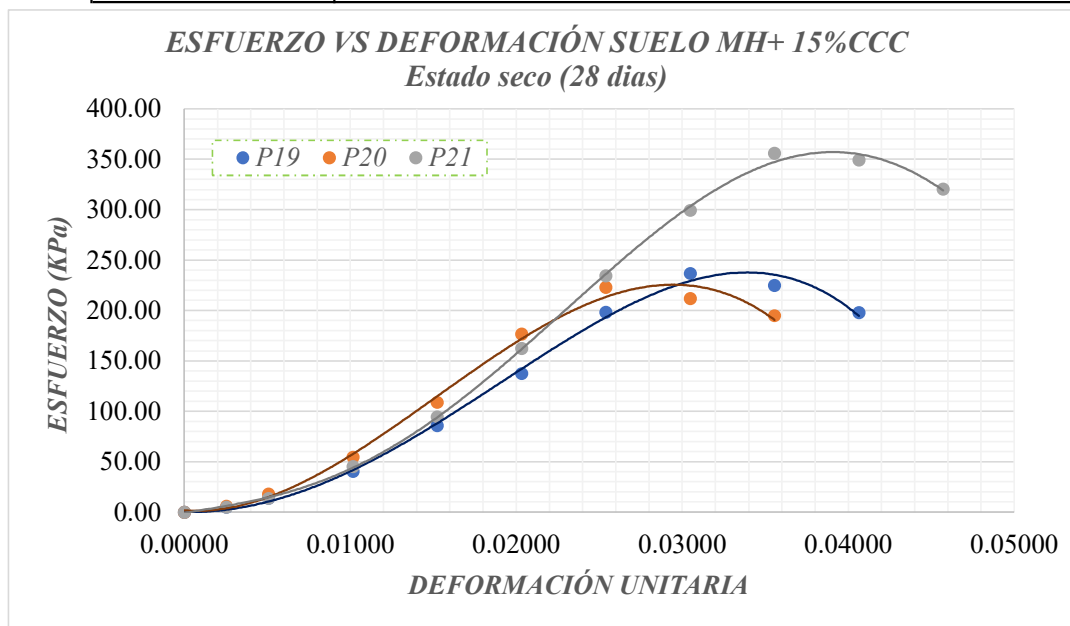


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P19	0.03048	236.73
2	P20	0.0254	223.09
3	P21	0.03556	356.03
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			296.38



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

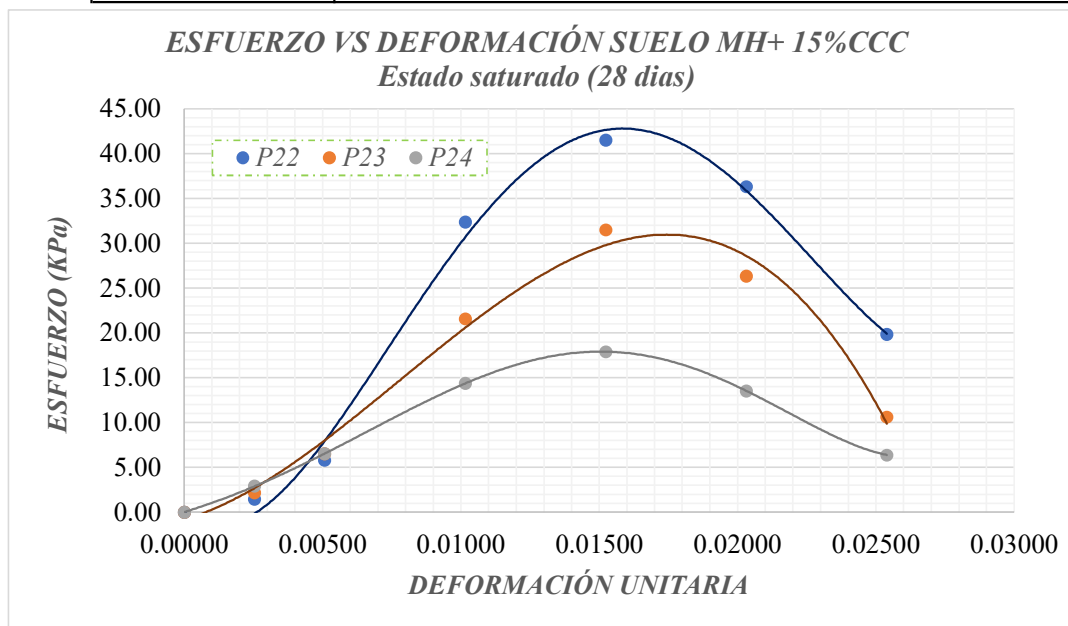


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P22	0.01524	41.51
2	P23	0.01524	31.49
3	P24	0.01524	17.89
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			36.50



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

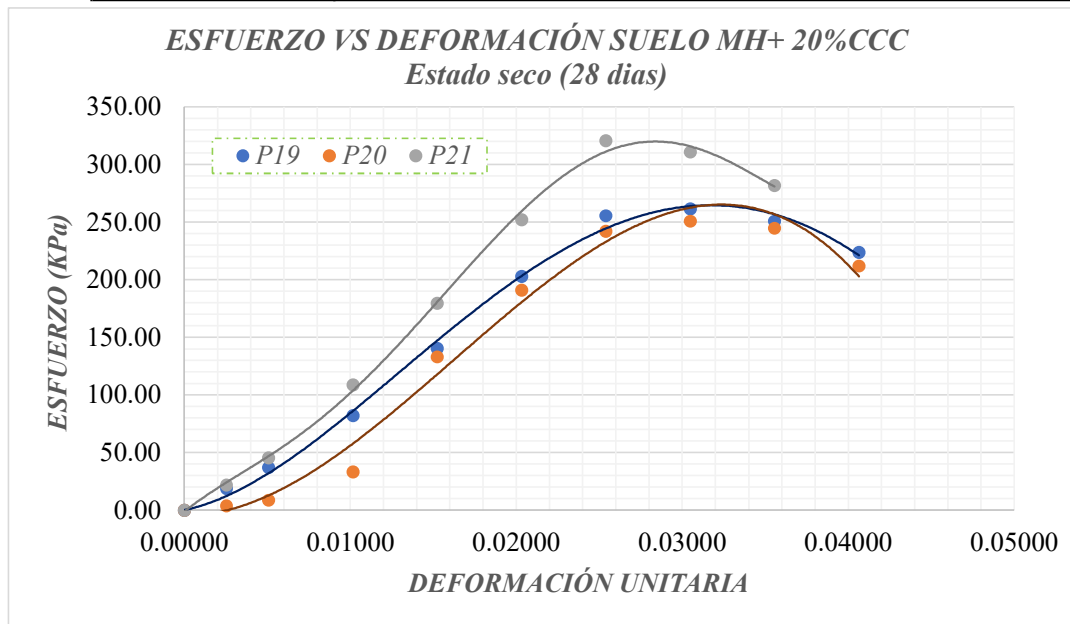


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P19	0.03048	261.39
2	P20	0.03048	250.82
3	P21	0.0254	320.83
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			291.11



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

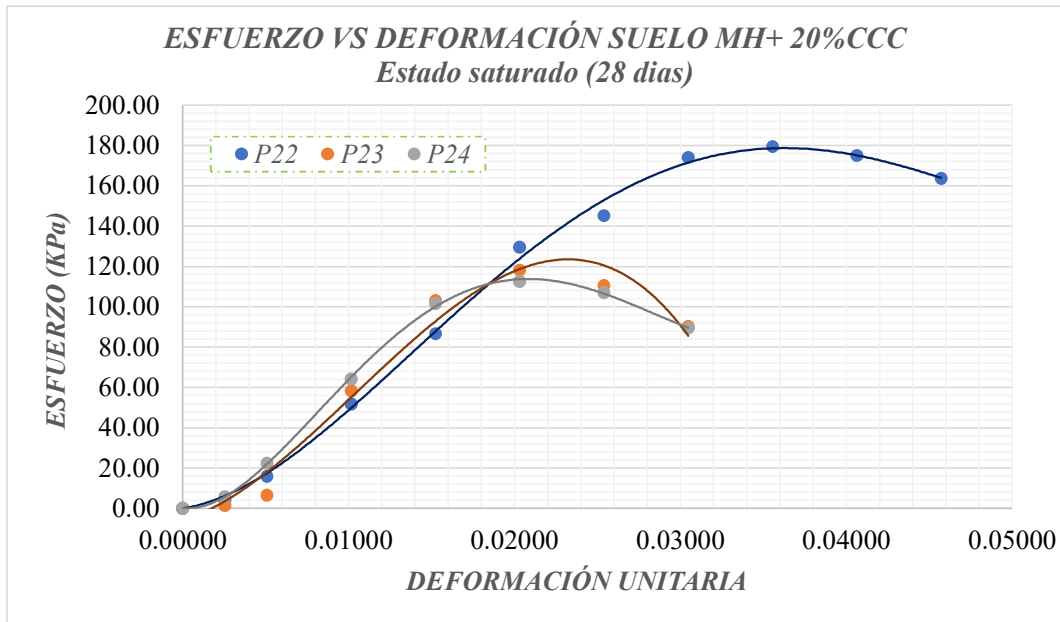


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P22	0.03556	179.42
2	P23	0.02032	118.18
3	P24	0.02032	112.48
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			136.69



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

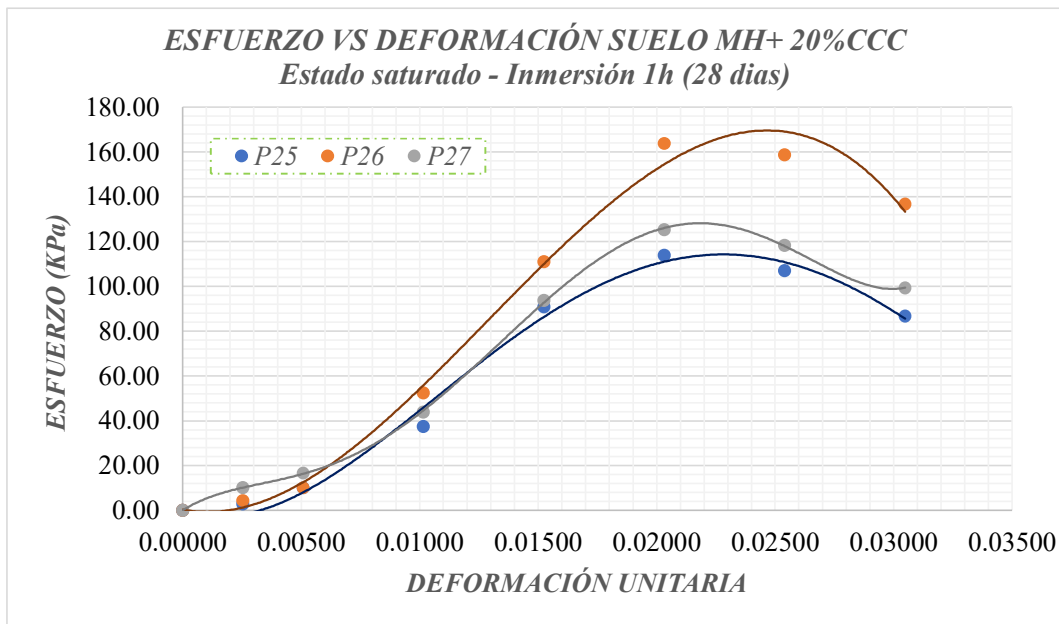


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P25	0.02032	113.91
2	P26	0.02032	163.74
3	P27	0.02032	125.30
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			144.52



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

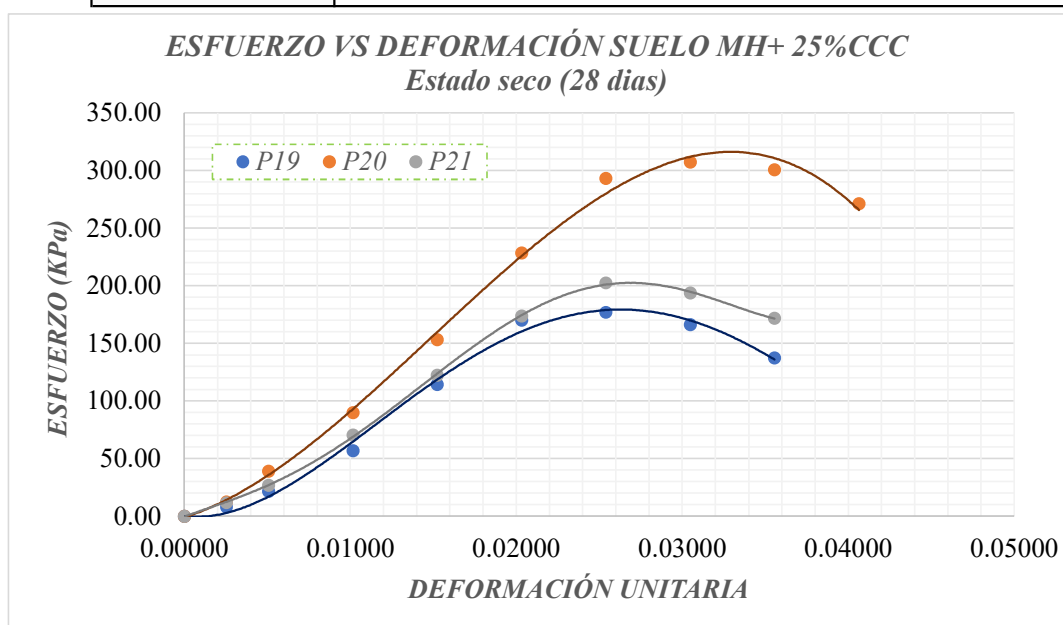


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P19	0.02540	177.06
2	P20	0.03048	307.18
3	P21	0.0254	202.56
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			254.87



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

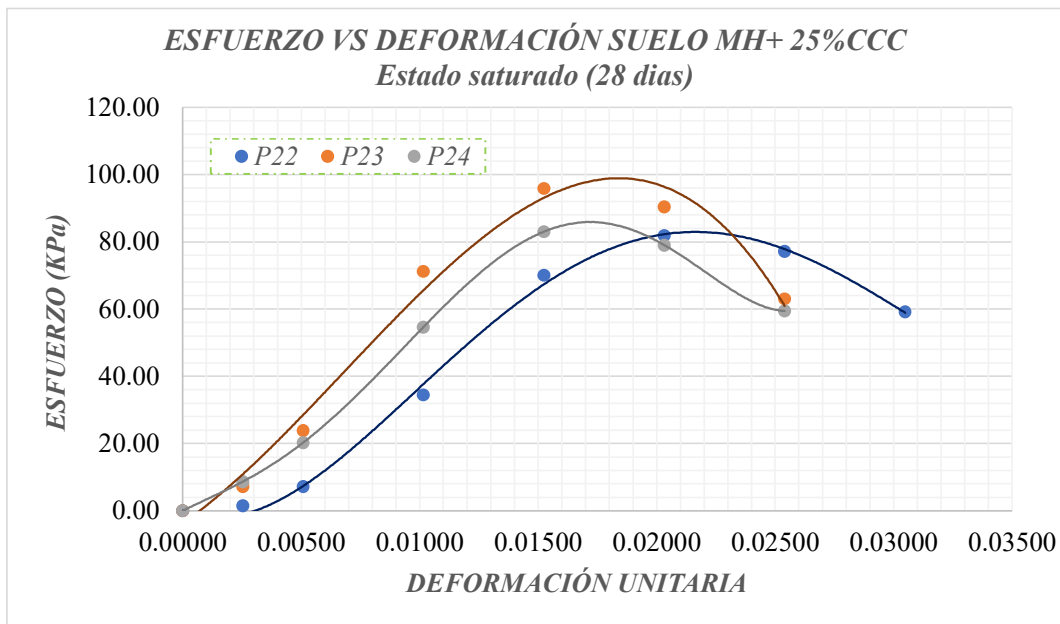


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P22	0.02032	81.87
2	P23	0.01524	95.89
3	P24	0.01524	83.01
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			86.93



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo limoso de alta plasticidad
SUCS	MH
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

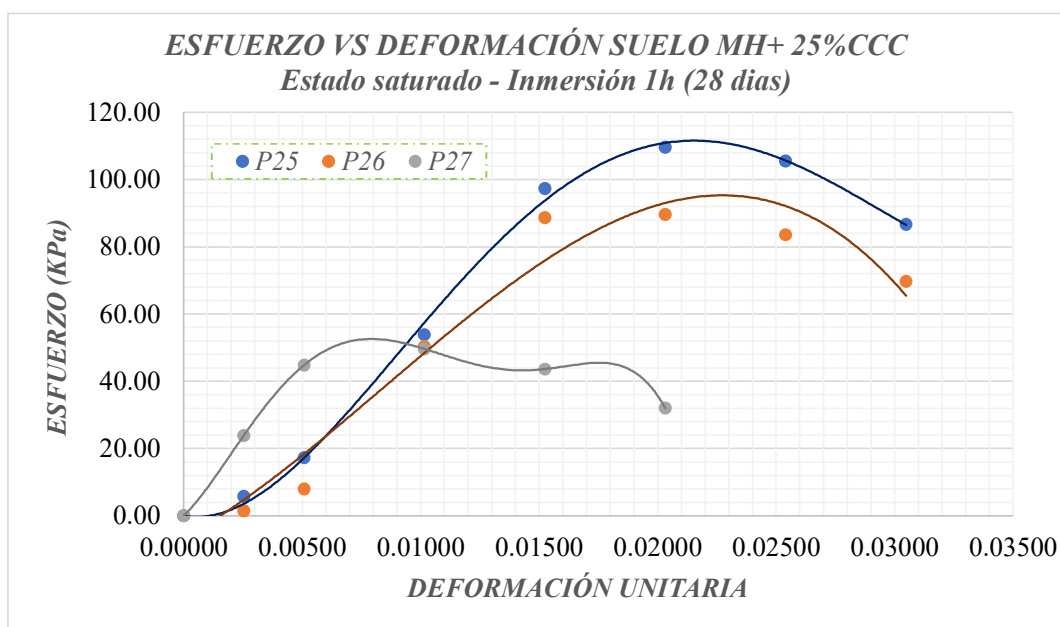


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P25	0.02032	109.64
2	P26	0.02032	89.70
3	P27	0.01016	49.63
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			99.67



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

Arcilla	OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
	SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
	SUCS	CL
	ESTABILIZANTE	No aplica
	PORCENTAJE	0%

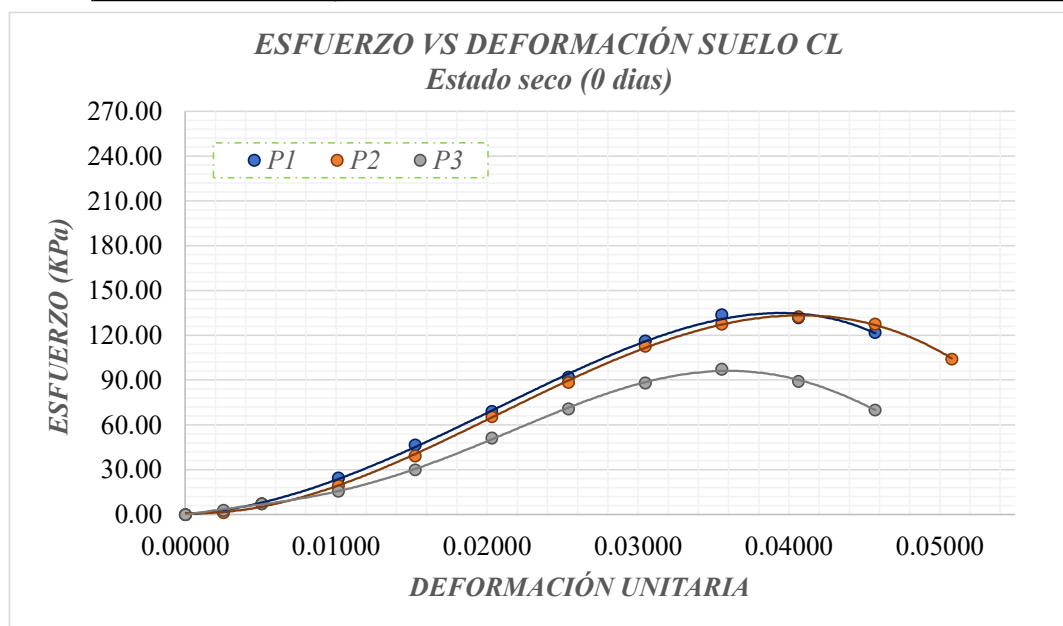


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P1	0.03556	133.86
2	P2	0.04064	132.46
3	P3	0.03556	97.42
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			121.25



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	No aplica
PORCENTAJE	0%

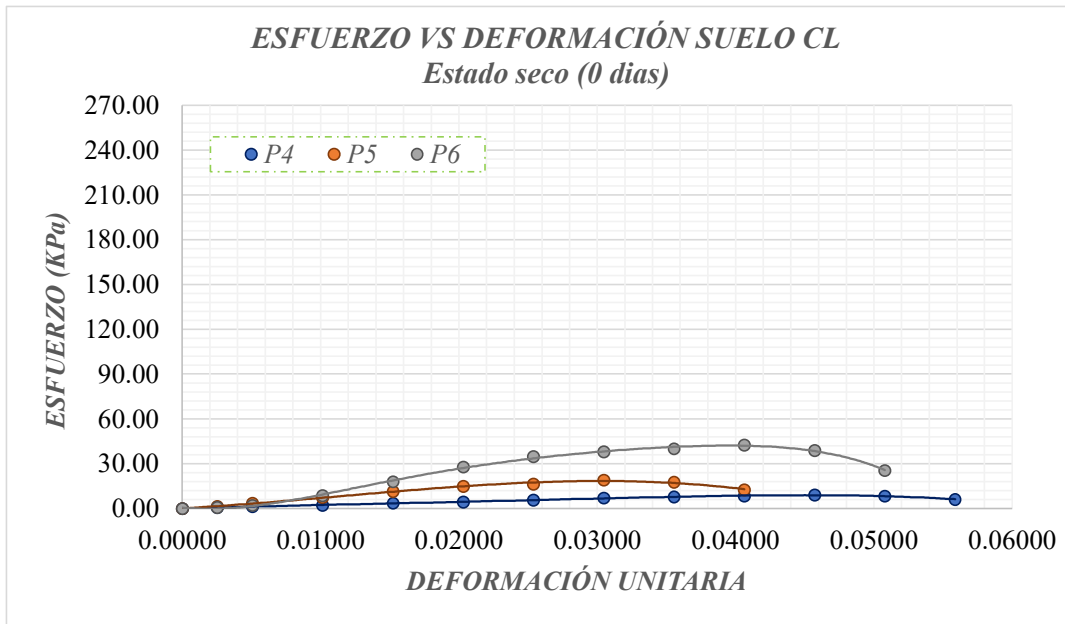


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P4	0.04572	9.02
2	P5	0.03048	19.02
3	P6	0.04064	42.53
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			23.52



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

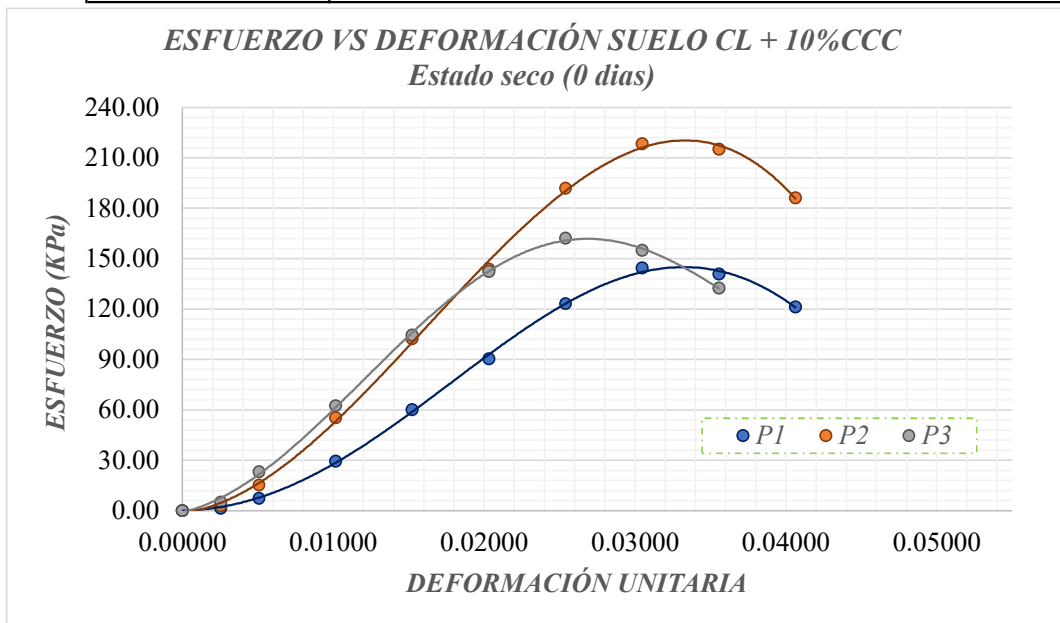


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P1	0.03048	144.43
2	P2	0.03048	218.41
3	P3	0.0254	162.19
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			175.01



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

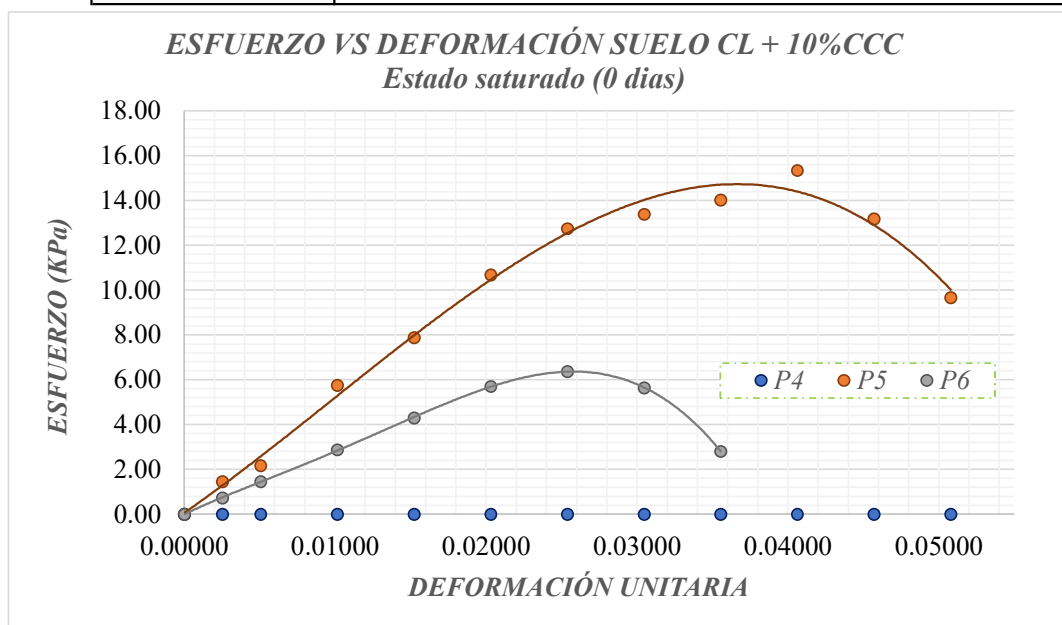


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P4	0.00000	0.00
2	P5	0.04064	15.34
3	P6	0.0254	6.37
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			10.86



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

ESFUERZO VS DEFORMACIÓN SUELO CL + 15%CCC
Estado seco (0 días)

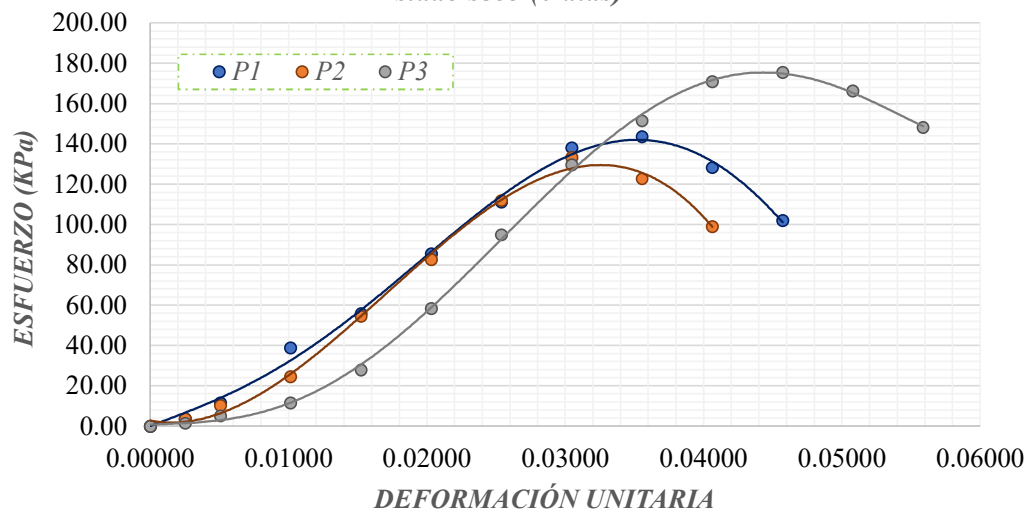


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu

Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P1	0.03556	143.68
2	P2	0.03048	133.16
3	P3	0.04572	175.45
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			150.76



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

ESFUERZO VS DEFORMACIÓN SUELO CL + 15%CCC
Estado saturado (0 días)

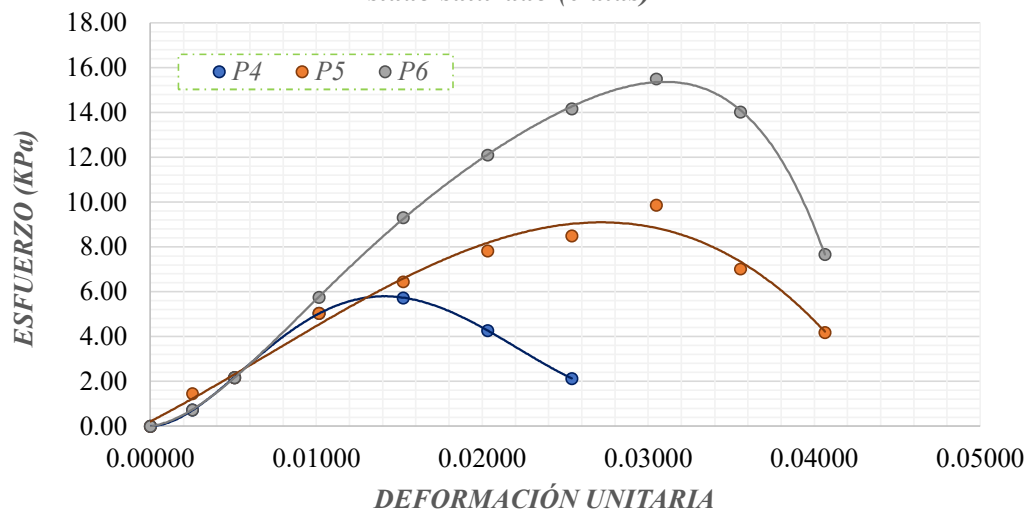


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu

Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P4	0.01524	5.72
2	P5	0.03048	9.86
3	P6	0.03048	15.50
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			10.36



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

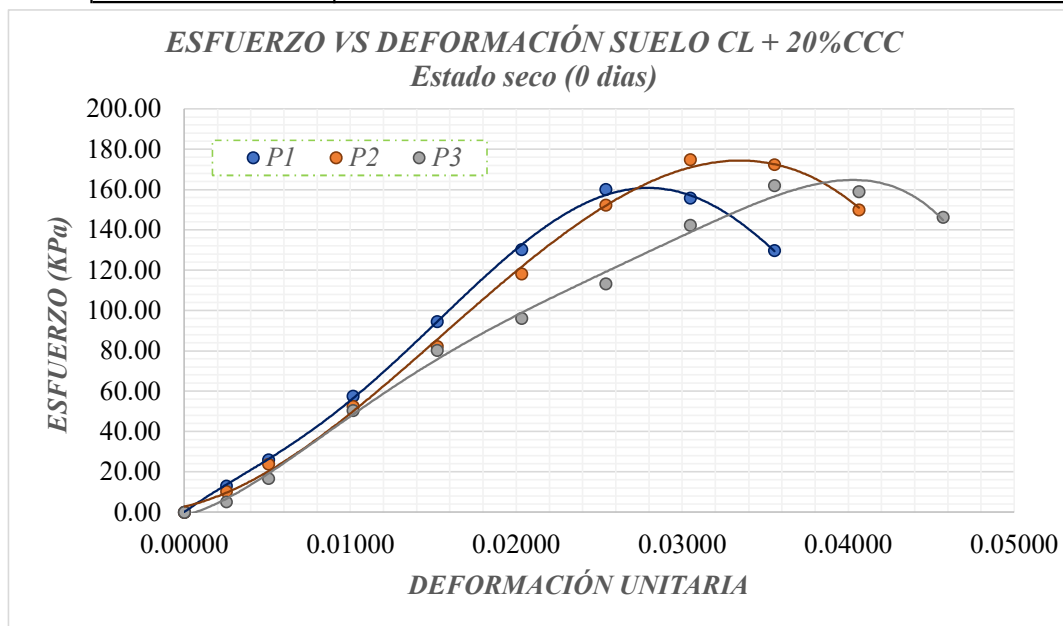


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P1	0.02540	160.06
2	P2	0.03048	174.73
3	P3	0.03556	161.90
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			165.56



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

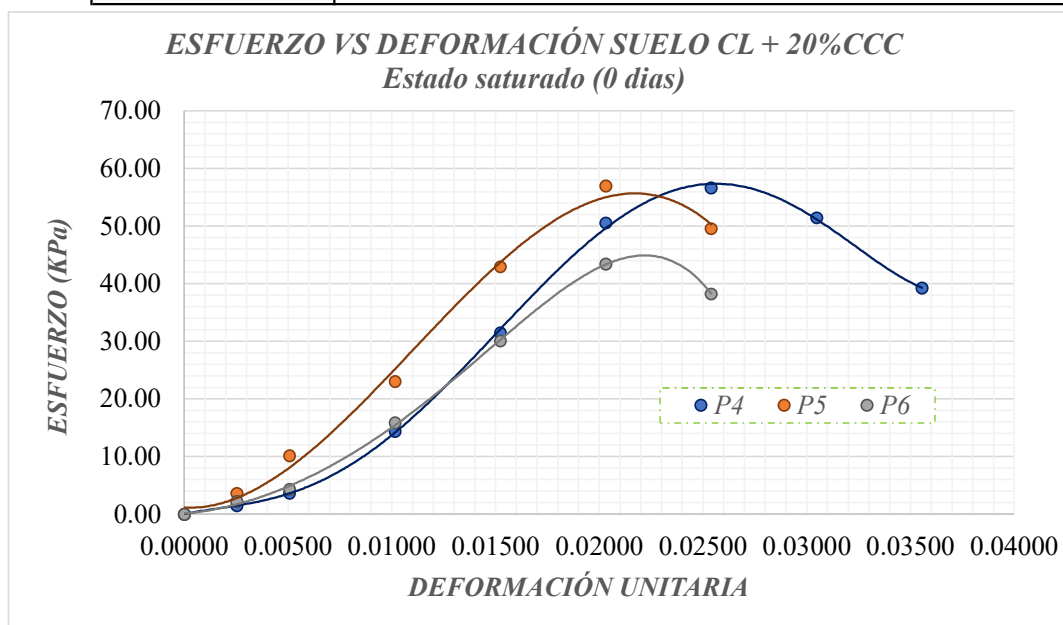


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P4	0.02540	56.65903
2	P5	0.01524	56.95436
3	P6	0.01524	43.42770
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			52.35



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

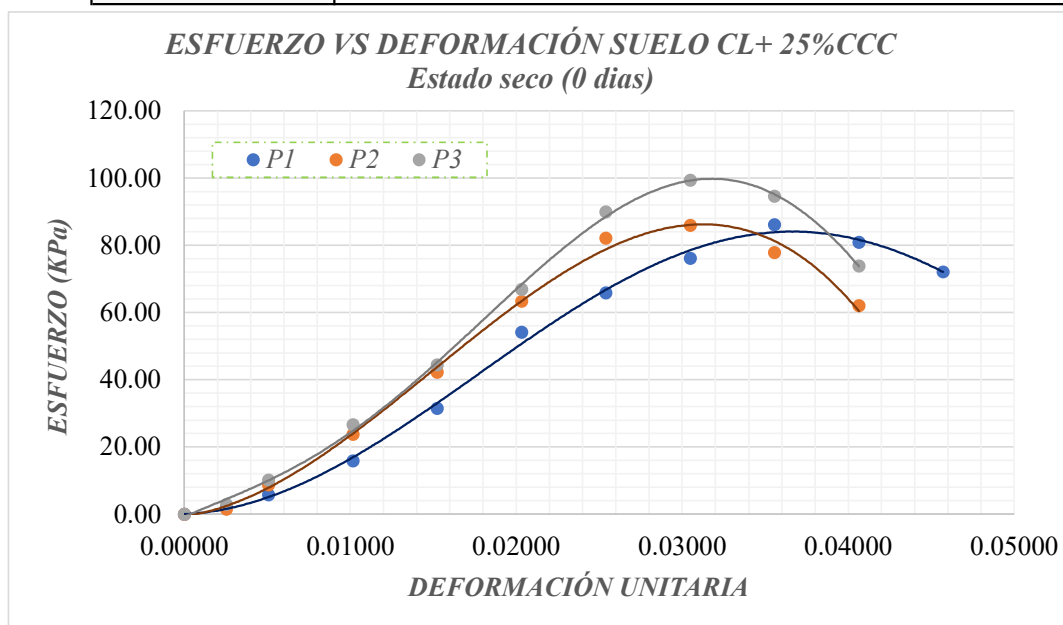


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P1	0.03556	86.21
2	P2	0.03048	85.95
3	P3	0.03048	99.34
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			90.50



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

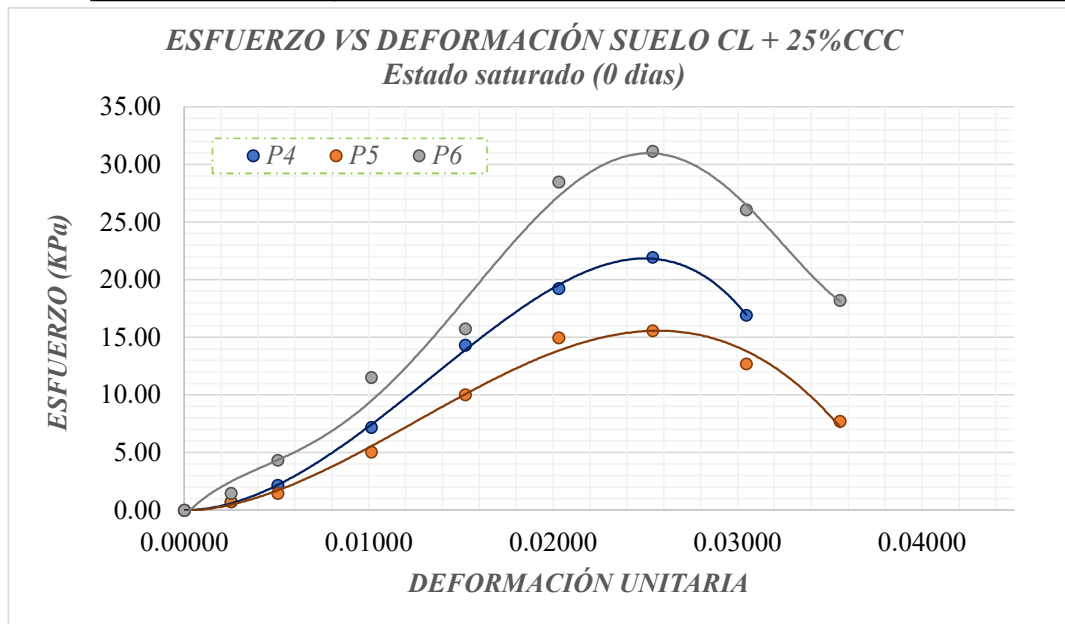


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P4	0.02032	21.96
2	P5	0.03048	15.58
3	P6	0.0254	31.16
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			22.90



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

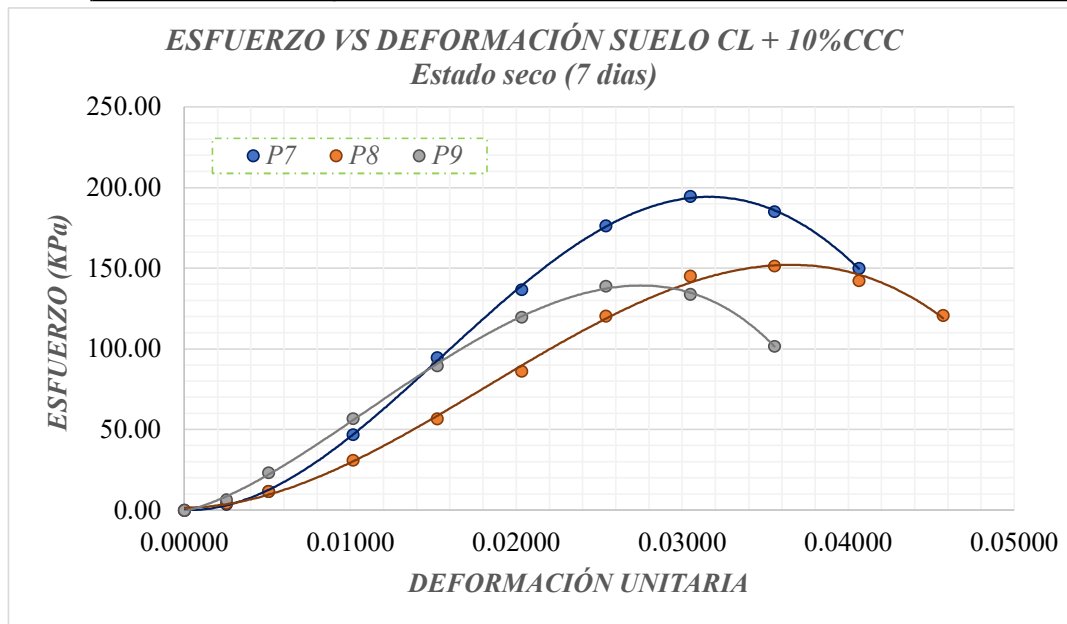


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P7	0.03048	194.45
2	P8	0.03556	151.38
3	P9	0.0254	138.81
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			194.45



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

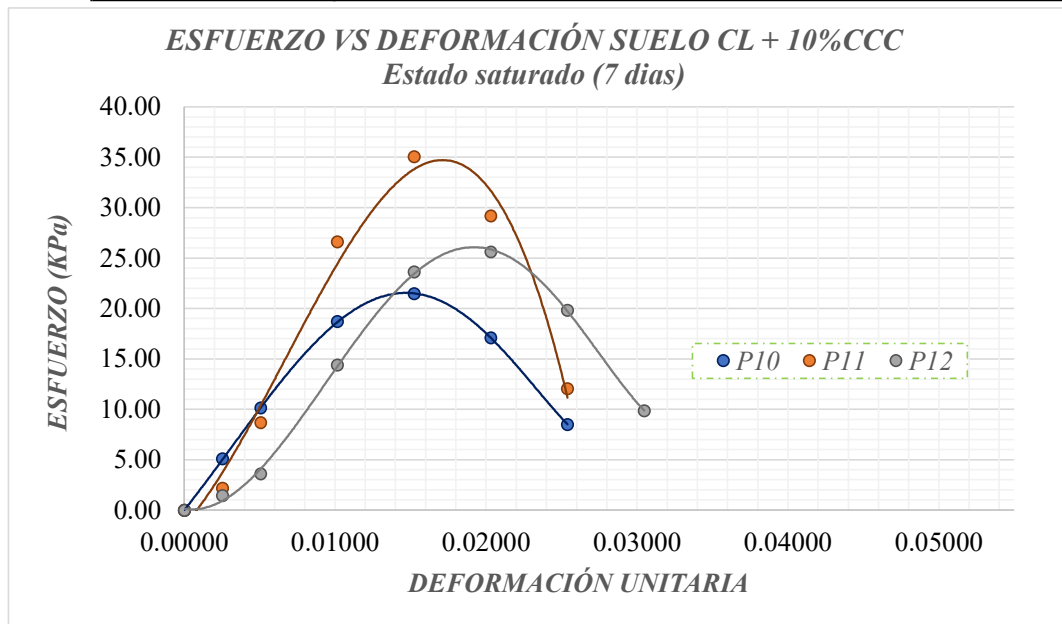


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P10	0.01524	21.47
2	P11	0.01524	35.07
3	P12	0.02032	25.63
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			27.39



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

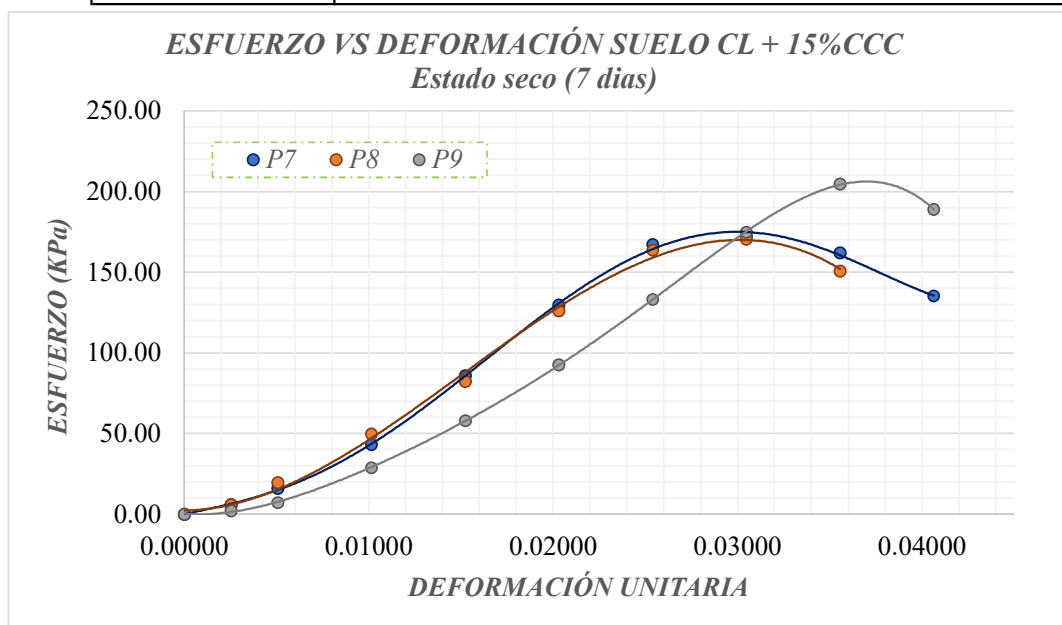


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P7	0.03048	171.91
2	P8	0.0254	170.50
3	P9	0.03048	204.65
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			182.35



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

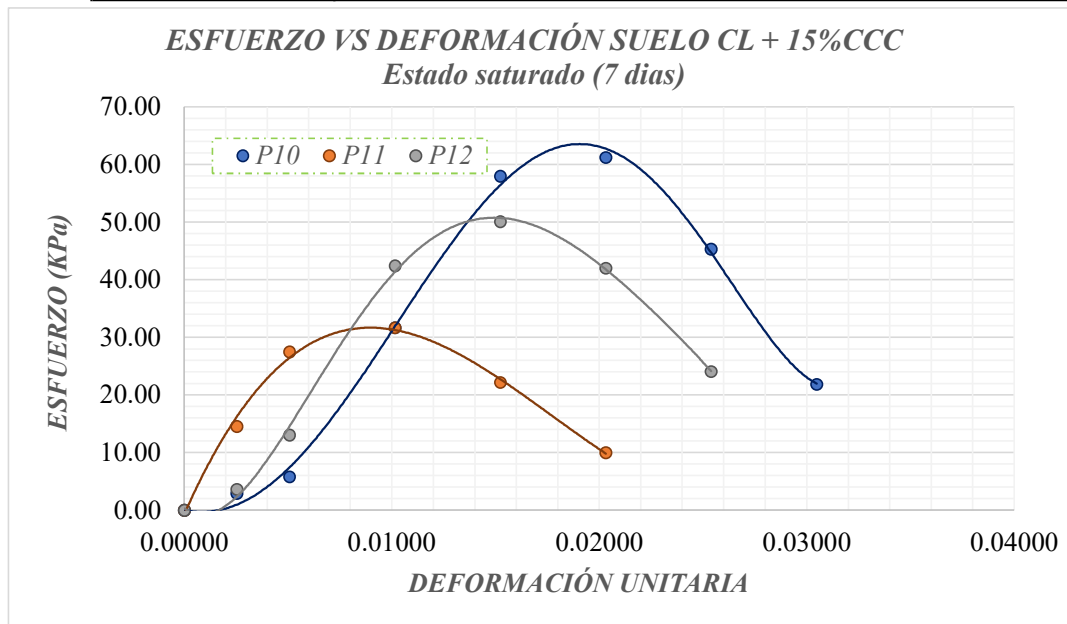


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P10	0.02540	61.23
2	P11	0.01524	31.65
3	P12	0.01524	50.09
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			47.66



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

ESFUERZO VS DEFORMACIÓN SUELO CL + 20%CCC
Estado seco (7 días)

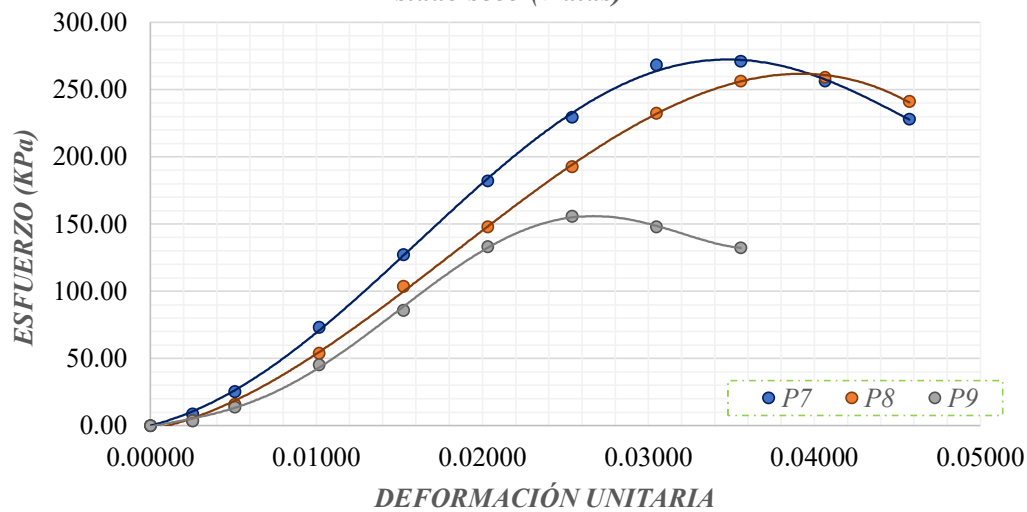


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu

Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P7	0.03556	271.23
2	P8	0.03556	259.34
3	P9	0.0254	155.81
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			228.80



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

ESFUERZO VS DEFORMACIÓN SUELO CL + 20%CCC
Estado saturado (7 días)

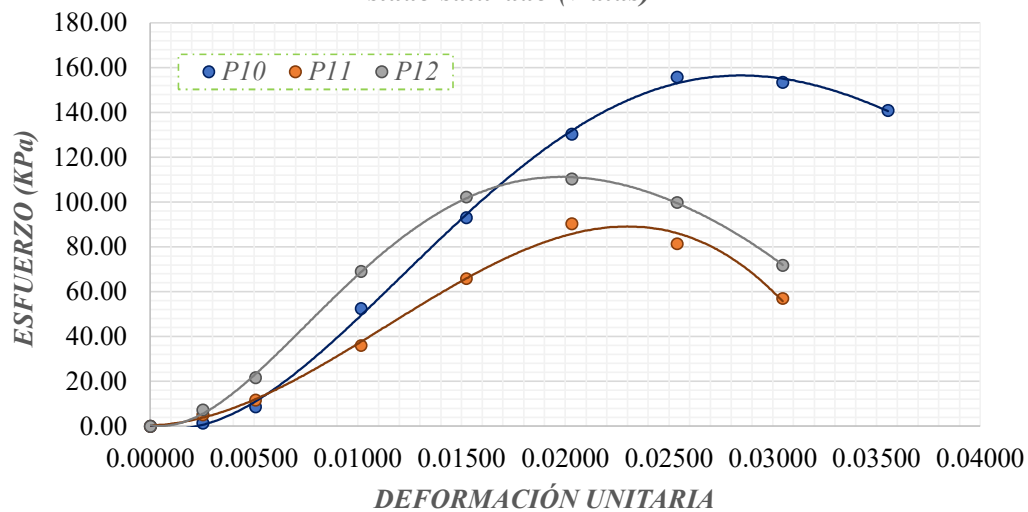


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu

Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P10	0.02540	155.81
2	P11	0.02032	90.42
3	P12	0.02032	110.35
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			100.38



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

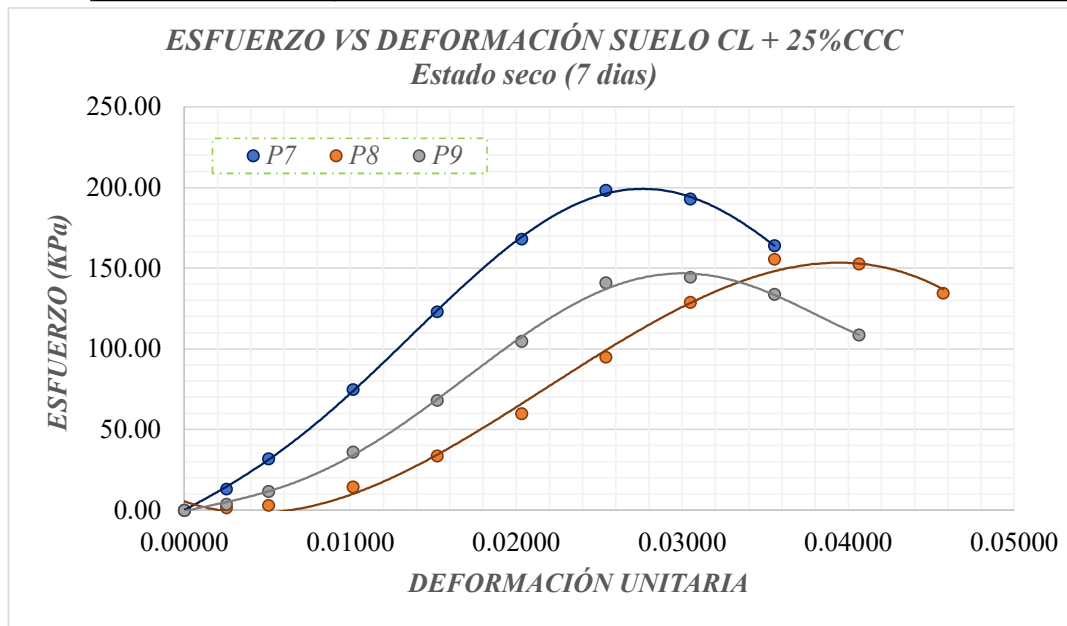


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P7	0.02540	198.31
2	P8	0.03556	155.59
3	P9	0.03048	144.43
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			166.11



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

ESFUERZO VS DEFORMACIÓN SUELO CL + 25%CCC
Estado saturado (7 días)

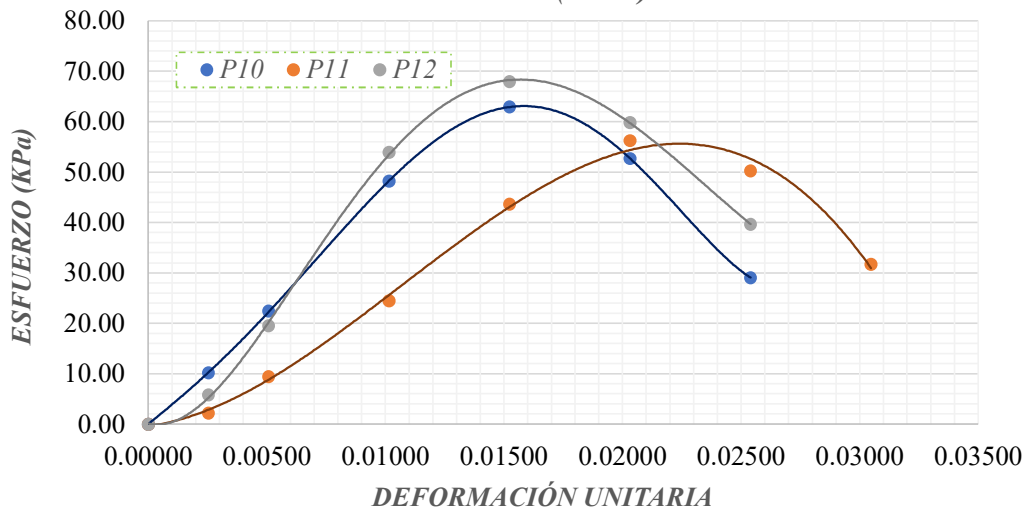


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu

Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P10	0.01524	62.97
2	P11	0.02032	56.24
3	P12	0.01524	67.98
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			62.40



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

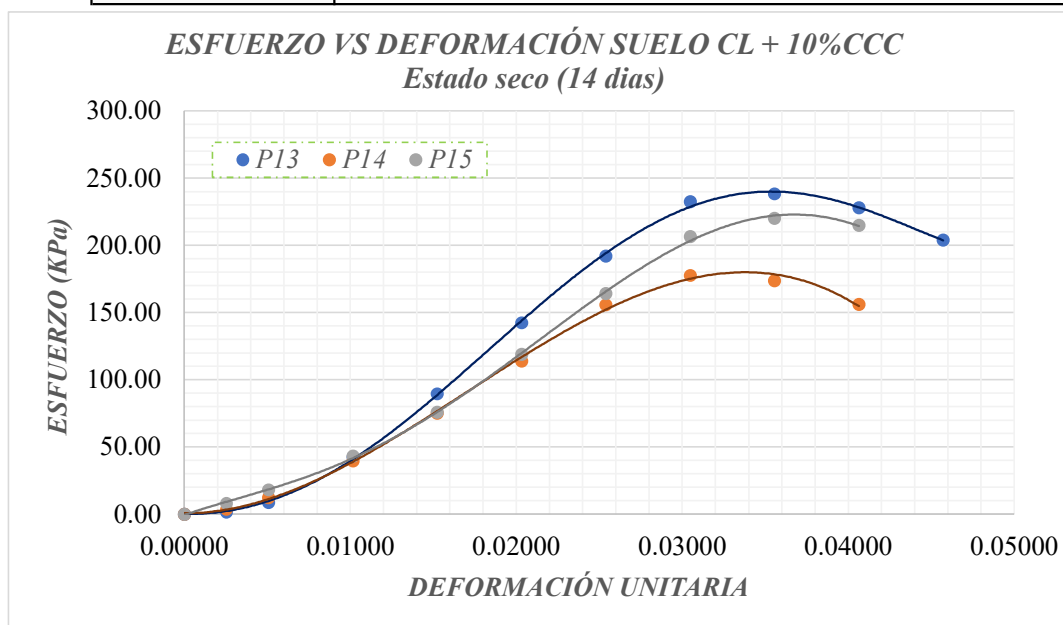


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P13	0.03556	238.29
2	P14	0.03048	177.55
3	P15	0.03556	220.07
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			211.97



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

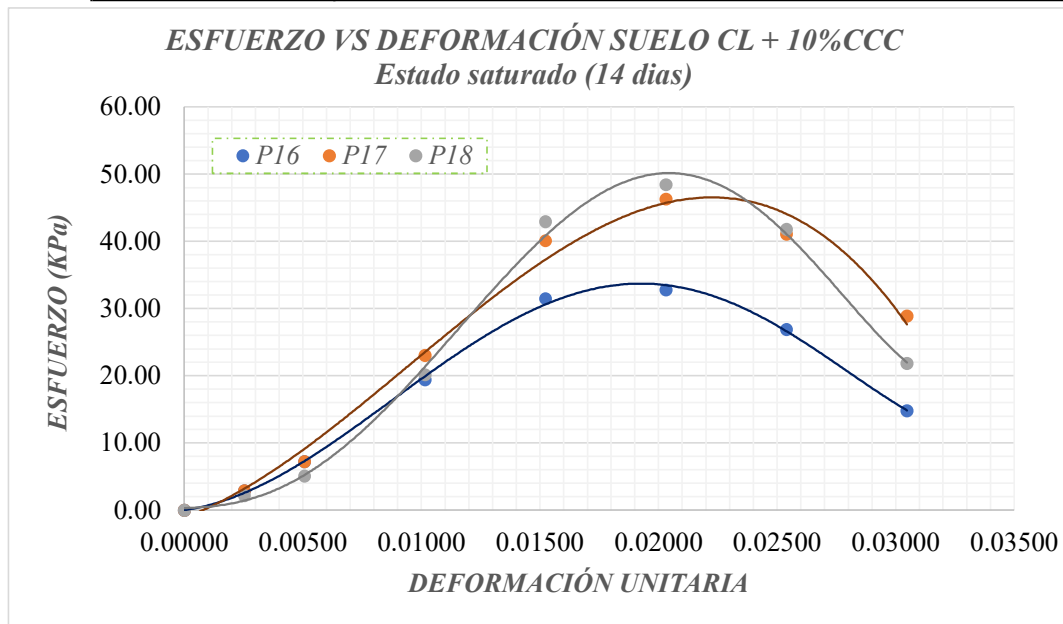


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P16	0.02032	32.75
2	P17	0.02032	46.28
3	P18	0.02032	48.41
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			42.48



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

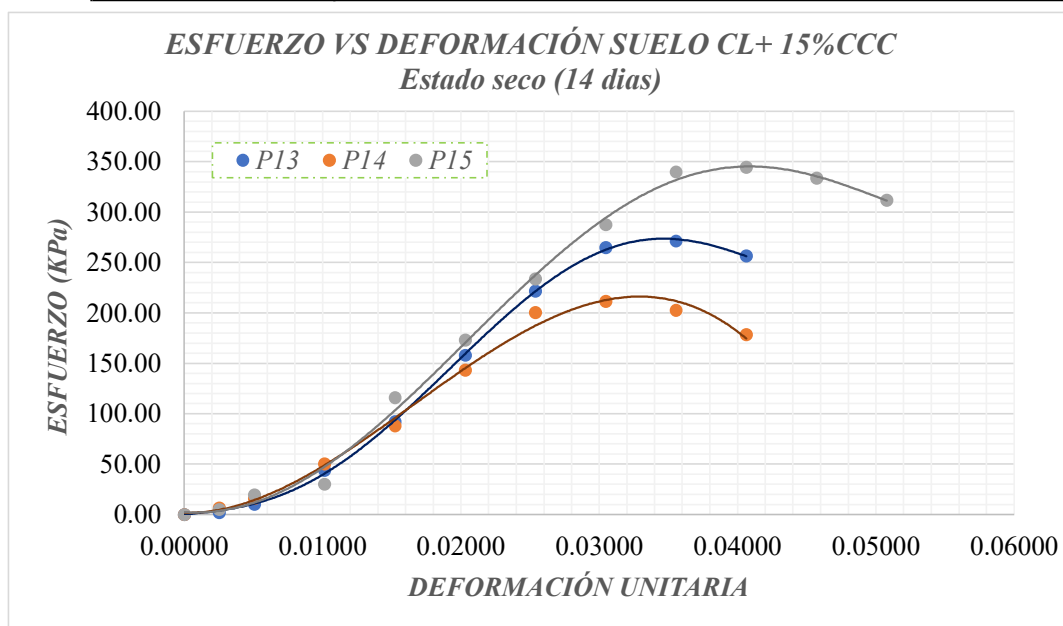


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P13	0.03048	271.23
2	P14	0.03048	211.36
3	P15	0.04064	344.40
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			275.66



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

ESFUERZO VS DEFORMACIÓN SUELO CL + 15%CCC
Estado saturado (14 días)

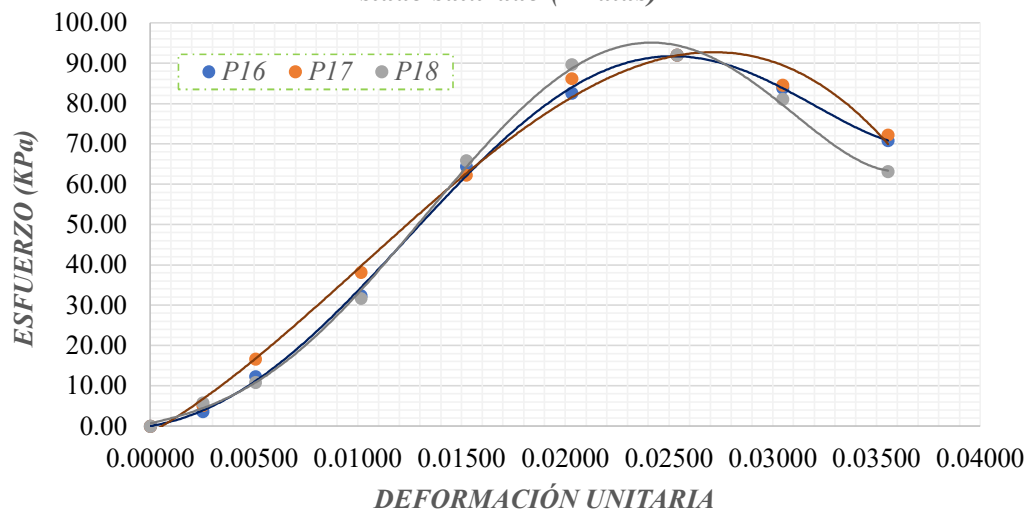


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu

Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P16	0.02540	92.07
2	P17	0.0254	92.07
3	P18	0.0254	92.07
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			92.07



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

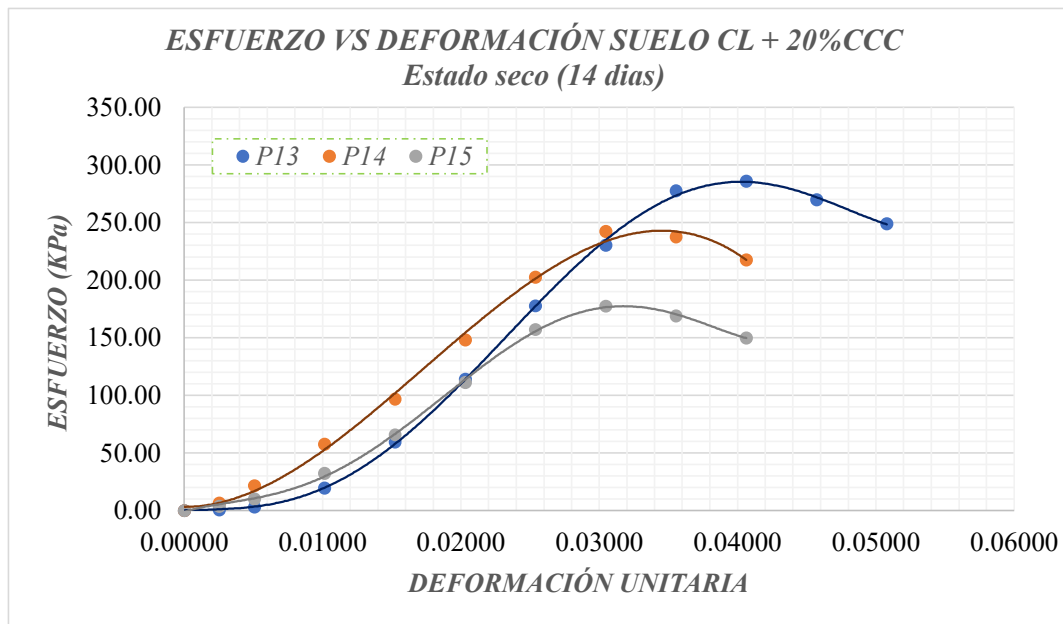


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P13	0.04064	285.84
2	P14	0.03048	242.36
3	P15	0.03048	177.55
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			264.10



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

Arcilla CL	OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
	SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
	SUCS	CL
	ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
	PORCENTAJE	20%

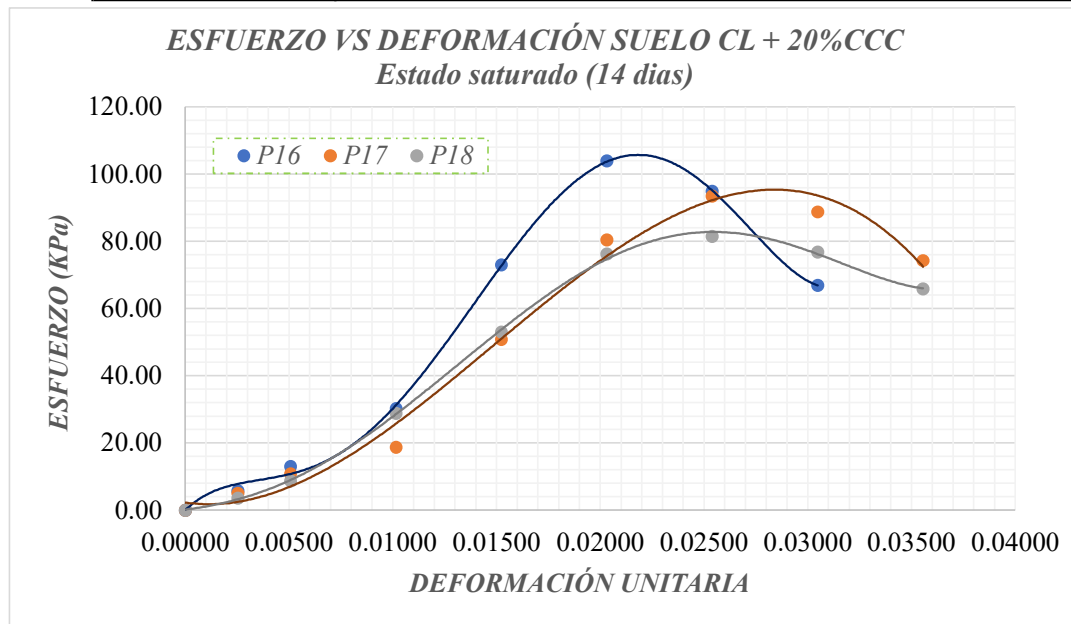


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P16	0.02032	103.94
2	P17	0.0254	93.49
3	P18	0.0254	81.45
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			98.71



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

Arcilla CL	OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
	SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
	SUCS	CL
	ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
	PORCENTAJE	25%

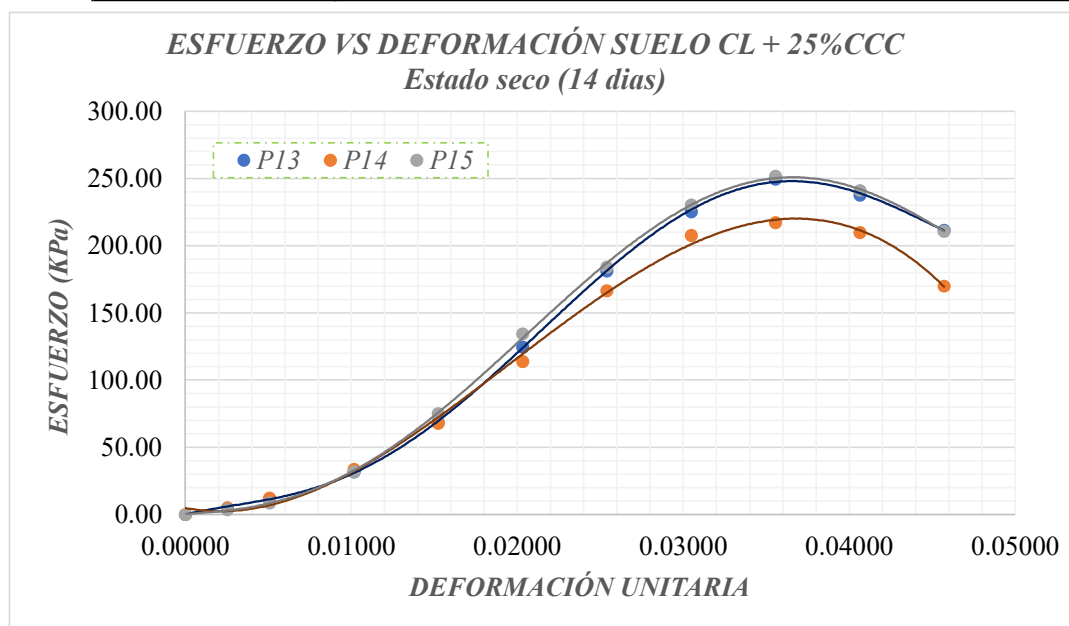


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P13	0.03556	249.50
2	P14	0.03556	217.26
3	P15	0.03556	251.61
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			239.46



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

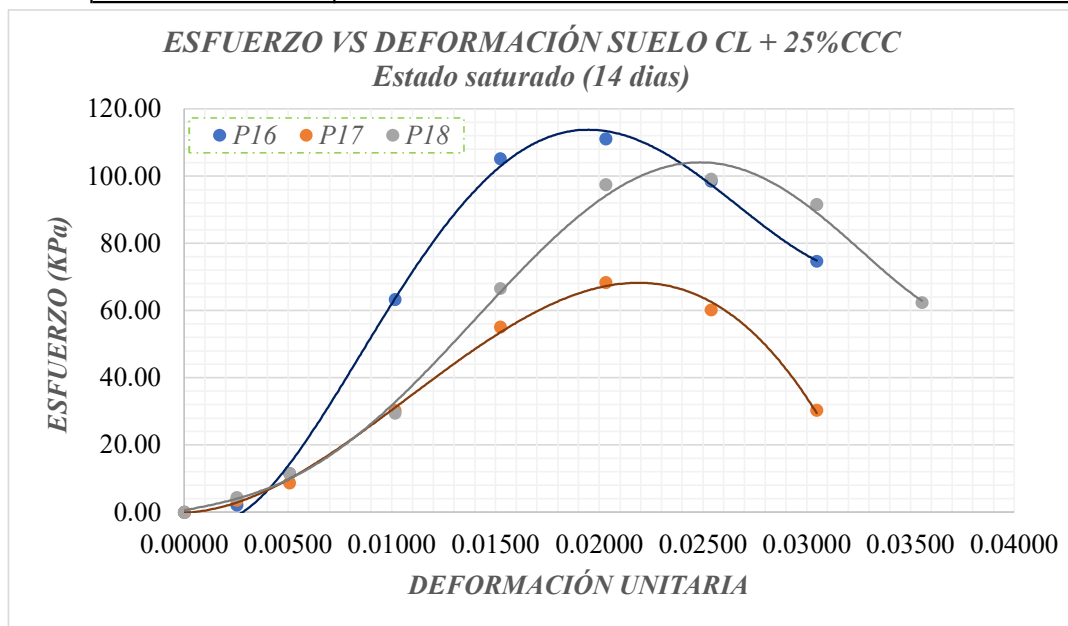


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P16	0.02032	111.06
2	P17	0.02032	68.35
3	P18	0.0254	99.15
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			92.85



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

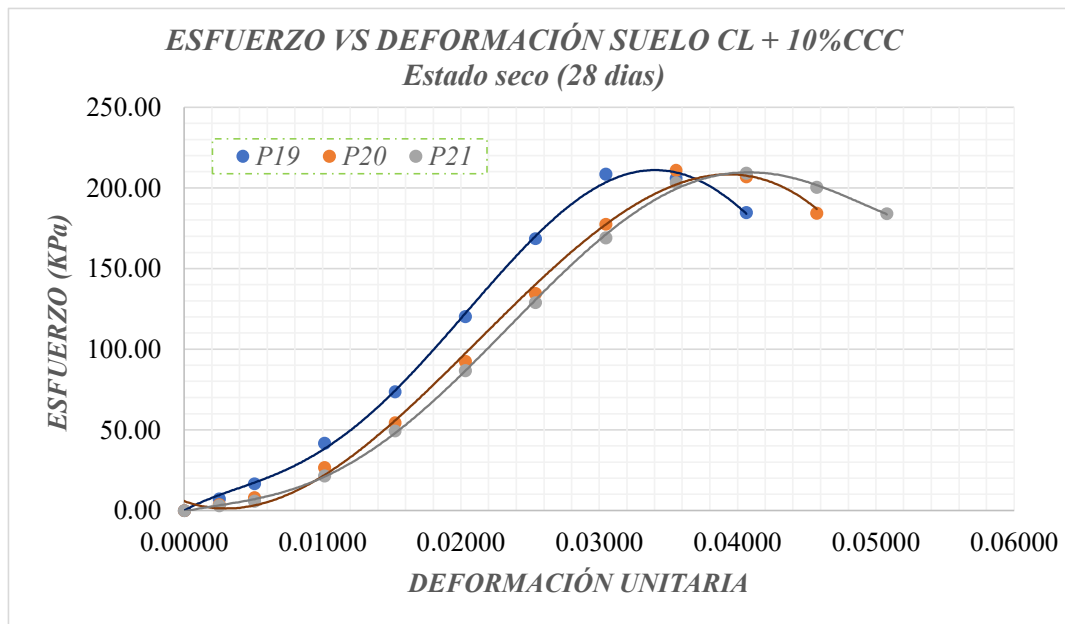


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P19	0.03048	208.55
2	P20	0.03556	210.96
3	P21	0.04064	209.15
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			209.55



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

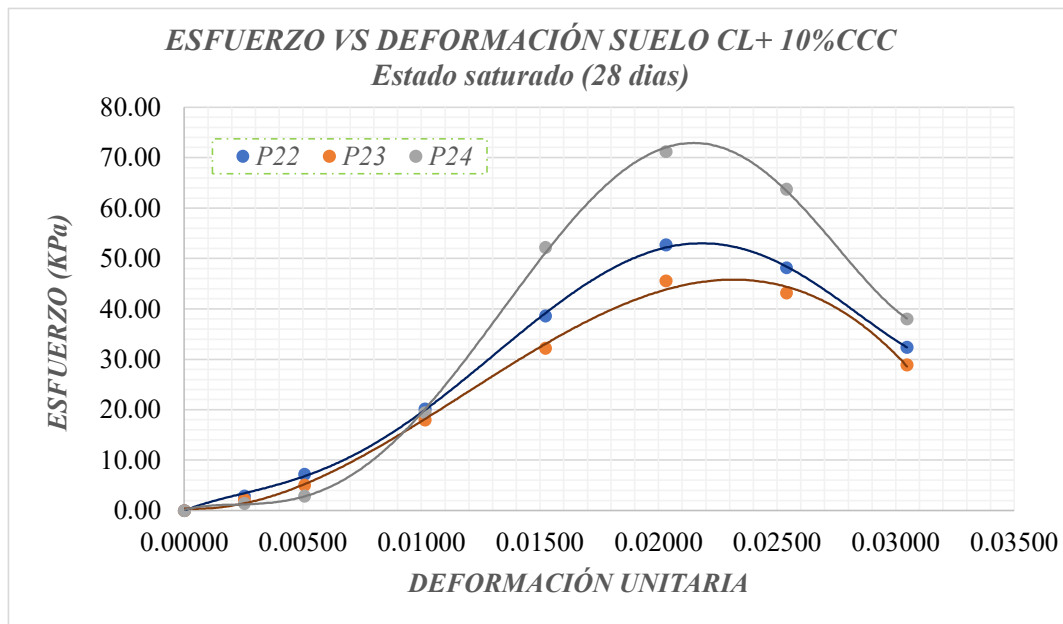


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P22	0.02032	52.68
2	P23	0.02032	45.56
3	P24	0.02032	71.19
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			56.48



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	10%

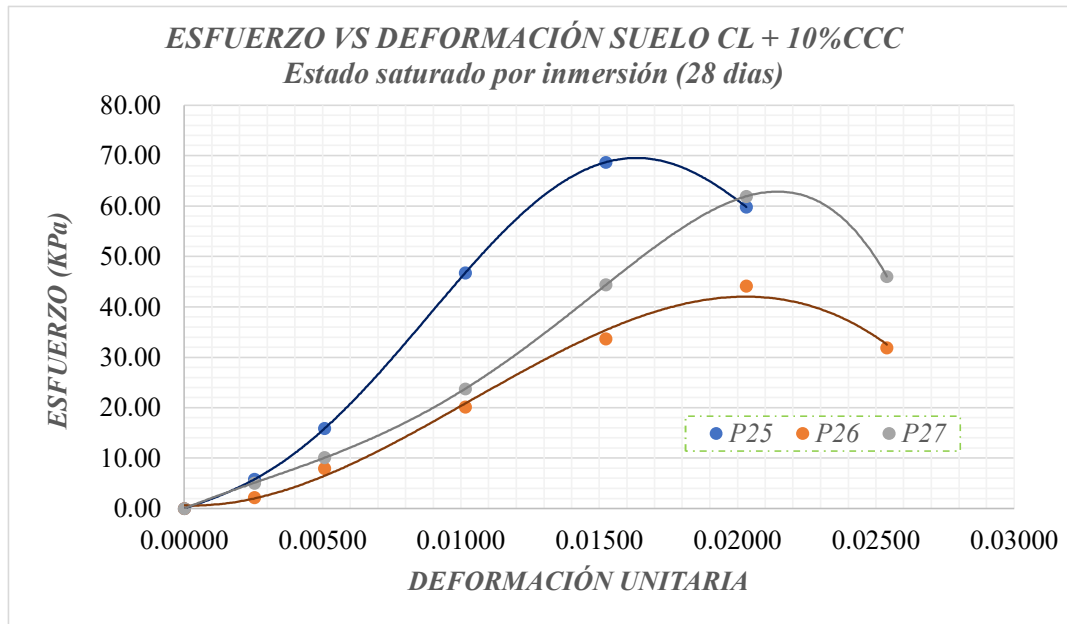


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P25	0.01524	68.70
2	P26	0.02032	44.14
3	P27	0.02032	61.94
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			65.32



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

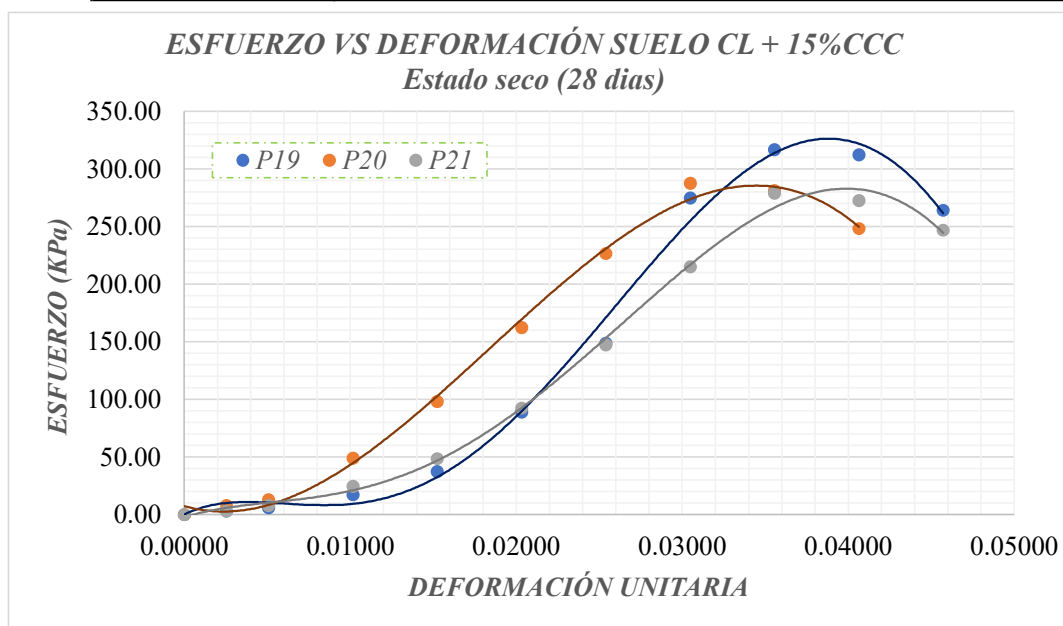


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P19	0.03556	316.79
2	P20	0.03048	287.45
3	P21	0.03556	278.94
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			294.39



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

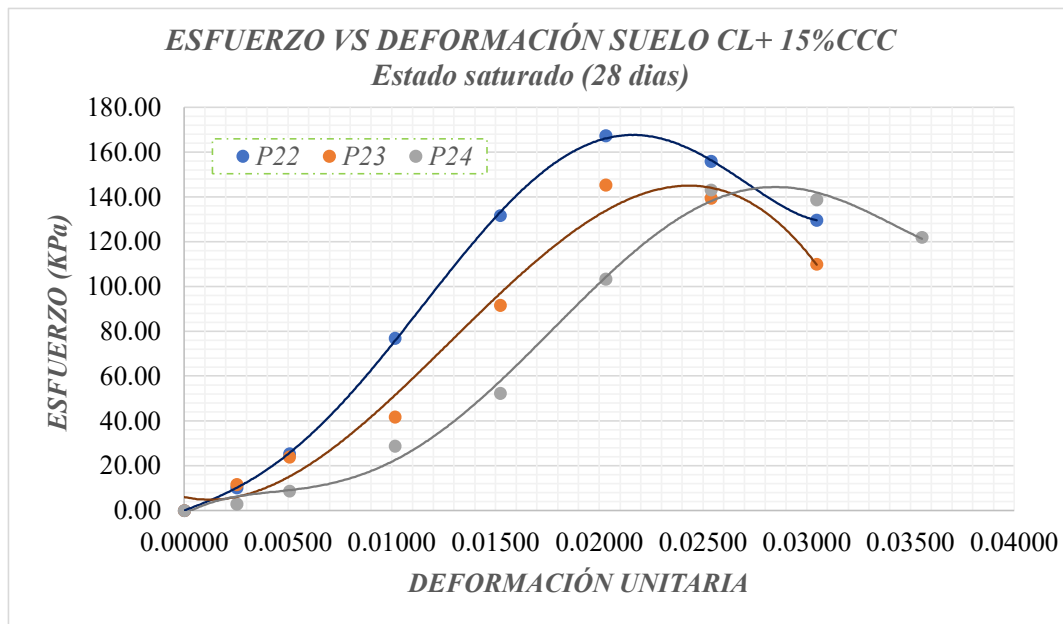


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P22	0.02032	167.30
2	P23	0.02032	145.23
3	P24	0.0254	143.06
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			151.87



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	15%

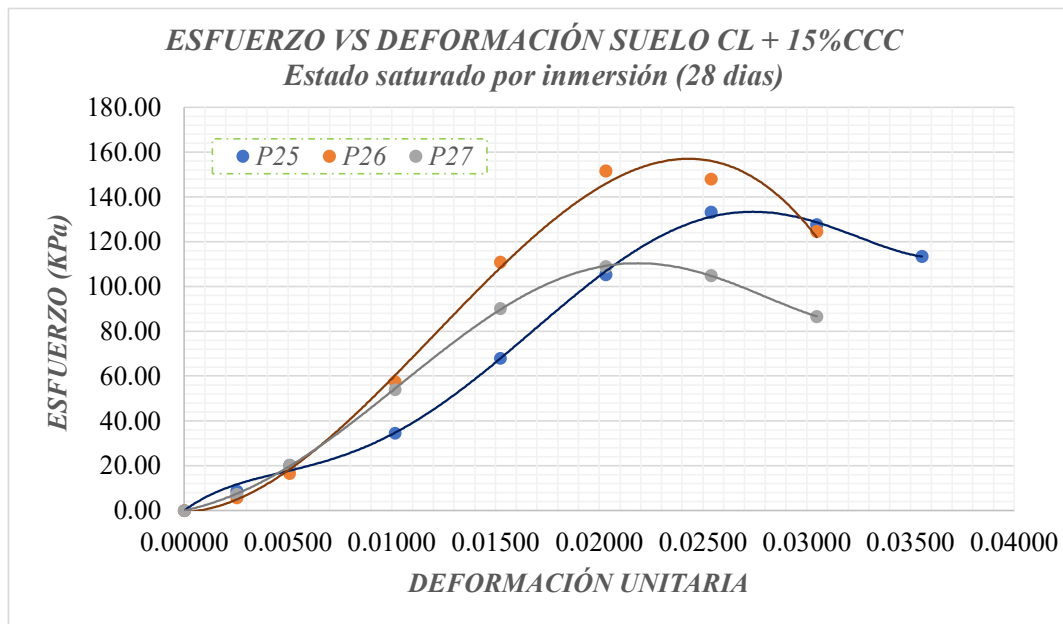


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - q_u			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P25	0.02540	133.15
2	P26	0.02032	151.64
3	P27	0.02032	108.93
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			142.39



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152-13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

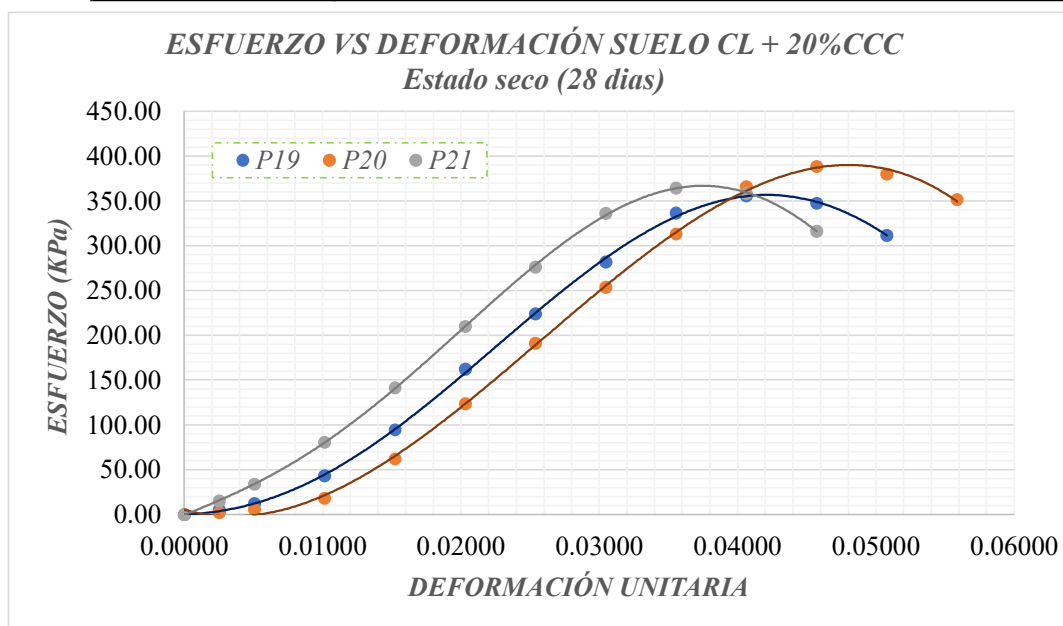


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P19	0.04064	355.55
2	P20	0.04572	388.34
3	P21	0.03556	364.44
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			369.45



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

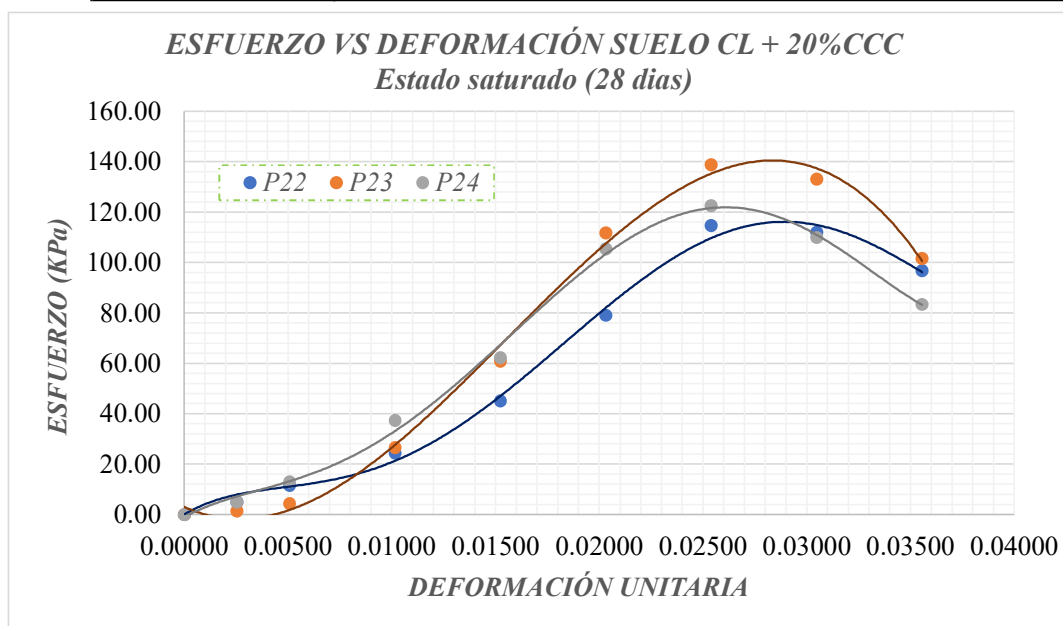


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P22	0.02540	114.73
2	P23	0.0254	138.81
3	P24	0.0254	122.53
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			125.36



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	20%

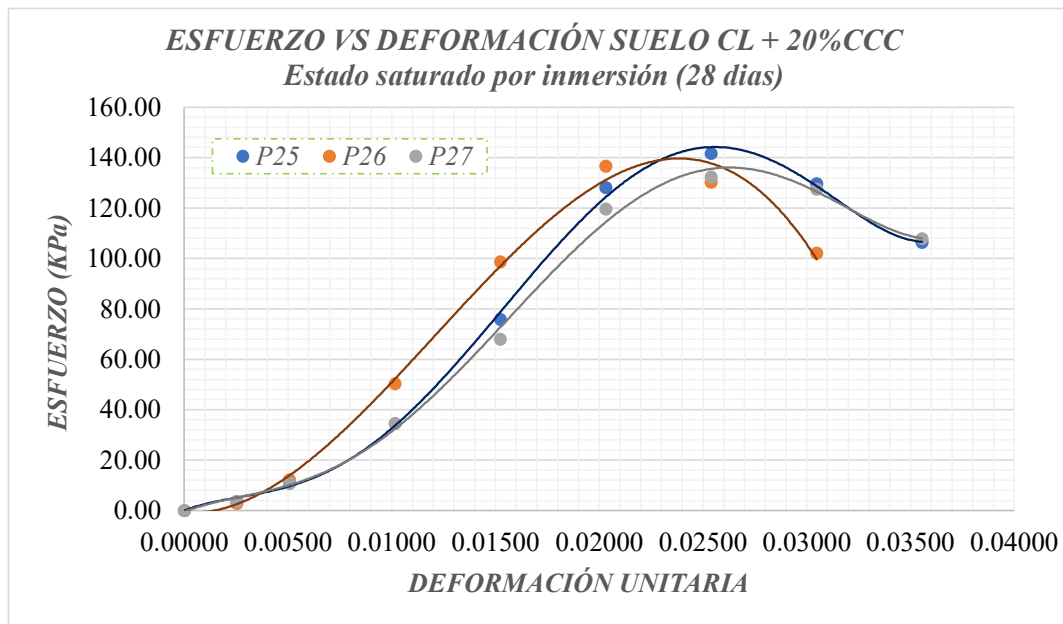


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P25	0.02540	141.65
2	P26	0.02032	136.69
3	P27	0.0254	132.44
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			136.93



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

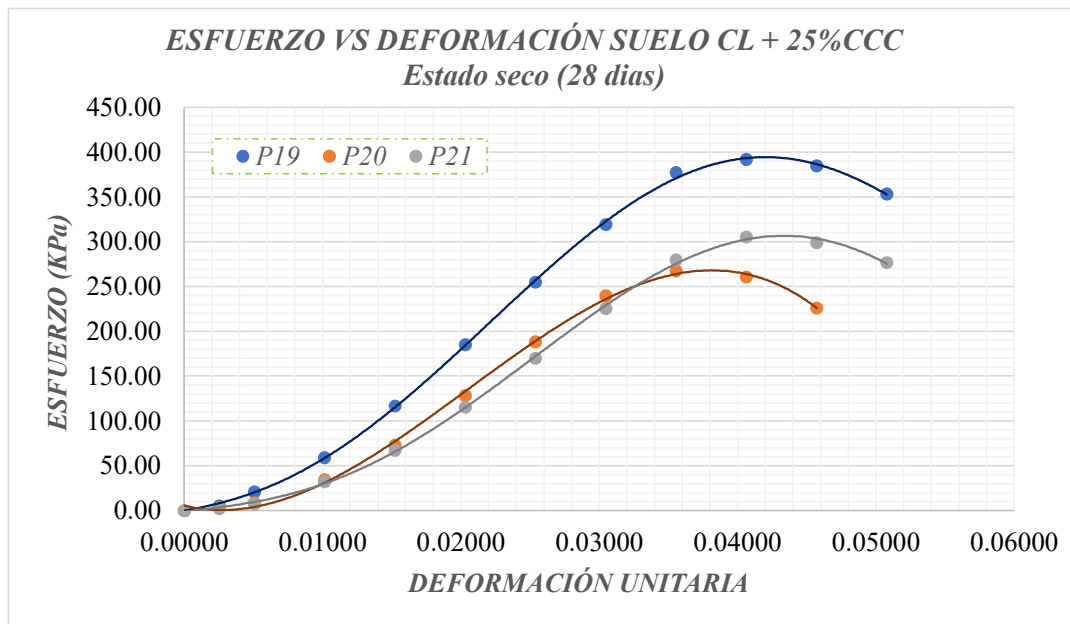


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P19	0.04064	391.81
2	P20	0.03556	267.73
3	P21	0.04064	305.36
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			321.63



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

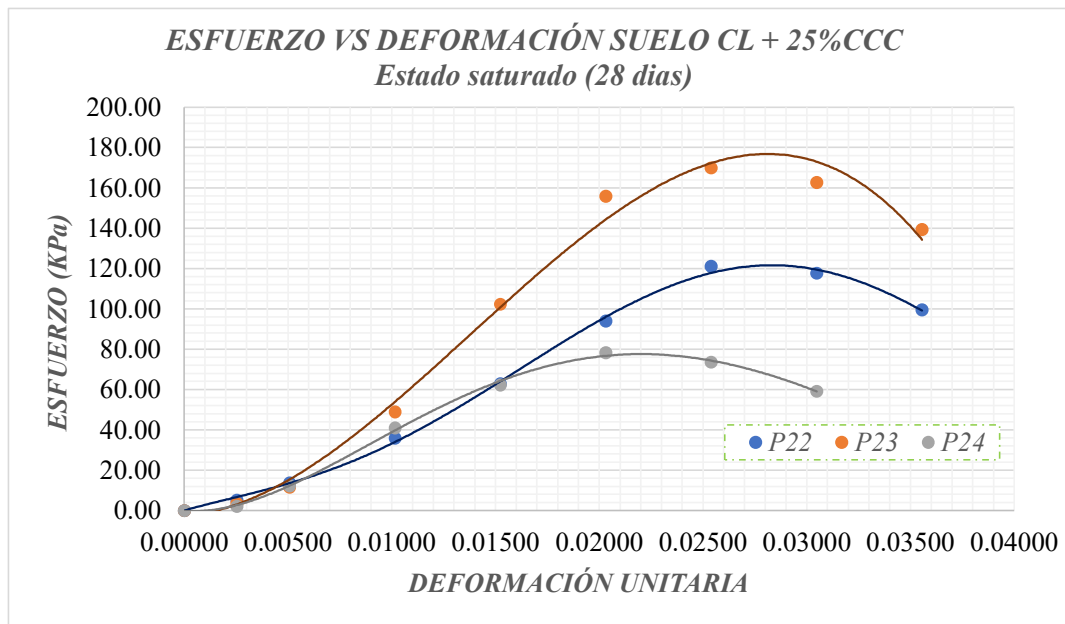


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - qu			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P22	0.02540	121.11
2	P23	0.0254	169.98
3	P24	0.02032	78.31
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			145.54



COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO
Norma INVE - 152- 13

OBRA	TRABAJO DE GRADO - Estabilización de suelos en vías terciarias no pavimentadas mediante la aplicación de cenizas de cáscara de café (CCC)
SUELO	Suelo arcilloso de baja plasticidad
SUCS	CL
ESTABILIZANTE	Ceniza de cáscara de café
PORCENTAJE	25%

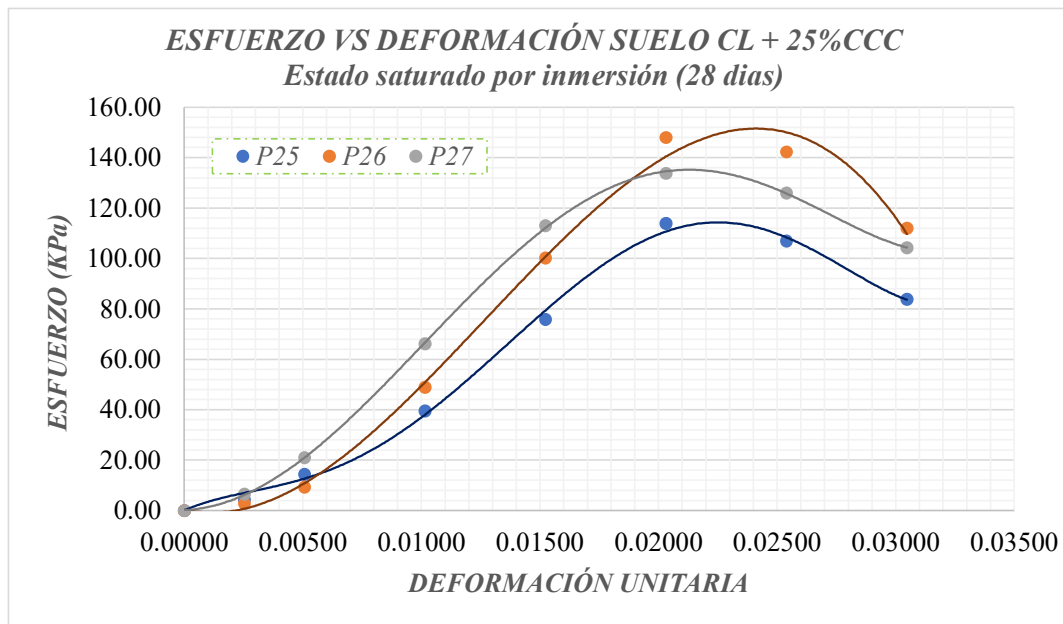


TABLA DE RESUMEN RESISTENCIA MÁXIMA - q_u			
Nº	PROBETA	DEFORMACIÓN UNITARIA	RESISTENCIA (Kpa)
1	P25	0.02032	113.91
2	P26	0.02032	148.08
3	P27	0.02032	133.84
PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kpa)			140.96