

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD INGENIRÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Caracterización del comportamiento frente al fuego de tres tipos de suelos provenientes de las parroquias Pano, Muyuna y Puerto Napo de la provincia de Napo utilizados en obras civiles.

Trabajo de Titulación, Modalidad proyecto experimental previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato.

Autor: Melanie Gabriela Rivadeneyra Loor.

Tutor: Ing. Ruth Lorena Pérez Maldonado, Mg.

Ambato – Ecuador

2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutora del trabajo experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **"CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES"**, elaborado por el estudiante Melanie Gabriela Rivadeneyra Loor, portador de la cédula de ciudadanía número 1500828460, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, enero 2026.



Ing. Ruth Lorena Pérez Maldonado, Mg.

C.C.: 1710320332

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Melanie Gabriela Rivadeneyra Loor**, con C.C 1500828460 declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente trabajo experimental con el tema: **"CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES"**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del trabajo experimental, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, enero 2026.



.....

Melanie Gabriela Rivadeneyra Loor

C.C.: 1500828460

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi trabajo experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, enero 2026.



.....

Melanie Gabriela Rivadeneyra Loor

C.C.: 1500828460

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del trabajo experimental realizado por el estudiante Melanie Gabriela Rivadeneyra Loor de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **"CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES".**

Ambato, enero 2026.

Para constancia firman:



Ing. Marisol Bayas Altamirano, Mg.
C.C.: 1802939205
MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Alex López Arboleda, Mg.
C.C.: 1802919322
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación, así como mi trayectoria académica completa, se lo dedico a mis padres, Christian Rivadeneyra y Gabriela Loor, quienes me han brindado su apoyo incondicional y han sido el principal motivo de mi perseverancia y el impulso para alcanzar esta meta profesional.

De igual forma, a mis hermanos, Paul y Christina, por el afecto y la motivación que han sido necesarios para afrontar y superar los retos inherentes a este proceso.

Finalmente, a Gabriel, que con su presencia constante y sus palabras de aliento oportunas constituyeron el pilar que me brindó la paz y la motivación necesarias durante las extensas jornadas de estudio y el desarrollo de esta investigación.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco eternamente a Dios por haberme guiado con sabiduría, por la salud y el conocimiento que me fueron otorgados, sirviendo como sustento y fortaleza para afrontar cada desafío de mi etapa universitaria.

A mis padres, ustedes son el pilar de mi existencia. Agradezco profundamente su amor incondicional, sus incontables sacrificios y la fe inquebrantable que han depositado en mis capacidades. Su apoyo invaluable no solo impulsó esta meta, sino que me formó como persona. Este logro es, sin duda, la materialización de su constante esfuerzo y dedicación.

A mis hermanos, mis abuelitas, tíos, primos y a toda mi familia, gracias por ser mi red de apoyo constante. Su cariño, su ejemplo y sus palabras de aliento han sido fundamentales, recordándome siempre mi capacidad y valor en los momentos de mayor duda. Gracias por recordarme que nunca he estado sola en este camino.

A Gabriel, gracias por ser mi compañero de vida, por brindarme siempre las fuerzas necesarias para perseverar, por ser quien me levantó con amor y paciencia en aquellos momentos de flaqueza donde sentí que no podía continuar. Tu apoyo incondicional en cada paso, por pequeño que sea, ha sido esencial para la realización de este sueño.

A Silka y Monserrath, gracias por ser el verdadero significado de la amistad sincera, por la lealtad, la alegría y el apoyo mutuo durante esta intensa trayectoria. Compartir incontables jornadas de estudio, experiencias y desafíos a su lado hizo que el camino fuera más llevadero y significativo.

A mi tutora, Ing. Lorena Pérez, expreso mi profundo respeto y gratitud por su guía experta y precisa. Sus valiosas enseñanzas, su paciencia y la dirección metodológica que brindó a este trabajo fueron cruciales para asegurar la calidad y el éxito de esta investigación.

A la Universidad Técnica de Ambato, por proporcionarme un ambiente de aprendizaje riguroso, así como los recursos, las herramientas y los espacios académicos necesarios para el desarrollo integral de mi formación profesional y la exitosa ejecución de este proyecto de titulación.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA……..i
APROBACIÓN DEL TUTOR ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii
DERECHOS DE AUTOR iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTO vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS viii
ÍNDICE DE FIGURAS xii
ÍNDICE DE TABLAS xiv
ÍNDICE DE ANEXOS xvi
SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS xviii
RESUMEN EJECUTIVO xix
ABSTRACT xx
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO 1
I. JUSTIFICACIÓN 1
II. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS 3
III. OBJETIVOS 7
A. OBJETIVO GENERAL: 7
B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS: 7
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA 8
I. EQUIPOS Y MATERIALES 9
A. FASE I 10
1) Ensayo de granulometría 10
2) Ensayo de gravedad específica de sólidos del suelo 11

3) Ensayo de límite líquido 12
4) Ensayo de límite plástico 13
5) Ensayo de permeabilidad 13
B. FASE II 14
1) Ensayo de compactación del suelo 14
2) Ensayo de CBR 15
C. FASE III 16
1) Ensayo de inflamabilidad 16
II. MÉTODOS 16
A. FASE I 16
1) Ensayo de granulometría 17
2) Ensayo de gravedad específica 21
3) Límites de Atterberg 23
a) Límite Líquido (LL) 23
b) Límite Plástico (LP) 25
c) Índice de Plasticidad (IP) 26
4) Ensayo de permeabilidad 26
B. FASE II 29
1) Proctor modificado Tipo B 29
2) Ensayo CBR 30
C. FASE III 32
1) Inflamabilidad del suelo 33
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN 34
I. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 34
A. ANÁLISIS DEL ENSAYO DE GRANULOMETRÍA 34
1) Granulometría de la parroquia Pano 34
2) Granulometría de la parroquia Muyuna 35

3) Granulometría de la parroquia Puerto Napo 36
B. ANÁLISIS DEL ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA 37
1) Gravedad específica de la parroquia Pano 37
2) Gravedad específica de la parroquia Muyuna 38
3) Gravedad específica de la parroquia Puerto Napo 39
C. ANÁLISIS DE LOS LÍMITES DE ATTERBERG 40
1) Límites de Atterberg de la parroquia Pano 40
2) Límites de Atterberg de la parroquia Muyuna 41
3) Límites de Atterberg de la parroquia Puerto Napo 42
D. ANÁLISIS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD 44
1) Permeabilidad de la parroquia Pano 44
2) Permeabilidad de la parroquia Muyuna 45
3) Permeabilidad de la parroquia Puerto Napo 46
E. ANÁLISIS DEL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO TIPO B 47
1) Proctor modificado de la parroquia Pano 47
2) Proctor modificado de la parroquia Muyuna 48
3) Proctor modificado de la parroquia Puerto Napo 49
F. ANÁLISIS DEL ENSAYO CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) 50
1) CBR de la parroquia Pano 50
2) CBR de la parroquia Muyuna 51
3) CBR de la parroquia Puerto Napo 52
G. ANÁLISIS DE INFLAMABILIDAD 53
1) Inflamabilidad de la parroquia Pano 53
2) Inflamabilidad de la parroquia Muyuna 54
3) Inflamabilidad de la parroquia Puerto Napo 55
H. RESUMEN GENERAL 56
II. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS 57

A. HIPÓTESIS 57
B. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS 57
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 59
I. CONCLUSIONES 59
II. RECOMENDACIONES 61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 62
ANEXOS 66

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Horno eléctrico Quincy Lab. 9
Fig. 2. Balanza electrónica SHIMADZU. 9
Fig. 3. Horno casero para quemar la muestra a 750ºC. 10
Fig. 4. Equipos y materiales para ensayo de granulometría. 11
Fig. 5. Tamizadora eléctrica CONTROLS. 11
Fig. 6. Equipos y materiales para ensayo de gravedad específica. 12
Fig. 7. Equipos y materiales para ensayo de límite líquido. 12
Fig. 8. Equipos y materiales para ensayo de límite plástico. 13
Fig. 9. Equipos y materiales para ensayo de permeabilidad. 14
Fig. 10. Equipos y materiales para ensayo de compactación del suelo. 15
Fig. 11. Equipos y materiales para ensayo de CBR. 15
Fig. 12. Ensayo de granulometría. 18
Fig. 13. Ensayo de gravedad específica de sólidos de los suelos. 22
Fig. 14. Ensayo de Límite Líquido. 24
Fig. 15. División para toma de muestras representativas. 25
Fig. 16. Ensayo de Límite Plástico. 26
Fig. 17. Ensayo de permeabilidad. 28
Fig. 18. Ensayo Proctor Modificado Tipo B. 30
Fig. 19. Muestras sumergidas en agua durante cuatro días. 31
Fig. 20. Ensayo CBR. 32
Fig. 21. Resultados del análisis granulométrico de la muestra en estado natural vs 750º - Pano. 34
Fig. 22. Resultados del análisis granulométrico de la muestra en estado natural vs 750º - Muyuna. 35
Fig. 23. Resultados del análisis granulométrico de la muestra en estado natural vs 750º - Puerto Napo 36
Fig. 24. Gravedad específica de la muestra en estado natural vs 750º - Parroquia Pano. 37
Fig. 25. Gravedad específica de la muestra en estado natural vs 750º - Parroquia Muyuna. 38
Fig. 26. Gravedad específica de la muestra en estado natural vs 750º - Parroquia Puerto Napo. 39
Fig. 27. Límites de Atterberg de la muestra en estado natural vs 750º - Parroquia Pano. 41
Fig. 28. Límites de Atterberg de la muestra en estado natural vs 750º - Parroquia Muyuna. 42
Fig. 29. Límites de Atterberg de la muestra en estado natural vs 750º - Parroquia Puerto Napo. 43
Fig. 30. Permeabilidad de la muestra en estado natural vs 750º - Parroquia Pano. 44
Fig. 31. Permeabilidad de la muestra en estado natural vs 750º - Parroquia Muyuna. 45

Fig. 32. Permeabilidad de la muestra en estado natural vs 750º - Parroquia Puerto Napo..... 46
Fig. 33. Densidad seca y contenido de humedad óptimo de la muestra en estado natural vs 750º - Pano..... 47
Fig. 34. Densidad seca y contenido de humedad óptimo de la muestra en estado natural vs 750º - Muyuna..... 48
Fig. 35. Densidad seca y contenido de humedad óptimo de la muestra en estado natural vs 750º - Puerto Napo..... 49
Fig. 36. % CBR de la muestra en estado natural vs 750º - Parroquia Pano. 50
Fig. 37. CBR de la muestra en estado natural vs 750º - Parroquia Muyuna. 51
Fig. 38. CBR de la muestra en estado natural vs 750º - Parroquia Puerto Napo..... 52
Fig. 39. Inflamabilidad de la muestra en estado natural a 750º - Parroquia Pano..... 53
Fig. 40. Inflamabilidad de la muestra en estado natural a 750º - Parroquia Muyuna..... 54
Fig. 41. Inflamabilidad de la muestra en estado natural a 750º - Parroquia Puerto Napo..... 55

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I. PARROQUIA, COORDENADAS Y MUESTRAS. 8
TABLA II. EQUIPOS, MATERIALES Y NORMATIVA PARA EL ENSAYO DE GRANULOMETRÍA. 10
TABLA III. EQUIPOS, MATERIALES Y NORMATIVA PARA EL ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS DEL SUELO. 11
TABLA IV. EQUIPOS, MATERIALES Y NORMATIVA PARA EL ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO. 12
TABLA V. EQUIPOS, MATERIALES Y NORMATIVA PARA EL ENSAYO DE LÍMITE PLÁSTICO. 13
TABLA VI. EQUIPOS, MATERIALES Y NORMATIVA PARA EL ENSAYO DE PERMEABILIDAD. 13
TABLA VII. EQUIPOS, MATERIALES Y NORMATIVA PARA EL ENSAYO DE COMPACTACIÓN DEL SUELO. 14
TABLA VIII. EQUIPOS, MATERIALES Y NORMATIVA PARA EL ENSAYO DE CBR. 15
TABLA IX. EQUIPOS, MATERIALES Y NORMATIVA PARA EL ENSAYO DE INFLAMABILIDAD. 16
TABLA X. NÚMERO Y ABERTURA DE TAMICES. 17
TABLA XI. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN SUCS.[17] 20
TABLA XII. VALORES TÍPICOS DE GRAVEDAD ESPECÍFICA. 21
TABLA XIII. FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA. 23
TABLA XIV. CLASIFICACIÓN DE PERMEABILIDAD DE LOS SUELOS. 27
TABLA XV. RANGOS DE PERMEABILIDAD SEGUN EL TIPO DE SUELO. 27
TABLA XVI. CLASIFICACIÓN DEL SUELO SEGÚN EL VALOR DE CBR. 31
TABLA XVII. RESULTADOS DEL ENSAYO DE GRANULOMETRÍA - PARROQUIA PANO. 34
TABLA XVIII. RESULTADOS DEL ENSAYO DE GRANULOMETRÍA - PARROQUIA MUYUNA. 35
TABLA XIX. RESULTADOS DEL ENSAYO DE GRANULOMETRÍA - PARROQUIA PUERTO NAPO. 36
TABLA XX. RESULTADOS DEL ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA - PARROQUIA PANO. 37
TABLA XXI. RESULTADOS DEL ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA - PARROQUIA MUYUNA. 38

TABLA XXII. RESULTADOS DEL ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA - PARROQUIA PUERTO NAPO. 39
TABLA XXIII. RESULTADOS DE LOS LÍMITES DE ATTERBERG - PARROQUIA PANO. 40
TABLA XXIV. RESULTADOS DE LOS LÍMITES DE ATTERBERG - PARROQUIA MUYUNA. 41
TABLA XXV. RESULTADOS DE LOS LÍMITES DE ATTERBERG - PARROQUIA PUERTO NAPO. 42
TABLA XXVI. RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD - PARROQUIA PANO. 44
TABLA XXVII. RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD - PARROQUIA MUYUNA. 45
TABLA XXVIII. RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD - PARROQUIA PUERTO NAPO. 46
TABLA XXIX. RESULTADOS DEL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO - PARROQUIA PANO. 47
TABLA XXX. RESULTADOS DEL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO - PARROQUIA MUYUNA. 48
TABLA XXXI. RESULTADOS DEL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO - PARROQUIA PUERTO NAPO. 49
TABLA XXXII. RESULTADOS DEL ENSAYO CBR - PARROQUIA PANO. 50
TABLA XXXIII. RESULTADOS DEL ENSAYO CBR - PARROQUIA MUYUNA. 51
TABLA XXXIV. RESULTADOS DEL ENSAYO CBR - PARROQUIA PUERTO NAPO. 52
TABLA XXXV. TABLA RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE CADA ENSAYO POR PARROQUIA. 56

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Granulometría en estado natural - Parroquia Pano. 67
Anexo 2: Granulometría a los 750ºC - Parroquia Pano 68
Anexo 3: Granulometría en estado natural - Parroquia Muyuna. 69
Anexo 4: Granulometría a los 750ºC - Parroquia Muyuna. 70
Anexo 5: Granulometría en estado natural - Parroquia Puerto Napo. 71
Anexo 6: Granulometría a los 750ºC - Parroquia Puerto Napo. 72
Anexo 7: Gravedad específica en estado natural - Parroquia Pano. 73
Anexo 8: Gravedad específica a los 750ºC - Parroquia Pano 74
Anexo 9: Gravedad específica en estado natural - Parroquia Muyuna. 75
Anexo 10: Gravedad específica a los 750ºC - Parroquia Muyuna. 76
Anexo 11: Gravedad específica en estado natural - Parroquia Puerto Napo. 77
Anexo 12: Gravedad específica a los 750ºC - Parroquia Puerto Napo. 78
Anexo 13: Límites de Atterberg en estado natural - Parroquia Pano. 79
Anexo 14: Límites de Atterberg a los 750ºC - Parroquia Pano. 80
Anexo 15: Límites de Atterberg en estado natural - Parroquia Muyuna. 81
Anexo 16: Límites de Atterberg a los 750ºC - Parroquia Muyuna. 82
Anexo 17: Límites de Atterberg en estado natural - Parroquia Puerto Napo. 83
Anexo 18: Límites de Atterberg a los 750ºC - Parroquia Puerto Napo. 84
Anexo 19: Permeabilidad en estado natural - Parroquia Pano. 85
Anexo 20: Permeabilidad a los 750ºC - Parroquia Pano. 86
Anexo 21: Permeabilidad en estado natural - Parroquia Muyuna. 87
Anexo 22: Permeabilidad a los 750ºC - Parroquia Muyuna. 88
Anexo 23: Permeabilidad en estado natural - Parroquia Puerto Napo. 89
Anexo 24: Permeabilidad a los 750ºC - Parroquia Puerto Napo. 90
Anexo 25: Proctor modificado Tipo B en estado natural - Parroquia Pano. 91
Anexo 26: Proctor modificado Tipo B a los 750ºC - Parroquia Pano. 92
Anexo 27: Proctor modificado Tipo B en estado natural - Parroquia Muyuna. 93
Anexo 28: Proctor modificado Tipo B a los 750ºC - Parroquia Muyuna. 94
Anexo 29: Proctor modificado Tipo B en estado natural - Parroquia Puerto Napo. 95
Anexo 30: Proctor modificado Tipo B a los 750ºC - Parroquia Puerto Napo. 96
Anexo 31: CBR en estado natural - Parroquia Pano. 97
Anexo 32: Datos de la máquina de compresión en estado natural - Parroquia Pano. 98

Anexo 33: Curva %CBR vs Densidad Seca en estado natural - Parroquia Pano. 99
Anexo 34: CBR a los 750ºC - Parroquia Pano. 100
Anexo 35: Datos de la máquina de compresión a los 750ºC - Parroquia Pano. 101
Anexo 36: Curva %CBR vs Densidad Seca a los 750ºC - Parroquia Pano. 102
Anexo 37: CBR en estado natural - Parroquia Muyuna. 103
Anexo 38: Datos de la máquina de compresión en estado natural - Parroquia Muyuna. 104
Anexo 39: Curva %CBR vs Densidad Seca en estado natural - Parroquia Muyuna. 105
Anexo 40: CBR a los 750ºC - Parroquia Muyuna. 106
Anexo 41: Datos de la máquina de compresión a los 750ºC - Parroquia Muyuna. 107
Anexo 42: Curva %CBR vs Densidad Seca a los 750ºC - Parroquia Muyuna. 108
Anexo 43: CBR en estado natural - Parroquia Puerto Napo. 109
Anexo 44: Datos de la máquina de compresión en estado natural - Parroquia Puerto Napo. 110
Anexo 45: Curva %CBR vs Densidad Seca en estado natural - Parroquia Puerto Napo. 111
Anexo 46: CBR a los 750ºC - Parroquia Puerto Napo. 112
Anexo 47: Datos de la máquina de compresión a los 750ºC - Parroquia Puerto Napo. 113
Anexo 48: Curva %CBR vs Densidad Seca a los 750ºC - Parroquia Puerto Napo. 114
Anexo 49: Ensayo de inflamabilidad - Parroquia Pano. 115
Anexo 50: Ensayo de inflamabilidad - Parroquia Muyuna. 116
Anexo 51: Ensayo de inflamabilidad - Parroquia Puerto Napo. 117

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

CBR: California Bearing Ratio.

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials.

ASTM: American Society for Testing and Materials.

NTE: Norma Técnica Ecuatoriana.

INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

Cu: Coeficiente de uniformidad.

Cc: Coeficiente de curvatura.

TNM: Tamaño Máximo Nominal.

Gs: Gravedad específica.

LL: Límite Líquido.

LP: Límite Plástico.

IP: Índice de Plasticidad.

k: Coeficiente de permeabilidad.

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación abordó la problemática de la susceptibilidad térmica de los suelos utilizados en obras civiles dentro de la Región Amazónica, específicamente en las parroquias Pano, Muyuna y Puerto Napo de la provincia de Napo, ante la creciente amenaza de incendios forestales. El objetivo central fue cuantificar la alteración de las propiedades físico-mecánicas y la capacidad portante del material al someterlo a una temperatura controlada de 750ºC. Para lograr esto, se implementó una metodología experimental comparativa estructurada en ensayos estandarizados de laboratorio, incluyendo granulometría, límites de Atterberg, permeabilidad, Proctor Modificado tipo B e Índice de Soporte de California (CBR). Todos los procedimientos geotécnicos se ejecutaron siguiendo rigurosamente las normativas internacionales ASTM y AASHTO, además de las normativas nacionales NTE INEN, lo cual garantizó la trazabilidad, precisión y replicabilidad de los resultados al contrastar el suelo en su estado natural frente al estado post-tratamiento térmico.

Los resultados demostraron una alteración irreversible y significativa en las propiedades del material. Se verificó una reducción sistemática de la capacidad estructural, siendo la muestra de Pano la que experimentó la mayor pérdida de soporte, con una disminución del CBR de 32.86%, confirmando que la exposición al calor afecta negativamente su clasificación como subrasante. Esta pérdida se correlacionó con una reducción crítica en la cohesión y plasticidad, siendo más pronunciada en Puerto Napo con una disminución del IP del 62.78%. En contraste, el estrés térmico generó efectos secundarios beneficiosos en las propiedades hidráulicas, registrándose un aumento del coeficiente de permeabilidad (k) en las tres muestras mostrando incrementos de hasta el 96.44% en la muestra de la parroquia Muyuna, atribuido a la combustión de la materia orgánica y la microfisuración de la matriz. La síntesis de los hallazgos concluyó que la exposición al fuego compromete la estabilidad estructural del suelo, transformándolo en un material más frágil, pero con mejor capacidad de drenaje, lo cual es fundamental para la gestión de riesgos en la ingeniería de la región.

PALABRAS CLAVE: SUELOS AMAZÓNICOS, INCENDIOS FORESTALES, COHESIÓN DEL SUELO, PERMEABILIDAD, PROPIEDADES GEOTÉCNICAS, NAPO.

ABSTRACT

The present research addressed the problem of the thermal susceptibility of soils used in civil works within the Amazon Region, specifically in the Pano, Muyuna, and Puerto Napo parishes of Napo province, facing the growing threat of forest fires. The main objective was to quantify the alteration of the material's physico-mechanical properties and bearing capacity when subjected to a controlled temperature of 750ºC. To achieve this, a comparative experimental methodology was implemented, structured around standardized laboratory tests, including grain size analysis, Atterberg limits, permeability, Modified Proctor (Type B), and the California Bearing Ratio (CBR). All geotechnical procedures were rigorously executed following international ASTM and AASHTO standards, in addition to national NTE INEN standards, which guaranteed the traceability, precision, and replicability of the results by contrasting the soil in its natural state versus the post-thermal treatment state.

The results demonstrated an irreversible and significant alteration in the material's properties. A systematic reduction in the structural capacity was verified, with the Pano sample experiencing the greatest loss of support, showing a decrease in CBR of 32.86%, confirming that heat exposure negatively affects its subgrade classification. This loss correlated with a critical reduction in cohesion and plasticity, being more pronounced in Puerto Napo with a decrease in the Plasticity Index of 62.78%. In contrast, thermal stress generated beneficial secondary effects on the hydraulic properties, recording an increase in the permeability coefficient (k) in all three samples, showing increases of up to 96.44% in the Muyuna parish sample, attributed to the combustion of organic matter and micro-fissuring of the matrix. The synthesis of the findings concluded that fire exposure compromises the soil's structural stability, transforming it into a more fragile material, but one with better drainage capacity, which is fundamental for risk management in the region's engineering.

KEYWORDS: AMAZONIAN SOILS, FOREST FIRES, SOIL COHESION, PERMEABILITY, GEOTECHNICAL PROPERTIES, NAPO.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

I. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se fundamenta en la necesidad imperativa de caracterizar la respuesta geotécnica de los suelos utilizados en obras civiles ante la exposición a condiciones térmicas extremas. En el contexto regional, se evidencia un incremento en la frecuencia de incendios forestales y estructurales, lo cual introduce un factor de riesgo no cuantificado para la estabilidad de la infraestructura. Específicamente, en las parroquias Pano, Muyuna y Puerto Napo, existe una carencia de información técnica sobre cómo los suelos amazónicos locales responden al ser sometidos a altas temperaturas. Esta brecha de conocimiento constituye un vacío crítico para la Ingeniería Civil, dado que el suelo actúa como la base fundamental de cimentaciones y estructuras de soporte, y su alteración térmica puede reducir su cohesión, resistencia y capacidad de carga, comprometiendo la estabilidad de las obras civiles y poniendo en riesgo la seguridad de las comunidades que dependen de ellas. [1]

Las características intrínsecas de los suelos de la Región Amazónica Ecuatoriana, como su tendencia a la textura pesada, el color pardo amarillento, su alta acidez y baja capacidad de intercambio catiónico, confieren una susceptibilidad particular a la degradación frente a eventos disruptivos como el estrés térmico, lo que limita el desempeño óptimo del material en aplicaciones de ingeniería civil. Estos suelos, frecuentemente clasificados dentro de órdenes como inceptisoles y ultisoles, presentan una mineralogía basada en arcillas, formada por intensos procesos de meteorización y lixiviación, condiciones que potencian la pérdida de estabilidad estructural y resistencia al corte bajo temperaturas elevadas. [2]

Al abordar este problema, el estudio permitió determinar cómo varían propiedades físicas y mecánicas como granulometría, permeabilidad, resistencia al corte, límites de Atterberg o índice CBR, antes y después de la exposición al fuego. Estos resultados proporcionaron datos inéditos que ampliaron el conocimiento existente en la mecánica de suelos, particularmente en relación con materiales poco estudiados en la región amazónica. Además, generaron una base experimental que puede compararse con investigaciones en otros contextos, fortaleciendo la comprensión científica del comportamiento térmico de los suelos y aportando criterios técnicos aplicables en escenarios de riesgo. De esta manera, el proyecto se integra en la línea de investigaciones orientadas a mejorar la seguridad de las infraestructuras frente a condiciones extremas, aportando tanto a la teoría como a la práctica profesional.

Los beneficios se ven reflejados en diferentes niveles. En la práctica profesional, los ingenieros civiles cuentan con criterios sólidos para evaluar la idoneidad de los suelos amazónicos en proyectos de cimentación, reduciendo la posibilidad de fallas estructurales y optimizando el diseño de obras en zonas expuestas a incendios. Para las instituciones públicas, los resultados constituyen una herramienta de apoyo en la planificación territorial y en la formulación de normativas que consideren los riesgos térmicos como un factor determinante en la estabilidad de la infraestructura. Del mismo modo, las empresas constructoras pueden utilizar los hallazgos para implementar soluciones más seguras y sostenibles en sus proyectos. Desde el ámbito académico, la investigación proporciona un marco de referencia novedoso que sirve de base para estudios posteriores en Ecuador y en otros países con características geológicas y climáticas semejantes. Al mismo tiempo, se contribuye a la formación de nuevos profesionales, quienes pueden apoyarse en esta información para fortalecer su capacidad de análisis frente a escenarios de riesgo. En conjunto, la investigación no solo responde a una necesidad práctica y regional, sino que también aporta al avance científico y a la construcción de un conocimiento aplicable que repercute en la seguridad, resiliencia y sostenibilidad de las obras civiles en la Amazonía ecuatoriana.

II. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

La caracterización del comportamiento geotécnico de los suelos bajo condiciones de estrés térmico, como la exposición al fuego, se ha vuelto relevante en la ingeniería civil ante la creciente incidencia de incendios globales. En este contexto, la investigación llevada a cabo por López (2024), se centró en la región de Tungurahua, revelando que la aplicación de altas temperaturas induce un aumento significativo en la porosidad y una considerable pérdida de cohesión en los suelos. Este fenómeno fue más evidente en aquellos de naturaleza arcillosa, demostrando que el deterioro afecta directamente la capacidad de carga y su idoneidad para ser utilizados en obras de cimentación. Se concluyó que, para proyectos en áreas propensas a incendios, es fundamental considerar las modificaciones térmicas en los suelos para garantizar la estabilidad estructural. [3]

En el estudio de Tenelema (2024), se investigaron los efectos de los incendios forestales históricos sobre las propiedades de los suelos en la zona del bosque protector Tambillo, en Ecuador. Los resultados mostraron alteraciones significativas en el pH, potasio y densidad aparente lo que indicó que la recuperación del suelo no había sido completa después de un tiempo considerable. En particular, el pH, que es una propiedad crucial, mostró una tendencia a estabilizarse con el tiempo, como se reporta en la literatura. Además, se observó que la capacidad de retención de agua y la resistencia a la compresión se redujeron notablemente, lo que sugiere que estos suelos son vulnerables al fuego y requieren tratamiento para mejorar su funcionalidad ecológica y estructural. [4]

En este contexto de vulnerabilidad documentada, la revisión de la literatura a nivel global proporciona un marco de referencia esencial para comprender la problemática. Rosero y Osorio (2013) realizaron un estado del arte sobre los efectos del fuego, concluyendo que la incidencia de un incendio forestal genera afectaciones considerables en las propiedades físicas (porosidad, estabilidad estructural) y químicas (pH, ciclos de nutrientes) del suelo. Estos autores recalcan que la severidad de los daños aumenta con la repetición de los incendios, lo cual degrada la estructura, incrementa la erosionabilidad y disminuye la fertilidad, aspectos que justifican la importancia de caracterizar estos fenómenos en los suelos amazónicos. [5]

La acidificación del suelo y el aumento de la inestabilidad superficial post-incendio representan riesgos geotécnicos directos. Torres (2022) realizó un análisis detallado en la provincia de Loja en donde se compararon zonas quemadas con áreas conservadas. Los resultados mostraron que, en la zona afectada, el color del suelo fue mayormente amarillo parduzco (60%), lo que indica una buena capacidad de drenaje, mientras que en la zona

conservada predominó el color marrón amarillento (30%), lo que sugiere una capacidad de drenaje deficiente. En términos de clase textural, la zona afectada presentó suelos franco (70%), los cuales tienen una buena capacidad de retención de agua, a diferencia de la zona conservada, donde predominaban los suelos franco arcillosos y arcillosos (40%), con baja capacidad de retención. Además, la zona afectada mostró un mayor contenido de materia orgánica (1,27%) en comparación con la zona conservada (0,81%), debido a los residuos quemados que contribuyeron al aumento de la materia orgánica. El pH en la zona conservada fue prácticamente neutro (6), mientras que, en la zona afectada, el pH fue muy ácido (4,8), lo que puede atribuirse a las intensas lluvias de temporada. Por otro lado, la erosión fue significativamente mayor en la zona afectada (11,1 mm) que en la zona conservada (2,4 mm), ya que el fuego alteró la estabilidad de los agregados del suelo lo que creó una superficie hidrófoba y redujo la capacidad de retención de agua. [6]

Complementando la evidencia sobre la alteración química y física inmediata, la investigación de Alarcón (2021), evaluó el impacto de los incendios forestales en la calidad de los suelos en el Distrito Metropolitano de Quito, en una zona afectada por un incendio en septiembre de 2019. Los resultados indicaron que algunos parámetros físicos y químicos, como el pH, la humedad y la composición textural de la arena, fueron significativamente afectados en comparación con la zona testigo. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas en parámetros como nitrógeno, capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica e infiltración, lo que sugiere que el suelo se está recuperando gradualmente de los impactos del fuego. Además, se encontró que factores como la altura del terreno guardan una relación lineal importante con ciertos parámetros como infiltración, materia orgánica, nitrógeno total y cromo, con un alto factor de correlación. En términos de recuperación, se observó que la disminución de las actividades vehiculares y recreativas durante la pandemia contribuyó a la normalización de parámetros clave como el pH y la materia orgánica, lo que indica que el suelo tiende a estabilizarse y recuperar sus características anteriores al incendio. [7]

La necesidad de estudiar la alteración estructural del suelo bajo calor no es exclusiva del Ecuador. En un contexto andino análogo, Gabrielli (2025) analizó la respuesta de suelos expuestos a calor extremo en Perú. Los resultados del estudio mostraron que los suelos expuestos a temperaturas elevadas presentan una disminución en su capacidad de infiltración y un aumento en la erosión superficial. Los incendios forestales alteran tanto la mineralogía como la estructura de los suelos, lo que hace que estos se vuelvan menos estables y más propensos a la degradación. El estudio concluye que es esencial tomar en cuenta estos cambios en la planificación de proyectos de infraestructura en zonas propensas a incendios. [8]

Este patrón de degradación de la estabilidad es consistente en diversos contextos geológicos, incluso en suelos de origen volcánico con alta dependencia de la humedad. La Universidad de La Laguna (2023) determinó que la exposición al fuego en las Islas Canarias aumenta la susceptibilidad a la escorrentía y la erosión, debido a la pérdida de cohesión y la reducción en la capacidad de retención hídrica, elevando el riesgo de inestabilidad del terreno y deslizamientos, además de la pérdida de nutrientes en los suelos. Esta investigación sugiere que las prácticas de manejo del suelo deben enfocarse en la rehabilitación y protección de estos suelos para prevenir daños a largo plazo. [9]

Considerando la recurrencia de estos eventos a nivel nacional, la relevancia de la pérdida de cohesión y materia orgánica en la afectación geotécnica ha sido subrayada por Ordóñez (2024). Los resultados indican que estos cambios reducen la capacidad del suelo para soportar infraestructuras. Este autor enfatiza que el incremento de incendios en Ecuador requiere el desarrollo de enfoques de gestión territorial y diseños de infraestructura adaptativos, capaces de mitigar los efectos del fuego en las propiedades del suelo. [10]

Aun en regiones costeras con diferentes características edafológicas, la afectación térmica se presenta. Marcos Ramos et al. (2024), evaluaron los efectos del fuego sobre las propiedades físicas, químicas y nutricionales del suelo en tierras de vocación forestal en Manabí, Ecuador. Los resultados mostraron que, tres meses después de la quema, las propiedades del suelo en las parcelas quemadas, tanto en áreas con combustibles apilados como dispersos, mostraron diferencias significativas respecto a las mediciones previas al incendio. Sin embargo, estas propiedades alcanzaron niveles numéricamente similares a los previos a la quema, y en algunos casos, las características del suelo mejoraron, especialmente en las parcelas de combustibles dispersos. Se observaron cambios notables en la textura del suelo, con una ligera disminución del porcentaje de materia orgánica en ambas parcelas, lo que refleja la influencia directa del fuego. Además, el pH mostró una ligera disminución en las parcelas con combustibles apilados, mientras que las parcelas con combustibles dispersos tuvieron una ligera tendencia hacia la alcalinidad. En cuanto a los nutrientes, se observó una ligera reducción en los niveles de cationes intercambiables y otros nutrientes, lo que sugiere que la quema tuvo efectos tanto negativos como positivos sobre la fertilidad del suelo, con una recuperación gradual observable a los tres meses post-incendio. [11]

El estudio realizado por Movasat y Tomac (2018) se centró en la caracterización de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos hidrofóbicos recolectados en el Cleveland National Forest en California, inmediatamente después del incendio forestal de 2018. Los resultados mostraron que los suelos en las áreas quemadas presentan una fuerte repelencia al

agua, lo que afecta significativamente su capacidad para retener agua, siendo la humedad final en los suelos hidrofóbicos de alrededor del 7%. La investigación también reveló que la presencia de hidrofobicidad en la capa superficial del suelo, debido a los compuestos orgánicos dejados por la vegetación quemada, provoca una disminución en la infiltración del agua, lo que puede incrementar el riesgo de erosión y flujos de lodo en pendientes quemadas. Además, se observó que después de un año, la hidrofobicidad en el suelo del Cleveland Forest disminuyó, aumentando su contenido de agua de un 7% a un 19%. Estos resultados son cruciales para comprender mejor los mecanismos de erosión post-incendio y los riesgos asociados con los flujos de lodo en suelos hidrofóbicos. [12]

La afectación de la matriz inorgánica del suelo constituye un aspecto menos explorado en la literatura, pero de gran relevancia en el contexto geotécnico. Minervini, Morrás y Taboada (2018) revisaron los efectos del fuego sobre las propiedades físicas y mineralógicas del suelo, destacando que el calentamiento prolongado a temperaturas elevadas (superiores a los 600ºC) puede generar una microagregación de partículas minerales. Este proceso resulta en la formación de pseudo-texturas más gruesas en el horizonte superficial y puede provocar la disminución del contenido de minerales de arcilla (como la caolinita), lo cual altera las características de plasticidad y cohesión del suelo. Estas transformaciones de la matriz inorgánica explican la pérdida de estabilidad y el incremento de la erosionabilidad observados en los suelos afectados por incendios. [13]

En relación con los estudios de laboratorio, la cuantificación de los cambios en las propiedades físicas en función de la temperatura es fundamental para replicar con precisión el escenario térmico. En este sentido, Sacchi et al. (2015) evaluaron la influencia de temperaturas de calentamiento (hasta 500ºC) en suelos con diferente composición, concluyendo que la fracción de arcilla es altamente sensible a los 200ºC, registrando una disminución drástica a los 500ºC debido al colapso de la fracción inorgánica coloidal. Asimismo, el estudio demostró que variables como el pH y la capacidad de intercambio catiónico muestran un patrón de cambio significativo a partir de los 300ºC, lo cual establece umbrales térmicos específicos que afectan directamente la fertilidad y las propiedades de adsorción del suelo. [14]

En síntesis, estas contribuciones de investigación subrayan la necesidad crítica de integrar análisis térmicos detallados en la evaluación geotécnica convencional, particularmente en entornos geográficos de alta fragilidad ambiental.

III. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL:

Caracterizar el comportamiento frente al fuego de tres tipos de suelos provenientes de las parroquias Pano, Muyuna y Puerto Napo de la provincia de Napo utilizados en obras civiles.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1) Establecer las propiedades físicas de los suelos ensayados (granulometría, gravedad específica, límites de Atterberg, permeabilidad) antes y después de haber sido sometido a altas temperaturas de 750°C, simulando la exposición al fuego.
2) Obtener el CBR de los tres tipos suelos antes y después de haber sido sometido a altas temperaturas de 750°C, simulando la exposición al fuego.
3) Determinar cualitativamente la inflamabilidad de los tres tipos de suelos seleccionados de las parroquias Pano, Muyuna y Puerto Napo de la provincia de Napo a una temperatura de 750 °C, (Identificando el tiempo de exposición y transformaciones físicas).

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

La presente investigación corresponde a un estudio experimental, estructurado en tres fases secuenciales cuyo propósito es caracterizar el comportamiento de los suelos de las parroquias Pano, Muyuna y Puerto Napo frente al fuego simulado a 750ºC. La primera fase se enfoca en la caracterización física del material, estableciendo las propiedades índice antes y después del tratamiento térmico, lo cual es fundamental para evaluar las alteraciones composicionales del suelo. Seguidamente, la segunda fase continúa con el rigor cuantitativo, centrándose en la respuesta mecánica del material mediante la obtención del CBR de los suelos, permitiendo cuantificar directamente la pérdida de capacidad portante y la estabilidad. Finalmente, la tercera fase incorpora una aproximación cualitativa y clasificatoria dirigida a la determinación de la inflamabilidad de los tres tipos de suelos, evaluando su susceptibilidad térmica y el patrón de reacción ante la aplicación controlada de calor. La finalidad de esta integración metodológica es ofrecer una visión completa y contrastada de las estrategias de investigación, facilitando la replicabilidad y la validación de los resultados obtenidos.

MUESTRAS

La selección de las muestras se realizó en las parroquias Pano, Muyuna y Puerto Napo de la provincia de Napo, dada su relevancia como zonas de desarrollo de obras civiles y su representatividad de la geología amazónica local. La extracción del material se llevó a cabo mediante el método de excavación a cielo abierto, con dimensiones estandarizadas de 1.00 m x 1.00 m x 1.00 m garantizando la obtención de muestras inalteradas. A continuación, se detallan las coordenadas geográficas de los puntos de muestreo.

TABLA I.

PARROQUIA, COORDENADAS Y MUESTRAS.

PARROQUIA	COORDENADAS	MUESTRA	DESCRIPCIÓN
Pano	Este: 178669.88 Norte: 9886998.38	Material de excavación	Granulometría: variado
Muyuna	Este: 183142.16 Norte: 9892338.85	Material de excavación	Granulometría: variado
Puerto Napo	Este: 192016.31 Norte: 9885279.35	Material de excavación	Granulometría: variado

I. EQUIPOS Y MATERIALES

En esta sección se detallan los instrumentos y los insumos empleados para la ejecución de las tres fases experimentales, asegurando la trazabilidad y el cumplimiento de las normativas técnicas aplicables a cada ensayo geotécnico. Entre los equipos más relevantes para las fases I y II se incluyen la balanza electrónica de precisión, esencial para todas las mediciones gravimétricas, y el horno de secado que opera a una temperatura controlada de 105ºC ± 5ºC. Un componente crítico de esta investigación es el horno de quemado de muestras, empleado para someter las muestras a 750ºC y simular la exposición directa del suelo a las condiciones térmicas extremas de un incendio.



Fig. 1. Horno eléctrico Quincy Lab.



Fig. 2. Balanza electrónica SHIMADZU.



Fig. 3. Horno casero para quemar la muestra a 750ºC.

A. FASE I

Esta primera fase, enfocada en el establecimiento de las propiedades físicas iniciales y post-tratamiento térmico, requirió equipos e insumos especializados para la ejecución de ensayos de granulometría, gravedad específica, límites de Atterberg y permeabilidad. Los instrumentos seleccionados garantizan la precisión en la medición de las propiedades índice del suelo, siendo esenciales para la clasificación geotécnica del material antes y después de su exposición a los 750ºC de temperatura. A continuación, se detallan los equipos específicos por cada ensayo a partir de la TABLA II a la TABLA VI.

1) Ensayo de granulometría

TABLA II.

EQUIPOS, MATERIALES Y NORMATIVA PARA EL ENSAYO DE GRANULOMETRÍA.

ENSAYO	NORMA	EQUIPOS O MATERIALES	DETALLE
Granulometría	AASHTO T80-70 ASTM D 422-63	Muestra de suelo en estado seco	1250 gr
		Tamices con abertura: #4, #8, #10, #16, #30, #40, #50, #60, #100, #200 y fuente	Marca: Humboldt (Fig. 4.)
		Tamizadora eléctrica	Marca: Controls (Fig. 5.)
		Balanza electrónica en gramos	Marca: Shimadzu (Fig. 2.)
		Brocha	Marca: S/N
		Recipiente	Marca: S/N



Fig. 4. Equipos y materiales para ensayo de granulometría.



Fig. 5. Tamizadora eléctrica CONTROLS.

2) Ensayo de gravedad específica de sólidos del suelo

TABLA III.

EQUIPOS, MATERIALES Y NORMATIVA PARA EL ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS DEL SUELO.

ENSAYO	NORMA	EQUIPOS O MATERIALES	DETALLE
Gravedad específica de sólidos del suelo	AASHTO T-100 ASTM D 854	Muestra de suelo en estado seco	50 gr que pase el tamiz #4
		Picnómetro de 500 ml	Marca: S/N (Fig. 6.)
		Embudo	Marca: Casa Pica (Fig. 6.)
		Balanza electrónica en gramos	Marca: Shimadzu (Fig. 2.)
		Pipeta	Marca: S/N (Fig. 6.)
		Recipientes	Marca: S/N (Fig. 6.)
		Termómetro	Marca: S/N (Fig. 6.)
		Horno Industrial (105°C ± 5°C)	Marca: Quincy Lab (Fig. 1.)



Fig. 6. Equipos y materiales para ensayo de gravedad específica.

3) Ensayo de límite líquido

TABLA IV.

EQUIPOS, MATERIALES Y NORMATIVA PARA EL ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO.

ENSAYO	**NORMA**	**EQUIPOS O MATERIALES**	**DETALLE**
Límite líquido	AASHTO T-90-70 ASTM D 4318-5	Muestra de suelo en estado seco	300 gr que pase el tamiz #40
		Copa de Casagrande	Marca: S/N (Fig. 7.)
		Pestillo	Marca: S/N (Fig. 7.)
		Mortero	Marca: S/N (Fig. 7.)
		Recipientes	Marca: S/N (Fig. 7.)
		Espátula	Marca: S/N (Fig. 7.)
		Acanalador	Marca: S/N (Fig. 7.)
		Horno Industrial (105°C ± 5°C)	Marca: Quincy Lab (Fig. 1.)
		Balanza electrónica en gramos	Marca: Shimadzu (Fig. 2.)



Fig. 7. Equipos y materiales para ensayo de límite líquido.

4) Ensayo de límite plástico

TABLA V.

EQUIPOS, MATERIALES Y NORMATIVA PARA EL ENSAYO DE LÍMITE PLÁSTICO.

ENSAYO	NORMA	EQUIPOS O MATERIALES	DETALLE
Límite plástico	AASHTO T-90-70 ASTM D 4318-17	Muestra de suelo en estado seco	300 gr que pase el tamiz #40
		Pestillo	Marca: S/N (Fig. 8.)
		Mortero	Marca: S/N (Fig. 8.)
		Recipientes	Marca: S/N (Fig. 8.)
		Espátula	Marca: S/N (Fig. 8.)
		Placa de vidrio	Marca: S/N (Fig. 8.)
		Horno Industrial (105°C ± 5°C)	Marca: Quincy Lab (Fig. 1.)
		Balanza electrónica en gramos	Marca: Shimadzu (Fig. 2.)



Fig. 8. Equipos y materiales para ensayo de límite plástico.

5) Ensayo de permeabilidad

TABLA VI.

EQUIPOS, MATERIALES Y NORMATIVA PARA EL ENSAYO DE PERMEABILIDAD.

ENSAYO	NORMA	EQUIPOS O MATERIALES	DETALLE
Permeabilidad	ASTM D 2434	Muestra de suelo en estado seco	500 gr
		Permeámetro de carga constante	Marca: S/N (Fig. 9.)
		Pistón	Marca: S/N (Fig. 9.)
		Probeta de 25 ml	Marca: S/N (Fig. 9.)
		Calibrador pie de rey	Marca: Starrett (Fig. 9.)
		Flexómetro	Marca: Stanley (Fig. 9.)
		Termómetro	Marca: Controls (Fig. 9.)
		Cronómetro del celular	Marca: Apple



Fig. 9. Equipos y materiales para ensayo de permeabilidad.

B. FASE II

Esta segunda fase del proceso metodológico se enfocó en la evaluación de la respuesta mecánica del suelo, particularmente a través de la obtención del Índice CBR (California Bearing Ratio), tanto para las muestras naturales como para aquellas tratadas térmicamente a 750ºC. Para asegurar la validez de los resultados, esta fase requirió instrumentación especializada para los ensayos proctor modificado y CBR, que permitieron determinar la humedad y densidad óptimas de compactación y la capacidad portante del material. Los equipos seleccionados fueron fundamentales para cuantificar variaciones en la resistencia del suelo sometido a estrés térmico. A continuación, en la TABLA VII y TABLA VIII se detallan los equipos específicos para esta fase.

1) Ensayo de compactación del suelo

TABLA VII.

EQUIPOS, MATERIALES Y NORMATIVA PARA EL ENSAYO DE COMPACTACIÓN DEL SUELO.

ENSAYO	NORMA	EQUIPOS O MATERIALES	DETALLE
Proctor modificado Tipo B	AASHTO T-180 ASTM D 698	Muestra de suelo en estado seco	24 kg que pasa el tamiz #4
		Martillo compactador de 5.5 lb	Marca: S/N (Fig. 10.)
		Molde cilíndrico de metal	Marca: S/N (Fig. 10.)
		Retorta	Marca: S/N (Fig. 10.)
		Palustre	Marca: S/N (Fig. 10.)
		Enrasador	Marca: S/N (Fig. 10.)
		Probeta graduada de 1000ml	Marca: S/N (Fig. 10.)
		Horno Industrial (105°C ± 5°C)	Marca: Quincy Lab (Fig. 1.)
		Balanza electrónica	Marca: Shimadzu (Fig. 2.)
		Recipientes	Marca: S/N (Fig. 10.)

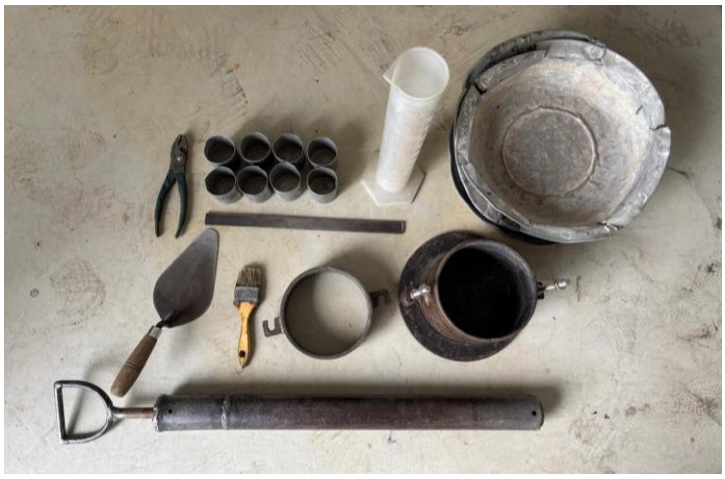


Fig. 10. Equipos y materiales para ensayo de compactación del suelo.

2) Ensayo de CBR

TABLA VIII.

EQUIPOS, MATERIALES Y NORMATIVA PARA EL ENSAYO DE CBR.

ENSAYO	NORMA	EQUIPOS O MATERIALES	DETALLE
CBR	AASHTO T-193 ASTM D 1883-99	Muestra de suelo en estado seco	18 kg que pasa el tamiz #4
		Martillo compactador de 5.5 lb	Marca: S/N (Fig. 11.)
		Molde cilíndrico de metal	Marca: S/N (Fig. 11.)
		Pesa ranurada y anular	Marca: S/N (Fig. 11.)
		Palustre	Marca: S/N (Fig. 11.)
		Enrasador	Marca: S/N (Fig. 11.)
		Probeta graduada de 1000ml	Marca: S/N (Fig. 11.)
		Horno Industrial (105°C ± 5°C)	Marca: Quincy Lab (Fig. 1.)
		Balanza electrónica	Marca: Shimadzu (Fig. 2.)
		Recipientes	Marca: S/N
		Maquina Multispeed	Marca: MULTISPEED



Fig. 11. Equipos y materiales para ensayo de CBR.

C. FASE III

La tercera fase abordó la determinación cualitativa de la inflamabilidad de los tres tipos de suelos, lo cual implicó evaluar su comportamiento de combustión frente a la exposición directa a la temperatura de 750ºC. Este análisis es fundamental para la ingeniería civil, la gestión de riesgos y la planificación ambiental, ya que permite identificar la susceptibilidad térmica inherente de los suelos locales y determinar el patrón de reacción (cambios físicos y tiempo de exposición) ante un evento ígneo. Por lo tanto, los equipos y materiales requeridos se destinan a la simulación térmica controlada y al registro de las observaciones. A continuación, se detallan los equipos específicos para esta fase.

1) Ensayo de inflamabilidad

TABLA IX.

EQUIPOS, MATERIALES Y NORMATIVA PARA EL ENSAYO DE INFLAMABILIDAD.

ENSAYO	NORMA	EQUIPOS O MATERIALES	DETALLE
Inflamabilidad	ASTM D1929 NTE INEN-ISO 11925-2	Muestra de suelo en estado seco	1000 gr
		Bandeja	Marca: S/N
		Soplete de combustión	Marca: S/N
		Cronómetro	Marca: Apple
		Termómetro digital (0°C-1000°C)	Marca: LANDETEK

II. MÉTODOS

Una vez detallados los equipos y materiales esenciales requeridos en cada una de las tres fases de la investigación, la presente sección procede a la descripción de los métodos y procedimientos técnicos que fueron empleados. Esta estructura garantiza la adecuada trazabilidad y el rigor experimental necesario para cumplir con los objetivos específicos planteados, enfocándose en la obtención, procesamiento y análisis de datos cuantitativos y cualitativos según el diseño metodológico establecido.

A. FASE I

Esta fase se centró en la caracterización inicial y post-tratamiento térmico de las propiedades físicas de los suelos, en cumplimiento con el primer objetivo específico de la investigación. Para este propósito, se aplicaron métodos de ensayo estandarizados para determinar los parámetros índice del material en su estado natural y tras haber sido sometido a una temperatura

de 750ºC. Los resultados de esta fase permitieron clasificar los suelos mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) e identificar las alteraciones composicionales inducidas por el estrés térmico.

1) Ensayo de granulometría

Este ensayo se realizó con la finalidad primordial de determinar la distribución de los tamaños de las partículas, lo que constituyó la base para la clasificación geotécnica de los suelos de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. El análisis granulométrico proporcionó datos esenciales para evaluar las propiedades mecánicas y el comportamiento del suelo en aplicaciones de ingeniería civil. Mediante la aplicación del método de tamizado, se obtuvieron parámetros clave como la curva granulométrica, el coeficiente de uniformidad (Cu) y el coeficiente de curvatura (Cc), permitiendo identificar las posibles variaciones texturales entre las muestras de suelo en estado natural y aquellas expuestas a la alta temperatura de 750ºC. [15]

TABLA X.

NÚMERO Y ABERTURA DE TAMICES.

#TAMIZ	ABERTURA (mm)
4	4.750
8	2,360
10	2.000
16	1.180
30	0.600
40	0.425
50	0.300
60	0.250
100	0.150
200	0.075

El procedimiento de granulometría se inició con la preparación de la muestra, la cual se llevó a cabo asegurando que el material estuviera completamente seco, eliminando así la posibilidad de afectar el proceso de tamizado. Luego, se seleccionó una muestra representativa de 1000 gramos y se procedió a colocarla en el tren de tamices, armados en orden descendente de abertura, desde el Tamiz Nº4 (4.75 mm) hasta el Tamiz Nº200 (0.075 mm), con un depósito receptor en la base. El conjunto se aseguró con una tapa y se instaló en la tamizadora eléctrica. Se sometió a vibración por un periodo de 15 minutos a intensidad constante.



Fig. 12. Ensayo de granulometría.

Tras la vibración de 15 minutos, se procedió a pesar la masa retenida parcial en cada tamiz y en el depósito receptor. Con estos datos de pesos parciales retenidos, se pudo calcular el peso retenido acumulado y, a su vez, obtener el porcentaje que pasa por cada tamiz, información fundamental para la construcción de la curva granulométrica. El porcentaje retenido se calcula mediante la Ecuación 1.

$$\%Retenido = \frac{Peso\ material\ retenido\ en\ tamiz}{Peso\ total\ de\ muestra} * 100$$

Ecuación 1

Una vez completado el tamizado y el cálculo de los porcentajes que pasaron por cada malla, se procedió a determinar el Tamaño Máximo Nominal del suelo (TNM), el cual se estableció como el tamaño del tamiz inmediatamente superior al 90% de material que pasó. Posteriormente, a partir de la curva granulométrica obtenida se identificaron los diámetros característicos (D_{10}, D_{30} y D_{60}), que representaron los tamaños de partícula por debajo de los que se encontraban el 10%, 30% y 60%, respectivamente, del peso total de la muestra. Con estos valores, se calcularon el coeficiente de uniformidad mediante la Ecuación 2 y el coeficiente de curvatura usando la Ecuación 3, parámetros cruciales que permitieron evaluar la gradación del suelo y realizar su clasificación final dentro del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

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

Ecuación 2

Donde:

Cu= Coeficiente de uniformidad

D_{10}= Diámetro efectivo

D_{60}= Diámetro dimensional

$$Cc = \frac{{D_{30}}^2}{D_{60} * D_{10}}$$

Ecuación 3

Donde:

Cu= Coeficiente de curvatura

D_{10}= Diámetro efectivo

D_{30}= Diámetro equiparable

D_{60}= Diámetro dimensional

a) Clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos es un sistema estandarizado utilizado para describir e identificar suelos basándose en sus características físicas, específicamente la distribución de sus tamaños de partícula (granulometría) y su plasticidad. Su objetivo principal es agrupar los suelos en clases con propiedades ingenieriles similares. Esto permite predecir de manera general el comportamiento del suelo (capacidad portante, compresibilidad, permeabilidad) para propósitos de diseño en cimentaciones, carreteras, terraplenes y otras estructuras civiles. El SUCS divide los suelos en dos categorías principales y utiliza un sistema de dos letras para simbolizar cada grupo: si más del 50% del material se retiene en el tamiz #200 el suelo es de grano grueso G (Gravas) o S (Arenas), por otro lado, si más del 50% pasa el tamiz #200 se considera que el suelo es de grano fino M (Limos) o C (Arcillas). [16]

La segunda letra indica la gradación o las características de plasticidad/compresibilidad:

Para suelos de grano grueso (gravas y arenas):

- **W** (Well-graded / Bien graduado): Indica que el suelo tiene una buena distribución de tamaños de partícula (requiere Cu ≥ 4 y 1 ≤ Cc ≤ 3 para gravas, o Cu ≥ 6 y 1 ≤ Cc ≤ 3 para arenas).
- **P** (Poorly-graded / Pobremente graduado): Indica que el suelo es uniforme (todos los granos son de tamaño similar) o tiene una gradación saltada.
- **M** (Silt / Limo): Si contiene una cantidad significativa de finos no plásticos.
- **C** (Clay / Arcilla): Si contiene una cantidad significativa de finos plásticos.

Para suelos de grano fino (limos y arcillas):

- **L** (Low Plasticity / Baja plasticidad): Su límite líquido es menor a 50.
- **H** (High Plasticity / Alta plasticidad): Su límite líquido es igual o mayor a 50.
- **C:** arcilla
- **M:** limo
- **P**: suelos altamente orgánicos

TABLA XI.
SISTEMA DE CLASIFICACIÓN SUCS.[17]

Divisiones mayores			Símbolo de grupo	Nombres Típicos	Criterios de clasificación para suelos granulares	
Suelos de grano grueso (más del 50% de la fracción gruesa es menor que el tamiz N° 200)	Gravas (más de la mitad de la fracción gruesa es mayor que el tamiz N° 4)	Gravas Limpias (Pocos o ningún fino)	GW	Gravas bien graduadas, mezcladas gravosas, pocos o ningún fino.	$Cu=D60/D10>4$ $Cc=1<D230/D10*D60<3$	
			GP	Gravas pobremente graduadas, mezcladas grava-arena, pocos o ningún fino.	No cumplir todos los requisitos de gradación para GW	
		Gravas con finos (Cantidad apreciable de finos)	GM	Gravas limosas, mezcla grava-arena-limo.	Límite de Atterberg por debajo de la línea A ó $Ip<4$	A los materiales sobre la línea A con $4<Ip<7$ se considera de frontera y se les asigna doble símbolo
			GC	Gravas arcillosas, mezcla grava-arena-arcilla.	Límite de Atterberg por encima de la línea A ó $Ip>7$	
	Arenas (más de la mitad de la fracción gruesa es menor que el tamiz N°4)	Arenas Limpias (Poco o ningún fino)	SW	Arenas bien graduadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino.	$Cu=D60/D10>6$ $Cc=1<D230/D10*D60<3$	
			SP	Arenas pobremente graduadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino.	No cumplir todos los requisitos de gradación para SW	
		Arenas con finos (Cantidad apreciable de finos)	SM	Arenas limosas, mezclas arena-limo.	Límite de Atterberg por debajo de la línea A ó $Ip < 4$	Si el material esta con $4<Ip<7$ se considera de frontera y se les asigna doble símbolo.
			SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.	Límite de Atterberg por encima de la línea A ó $Ip > 7$	
Suelos de grano fino (más del 50 % del material pasa el tamiz N° 200)	Limos y arcillas (límite líquido WL < 50)		ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas con poca plasticidad.	1. Determinar el porcentaje de arenas y gravas de la curva de granulometría. 2. Dependiendo del porcentaje de fino (fracción menor que el tamiz N° 200) los suelos gruesos se clasifican como sigue: Menos del 5% - GW, GP, SW, SP Más del 12% - GM, GC, SM, SC De 5 a 12% - Casos de frontera que requieren doble símbolo.	
			CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a mediana, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.		
			OL	Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad		
	Limos y arcillas (límite líquido WL > 50)		MH	Limos inorgánicos, suelos limosos arenosos finos, suelos elásticos.		
			CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas.		
			OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos.		
	Suelos altamente orgánicos		Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos.		

2) Ensayo de gravedad específica

La gravedad específica (Gs) se define como la relación entre la masa de una cantidad específica de sólidos del suelo, y la masa de la misma cantidad de agua desaireada, sin considerar los vacíos. La finalidad primordial de este ensayo fue obtener un valor preciso de la Gs de las partículas sólidas, un parámetro índice esencial para la determinación de las relaciones volumétricas-gravimétricas del suelo, como la relación de vacíos, porosidad y grado de saturación, esenciales para el análisis del comportamiento del suelo en diferentes condiciones.[18]

El procedimiento más común se basa en el método del picnómetro, generalmente aplicado a suelos de grano fino (limos y arcillas), como es el caso de los suelos a estudiar. La gravedad específica se calcula mediante la Ecuación 4. [18]

$$Gs = \frac{W_s * K}{W_s + W_{bw} - W_{bws}}$$

Ecuación 4

Donde:

Gs= Gravedad específica

K= Factor de corrección por temperatura

Ws = Peso del suelo seco

Wbw = Peso del picnómetro + agua

Wbws = Peso del picnómetro + agua + suelo

La TABLA XII sirve de referencia para los rangos y valores comunes de la gravedad específica (Gs) asociados a diversos tipos de suelos. Esta referencia fue crucial para comparar los datos obtenidos en las muestras amazónicas con los parámetros típicos de suelos, ya sean orgánicos o inorgánicos, permitiendo una interpretación más robusta de su composición.

TABLA XII.

VALORES TÍPICOS DE GRAVEDAD ESPECÍFICA.

TIPOS DE SUELO		**GRAVEDAD ESPECÍFICA (Gs)**
Inorgánico	Grava	2.65
	Arena gruesa a media	2.65
	Arena fina (limosa)	2.65
	Polvo de piedra y limo arenoso	2.67
Inorgánico	Arena algo arenosa	2.65
	Limo arenoso	2.65
	Limo	2.67 - 2.70

	Arena arcilla	2.70
	Limo arcillo arenoso	2.67
	Arcilla arenosa	2.70
	Arcilla limosa	2.75
	Arcilla	2.72 - 2.80
Orgánico	Limos con trazos de materia orgánica	2.30
	Lodos aluviales orgánicos	2.13 - 2.60
	Turba	1.50 - 2.15

El procedimiento se inició con la selección de una muestra representativa de 50 gramos del suelo, la cual previamente se tamizó por la malla Nº4 (4.75 mm) y se sometió a secado en el horno. Acto seguido, se determinó el peso del picnómetro lleno de agua hasta la marca en el recipiente para, posteriormente, retirar aproximadamente un tercio del agua e introducir la muestra de suelo seco con ayuda de un embudo. Luego, se completó el volumen con agua hasta la marca de calibración. Posteriormente, se agitó el picnómetro cuidadosamente para asegurar la completa desaireación y eliminación de burbujas de aire atrapadas entre las partículas de suelo y agua. Tras la desaireación, se registró la temperatura del contenido y se procedió a pesar el picnómetro con el suelo y el agua en su interior.

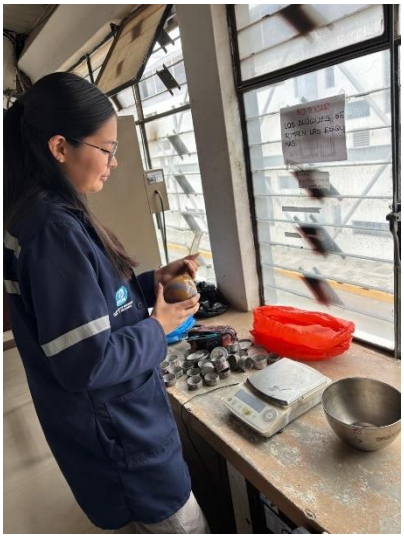


Fig. 13. Ensayo de gravedad específica de sólidos de los suelos.

Para obtener el peso del suelo seco, se vertió el contenido total del picnómetro en un recipiente, el cual se colocó en el horno durante 24 horas. Finalmente, con todos los datos gravimétricos obtenidos, se calculó la gravedad específica de las partículas sólidas del suelo, aplicando las correcciones necesarias por temperatura (TABLA XIII).

TABLA XIII.

FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA.

Temperature (°C)	Density	Temperature Coefficient (K)	Temperature (°C)	Density	Temperature Coefficient (K)	Temperature (°C)	Density	Temperature Coefficient (K)	Temperature (°C)	Density	Temperature Coefficient (K)
15.0	0.99910	1.00090	16.0	0.99895	1.00074	17.0	0.99878	1.00057	18.0	0.99860	1.00039
.1	0.99909	1.00088	.1	0.99893	1.00072	.1	0.99876	1.00055	.1	0.99858	1.00037
.2	0.99907	1.00087	.2	0.99891	1.00071	.2	0.99874	1.00054	.2	0.99856	1.00035
.3	0.99906	1.00085	.3	0.99890	1.00089	.3	0.99872	1.00052	.3	0.99854	1.00034
.4	0.99904	1.00084	.4	0.99888	1.00067	.4	0.99871	1.00050	.4	0.99852	1.00032
.5	0.99902	1.00082	.5	0.99886	1.00066	.5	0.99869	1.00048	.5	0.99850	1.00030
.6	0.99901	1.00080	.6	0.99885	1.00064	.6	0.99867	1.00047	.6	0.99848	1.00028
.7	0.99899	1.00079	.7	0.99883	1.00062	.7	0.99865	1.00045	.7	0.99847	1.00026
.8	0.99898	1.00077	.8	0.99881	1.00061	.8	0.99863	1.00043	.8	0.99845	1.00024
.9	0.99896	1.00076	.9	0.99879	1.00059	.9	0.99862	1.00041	.9	0.99843	1.00022
19.0	0.99841	1.00020	20.0	0.99821	1.00000	21.0	0.99799	0.99979	22.0	0.99777	0.99957
.1	0.99839	1.00018	.1	0.99819	0.99998	.1	0.99797	0.99977	.1	0.99775	0.99954
.2	0.99837	1.00016	.2	0.99816	0.99996	.2	0.99795	0.99974	.2	0.99773	0.99952
.3	0.99835	1.00014	.3	0.99814	0.99994	.3	0.99793	0.99972	.3	0.99770	0.99950
.4	0.99833	1.00012	.4	0.99812	0.99992	.4	0.99791	0.99970	.4	0.99768	0.99947
.5	0.99831	1.00010	.5	0.99810	0.99990	.5	0.99789	0.99968	.5	0.99766	0.99945
.6	0.99829	1.00008	.6	0.99808	0.99987	.6	0.99786	0.99966	.6	0.99764	0.99943
.7	0.99827	1.00006	.7	0.99806	0.99985	.7	0.99784	0.99963	.7	0.99761	0.99940
.8	0.99825	1.00004	.8	0.99804	0.99983	.8	0.99782	0.99961	.8	0.99759	0.99938
.9	0.99823	1.00002	.9	0.99802	0.99981	.9	0.99780	0.99959	.9	0.99756	0.99936
23.0	0.99754	0.99933	24.0	0.99730	0.99909	25.0	0.99705	0.99884	26.0	0.99679	0.99858
.1	0.99752	0.99931	.1	0.99727	0.99907	.1	0.99702	0.99881	.1	0.99676	0.99855
.2	0.99749	0.99929	.2	0.99725	0.99904	.2	0.99700	0.99879	.2	0.99673	0.99852
.3	0.99747	0.99926	.3	0.99723	0.99902	.3	0.99697	0.99876	.3	0.99671	0.99850
.4	0.99745	0.99924	.4	0.99720	0.99899	.4	0.99694	0.99874	.4	0.99666	0.99847
.5	0.99742	0.99921	.5	0.99717	0.99897	.5	0.99692	0.99871	.5	0.99665	0.99844
.6	0.99740	0.99919	.6	0.99715	0.99894	.6	0.99689	0.99868	.6	0.99663	0.99842
.7	0.99737	0.99917	.7	0.99712	0.99892	.7	0.99687	0.99866	.7	0.99660	0.99839
.8	0.99735	0.99914	.8	0.99710	0.99889	.8	0.99694	0.99873	.8	0.99657	0.99836
.9	0.99732	0.99912	.9	0.98707	0.99887	.9	0.99681	0.99860	.9	0.99654	0.99833
27.0	0.99652	0.99831	28.0	0.99624	0.99803	29.0	0.99595	0.99774	30.0	0.99585	0.99744
.1	0.99649	0.99628	.1	0.99621	0.99800	.1	0.99592	0.99771	.1	0.99562	0.99741
.2	0.99646	0.99825	.2	0.99618	0.99797	.2	0.99589	0.99768	.2	0.99559	0.99738
.3	0.99643	0.99822	.3	0.99615	0.99794	.3	0.99586	0.99765	.3	0.99556	0.99735
.4	0.99641	0.99820	.4	0.99612	0.99791	.4	0.99583	0.99762	.4	0.99553	0.99732
.5	0.99638	0.99817	.5	0.99609	0.99788	.5	0.99580	0.99759	.5	0.99550	0.99729
.6	0.99635	0.99814	.6	0.99607	0.99785	.6	0.99577	0.99756	.6	0.99547	0.99726
.7	0.99632	0.99811	.7	0.99604	0.99783	.7	0.99574	0.99753	.7	0.99544	0.99723
.8	0.99629	0.99808	.8	0.99601	0.99780	.8	0.99571	0.99750	.8	0.99541	0.99720
.9	0.99627	0.99806	.9	0.99598	0.99777	.9	0.99568	0.99747	.9	0.99538	0.99716

3) Límites de Atterberg

Estos límites, propuestos originalmente por el químico sueco Albert Atterberg, definieron los contenidos de humedad frontera en los cuales los suelos finos pasaban de un estado de consistencia a otro: líquido, plástico, semisólido y sólido. La determinación del Límite Líquido (LL) y el Límite Plástico (LP) fue fundamental, ya que permitió calcular el Índice de Plasticidad (IP). Estos parámetros índice fueron cruciales para clasificar las muestras de suelo dentro del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, permitiendo así predecir su comportamiento ingenieril en términos de plasticidad, compresibilidad y potencial de cambio volumétrico. [19]

a) Límite Líquido (LL)

El Límite Líquido se define como el contenido de humedad, expresado en porcentaje, en el punto de transición en donde el suelo fino pasa del estado plástico al estado líquido. La determinación de este límite fue fundamental ya que, a partir de este punto, el suelo posee una resistencia muy baja al esfuerzo cortante, siendo prácticamente nula su cohesión. Para la

ejecución de este ensayo se empleó el método de la copa de Casagrande, que se basó en el principio de percusión para estimar la resistencia al corte del suelo. [20]

El procedimiento se inició con la preparación de una muestra de suelo de 300 gramos, la cual previamente fue tamizada por el tamiz #40 y humedecida progresivamente con agua hasta alcanzar una consistencia pastosa. Se colocó una porción adecuada de esta pasta dentro de la copa de Casagrande, se comprimió y extendió para asegurar una profundidad adecuada en su punto más grueso. Posteriormente, se empleó un ranurador para trazar un surco definido que dividió la pasta en dos mitades, desde el punto más alto hasta el borde.



Fig. 14. Ensayo de Límite Líquido.

Acto seguido, se levantó y se dejó caer la copa girando la manivela a una velocidad controlada de dos golpes por segundo, hasta que las dos mitades de la pasta del suelo se unieron. Se registró el número de golpes necesarios para alcanzar este cierre. El procedimiento se repitió varias veces, ajustando el contenido de humedad, hasta obtener muestras cuyos números de golpes se encontraron dentro de los intervalos de 0 a 10, 10 a 20, 20 a 30 y 30 a 40.

Finalmente, se tomaron muestras representativas del punto donde se unieron ambas mitades divididas por el canal y se colocaron en recipientes de masa conocida, las cuales fueron llevadas al horno por 24 horas a una temperatura de 105°C ± 5°C. Con estos datos de humedad y el número de golpes, se construyó una gráfica de correlación para determinar el contenido de agua correspondiente a los 25 golpes, valor que se estableció como el Límite Líquido (LL) de la muestra.



Fig. 15. División para toma de muestras representativas.

b) Límite Plástico (LP)

El Límite Plástico (LP) se define como el contenido de humedad, expresado en porcentaje, que marcó la transición del material del estado semisólido al plástico. La determinación de este límite fue esencial ya que, junto con el Límite Líquido, permitió calcular el Índice de Plasticidad (IP), un parámetro clave para la clasificación del suelo y la predicción de su comportamiento ingenieril. [21]

El procedimiento se ejecutó tomando una muestra de suelo de 300 gramos, previamente tamizado por el tamiz #40, la cual fue mezclada con agua hasta lograr una consistencia adecuada que permitiera el moldeo sin adherencia. A partir de esta masa, se separó una porción de aproximadamente 1.5 a 2 gramos. Se manipuló esta porción, amasándola y procediendo a hacerla rodar sobre una placa de vidrio esmerilado (superficie de amasado) o la palma de la mano, aplicando una presión suave hasta formar un cilindro de entre 3 y 4 mm de diámetro y 5 cm de longitud. Estos cilindros se depositaron en un recipiente de masa conocida. Este procedimiento se replicó un mínimo de cuatro veces adicionales para obtener un total de cinco porciones individuales para el cálculo. Finalmente, los recipientes con las muestras se llevaron al horno por 24 horas para obtener el contenido de humedad. El Límite Plástico (LP) del suelo se estableció como el valor promedio de las humedades obtenidas de estas cinco determinaciones.



Fig. 16. Ensayo de Límite Plástico.

c) Índice de Plasticidad (IP)

El Índice de Plasticidad (IP) se define como el rango de consistencia, expresado como un valor numérico, en el que el suelo exhibió propiedades plásticas o se comportó como material moldeable. Este índice es una medida de la capacidad del suelo para desarrollar cohesión y un indicador fundamental de la cantidad y tipo de material fino presente. [22] Se calcula utilizando la siguiente expresión matemática:

$$IP = LL - LP$$

Ecuación 5

Donde:

IP= Índice de Plasticidad
LL= Límite Líquido
LP = Límite Plástico

4) Ensayo de permeabilidad

La permeabilidad del suelo se define como la capacidad intrínseca que tuvo el medio poroso para permitir el movimiento de flujo de agua a través de su estructura, siendo un parámetro fundamental para el estudio geotécnico. La finalidad de este ensayo fue la determinación del coeficiente de permeabilidad (k), un valor que cuantificó la velocidad con la que el agua pudo fluir bajo un gradiente hidráulico y que es indispensable para el diseño de cimentaciones,

sistemas de drenaje y proyectos de infraestructura hídrica. Es importante destacar que la viscosidad del fluido intersticial, principalmente agua, resultó ser un factor determinante en el valor de k. Se reconoció que el aumento de la temperatura genera una disminución de la viscosidad del agua, lo que consecuentemente se traduce en un incremento del coeficiente de permeabilidad y en una aceleración de la velocidad de flujo. Para la evaluación y contextualización de los resultados obtenidos, se utilizaron tablas de referencia (TABLA XIV y TABLA XV) que clasificaron la permeabilidad del material, abarcando desde suelos altamente conductivos hasta aquellos clasificados como impermeables.

TABLA XIV.

CLASIFICACIÓN DE PERMEABILIDAD DE LOS SUELOS.

Muy Permeables gruesa	Mayor de 10^{-1} Grava
Permeabilidad media	10^{-1} – 10^{-3} arenas, arenas finas
Baja Permeabilidad	10^{-3} – 10^{-5} Arenas limosas, sucia
Muy baja permeabilidad	10^{-5} – 10^{-7} limos
Impermeable	10^{-7} – 10^{-9} arcillas

Nota: P. Powers, A. Corwin, P. Schmall, W. Kaeck. [23]

TABLA XV.

RANGOS DE PERMEABILIDAD SEGUN EL TIPO DE SUELO.

TIPO DE SUELO	RANGO DE PERMEABILIDAD (cm/s)	DESCRIPCIÓN
Grava dispersa (GP)	1,0 o mayor	Muy alta
Grava uniforme (GP)	2×10^{-1} a 1,0	Alta
Grava bien graduada (GW)	5×10^{-2} a 3×10^{-1}	Moderadamente alta
Arena uniforme (SP)	5×10^{-3} a 2×10^{-1}	Moderadamente alta
Arena bien graduada (SW)	1×10^{-3} a 1×10^{-1}	Baja a moderada
Arena limosa (SM)	1×10^{-3} a 5×10^{-3}	Baja a moderada
Arena arcillosa (SC)	1×10^{-4} a 1×10^{-3}	Baja a muy baja
Limo (ML)	5×10^{-5} a 1×10^{-4}	Muy baja
Arcilla (CL)	1×10^{-8} a 1×10^{-5}	Muy baja a casi impermeable

Nota: Soil Mechanics in Engineering Practice Karl Terzaghi.

El procedimiento se llevó a cabo con muestras de suelo que pasaron el tamiz # 16 y se inició tomando las dimensiones internas del permeámetro (diámetro y altura). En la base del permeámetro se colocó una de las dos piedras porosas, previamente lavabas. Posteriormente, la muestra de suelo se compactó en tres capas de espesor uniforme dentro del molde. Cada capa se compactó mediante un pistón con un número de golpes predefinido (10, 14 y 18 golpes,

respectivamente), para alcanzar una densidad uniforme y representativa de las condiciones de campo. Sobre la última capa se colocó la piedra porosa superior y el conjunto se selló con un resorte de confinamiento. Se procedió a la saturación total de la muestra con agua, y se midió con un flexómetro la altura de carga hidráulica, la cual se mantuvo constante durante todo el ensayo. Una vez establecida la condición de flujo estable, se abrió la válvula para permitir el paso del agua. Utilizando un cronómetro, se midió el tiempo que tardó en recolectarse un volumen de 5 ml de agua en una probeta graduada. Adicionalmente, se registró la temperatura del agua para aplicar las correcciones por viscosidad necesarias.



Fig. 17. Ensayo de permeabilidad.

Finalmente, el coeficiente de permeabilidad (k) se calculó con la Ley de Darcy para carga constante, empleando la Ecuación 6.

$$k = \frac{V * L}{A * h * t}$$

Ecuación 6

Donde:

k= Coeficiente de permeabilidad.

V= Volumen de agua.

A= Área transversal de la muestra.

h= Altura de carga hidráulica.

t= Tiempo en segundos.

B. FASE II

La segunda fase de la metodología se centró en la evaluación cuantitativa de la respuesta mecánica de los suelos amazónicos, cumpliendo con el segundo objetivo específico de la investigación. Este análisis se llevó a cabo mediante la determinación del Índice de Soporte de California (CBR) en las muestras de suelo. Inicialmente, fue necesario ejecutar el ensayo de proctor modificado tipo B para establecer los parámetros óptimos de compactación (humedad y densidad seca máxima) requeridos para la preparación de las probetas de CBR. Finalmente, la comparación de los valores de CBR obtenidos en ambas condiciones permitió cuantificar directamente la alteración en la capacidad portante y la estabilidad del suelo inducida por el estrés térmico.

1) Proctor modificado Tipo B

El objetivo fundamental de este ensayo es establecer la relación óptima entre la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo de un material granular, utilizando una energía de compactación alta y predefinida. La determinación de estos valores es esencial en ingeniería civil, ya que sirven como referencia para el control de calidad en obra y el diseño de la capacidad portante. Dado que la compactación incrementa la resistencia al corte y reduce la compresibilidad y permeabilidad del suelo, este estudio es imprescindible para caracterizar la respuesta geotécnica del material amazónico. [24]

El procedimiento se inició con el tamizado y la preparación de una muestra inicial de 24 kilogramos de suelo seco, la cual pasó completamente por el tamiz Nº4. Esta cantidad total se dividió en cuatro porciones individuales, de 6 kilogramos cada una. El proceso experimental comenzó con la primera porción, a la cual se le agregó una cantidad específica de agua, mezclándola hasta obtener una consistencia homogénea. Esta porción fue dividida equitativamente en cinco capas y se colocó secuencialmente en el molde cilíndrico del proctor (con el collarín instalado). Cada una de las cinco capas se compactó con 56 golpes del martillo. Finalizada la compactación, se retiró el collarín y se enrasó el material compactado al borde del molde, procediendo a pesar el conjunto. Se extrajeron dos porciones pequeñas de la muestra compactada (una de la parte superior y otra de la inferior) para ser llevadas al horno por 24 horas y determinar el contenido de humedad. Este procedimiento se replicó para las tres porciones restantes, incrementando el porcentaje de agua en cada una para generar un rango de humedades.



Fig. 18. Ensayo Proctor Modificado Tipo B.

Finalmente, con los datos de densidad seca y contenido de humedad se graficó la curva de compactación, cuyo punto más alto representó la densidad seca máxima y la humedad óptima de compactación.

2) Ensayo CBR

El Ensayo de Índice de Soporte de California (CBR) se estableció como una prueba de penetración fundamental en la ingeniería civil, siendo un indicador crucial de la capacidad de soporte y la resistencia al corte de subrasantes, subbases y bases granulares. La finalidad de este ensayo es cuantificar la resistencia de un suelo a la penetración de un pistón estandarizado de 3 pulgadas cuadradas de área, a una velocidad uniforme de 0.05 pulgadas/min, hasta alcanzar una deformación máxima de 0.5 pulgadas. Los datos obtenidos de esta prueba, expresados como un porcentaje de las cargas estándar aplicadas a una roca triturada de referencia, se calculan mediante la Ecuación 7. [25]

$$CBR = \frac{Carga\ unitaria\ del\ ensayo}{Carga\ unitaria\ patrón} * 100$$

Ecuación 7

La relevancia del valor CBR radica en su capacidad para clasificar la calidad del material y determinar su uso. A continuación, se presenta una tabla de referencia, para contextualizar la clasificación del suelo en función de los rangos típicos de CBR.

TABLA XVI.

CLASIFICACIÓN DEL SUELO SEGÚN EL VALOR DE CBR.

CBR	CLASIFICACIÓN	USO
0 - 5	Muy mala	Subrasante
5 - 10	Mala	Subrasante
11 - 20	Regular – Buena	Subrasante
21 - 30	Excelente	Subrasante
31 - 50	Buena	Base
51 - 80	Buena	Base
81 - 100	Excelente	Base

Nota: Badillo y Rodríguez 1975.

El procedimiento para la determinación del CBR requirió la preparación de tres muestras representativas del suelo por cada condición a analizar (natural y tratado térmicamente), utilizando la humedad óptima determinada previamente en el ensayo proctor modificado. La muestra de suelo fue mezclada con el porcentaje de agua adecuado para alcanzar esta humedad óptima. La compactación de cada suelo se realizó directamente en los moldes cilíndricos, dividiendo la mezcla en cinco capas de espesor equitativo. Cada capa fue compactada con un número de golpes específico con el martillo de proctor, que varió entre las tres muestras (56, 27 y 11 golpes, respectivamente). Finalizada la compactación de cada muestra, se extrajeron pequeñas cantidades de suelo de la parte superior e inferior para determinar su contenido de humedad final antes de cualquier alteración adicional, y se colocaron en recipientes para ser llevadas al horno por 24 horas. Luego, se pesó el molde con el suelo compactado para obtener los datos gravimétricos iniciales. Para simular condiciones de saturación crítica, los moldes con las muestras se armaron con los discos espaciadores, placas perforadas y anillos de sobrecarga ranurada y anular. Una vez armados, fueron sumergidos en agua por un periodo de cuatro días.



Fig. 19. Muestras sumergidas en agua durante cuatro días.

Transcurrido el periodo de inmersión, las muestras se retiraron del agua, se les permitió drenar durante 30 minutos y se pesaron nuevamente. Finalmente, para el ensayo de penetración, cada muestra fue colocada en la prensa de penetración, donde se aplicó una carga a una velocidad constante. Se registraron cuidadosamente los valores de la carga aplicada para las penetraciones clave. Nuevamente, se recolectaron muestras de suelo para calcular el contenido de humedad final. La comparación de las presiones obtenidas con las presiones estándar de referencia para las penetraciones de 2.54 mm y 5.08 mm se utilizó para calcular el valor final del CBR.

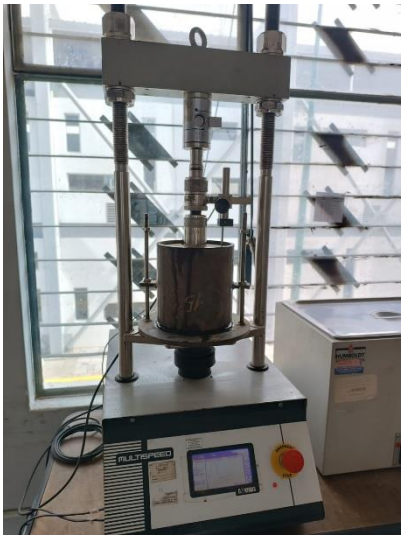


Fig. 20. Ensayo CBR.

C. FASE III

Esta última fase de la metodología se concentró en la evaluación cualitativa de la inflamabilidad de los suelos amazónicos. Dada la escasez de ensayos de inflamabilidad diseñados específicamente para suelos, el protocolo experimental se fundamentó en la norma NTE INEN-ISO 11925-2 como referencia. Este enfoque fue adoptado para evaluar la reacción al fuego de las muestras de suelo, proporcionando información esencial sobre su susceptibilidad y comportamiento térmico. La caracterización de este atributo fisicoquímico del suelo es indispensable para predecir el comportamiento del material ante eventos ígneos, contribuyendo a afianzar el conocimiento de la interacción suelo-fuego mediante la observación y descripción de las transformaciones físicas visibles.

1) Inflamabilidad del suelo

El objetivo principal de este estudio fue evaluar la respuesta termoquímica de distintas muestras de suelo bajo condiciones de exposición simulada a fuego. El protocolo experimental se diseñó para replicar las condiciones de un incendio, permitiendo registrar tres variables clave en los materiales estudiados:

- Grado de inflamabilidad: Identificación de la presencia y características de la combustión superficial directa.
- Tiempo de calentamiento: Registro del tiempo exacto requerido para que el material alcanzara la temperatura crítica de 750°C al ser sometido a la fuente de calor.
- Alteraciones físicas inducidas: Documentación rigurosa de los cambios morfológicos observados, incluyendo variaciones de color, textura y la producción de humo.

El procedimiento se inició con la preparación y tamizado de las muestras. Se recolectó una cantidad de aproximadamente 1000 gramos de cada tipo de suelo, previamente tamizada y asegurada en estado seco para garantizar condiciones experimentales consistentes. Esta porción representativa se depositó y se distribuyó homogéneamente sobre una bandeja metálica utilizada como soporte térmico. El calentamiento se inició mediante el uso de un quemador de gas (soplete), cuya intensidad se ajustó mediante el control del flujo para mantener una fuente de calor estable. El registro del tiempo se activó en el instante preciso en que el material entró en contacto con la llama. De manera simultánea, se utilizó un instrumento de medición térmica para monitorear el ascenso de la temperatura. El ensayo finalizó cuando el termómetro alcanzó los 750°C. Durante este proceso, se registró el tiempo transcurrido y se realizó una observación continua de la superficie del suelo para documentar cualquier indicio de combustión directa o transformaciones físicas visibles. Los datos de tiempo, temperatura y los cambios morfológicos observados fueron registrados rigurosamente para su posterior análisis y clasificación cualitativa. [26]

CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

I. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A. ANÁLISIS DEL ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

1) Granulometría de la parroquia Pano

TABLA XVII.

RESULTADOS DEL ENSAYO DE GRANULOMETRÍA - PARROQUIA PANO.

PARROQUIA	PANO			
MUESTRA	GRAVA %	ARENA %	FINOS %	CLASIFICACIÓN SUCS
ESTADO NATURAL	3.79	88.13	8.07	SC (Arena Arcillosa)
750°C	2.57	91.21	6.23	SC (Arena Arcillosa)

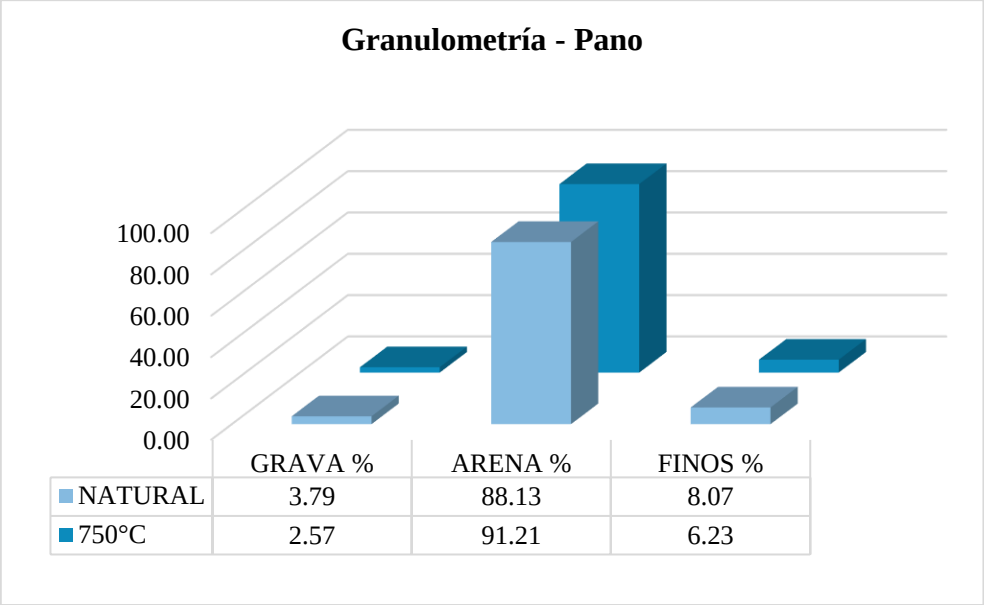


Fig. 21. Resultados del análisis granulométrico de la muestra en estado natural vs 750º - Pano.

Los resultados del análisis granulométrico para la muestra de la parroquia Pano (Tabla XVII) revelaron que el material en su estado natural se clasificó como SC (Arena Arcillosa), con una composición textural dominada por la fracción arena (88.13%), un bajo contenido de finos (8.07%) y una mínima presencia de grava (3.79%). Esta clasificación inicial indicó que el suelo posee características cohesivas debido a la arcilla presente en la fracción fina, pero su comportamiento está predominantemente controlado por la fracción granular (arena). Tras la exposición al estrés térmico de 750ºC, se observaron cambios mínimos en la distribución granulométrica, aunque significativos en términos de clasificación. El contenido de arena se

incrementó ligeramente a 91.21%, mientras que las fracciones de grava y finos disminuyeron a 2.57% y 6.23% respectivamente. A pesar de estas variaciones en los porcentajes, la clasificación SUCS se mantuvo en SC. La estabilidad de la clasificación del grupo principal sugirió que el calor no generó una desintegración o microagregación masiva de las partículas granulares, pero la disminución de la fracción de finos post-exposición térmica (8.07% a 6.23%) podría estar relacionada con la combustión de la materia orgánica y una ligera alteración de la mineralogía arcillosa, procesos que afectan la plasticidad y la capacidad de cohesión del material, aspectos que se verificarán con los límites de Atterberg.

2) Granulometría de la parroquia Muyuna

TABLA XVIII.

RESULTADOS DEL ENSAYO DE GRANULOMETRÍA - PARROQUIA MUYUNA.

PARROQUIA	**MUYUNA**			
MUESTRA	**GRAVA %**	**ARENA %**	**FINOS %**	**CLASIFICACIÓN SUCS**
ESTADO NATURAL	2.18	88.86	8.96	SM (Arena Limosa)
750°C	1.39	85.76	12.85	SM (Arena Limosa)

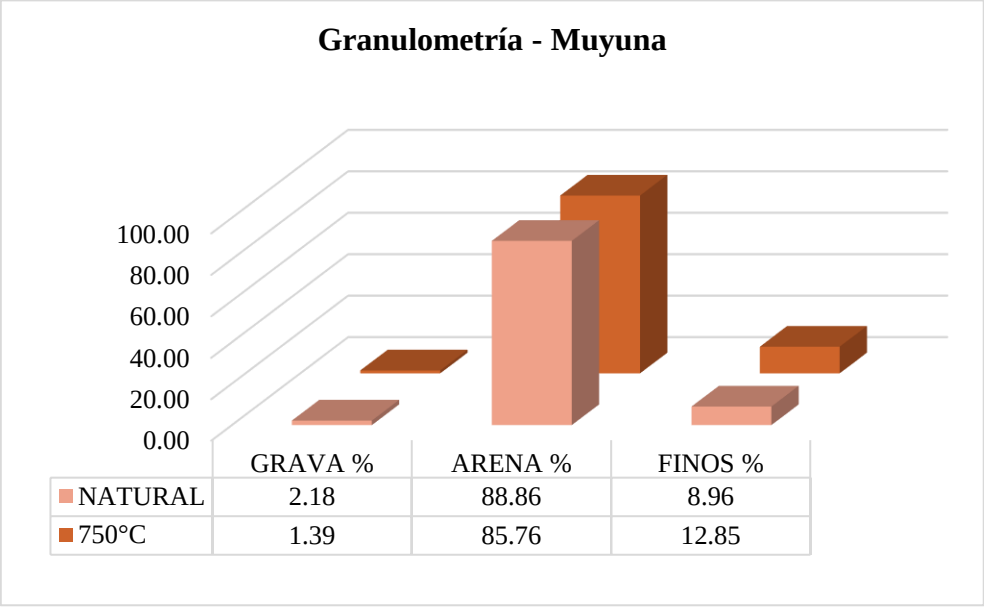


Fig. 22. Resultados del análisis granulométrico de la muestra en estado natural vs 750º - Muyuna.

La Tabla XVIII presenta el análisis granulométrico de la muestra de la parroquia Muyuna que en su estado natural indicó que este suelo se clasificó como SM (Arena Limosa), lo cual sugiere un predominio de la fracción arena y la presencia de finos con un comportamiento no plástico o de baja plasticidad. La composición del material se distribuyó de la siguiente manera:

88.86% de arena, 8.96% de finos y 2.18% de grava. Tras la exposición a la alta temperatura de 750ºC, el material experimentó una modificación en la proporción de sus fracciones. El contenido de arena decreció a 85.76%, la grava se redujo a 1.39%, mientras que la fracción de finos mostró un incremento notable hasta alcanzar el 12.85%. La clasificación SUCS para el material tratado térmicamente se mantuvo en SM. El incremento en el porcentaje de finos post-calentamiento (de 8.96% a 12.85%) fue un hallazgo significativo que se opuso a la tendencia de la muestra de Pano, y que se pudo atribuir a la microagregación o fracturación de partículas de arena o grava por el choque térmico, lo que incrementó la cantidad de material más fino que pasó el tamiz #200. Esta microagregación, que podría estar asociada a la formación de pseudo-texturas, es un fenómeno conocido en suelos con alto contenido de sílice o bajo impacto de material orgánico, afectando potencialmente la permeabilidad y la compactabilidad del suelo.

3) Granulometría de la parroquia Puerto Napo

TABLA XIX.

RESULTADOS DEL ENSAYO DE GRANULOMETRÍA - PARROQUIA PUERTO NAPO.

PARROQUIA	**PUERTO NAPO**			
MUESTRA	**GRAVA %**	**ARENA %**	**FINOS %**	**CLASIFICACIÓN SUCS**
ESTADO NATURAL	5.64	80.10	14.26	SM (Arena Limosa)
750°C	1.52	85.13	13.35	SM (Arena Limosa)

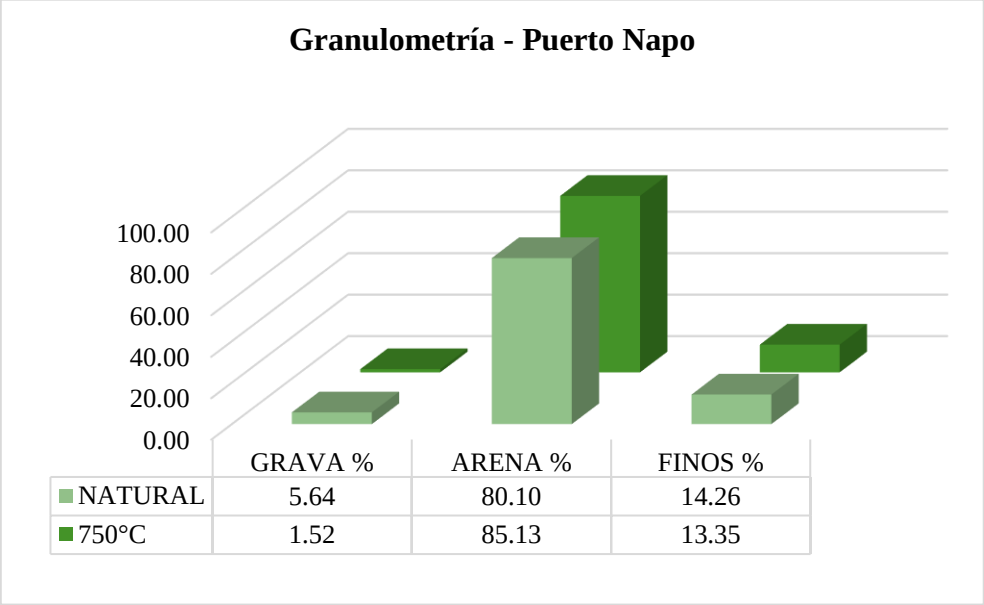


Fig. 23. Resultados del análisis granulométrico de la muestra en estado natural vs 750º - Puerto Napo

La muestra de la parroquia Puerto Napo (Tabla XIX) en su estado natural presentó una clasificación SM, similar a la muestra de Muyuna. La composición textural inicial se caracterizó por un 80.10% de arena, un 14.26% de finos y un 5.64% de grava. Este porcentaje de finos es el más alto de las tres muestras en su estado natural, situándolo en el límite superior de los suelos de grano grueso, lo cual implica que la fracción fina podría tener una influencia más marcada en la plasticidad. Al someter la muestra a la temperatura de 750ºC, se observó un patrón de cambio menos drástico que en Muyuna. Específicamente, la fracción de arena aumentó a 85.13% y la grava se redujo a 1.52%. El contenido de finos disminuyó ligeramente de 14.26% a 13.35%, manteniendo la clasificación SM. La reducción de la fracción de finos post-exposición térmica se alineó con el comportamiento de la muestra de Pano, sugiriendo que la quema de la materia orgánica o la deshidratación de minerales arcillosos superó cualquier efecto de fracturación de partículas. A pesar de la variación en los porcentajes, la persistencia del suelo en la clasificación SM en ambas condiciones subraya la estabilidad de su esqueleto granular.

B. ANÁLISIS DEL ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

1) Gravedad específica de la parroquia Pano

TABLA XX.

RESULTADOS DEL ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA - PARROQUIA PANO.

PARROQUIA	**PANO**
MUESTRA	**GRAVEDAD ESPECÍFICA**
ESTADO NATURAL	1.947
750°C	1.919

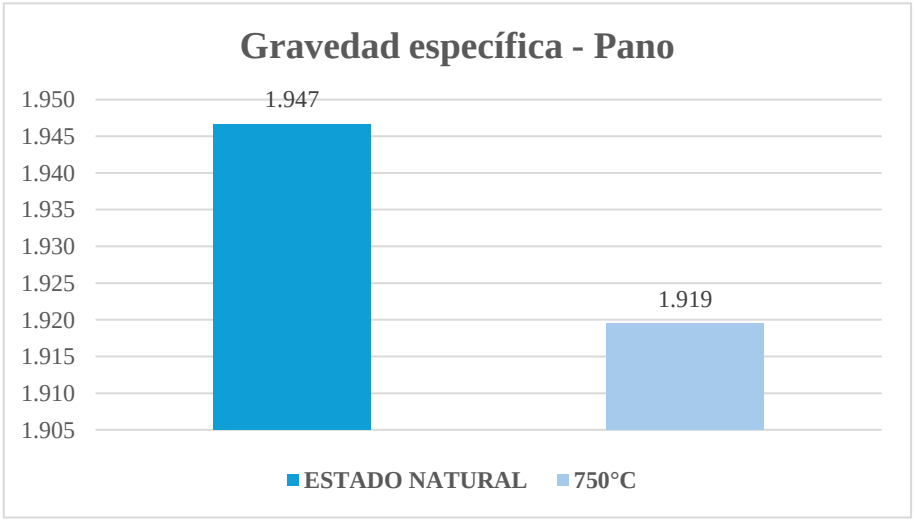


Fig. 24. Gravedad específica de la muestra en estado natural vs 750º - Parroquia Pano.

La Tabla XX muestra que, en su estado natural, el suelo presentó un valor de Gs de 1.947. Este valor se situó notablemente por debajo del rango típico de suelos inorgánicos, pero es consistente con suelos con un alto componente de materia orgánica, ya que entra dentro del rango 1.50 – 2.15 perteneciente al tipo de suelo turba.

Tras la exposición a la temperatura extrema de 750ºC, se registró una gravedad específica de 1.919, lo que representa una disminución de 0.028 respecto a su estado natural. La teoría geotécnica predice un aumento de la Gs debido a la combustión de la materia orgánica y la eliminación de agua. La disminución observada sugirió que el calor extremo pudo haber provocado una reorganización o una expansión permanente de las partículas con porosidad interna, un fenómeno característico de materiales con estructuras porosas, lo que resultó en un aumento del volumen del grano y, por lo tanto, en una menor densidad aparente, contrarrestando así el efecto de la pérdida de masa por combustión. El material tratado se mantuvo dentro del rango de suelos orgánicos, reflejando la persistente baja densidad de sus partículas sólidas.

2) Gravedad específica de la parroquia Muyuna

TABLA XXI.

RESULTADOS DEL ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA - PARROQUIA MUYUNA.

PARROQUIA	**MUYUNA**
MUESTRA	**GRAVEDAD ESPECÍFICA**
ESTADO NATURAL	2.415
750°C	2.585

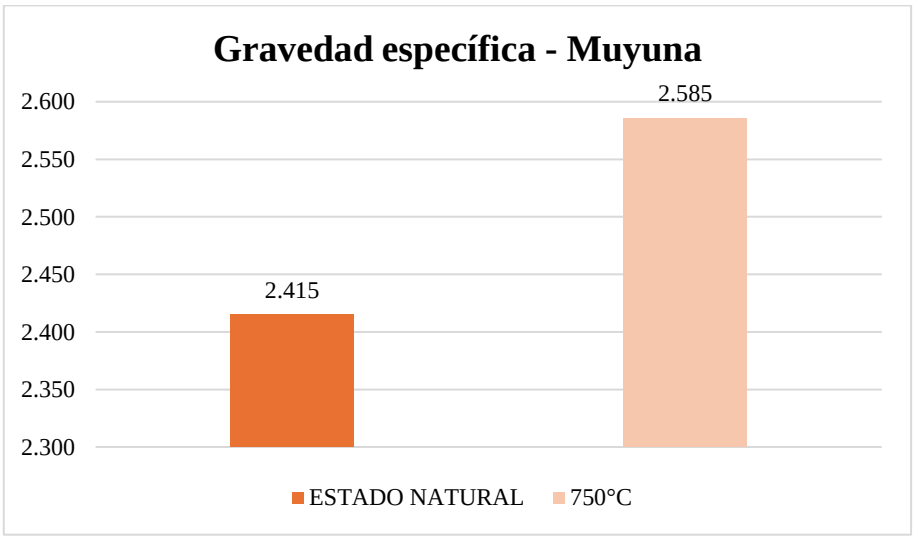


Fig. 25. Gravedad específica de la muestra en estado natural vs 750º - Parroquia Muyuna.

La muestra de la parroquia Muyuna (Tabla XXI) indicó que, en su estado natural, el suelo presentó un valor de 2.415. Al contrastar este resultado con los valores de la TABLA XII, se pudo ubicar a este suelo dentro de la categoría de suelos orgánicos, dentro del rango de lodos aluviales orgánicos (2.13 - 2.60). Este valor inferior a la media inorgánica sugirió la presencia de componentes de baja densidad, probablemente materia orgánica o minerales ligeros.

Después de la exposición a la temperatura extrema de 750ºC, la gravedad específica aumentó a 2.585, lo que representó un incremento de 0.017 con respecto a su condición natural. El ascenso de este valor se pudo atribuir a la pérdida irreversible de masa por la combustión total de la materia orgánica y la eliminación del agua molecular. Estos procesos dejaron atrás un esqueleto mineral más denso, eliminando los componentes más ligeros de la fase sólida y, por lo tanto, aumentando el valor de la gravedad específica, manteniendo la clasificación del material dentro del rango de suelos orgánicos.

3) Gravedad específica de la parroquia Puerto Napo

TABLA XXII.

RESULTADOS DEL ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA - PARROQUIA PUERTO NAPO.

PARROQUIA	**PUERTO NAPO**
MUESTRA	**GRAVEDAD ESPECÍFICA**
ESTADO NATURAL	2.562
750°C	2.493

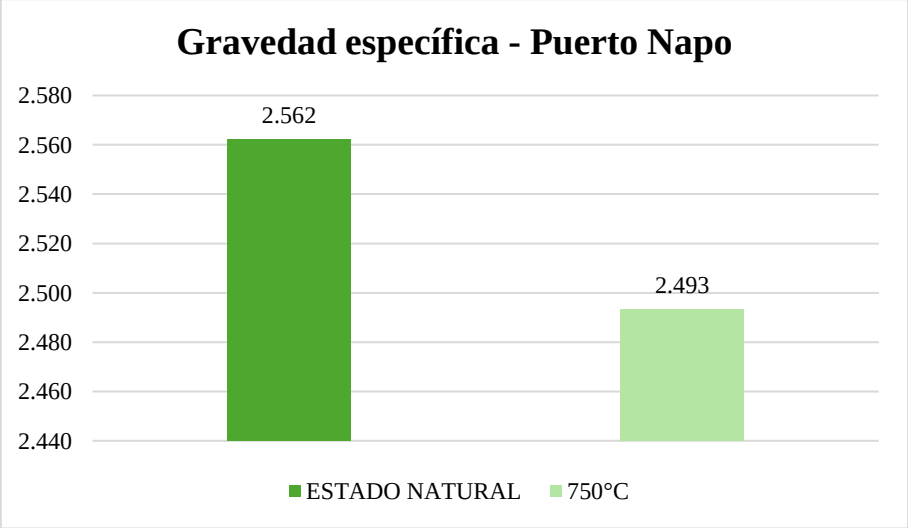


Fig. 26. Gravedad específica de la muestra en estado natural vs 750º - Parroquia Puerto Napo.

El análisis de la muestra de Puerto Napo (Tabla XXII) evidenció que, en su estado natural, el suelo registró un valor de 2.562. Este valor, al igual que las otras muestras, se ubicó en la categoría de suelos orgánicos, pero se acercó más al límite de los suelos inorgánicos (2.65), lo cual puede interpretarse como un menor contenido de materia orgánica volátil en comparación con las muestras de Pano y Muyuna en estado natural.

Al someter el material a la temperatura extrema de 750ºC, la gravedad específica disminuyó a 2.493, registrando una reducción de 0.069 con respecto a su estado natural. Esta disminución también contradijo la tendencia de aumento de Gs esperada por la combustión, y fue incluso más pronunciada que la observada en Pano. Este comportamiento sugirió que, a pesar de que el suelo tenía un valor de Gs natural más alto, la intensa energía térmica provocó un efecto de dilatación estructural o microfisuración más severo en sus partículas. La magnitud de la reducción indicó que, en Puerto Napo, los procesos de expansión interna de los granos porosos, dominaron sobre la pérdida de masa por oxidación, resultando en una menor densidad aparente de la partícula.

En comparación con las otras muestras, esta fue la que experimentó el mayor cambio negativo en la densidad de sus sólidos, manteniendo la clasificación de suelos orgánicos por su baja densidad.

C. ANÁLISIS DE LOS LÍMITES DE ATTERBERG

1) Límites de Atterberg de la parroquia Pano

TABLA XXIII.

RESULTADOS DE LOS LÍMITES DE ATTERBERG - PARROQUIA PANO.

PARROQUIA	**PANO**		
MUESTRA	**Límite Líquido**	**Límite Plástico**	**Índice de Plasticidad**
ESTADO NATURAL	61.18	56.58	4.59
750°C	52.31	48.39	3.92

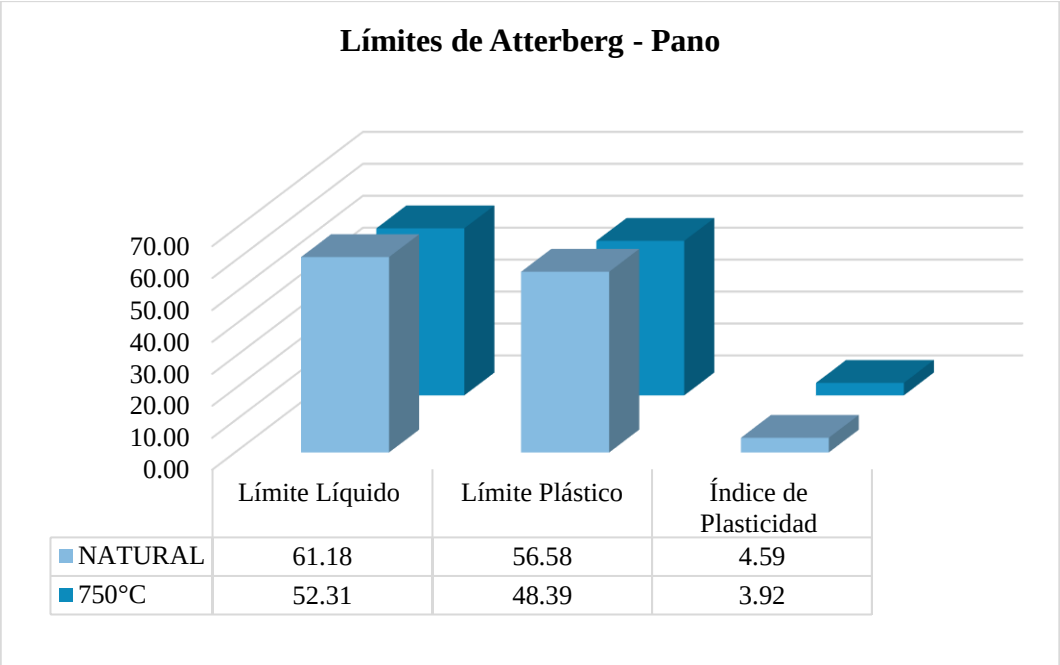


Fig. 27. Límites de Atterberg de la muestra en estado natural vs 750º - Parroquia Pano.

La Tabla XXIII indica que, en su estado natural, el suelo mostró un Límite Líquido (LL) de 61.18% y un Límite Plástico (LP) de 56.58%, resultando en un Índice de Plasticidad (IP) bajo de 4.59%. Tras la exposición a 750ºC, se observó una reducción significativa en ambos límites, LL a 52.31% y LP a 48.39%. El parámetro clave, el Índice de Plasticidad, disminuyó a 3.92%. Esta pérdida de 0.67 puntos porcentuales confirmó que la energía térmica comprometió irreversiblemente la capacidad de las partículas coloidales para retener agua y manifestar plasticidad. La reducción en el IP se atribuyó a la deshidratación de minerales arcillosos y a la oxidación de la materia orgánica, eliminando los principales agentes cohesivos del suelo. La comparación entre los valores del IP en condición natural y post-tratamiento demostró que, aunque el suelo era inicialmente poco plástico, el calor redujo su rango de plasticidad en un 14.6%, un cambio significativo que implica una menor cohesión y mayor fragilidad en el material.

2) Límites de Atterberg de la parroquia Muyuna

TABLA XXIV.

RESULTADOS DE LOS LÍMITES DE ATTERBERG - PARROQUIA MUYUNA.

PARROQUIA	**MUYUNA**		
MUESTRA	**Límite Líquido**	**Límite Plástico**	**Índice de Plasticidad**
ESTADO NATURAL	46.38	42.51	3.87
750°C	32.37	28.86	3.51

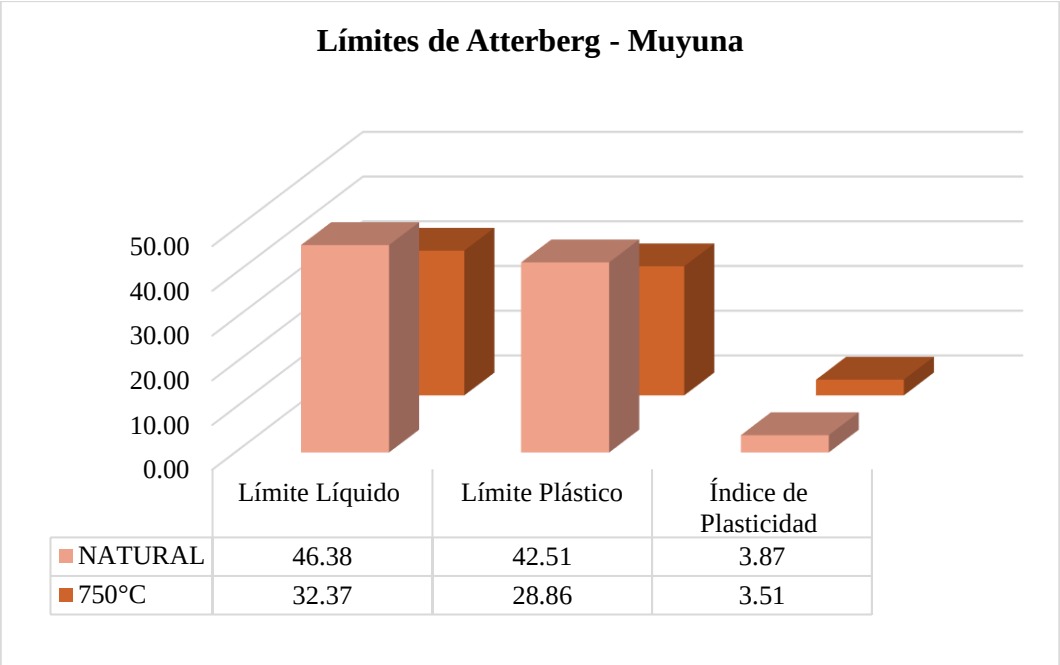


Fig. 28. Límites de Atterberg de la muestra en estado natural vs 750º - Parroquia Muyuna.

La determinación de los Límites de Atterberg para la muestra de Muyuna (Tabla XXIV) reveló un material con baja plasticidad en su estado natural, registrando un LL de 46.38% y un LP de 42.51%, lo que resultó en un IP de 3.87%. Esta característica es consistente con la clasificación granulométrica SM (Arena Limosa) y su alto componente arenoso. Tras someter la muestra a la temperatura de 750ºC, se observó una reducción marcada en ambos límites, LL a 32.37% y LP a 28.86%. El Índice de Plasticidad resultante fue de 3.51%, lo que representó una disminución del 9.30%. A pesar de que el análisis granulométrico para esta muestra indicó un aumento en la fracción fina después del calentamiento (lo que teóricamente podría aumentar la plasticidad), la drástica pérdida de actividad cohesiva de las partículas arcillosas fue el factor dominante, resultando en un menor rango de plasticidad.

3) Límites de Atterberg de la parroquia Puerto Napo

TABLA XXV.

RESULTADOS DE LOS LÍMITES DE ATTERBERG - PARROQUIA PUERTO NAPO.

PARROQUIA	**PUERTO NAPO**		
MUESTRA	**Límite Líquido**	**Límite Plástico**	**Índice de Plasticidad**
ESTADO NATURAL	29.27	25.67	3.60
750°C	26.72	25.38	1.34

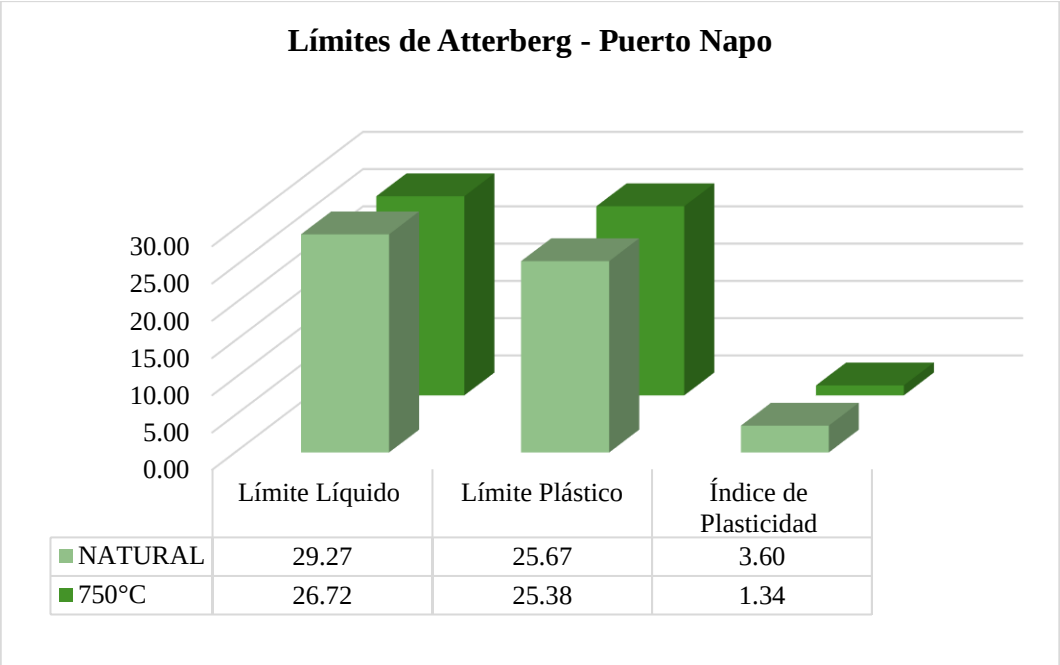


Fig. 29. Límites de Atterberg de la muestra en estado natural vs 750º - Parroquia Puerto Napo.

La Tabla XXV mostró que el suelo de la muestra de Puerto Napo, en su estado natural, tuvo un Límite Líquido de 29.27% y un Límite Plástico de 25.67%, lo que generó un Índice de Plasticidad bajo de 3.60%. Este valor fue el más bajo entre las tres muestras en su condición natural, reflejando el menor potencial cohesivo del material y una tendencia hacia un comportamiento predominantemente limoso/arenoso.

Al ser expuesto a la temperatura de 750ºC, el suelo experimentó una reducción crítica en sus propiedades plásticas: el LL disminuyó a 26.72% y el LP a 25.38%. El Índice de Plasticidad resultante fue de 1.34%, lo que representó una pérdida de 2.26 puntos porcentuales y una reducción porcentual del 62.78% en su rango de plasticidad. Esta magnitud de pérdida fue significativamente mayor en comparación con las muestras de Pano (14.6%) y Muyuna (9.30%). La severa disminución del IP en la muestra de la parroquia Puerto Napo indicó que el calor destruyó de manera casi total los pocos agentes cohesivos presentes (materia orgánica residual y minerales arcillosos de baja actividad), resultando en un material que se comportó prácticamente como no plástico después del tratamiento térmico, lo que implica una pérdida de cohesión crítica para la estabilidad estructural.

D. ANÁLISIS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD

1) *Permeabilidad de la parroquia Pano*

TABLA XXVI.

RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD - PARROQUIA PANO.

PARROQUIA	**PANO**		
MUESTRA	**C. Permeabilidad en temperatura de trabajo(cm/s)**	**C. Permeabilidad en temperatura estándar (cm/s)**	**Tipo de permeabilidad**
ESTADO NATURAL	3.14E-05	3.07E-05	Baja permeabilidad
750°C	5.81E-05	5.17E-05	Baja permeabilidad

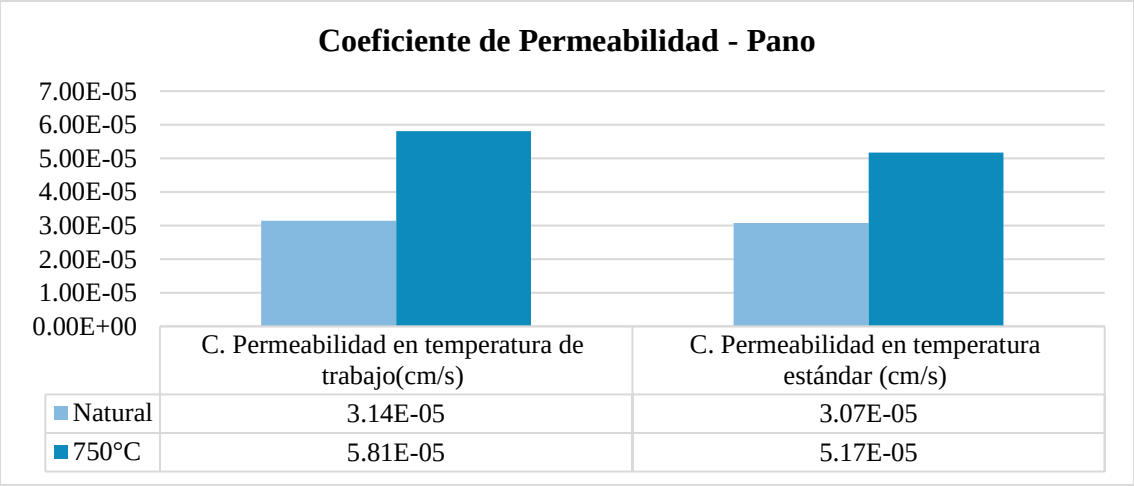


Fig. 30. Permeabilidad de la muestra en estado natural vs 750º - Parroquia Pano.

Los resultados de la TABLA XXVI revelaron que, en su estado natural, el valor k corregido a temperatura estándar fue de 3.07E-05 cm/s, con un tiempo de infiltración de 395 segundos. Este valor se clasificó como de baja permeabilidad siendo consistente con su clasificación granulométrica SC (Arena Arcillosa), donde la presencia de finos (arcilla) tiende a reducir la conductividad hidráulica. Tras la exposición a la temperatura de 750ºC, el valor k aumentó a 5.17E-05 cm/s, lo que representó un incremento del 68.39%. La disminución del tiempo de infiltración de 395 segundos a 202 segundos confirmó que la velocidad de flujo del agua se incrementó significativamente. Este aumento en la conductividad hidráulica se atribuyó a la combustión de la materia orgánica resultando en la apertura y mejora de la conectividad de los poros, lo cual facilitó el paso del fluido y se tradujo en un coeficiente de permeabilidad mayor. El material tratado se mantuvo en la clasificación de baja permeabilidad, pero con una mejor capacidad de drenaje en comparación con su estado natural.

2) Permeabilidad de la parroquia Muyuna

TABLA XXVII.

RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD - PARROQUIA MUYUNA.

PARROQUIA	**MUYUNA**		
MUESTRA	**C. Permeabilidad en temperatura de trabajo(cm/s)**	**C. Permeabilidad en temperatura estándar (cm/s)**	**Tipo de permeabilidad**
ESTADO NATURAL	2.46E-05	2.25E-05	Muy baja permeabilidad
750°C	4.85E-05	4.42E-05	Baja permeabilidad

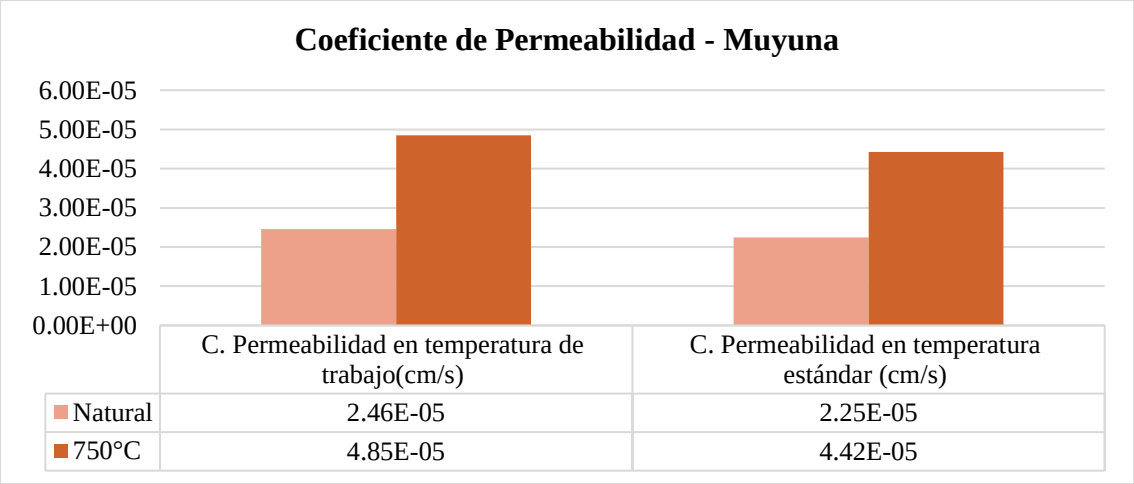


Fig. 31. Permeabilidad de la muestra en estado natural vs 750º - Parroquia Muyuna.

Los resultados de la muestra de Muyuna (TABLA XXVII) mostraron que, en su estado natural, el valor k corregido a temperatura estándar fue de 2.25E-05 cm/s, registrando un tiempo de infiltración de 532 segundos. Este valor se clasificó como de muy baja permeabilidad, un grado más restrictivo que la muestra de Pano.

Al exponer el suelo a la temperatura de 750ºC, el valor k aumentó a 4.42E-05 cm/s, lo que significó un incremento del 96.95% en su coeficiente de permeabilidad. La disminución del tiempo de infiltración de 532 segundos a 266 segundos validó este incremento en la velocidad de flujo. Este significativo aumento en la conductividad hidráulica se explicó por la combustión de la materia orgánica. La generación de nuevas rutas de flujo interconectadas y la alteración de la estructura del suelo por el calor facilitaron el movimiento del agua. El material tratado se reclasificó a baja permeabilidad, indicando que el estrés térmico mejoró notablemente su capacidad de drenaje y conducción hidráulica.

3) Permeabilidad de la parroquia Puerto Napo

TABLA XXVIII.

RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD - PARROQUIA PUERTO NAPO.

PARROQUIA	**PUERTO NAPO**		
MUESTRA	**C. Permeabilidad en temperatura de trabajo(cm/s)**	**C. Permeabilidad en temperatura estándar (cm/s)**	**Tipo de permeabilidad**
ESTADO NATURAL	3.69E-05	3.29E-05	Baja permeabilidad
750°C	4.81E-05	4.71E-05	Baja permeabilidad

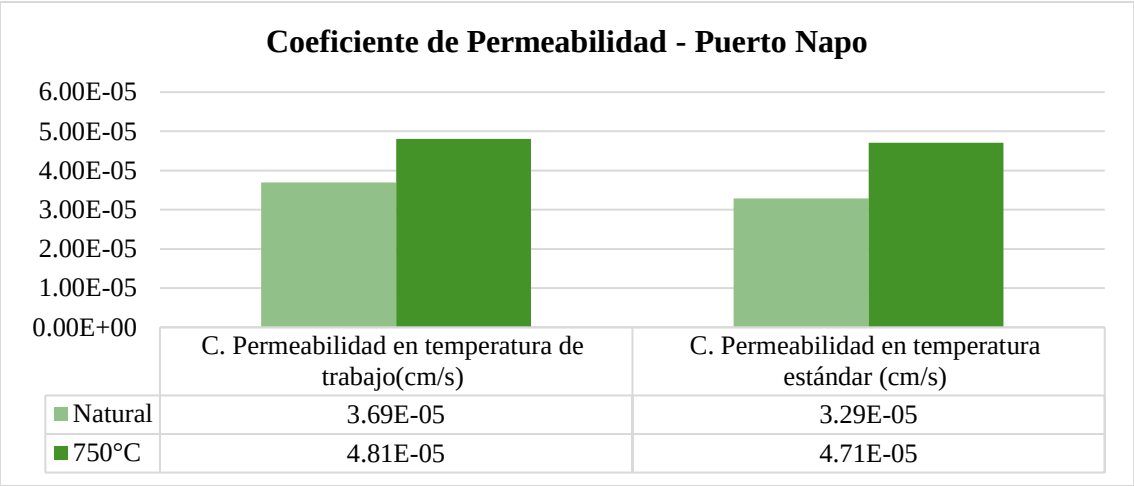


Fig. 32. Permeabilidad de la muestra en estado natural vs 750º - Parroquia Puerto Napo.

El análisis de la muestra de Puerto Napo (TABLA XXVIII) reveló que, en su estado natural, el valor k corregido a temperatura estándar fue de 3.29E-05 cm/s, con un tiempo de infiltración de 345 segundos. Este valor se clasificó como de baja permeabilidad, indicando que su capacidad de conducción hidráulica era baja en condiciones normales.

Tras la exposición a la temperatura de 750ºC, el valor k aumentó a 4.71E-05 cm/s, lo que representó un incremento del 43.05% en su coeficiente de permeabilidad. La disminución del tiempo de infiltración de 345 segundos a 267 segundos confirmó que la velocidad de flujo del agua fue significativamente mayor. Al igual que en las muestras de Pano y Muyuna, este incremento en la permeabilidad se atribuyó a la combustión de la materia orgánica. La eliminación de componentes ligeros y la generación de microcanales resultantes de este proceso térmico aumentaron la porosidad efectiva y la conectividad, facilitando el drenaje. El material tratado se mantuvo en la clasificación de baja permeabilidad, evidenciando, sin embargo, una mejora sustancial en sus propiedades de conducción hidráulica.

E. ANÁLISIS DEL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO TIPO B

1) Proctor modificado de la parroquia Pano

TABLA XXIX.

RESULTADOS DEL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO - PARROQUIA PANO.

PARROQUIA	PANO	
MUESTRA	Densidad seca [g/cm3]	Contenido de humedad óptimo [%]
ESTADO NATURAL	1.213	12.80
750°C	1.192	11.90

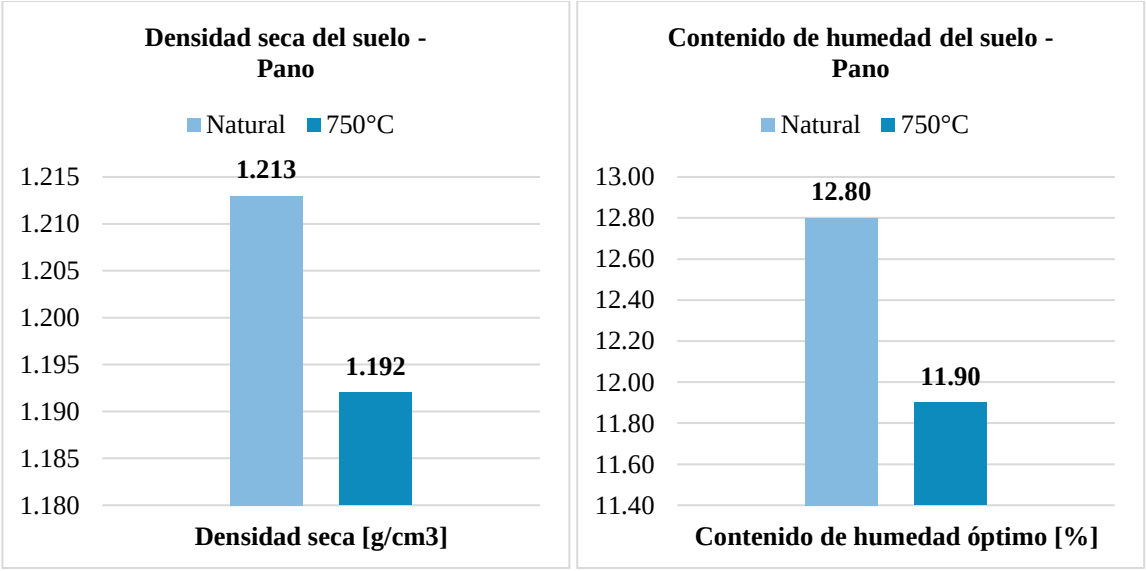


Fig. 33. Densidad seca y contenido de humedad óptimo de la muestra en estado natural vs 750º - Pano.

Los resultados de la muestra de la parroquia Pano (TABLA XXIX) mostraron que, en su estado natural, el suelo alcanzó una densidad seca máxima de 1.213 g/cm^3 con un contenido de humedad óptimo de 12.80%. Tras la exposición a la temperatura de 750ºC, se observó una reducción en ambos parámetros: la densidad seca máxima disminuyó a 1.192 g/cm^3, lo que representó una pérdida de aproximadamente 1.73% en su capacidad de compactación, y el contenido de humedad óptimo se redujo a 11.90%. Esta disminución de ambos parámetros indicó que el estrés térmico comprometió la capacidad del suelo para alcanzar una compactación densa y eficiente. La pérdida se atribuyó a la destrucción irreversible de la materia orgánica (agente que, en su estado natural, contribuía a la cohesión) y a la deshidratación de las arcillas, lo cual resultó en una estructura más rígida y porosa que requirió menos agua para su lubricación, anticipando una consecuente disminución en la capacidad portante del material.

2) Proctor modificado de la parroquia Muyuna

TABLA XXX.

RESULTADOS DEL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO - PARROQUIA MUYUNA.

PARROQUIA	MUYUNA	
MUESTRA	Densidad seca [g/cm3]	Contenido de humedad óptimo [%]
ESTADO NATURAL	1.348	18.90
750°C	1.384	16.80

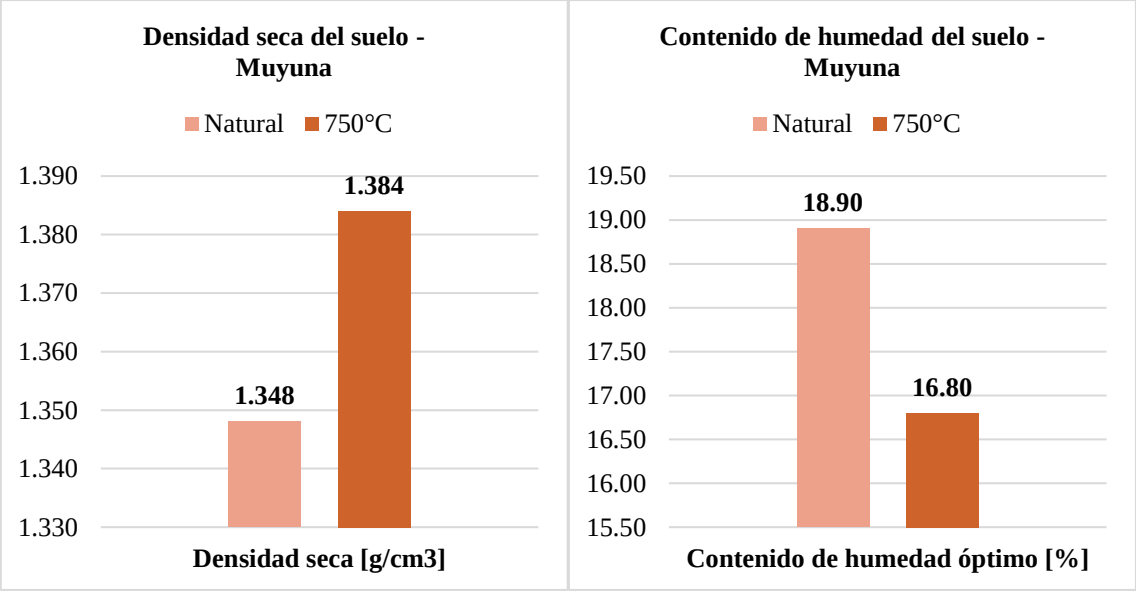


Fig. 34. Densidad seca y contenido de humedad óptimo de la muestra en estado natural vs 750º - Muyuna.

La TABLA XXX presenta los resultados para la muestra de la parroquia Muyuna, en donde se puede observar que, en su estado natural, el suelo alcanzó una densidad seca máxima de 1.348 g/cm^3 con un contenido de humedad óptimo de 18.90%. Tras la exposición a los 750ºC, se observó un comportamiento opuesto al de la muestra de Pano. La densidad seca máxima aumentó a 1.384 g/cm^3, lo que representó un incremento del 2.67% en su capacidad de compactación, mientras que el contenido de humedad óptimo disminuyó a 16.80%. Esta variación en los parámetros sugirió que el calor fue beneficioso para la compactación. El incremento de la densidad máxima se atribuyó a la destrucción de la materia orgánica y a la reorganización de las partículas. Estos fenómenos alteraron la forma y el empaquetamiento de las partículas, permitiendo que la estructura resultante lograra una configuración más densa con menor necesidad de agua para lubricar los granos, lo cual anticipó un potencial aumento en la resistencia mecánica del material.

3) Proctor modificado de la parroquia Puerto Napo

TABLA XXXI.

RESULTADOS DEL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO - PARROQUIA PUERTO NAPO.

PARROQUIA	PUERTO NAPO	
MUESTRA	Densidad seca [g/cm3]	Contenido de humedad óptimo [%]
ESTADO NATURAL	1.762	11.90
750°C	1.850	11.00

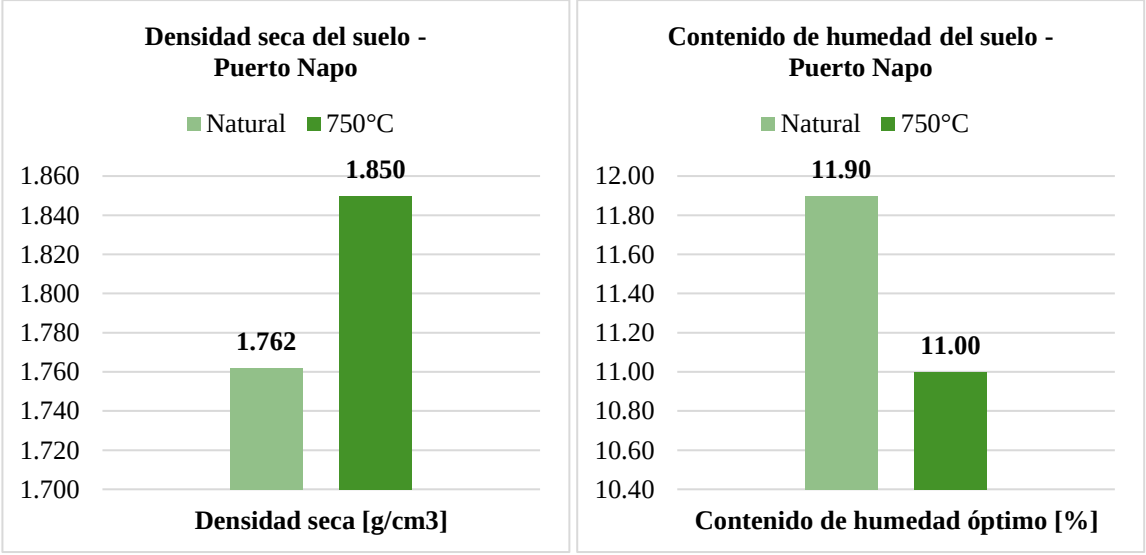


Fig. 35. Densidad seca y contenido de humedad óptimo de la muestra en estado natural vs 750º - Puerto Napo.

Los resultados presentados en la TABLA XXXI mostraron que, en su estado natural, el suelo alcanzó una densidad seca máxima de 1.762 g/cm^3 con un contenido de humedad óptimo de 11.90%. Al exponer el suelo a la los 750ºC, el material experimentó un aumento en su capacidad de compactación, lo cual se evidenció con el incremento de la densidad seca máxima a 1.850 g/cm^3, representando un incremento del 5.00%. Paralelamente, el contenido de humedad óptimo disminuyó a 11.00%. Este comportamiento fue similar al de Muyuna y opuesto al de Pano. El aumento significativo en la densidad seca máxima indicó que la energía térmica fue altamente efectiva en la reestructuración del material. La destrucción de la materia orgánica y la probable alteración de la mineralogía arcillosa creó una estructura más favorable para el empaquetamiento, permitiendo que el suelo alcanzara una densidad mucho mayor bajo la misma energía de compactación y con una menor cantidad de agua para lubricación. La comparación de los incrementos en la gravedad seca mostró que la muestra de Puerto Napo fue la que experimentó la mayor mejora en su compactabilidad entre las tres muestras analizadas.

F. ANÁLISIS DEL ENSAYO CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO)

1) CBR de la parroquia Pano

TABLA XXXII.

RESULTADOS DEL ENSAYO CBR - PARROQUIA PANO.

PARROQUIA	**PANO**			
MUESTRA	**%CBR**	**CLASIFICACIÓN DEL SUELO POR EL %CBR SEGÚN LA NORMA AASHTO**		
Estado Natural	2.422	0 - 5	Muy mala	Subrasante
750°C	1.626	0 - 5	Muy mala	Subrasante

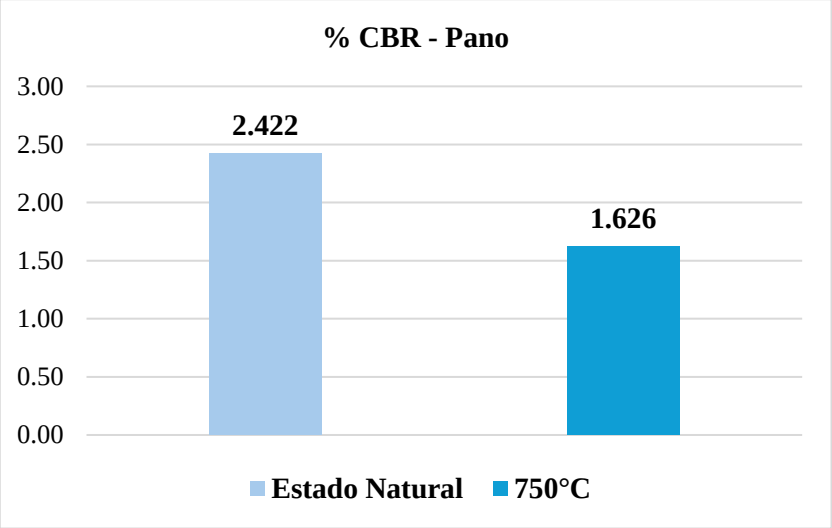


Fig. 36. % CBR de la muestra en estado natural vs 750º - Parroquia Pano.

Los resultados de la TABLA XXXII mostraron que, en su estado natural, el suelo registró un % CBR de 2.422%. Este valor se encuentra dentro del rango 0 – 5 %, que, según la norma AASHTO, clasifica al material como de muy mala calidad para uso como subrasante. Este bajo valor fue consistente con la baja densidad seca obtenida en el ensayo proctor (1.213 g/cm^3), indicando una baja capacidad portante inherente. Tras la exposición a los 750ºC, el % CBR disminuyó a 1.626%, lo que representó una pérdida de resistencia del 32.86% respecto a su condición natural. Esta significativa disminución del CBR demostró que el estrés térmico afectó negativamente la capacidad de soporte del material. El deterioro se atribuyó directamente a la pérdida de cohesión causada por la destrucción de la materia orgánica y la deshidratación de las arcillas, las cuales eran cruciales para la resistencia del suelo cohesivo en su estado natural. El material tratado mantuvo su clasificación de muy mala calidad como subrasante, pero con una resistencia mecánica aún más comprometida, resaltando la vulnerabilidad de este tipo de suelo ante eventos de alta temperatura.

2) CBR de la parroquia Muyuna

TABLA XXXIII.

RESULTADOS DEL ENSAYO CBR - PARROQUIA MUYUNA.

PARROQUIA	**MUYUNA**			
MUESTRA	**%CBR**	**CLASIFICACIÓN DEL SUELO POR EL %CBR SEGÚN LA NORMA AASHTO**		
Estado Natural	2.121	0 - 5	Muy mala	Subrasante
750°C	1.922	0 - 5	Muy mala	Subrasante

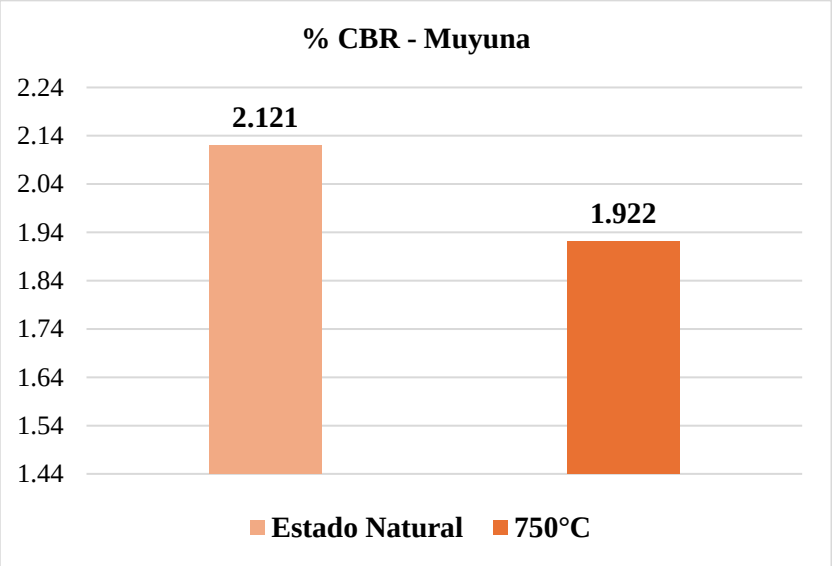


Fig. 37. CBR de la muestra en estado natural vs 750º - Parroquia Muyuna.

La evaluación del CBR para la muestra de Muyuna (TABLA XXXIII) en su estado natural indicó un % CBR de 2.121%. Al igual que Pano, este valor se ubicó dentro del rango 0-5%, clasificando al suelo como de muy mala calidad para subrasante. Este valor inicial de soporte fue consistente con la baja capacidad portante inherente de los suelos limosos y orgánicos.

Tras el tratamiento térmico a 750ºC, el % CBR disminuyó ligeramente a 1.922%, registrando una pérdida de resistencia de solo el 9.38% respecto a su condición natural. Esta menor pérdida de capacidad portante, al compararla con el deterioro crítico observado en la muestra de Pano, se atribuyó a la mejora de la densidad seca máxima observada en el ensayo proctor. El aumento en la densidad del empaquetamiento granular ayudó a mitigar la pérdida total de resistencia causada por la destrucción de la materia orgánica cohesiva, compensando parcialmente el efecto negativo del calor. El material tratado mantuvo su clasificación de muy mala calidad como subrasante, pero exhibió una mayor resiliencia intrínseca a la pérdida de soporte que la muestra de Pano.

3) CBR de la parroquia Puerto Napo

TABLA XXXIV.

RESULTADOS DEL ENSAYO CBR - PARROQUIA PUERTO NAPO.

PARROQUIA	**PUERTO NAPO**			
MUESTRA	**%CBR**	**CLASIFICACIÓN DEL SUELO POR EL %CBR SEGÚN LA NORMA AASHTO**		
Estado Natural	1.389	0 - 5	Muy mala	Subrasante
750°C	1.302	0 - 5	Muy mala	Subrasante

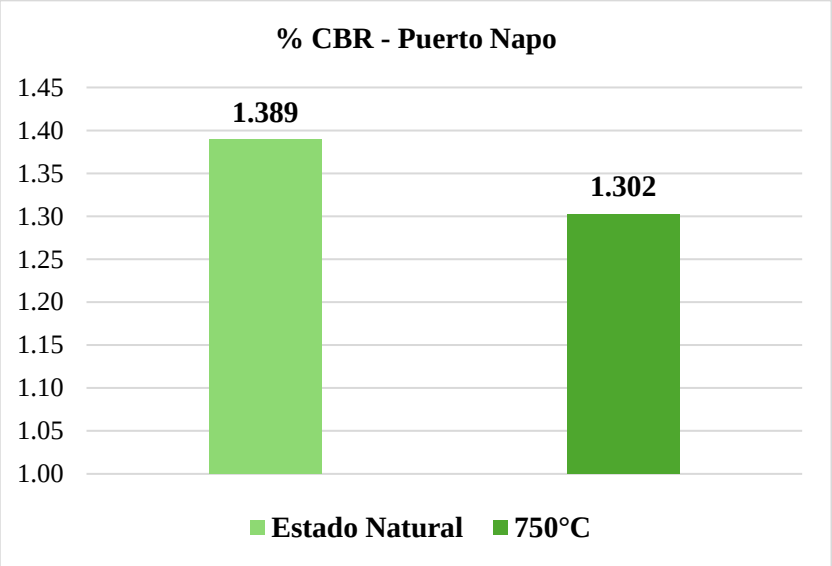


Fig. 38. CBR de la muestra en estado natural vs 750º - Parroquia Puerto Napo.

Los resultados del CBR para la muestra de Puerto Napo (TABLA XXXIV) en su estado natural mostró un % CBR de 1.389%, el valor más bajo de las tres muestras amazónicas, clasificándolo como de muy mala calidad para subrasante. Este valor inicial reflejó una capacidad portante extremadamente baja, acorde con el alto contenido orgánico y la baja plasticidad determinada. Tras la exposición a la temperatura de 750ºC, el % CBR disminuyó a 1.302%, lo que resultó en una pérdida de resistencia del 6.26% respecto a su condición natural. A pesar de que esta muestra experimentó la mayor mejora en su capacidad de compactación de todas las muestras, aún se registró una disminución en el valor de CBR. Este comportamiento se explicó porque, aunque la alta densidad máxima generó una mayor fricción granular (resistencia), el CBR siguió siendo dominado negativamente por la destrucción crítica de la plasticidad. El material tratado mantuvo su clasificación de muy mala calidad, pero exhibió la mayor estabilidad en el CBR de las tres muestras, gracias a su alta compactabilidad post-térmica.

G. ANÁLISIS DE INFLAMABILIDAD

1) *Inflamabilidad de la parroquia Pano*

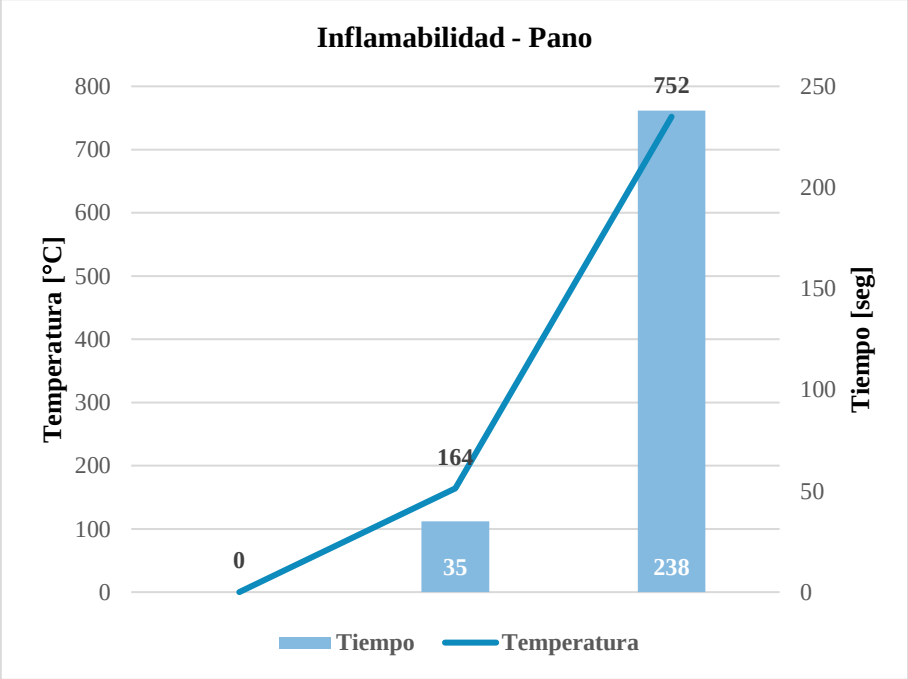


Fig. 39. Inflamabilidad de la muestra en estado natural a 750º - Parroquia Pano.

Los resultados de la Fig. 39. indicaron que la ignición del material no se produjo. Este hallazgo clasifica al material como "No Inflamable" bajo las condiciones controladas del ensayo. La resistencia a la ignición se atribuyó a su alto contenido de humedad natural y a su composición de suelo arcilloso - arenoso (SC), donde la matriz mineral predominante no es combustible. El suelo alcanzó la temperatura de 164ºC en 35 segundos y la temperatura máxima de 752ºC en 238 segundos. Durante la exposición, se observaron cambios morfológicos y de coloración. La modificación más evidente fue que el color del material se tornó más oscuro que en su estado natural. Esta modificación se debió a la carbonización incompleta de la materia orgánica residual presente en el suelo y que creó partículas de carbón negro. Adicionalmente, la textura se percibió como ligeramente más gruesa post-exposición. Este cambio en la sensación táctil se interpretó como el resultado de la destrucción de la cohesión entre las partículas finas por la deshidratación, lo que hizo que el esqueleto granular predominara. En síntesis, el suelo de Pano demostró ser resistente a la ignición, pero la exposición térmica provocó una carbonización parcial y una pérdida de finos cohesivos, lo cual se correlacionó con la disminución de su capacidad portante (CBR) y la alteración de la plasticidad (IP) observada en la Fase I y II.

2) Inflamabilidad de la parroquia Muyuna

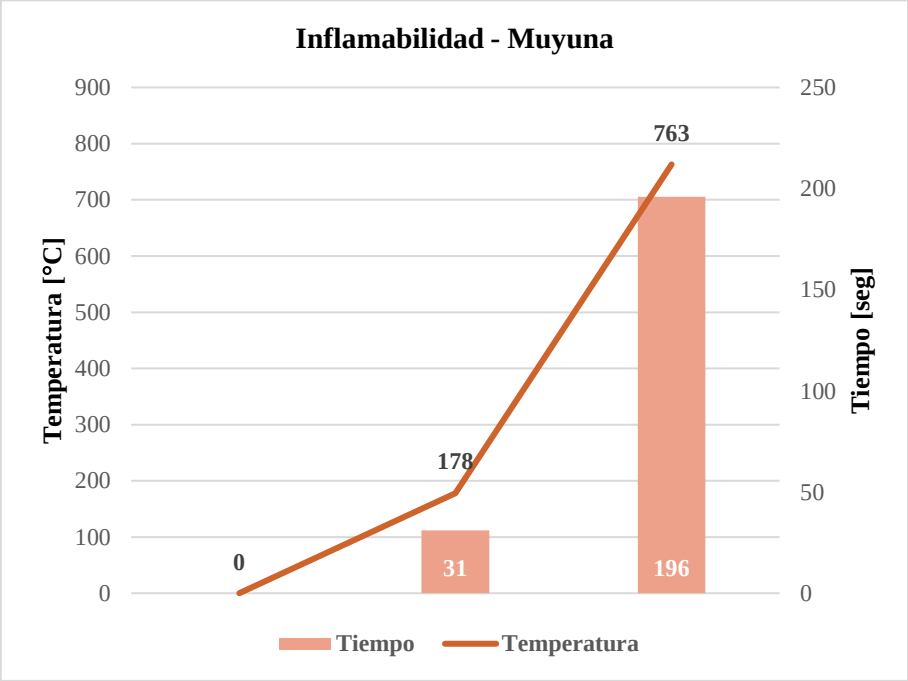


Fig. 40. Inflamabilidad de la muestra en estado natural a 750º - Parroquia Muyuna.

Los resultados del ensayo de inflamabilidad para la muestra de Muyuna (Fig. 40.) confirmaron que la ignición del material no se produjo, clasificándolo como “No Inflamable”. La resistencia a la ignición fue atribuida a su contenido de humedad natural y a la naturaleza incombustible de su matriz mineral (SM). El suelo alcanzó la temperatura de 178ºC en 31 segundos y la temperatura máxima de 763ºC en 196 segundos. Este tiempo de calentamiento fue el más rápido de las tres muestras analizadas para alcanzar el umbral térmico, lo cual indicó una mayor eficiencia en la transferencia de energía a través de este suelo, posiblemente debido a su densidad y composición mineral. La exposición al calor extremo indujo cambios cualitativos significativos en el material. La principal alteración observada fue la modificación del color, ya que la muestra se tornó más oscura que en su estado natural. Este cambio de color se interpretó como el resultado de la carbonización incompleta de la materia orgánica residual y otros compuestos orgánicos sensibles al calor, lo cual es un fenómeno recurrente en suelos orgánicos expuestos a altas temperaturas. En contraste con la muestra de Pano, la textura del suelo de Muyuna no se vio afectada de manera perceptible. Este comportamiento sugiere una mayor estabilidad de su esqueleto granular ante el choque térmico y una menor fragilidad de las partículas finas post-deshidratación. La observación de que la textura se mantuvo estable a nivel cualitativo indicó que el calor no causó una destrucción significativa de los agregados granulares, lo cual mitigó el impacto negativo en la resistencia del suelo.

3) Inflamabilidad de la parroquia Puerto Napo

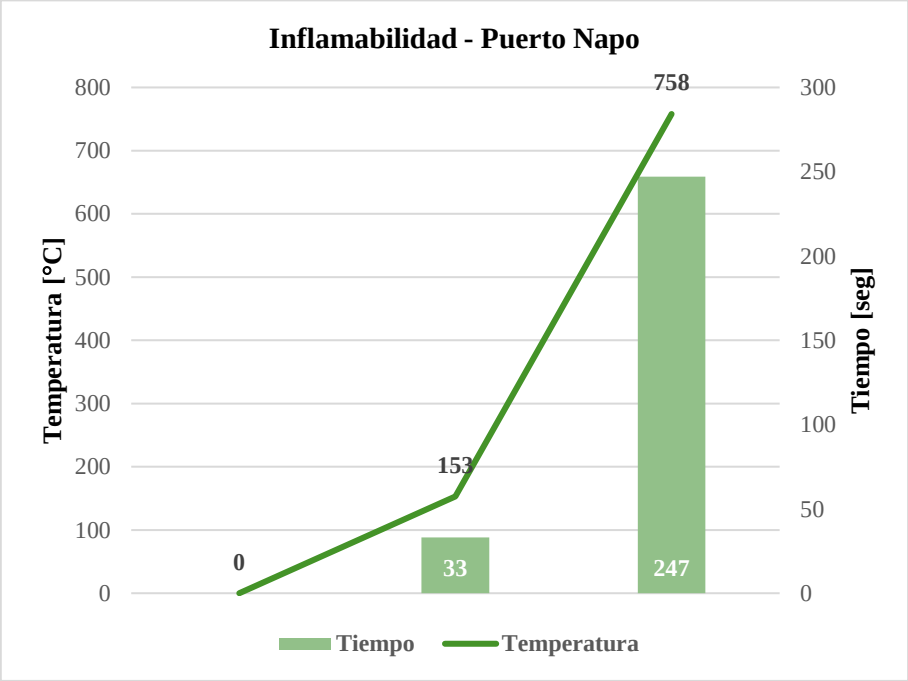


Fig. 41. Inflamabilidad de la muestra en estado natural a 750º - Parroquia Puerto Napo.

Los resultados de la Fig.41. también indicaron que la ignición del material no se produjo, por lo que se clasificó como “No Inflamable”. La resistencia a la ignición se justificó por la matriz mineral incombustible del suelo y su humedad natural. El suelo alcanzó la temperatura de 153ºC en 33 segundos y la temperatura máxima de 758ºC en 247 segundos. Este tiempo de calentamiento fue el más lento de las tres muestras analizadas para alcanzar el umbral térmico, lo que sugirió una menor eficiencia en la transferencia de energía o una mayor inercia térmica del material, probablemente debido a su alta densidad inicial y su composición.

La exposición al calor extremo generó cambios cualitativos en la muestra. El color del material se tornó parcialmente más oscuro después de la prueba, es decir, se observaron partículas que conservaron su color original mientras que otras se carbonizaron, indicando una distribución heterogénea de la materia orgánica o una combustión menos uniforme en la muestra. La textura del suelo, similar a la muestra de Pano, se vio ligeramente más gruesa al tacto, resultado de la destrucción de la cohesión aportada por la fracción plástica y orgánica, efecto que se corroboró con la drástica reducción del IP en la Fase I y la reducción marginal del CBR en la Fase II). En resumen, aunque el suelo fue No Inflamable, su lenta respuesta térmica y la pérdida de finos cohesivos señalaron una vulnerabilidad estructural post-tratamiento.

H. RESUMEN GENERAL

La TABLA XXXV integra los resultados de las tres fases experimentales para establecer una visión completa del comportamiento de los suelos amazónicos de la provincia de Napo ante el estrés térmico.

TABLA XXXV.

TABLA RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE CADA ENSAYO POR PARROQUIA.

Ensayos \ Parroquia		PANO		MUYUNA		PUERTO NAPO	
		E. Natural	**E. 750°C**	**E. Natural**	**E. 750°C**	**E. Natural**	**E. 750°C**
Análisis granulométrico [%]	**Grava**	3.79	2.57	2.18	1.39	5.64	1.52
	Arena	88.13	91.21	88.86	85.76	80.10	85.13
	Finos	8.07	6.23	8.96	12.85	14.26	13.35
Gravedad Específica		1.900	1.858	2.291	2.314	2.462	2.379
Limite Líquido [%]		61.18	52.31	46.38	32.37	29.27	26.72
Limite Plástico [%]		56.58	48.39	42.51	28.86	25.67	25.38
Índice de Plasticidad [%]		4.59	3.92	3.87	3.51	3.60	1.34
Permeabilidad [cm/seg]		3.073E-05	5.175E-05	2.246E-05	4.424E-05	3.289E-05	4.705E-05
Densidad Seca [g/cm3]		1.213	1.192	1.348	1.384	1.762	1.850
Humedad Óptima [%]		12.80	11.90	18.90	16.80	11.90	11.00
CBR		2.422	1.626	2.121	1.922	1.389	1.302
Inflamabilidad [seg]		238		196		247	

El análisis de las tres muestras evidenció que la exposición a una temperatura extrema de 750ºC provocó alteraciones irreversibles en las propiedades físico-mecánicas de los suelos, aunque con patrones de comportamiento heterogéneos en las tres parroquias. La característica común fue la resistencia a la ignición en todos los casos, clasificándolos como No Inflamables. Sin embargo, la respuesta térmica varió notablemente: la muestra de Muyuna fue la que alcanzó la temperatura máxima más rápido (196 segundos), mientras que Puerto Napo fue la más lenta (247 segundos), lo que indicó diferencias en la inercia térmica de los materiales.

Respecto a las propiedades geotécnicas clave, la tendencia dominante en las tres muestras fue la reducción del índice de plasticidad y la disminución del CBR. La pérdida más crítica de

plasticidad se registró en Puerto Napo con una reducción del 62.78% en el IP, lo que se tradujo en una pérdida casi total de cohesión. Esta pérdida de cohesión fue la causa directa de la disminución de la capacidad portante en todos los suelos: Pano experimentó la mayor pérdida de soporte con una disminución del 32.86, mientras que Puerto Napo y Muyuna mostraron una mayor estabilidad en el CBR. Esta estabilidad en el CBR de Muyuna y Puerto Napo, a pesar de la pérdida de cohesión, se compensó por la mejora en su capacidad de compactación, es decir, el aumento en la densidad seca máxima en el ensayo proctor, lo que demostró que el calor puede reestructurar favorablemente el empaquetamiento granular en ciertos suelos. En contraste, Pano experimentó una disminución en su capacidad de compactación, lo que explica su mayor pérdida de CBR.

Otro hallazgo crucial fue el impacto hidráulico, donde las tres muestras registraron un incremento en el coeficiente de permeabilidad (k). Este aumento en la conductividad hidráulica, validado por la disminución del tiempo de infiltración en todos los casos, se interpretó como el resultado directo de la destrucción de la materia orgánica, lo cual creó microcanales y mejoró la conectividad de los poros. Los suelos tratados, aunque clasificados como de “Baja permeabilidad”, mostraron una mejor aptitud para el drenaje que en su condición natural, lo que podría tener implicaciones en la gestión del agua en obras civiles post-tratamiento térmico. En resumen, la exposición a 750ºC comprometió la cohesión (plasticidad y CBR) de todos los suelos, pero simultáneamente mejoró su drenaje y, en dos casos, su compactabilidad.

II. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

A. HIPÓTESIS

La exposición de los suelos frente al fuego modificará significativamente sus propiedades físicas y mecánicas, afectando su capacidad estructural y aumentando su susceptibilidad térmica.

B. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

El análisis de los resultados de las tres fases experimentales permitió verificar la hipótesis planteada, al demostrar que la exposición de los suelos amazónicos a 750ºC alteró significativamente sus propiedades físicas y mecánicas, afectando su capacidad estructural y aumentando su susceptibilidad térmica. Esta modificación se caracterizó por una reducción generalizada de la cohesión (plasticidad) y, consecuentemente, una disminución en la capacidad

portante (CBR), comprometiendo su aptitud estructural. Sin embargo, el estrés térmico indujo efectos heterogéneos y, en ocasiones, contradictorios, como el aumento notable de la permeabilidad y la mejora en la capacidad de compactación en la mayoría de los suelos, lo cual sugirió una reorganización favorable de la estructura granular. Aunque los suelos resultaron ser No Inflamables, la prueba confirmó la susceptibilidad térmica del material a la transformación por calor a través de la carbonización de la materia orgánica, lo que evidenció el riesgo de modificación estructural bajo eventos ígneos, validando así la premisa central de la investigación.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

I. CONCLUSIONES

- La exposición a temperaturas extremas de 750ºC modificó de forma irreversible y significativa las propiedades físicas y mecánicas de los suelos amazónicos. Esta alteración se manifestó en una reducción generalizada de la capacidad portante y la cohesión, aunque simultáneamente indujo una mejora en las propiedades hidráulicas y de compactación, confirmando la vulnerabilidad y la respuesta compleja del material ante el estrés térmico.
- El análisis granulométrico post-tratamiento térmico confirmó la estabilidad de la clasificación SUCS de los suelos, que fueron SM y SC. Sin embargo, se observaron cambios texturales en la fracción fina, con una disminución en la muestra de Pano que pasó de 8.07% a 6.23% y en Puerto Napo se redujo de 14.26% a 13.35%, y un aumento notable en Muyuna de 8.96% a 12.85%, atribuido a la fracturación de partículas por choque térmico.
- El valor de la gravedad específica en su estado natural ubicó a las tres muestras en el rango de "Suelos Orgánicos" que se caracterizan por tener valores de Gs bajos. Tras la exposición al calor, las muestras de Pano y Puerto Napo experimentaron una disminución anómala de Gs, de 1.900 g/cm^3 a 1.858 g/cm^3 y de 2.462 g/cm^3 a 2.379 g/cm^3 respectivamente, mientras que Muyuna registró un leve aumento de 2.291 g/cm^3 a 2.314 g/cm^3, evidenciando patrones heterogéneos de dilatación estructural.
- El estrés térmico comprometió de manera sistemática la plasticidad de las tres muestras. La reducción del índice de plasticidad fue crítica, siendo más severa en Puerto Napo que presentó un decrecimiento del 62.78%, pasando de tener un IP de 3.60% a 1.34%, lo que indicó una destrucción casi total de los agentes cohesivos. Esta pérdida de plasticidad fue un factor determinante en la disminución de la cohesión estructural del material.
- Las tres muestras experimentaron un incremento en el coeficiente de permeabilidad, con aumentos que variaron entre el 43.16% en la muestra de Puerto Napo y el 96.44% para la muestra de Muyuna. Este aumento en la conductividad hidráulica, validado por la disminución del tiempo de infiltración en todos los casos, se atribuyó a la combustión de la materia orgánica y a la microfisuración de la matriz mineral, lo que generó nuevos canales de flujo.
- La capacidad de compactación mostró dos comportamientos: Pano experimentó una disminución del 1.73%, pasando de una densidad seca máxima de 1.213 g/cm^3 a una de 1.192 g/cm^3, mientras que Muyuna y Puerto Napo registraron un aumento significativo, de hasta el 5.00% en Puerto Napo. Este incremento post-tratamiento térmico se interpretó como una

reestructuración favorable del empaquetamiento granular debido a la destrucción de la materia orgánica que actuaba como impedimento.

- La capacidad portante, evaluada mediante el Índice de Soporte de California, se vio comprometida en todas las muestras, manteniéndose en la clasificación de muy mala calidad, lo que implica que solo puede ser usada como subrasante. Pano experimentó la mayor pérdida de CBR presentando un 32.86% de reducción, pasando de 2.422% a 1.626%, mientras que la mayor estabilidad del CBR se observó en Puerto Napo teniendo la menor pérdida, siendo del 6.26%, que se compensó por la mejora en su densidad de compactación.
- Los suelos de las tres parroquias se clasificaron como “No Inflamables”, demostrando una alta resistencia a la ignición. Sin embargo, la prueba cualitativa confirmó la susceptibilidad a la transformación térmica mediante la carbonización parcial, que se evidenció con el cambio de color a oscuro, y una respuesta térmica heterogénea, siendo Muyuna el suelo que se calentó más rápido, llegando a la temperatura máxima en 196 segundos, y Puerto Napo el más lento con 247 segundos.

II. RECOMENDACIONES

- Es crucial establecer protocolos oficiales en las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN que incorporen ensayos geotécnicos bajo condiciones térmicas extremas. Esta medida permitirá estandarizar la evaluación del comportamiento de los suelos ante incendios, facilitando la toma de decisiones informadas sobre la selección y tratamiento de materiales en obras de infraestructura expuestas a riesgos ígneos.
- Se recomienda la ampliación de la zona de estudio a otras provincias amazónicas con perfiles geológicos y climáticos similares. La recolección de datos experimentales bajo estrés térmico es escasa en Ecuador, por lo que generar una base de datos regional robusta servirá como antecedente vital para futuras investigaciones y el desarrollo de modelos predictivos de riesgo geotécnico.
- Para robustecer la interpretación de los cambios físicos y mecánicos, se recomienda incorporar ensayos de caracterización química, como el contenido de materia orgánica o la capacidad de intercambio catiónico. Estos parámetros son esenciales para cuantificar directamente la destrucción de los agentes cohesivos por el calor y validar las hipótesis sobre la alteración estructural del suelo.
- Dado que todos los suelos ensayados mostraron una disminución del Índice de Soporte de California y una reducción crítica en la cohesión, se sugiere que en proyectos de cimentación y vialidad en zonas de alto riesgo de incendio se apliquen factores de seguridad más altos basados en el CBR post-tratamiento térmico, y no solo en la condición natural.
- Se recomienda que los profesionales de la ingeniería integren la vulnerabilidad a la transformación térmica del suelo en las evaluaciones de riesgo geotécnico. A pesar de que los suelos son no inflamables, la destrucción de agentes cohesivos y la alteración de su densidad y permeabilidad modifican las propiedades de soporte del terreno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] E. Arinaitwe, M. McNamee, and M. Försth, “Is the fire performance of phase change materials a significant barrier to implementation in building applications?,” *J Energy Storage*, vol. 94, p. 112421, Jul. 2024, doi: 10.1016/J.EST.2024.112421.

[2] D. V. Vergara Auquilla, “REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LOS SUELOS DE LA REGIÓN AMAZÓNICA DEL ECUADOR CON ENFOQUE AGRÍCOLA,” Universidad Central del Ecuador, Quito, 2015. Accessed: Oct. 01, 2025. [Online]. Available: https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/1c3d70aa-1428-4a94-b1ef-b196803cc337/content

[3] L. R. López Chuiza, “CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES,” UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, Ambato, 2024. Accessed: Oct. 11, 2025. [Online]. Available: https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/a4535ddf-e062-4b66-98c7-179958831a7c/content

[4] M. V. Tenelema Ojeda and D. O. Morocho Morocho, “Evaluación del efecto de incendios forestales históricos sobre propiedades del suelo en el bosque protector Tambillo,” UNIVERSIDAD DE CUENCA, Cuenca, 2024. Accessed: Oct. 11, 2025. [Online]. Available: https://dspace-test.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/45480/1/Trabajo-de-Titulaci%c3%b3n.pdf

[5] J. Rosero Cuesta and I. Osorio Giraldo, “Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo. Estado del arte,” *Cuaderno Activa*, vol. 5, pp. 59–67, Jul. 2013, Accessed: Oct. 12, 2025. [Online]. Available: https://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/130/115

[6] A. D. Torres Rosales, “Incendios forestales y su incidencia en la modificación de las propiedades físico-químicas del suelo, en la parroquia San Antonio de las Aradas, cantón Quilanga, provincia de Loja, Ecuador,” Universidad Nacional de Loja, Loja, 2022. Accessed: Oct. 11, 2025. [Online]. Available: https://dspace.unl.edu.ec/server/api/core/bitstreams/7d4286af-4e89-416d-8d6a-7c3c04ee13de/content

[7] S. J. ALARCÓN CUEVA and N. S. TAPIA AMORES, “EVALUACIÓN DE LA PRESENCIA DE METALES PESADOS EN SUELOS AFECTADOS POR

INCENDIOS FORESTALES EN UNA ZONA DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO," Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2021. Accessed: Oct. 11, 2025. [Online]. Available: https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19900/1/UPS%20-%20TTS294.pdf

[8] P. Gabrielli, "Un estudio revela el impacto del fuego en los suelos de los Andes peruanos," *Agencia iberoamericana para la difusión de la ciencia y la tecnología*, Mar. 2025, Accessed: Oct. 11, 2025. [Online]. Available: https://www.dicyt.com/noticias/un-estudio-revela-el-impacto-del-fuego-en-los-suelos-de-los-andes-peruanos

[9] Universidad de La Laguna, "Los suelos volcánicos canarios son muy sensibles a sufrir grandes escorrentías y erosión tras incendios forestales," Universidad de La Laguna. Accessed: Oct. 11, 2025. [Online]. Available: https://www.ull.es/portal/noticias/2023/suelos-volcanicos-canarios-sensibles-grandes-escorrentias-erosion-tras-incendios-forestales/

[10] K. Ordóñez, "La ecología del fuego: desafíos y oportunidades en Ecuador," Cultura Científica - UTPL. Accessed: Oct. 12, 2025. [Online]. Available: https://culturacientifica.utpl.edu.ec/la-ecologia-del-fuego-desafios-y-oportunidades-en-ecuador/

[11] M. P. Ramos Rodríguez, M. J. Tigua Parrales, J. B. Baque Ramos, T. O. Manrique Toala, and A. L. Castro Landín, "Effects of fire on soil physical, chemical and nutritional characteristics in forest vocation lands," *Madera y Bosques*, vol. 30, no. 1, Mar. 2024, doi: 10.21829/myb.2024.3012509.

[12] M. Movasat and I. Tomac, "Assessment of Physical Properties of Water Repellent Soils," Sep. 2020. Accessed: Oct. 12, 2025. [Online]. Available: https://arxiv.org/pdf/2009.09528

[13] M. G. Minervini, H. J. M. Morrás, and M. Á. Taboada, "Efectos del fuego en la matriz del suelo. Consecuencias sobre las propiedades físicas y mineralógicas," *Ecología Austral*, vol. 28, no. 1, pp. 012–027, Apr. 2018, doi: 10.25260/ea.18.28.1.0.127.

[14] G. Sacchi, P. Campitelli, P. Soria, and S. Ceppi, "Influencia de temperaturas de calentamiento sobre propriedades físicas y químicas de suelos con distinto material parental y uso antrópico," *Spanish Journal of Soil Science*, vol. 5, no. 3, pp. 214–226, Aug. 2015, doi: 10.3232/SJSS.2015.V5.N3.03.

[15] W. Á. Gutiérrez Rodríguez, "Ensayo granulométrico de los suelos mediante el método del tamizado," *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 7, no. 2, pp. 6908–6927, May 2023, doi: 10.37811/cl_rcm.v7i2.5834.

[16] R. Ortiz, “CARACTERIZACIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS MEXICANOS (GUADALAJARA, QUERÉTARO, SAN LUIS POTOSÍ) MEDIANTE EL SISTEMA REVISADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS,” Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, 2024. Accessed: Oct. 14, 2025. [Online]. Available: https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/9881/1/IGMAC-309203.pdf

[17] J. Cortés, “Josephe e bowles manual de laboratorio de suelos,” *Josephe e bowles manual de laboratorio de suelos*, Jan. 1981, Accessed: Oct. 28, 2025. [Online]. Available: https://www.academia.edu/38337330/Josephe_e_bowles_manual_de_laboratorio_de_suelos

[18] A. M. Aimacaña Tumbaco and S. F. Toasa Cedeño, “PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE EN MUESTRAS DE SUELOS DEL CANTÓN QUITO, UTILIZANDO LA CAJA DE CORTE DIRECTO EN CONDICIONES DE HUMEDAD NATURAL Y SATURADA,” Quito, Feb. 2024. Accessed: Oct. 19, 2025. [Online]. Available: https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/27166/1/TTS1696.pdf

[19] P. M. Llerena Bonilla, “ANÁLISIS PARA LA OBTENCIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO SEGÚN LA NORMA ASTM D4318 EN COMPARACIÓN CON LA NORMA BS 1377:1990 EN SUELOS DE DIFERENTE PLASTICIDAD,” Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2022. Accessed: Oct. 19, 2025. [Online]. Available: https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/22849/1/CD%2012311.pdf

[20] G. S. Gaibor Tacuri, “DESARROLLO DE UN MODELO PREDICTIVO PARA LOS LÍMITES DE ATTERBERG EN SUELOS DE LA REGIÓN PAMPEANA CON DIFERENTE PORCENTAJE DE ARCILLA Y CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA Y LA EVALUACIÓN DE LA EXPANSIVIDAD POR MÉTODOS INDIRECTOS.,” UNIVERSIDAD DE BELGRANO, Buenos Aires, 2021. Accessed: Oct. 20, 2025. [Online]. Available: http://190.221.29.250/bitstream/handle/123456789/9544/Gaibor.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[21] W. Á. Gutiérrez Rodríguez, “Análisis comparativo de las técnicas de laboratorio para determinar los límites de Atterberg en suelos de la ciudad de Oruro – Bolivia,” *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 7, no. 4, pp. 7289–7312, Sep. 2023, doi: 10.37811/cl_rcm.v7i4.7475.

[22] C. López-Niño, E. Guevara, V. León, and D. López-Hernández, “Arcillas expansivas del Norte de Venezuela: Caracterización mediante el uso de los límites de Atterberg, índices

de consistencia y ensayos de expansión," *Obras y Proyectos*, vol. 34, pp. 111–122, Nov. 2023.

[23] J. P. Powers, A. B. Corwin, P. C. Schmall, and W. E. Kaeck, "Construction Dewatering and Groundwater Control: New Methods and Applications," *Construction Dewatering and Groundwater Control: New Methods and Applications*, pp. 1–638, Apr. 2007, doi: 10.1002/9780470168103.

[24] G. López Maldonado, "Ensayos de compactación en carreteras: Proctor Normal y Modificado," Valencia, Mar. 2020. Accessed: Oct. 24, 2025. [Online]. Available: https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/fbe17ef9-c704-421b-9ace-d42971765081/content

[25] D. F. Ordóñez Salazar, "Determinación de una Correlación entre el valor de CBR y el ensayo DCP para suelos del cantón Cuenca," Universidad de Cuenca, Cuenca, 2022. Accessed: Oct. 24, 2025. [Online]. Available: https://rest-dspace.ucuenca.edu.ec/server/api/core/bitstreams/4118160a-4083-4b92-8c0c-ea689e090ef8/content

[26] Interface, "Ensayos contra incendios en revestimientos de suelos," Oct. 2019. Accessed: Nov. 14, 2025. [Online]. Available: https://interfaceinc.scene7.com/is/content/InterfaceInc/Interface/EMEA/WebsiteContentAssets/Documents/Reports/Fire%20Testing%20White%20Paper/wc_eu-firetesting_es.pdf

ANEXOS

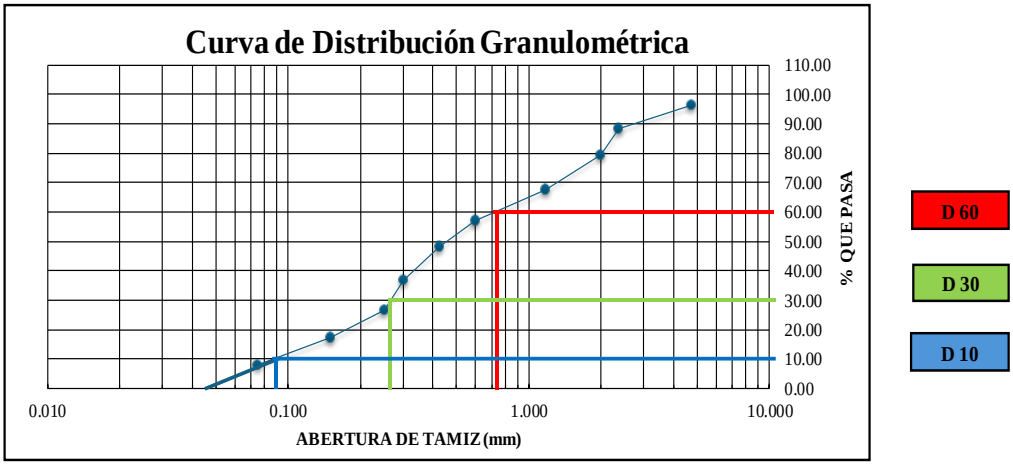
Anexo 1: Granulometría en estado natural - Parroquia Pano.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

Canton:	Tena	**Parroquia:**	Pano
Peso Muestra Seca:	1000 gr	**Tipo de muestra:**	Natural

TAMIZ No.	ABERTURA (mm)	PESO PARCIAL RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4	4.760	37.70	37.70	3.79	96.21
8	2.360	76.80	114.50	11.51	88.49
10	2.000	91.50	206.00	20.71	79.29
16	1.180	115.90	321.90	32.37	67.63
30	0.600	103.90	425.80	42.82	57.18
40	0.425	90.10	515.90	51.88	48.12
50	0.300	112.00	627.90	63.14	36.86
60	0.250	100.50	728.40	73.24	26.76
100	0.150	94.70	823.10	82.77	17.23
200	0.075	91.10	914.20	91.93	8.07
BANDEJA		80.30	80.30	8.07	
TOTAL			994.50		



RESULTADOS			
D10 (mm)	0.09	**Cu = D60 / D10**	7.89
D30 (mm)	0.27	**Cc = D30² / (D60 * D10)**	1.14
D60 (mm)	0.71	**Tamaño Nominal Máximo (TNM)**	2.36
Error Permitido	1.00%	**Error Calculado**	0.55%

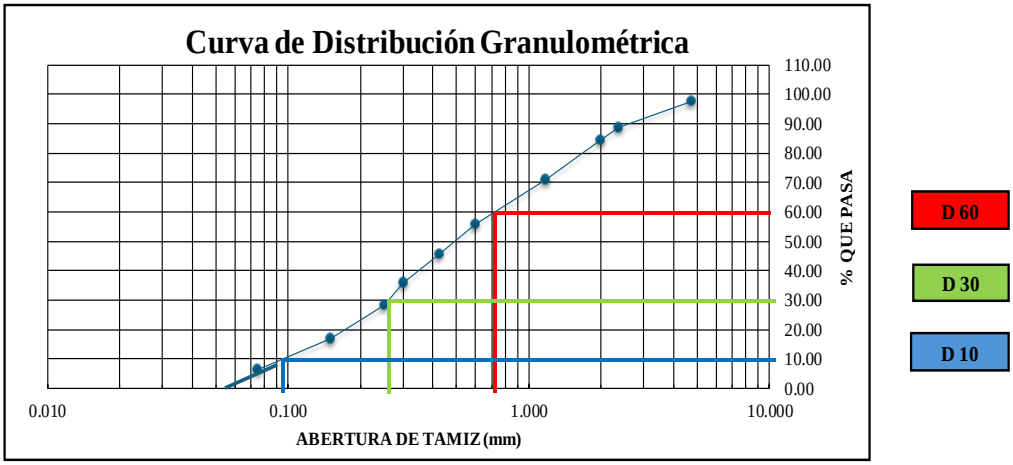
Anexo 2: Granulometría a los 750ºC - Parroquia Pano

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

Canton:	Tena		**Parroquia:**	Pano	
Peso Muestra Seca:	1000	gr	**Tipo de muestra:**	750ºC	

# TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO PARCIAL RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
No. 4	4.760	25.50	25.50	2.57	97.43
No. 8	2.360	87.70	113.20	11.40	88.60
No. 10	2.000	42.40	155.60	15.67	84.33
No. 16	1.180	132.30	287.90	29.00	71.00
No. 30	0.600	150.90	438.80	44.20	55.80
No. 40	0.425	102.60	541.40	54.54	45.46
No. 50	0.300	96.60	638.00	64.27	35.73
No. 60	0.250	71.80	709.80	71.50	28.50
No. 100	0.150	117.20	827.00	83.31	16.69
No. 200	0.075	103.90	930.90	93.77	6.23
BANDEJA		61.80	61.80	6.23	
TOTAL			992.70		



RESULTADOS			
D10 (mm)	0.095	**Cu = D60 / D10**	7.47
D30 (mm)	0.27	**Cc = D30² / (D60 * D10)**	1.08
D60 (mm)	0.71	**Tamaño Nominal Máximo (TNM)**	2.36
Error Permitido	1.00%	**Error Calculado**	0.73%

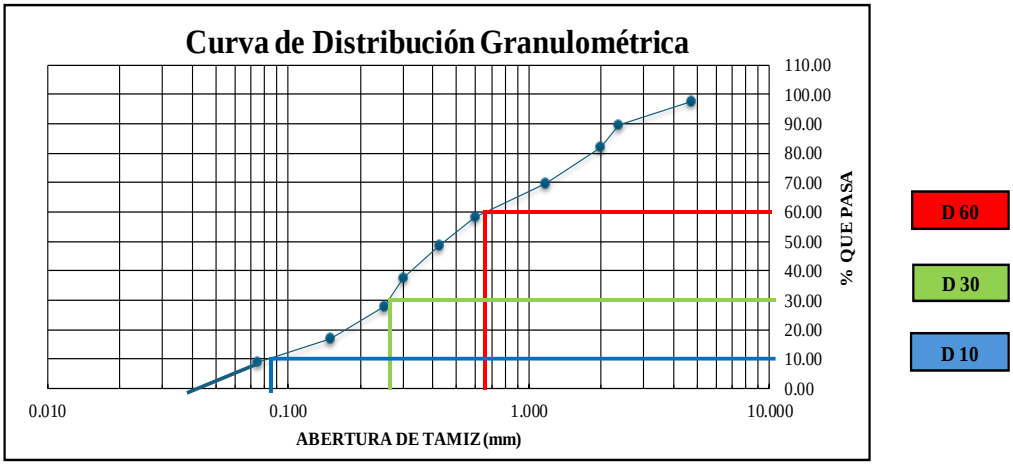
Anexo 3: Granulometría en estado natural - Parroquia Muyuna.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

Canton:	Tena	**Parroquia:**	Muyuna
Peso Muestra Seca:	1000 gr	**Tipo de muestra:**	Natural

TAMIZ No.	ABERTURA (mm)	PESO PARCIAL RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4	4.760	21.70	21.70	2.18	97.82
8	2.360	83.80	105.50	10.60	89.40
10	2.000	75.20	180.70	18.15	81.85
16	1.180	120.10	300.80	30.21	69.79
30	0.600	113.20	414.00	41.58	58.42
40	0.425	98.10	512.10	51.44	48.56
50	0.300	109.50	621.60	62.43	37.57
60	0.250	96.60	718.20	72.14	27.86
100	0.150	107.80	826.00	82.97	17.03
200	0.075	80.40	906.40	91.04	8.96
BANDEJA		89.20	89.20	8.96	
TOTAL			995.60		



RESULTADOS			
D10 (mm)	0.085	**Cu = D60 / D10**	7.76
D30 (mm)	0.27	**Cc = D30² / (D60 * D10)**	1.30
D60 (mm)	0.66	**Tamaño Nominal Máximo (TNM)**	2.36
Error Permitido	1.00%	**Error Calculado**	0.44%

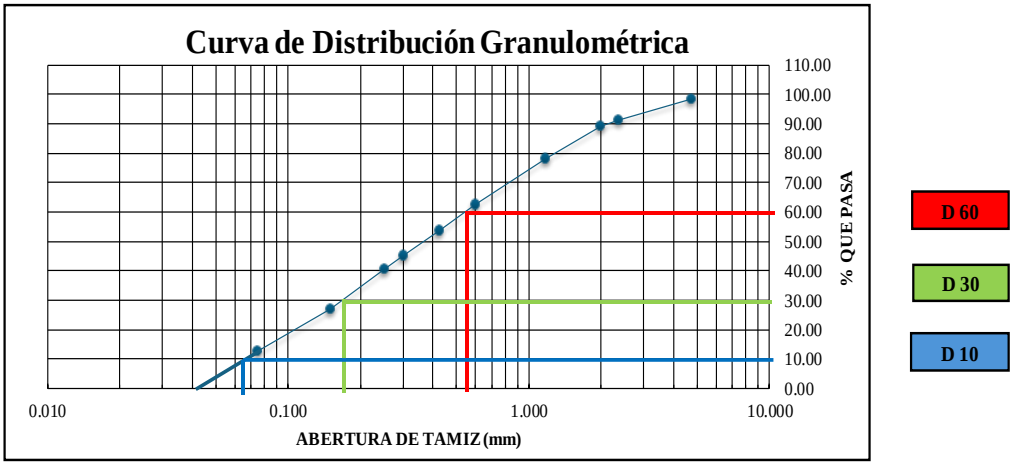
Anexo 4: Granulometría a los 750ºC - Parroquia Muyuna.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

Canton:	Tena	**Parroquia:**	Muyuna
Peso Muestra Seca:	1000 gr	**Tipo de muestra:**	750ºC

# TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO PARCIAL RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
No. 4	4.760	13.80	13.80	1.39	98.61
No. 8	2.360	71.30	85.10	8.55	91.45
No. 10	2.000	24.50	109.60	11.01	88.99
No. 16	1.180	106.20	215.80	21.68	78.32
No. 30	0.600	158.10	373.90	37.56	62.44
No. 40	0.425	88.90	462.80	46.49	53.51
No. 50	0.300	84.40	547.20	54.97	45.03
No. 60	0.250	44.90	592.10	59.48	40.52
No. 100	0.150	133.60	725.70	72.91	27.09
No. 200	0.075	141.80	867.50	87.15	12.85
BANDEJA		127.90	127.90	12.85	
TOTAL			995.40		



RESULTADOS			
D10 (mm)	0.065	**Cu = D60 / D10**	8.62
D30 (mm)	0.17	**Cc = D30² / (D60 * D10)**	0.79
D60 (mm)	0.56	**Tamaño Nominal Máximo (TNM)**	2.36
Error Permitido	1.00%	**Error Calculado**	0.46%

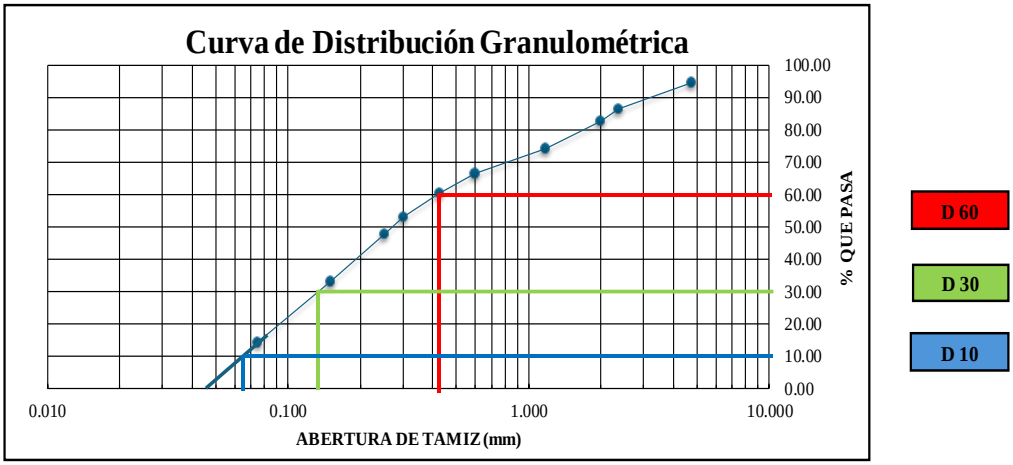
Anexo 5: Granulometría en estado natural - Parroquia Puerto Napo.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

Canton:	Tena		**Parroquia:**	Puerto Napo	
Peso Muestra Seca:	1000	gr	**Tipo de muestra:**	Natural	

TAMIZ No.	ABERTURA (mm)	PESO PARCIAL RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4	4.760	56.10	56.10	5.64	94.36
8	2.360	80.40	136.50	13.74	86.26
10	2.000	37.70	174.20	17.53	82.47
16	1.180	82.30	256.50	25.81	74.19
30	0.600	78.60	335.10	33.72	66.28
40	0.425	59.40	394.50	39.70	60.30
50	0.300	73.20	467.70	47.06	52.94
60	0.250	54.20	521.90	52.52	47.48
100	0.150	143.00	664.90	66.90	33.10
200	0.075	187.20	852.10	85.74	14.26
BANDEJA		141.70	141.70	14.26	
TOTAL			993.80		



RESULTADOS			
D10 (mm)	0.065	**Cu = D60 / D10**	6.46
D30 (mm)	0.14	**Cc = D30² / (D60 * D10)**	0.72
D60 (mm)	0.42	**Tamaño Nominal Máximo (TNM)**	4.76
Error Permitido	1.00%	**Error Calculado**	0.62%

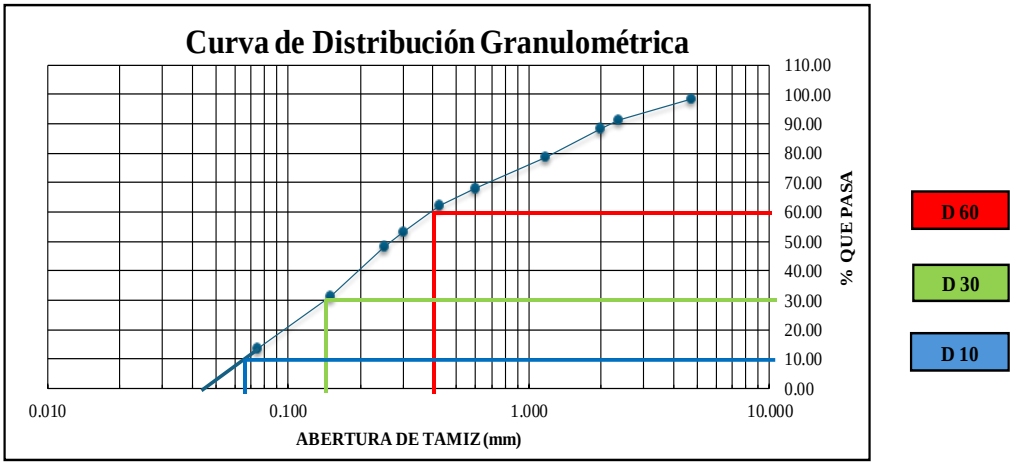
Anexo 6: Granulometría a los 750ºC - Parroquia Puerto Napo.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

Canton:	Tena	**Parroquia:**	Puerto Napo
Peso Muestra Seca:	1000 gr	**Tipo de muestra:**	750ºC

# TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO PARCIAL RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
No. 4	4.760	15.20	15.20	1.52	98.48
No. 8	2.360	73.40	88.60	8.86	91.14
No. 10	2.000	29.90	118.50	11.85	88.15
No. 16	1.180	96.40	214.90	21.49	78.51
No. 30	0.600	104.50	319.40	31.95	68.05
No. 40	0.425	61.10	380.50	38.06	61.94
No. 50	0.300	87.00	467.50	46.76	53.24
No. 60	0.250	49.30	516.80	51.69	48.31
No. 100	0.150	169.60	686.40	68.65	31.35
No. 200	0.075	179.90	866.30	86.65	13.35
BANDEJA		133.50	133.50	13.35	
TOTAL			999.80		



RESULTADOS			
D10 (mm)	0.068	**Cu = D60 / D10**	5.88
D30 (mm)	0.15	**Cc = D30² / (D60 * D10)**	0.83
D60 (mm)	0.40	**Tamaño Nominal Máximo (TNM)**	2.36
Error Permitido	1.00%	**Error Calculado**	0.02%

Anexo 7: Gravedad específica en estado natural - Parroquia Pano.

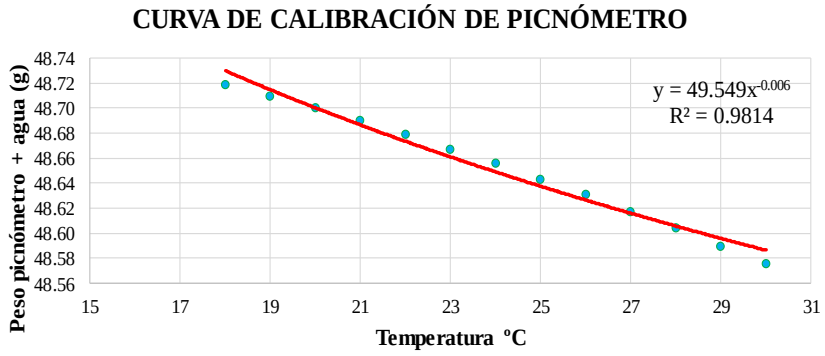
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

Canton:	Tena		**Parroquia:**	Pano
Peso Muestra Seca:	50	gr	**Tipo de muestra:**	Natural

Identificacion del recipiente	14	
Temperatura	23.00	°C
Picnómetro + Agua (Wbw)	662.30	g
Peso del suelo + recipiente	307.10	g
Peso del recipiente	258.40	g
Peso del suelo seco (Ws)	48.70	g
Ws+ Wbw	711.00	g
Picnómetro + Agua + Suelo (Wbws)	686.00	g
Desplazamiento del agua (Ws+Wbw-Wbws)	25.00	
Factor de corrección por temperatura (**K**)	0.99933	
Gravedad específica (Gs)	**1.947**	

Calibración del Picnómetro	
Temperatura ° C	**Masa (g)**
18	48.72
19	48.71
20	48.70
21	48.69
22	48.68
23	48.67
24	48.66
25	48.64
26	48.63
27	48.62
28	48.60
29	48.59
30	48.58



Anexo 8: Gravedad específica a los 750ºC - Parroquia Pano.

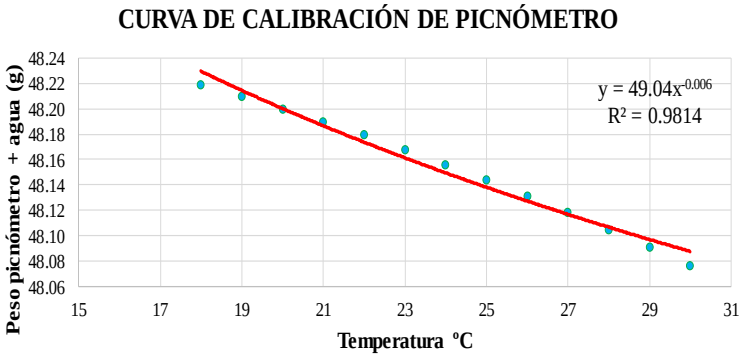
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

Canton:	Tena	**Parroquia:**	Pano
Peso Muestra Seca:	50 gr	**Tipo de muestra:**	750°C

Identificacion del recipiente	14	
Temperatura	22.00	°C
Picnometro + Agua (Wbw)	672.20	g
Peso del suelo + recipiente	160.80	g
Peso del recipiente	112.60	g
Peso del suelo seco (Ws)	48.20	g
Ws+ Wbw	720.40	g
Picnometro + Agua + Suelo (Wbws)	695.30	g
Desplazamiento del agua (Ws+Wbw-Wbws)	25.10	
Factor de corrección por temperatura (**K**)	0.99957	
Gravedad específica (Gs)	**1.919**	

Calibración del Picnómetro	
Temperatura °	**Masa (g)**
18	48.22
19	48.21
20	48.20
21	48.19
22	48.18
23	48.17
24	48.16
25	48.14
26	48.13
27	48.12
28	48.11
29	48.09
30	48.08



Anexo 9: Gravedad específica en estado natural - Parroquia Muyuna.

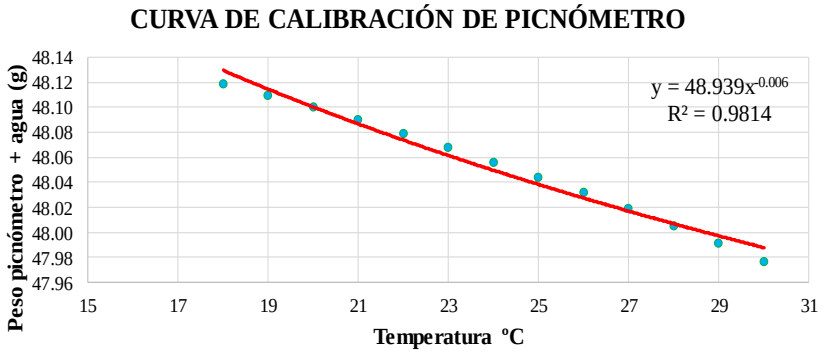
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

Canton:	Tena		**Parroquia:**	Muyuna
Peso Muestra Seca:	50	gr	**Tipo de muestra:**	Natural

Identificacion del recipiente	15	
Temperatura	24.00	°C
Picnómetro + Agua (Wbw)	662.20	g
Peso del suelo + recipiente	311.90	g
Peso del recipiente	263.80	g
Peso del suelo seco (Ws)	48.10	g
Ws+ Wbw	710.30	g
Picnómetro + Agua + Suelo (Wbws)	690.40	g
Desplazamiento del agua (Ws+Wbw-Wbws)	19.90	
Factor de corrección por temperatura (**K**)	0.99909	
Gravedad específica (Gs)	**2.415**	

Calibración del Picnómetro	
Temperatura ° C	**Masa (g)**
18	48.12
19	48.11
20	48.10
21	48.09
22	48.08
23	48.07
24	48.06
25	48.04
26	48.03
27	48.02
28	48.01
29	47.99
30	47.98



Anexo 10: Gravedad específica a los 750ºC - Parroquia Muyuna.

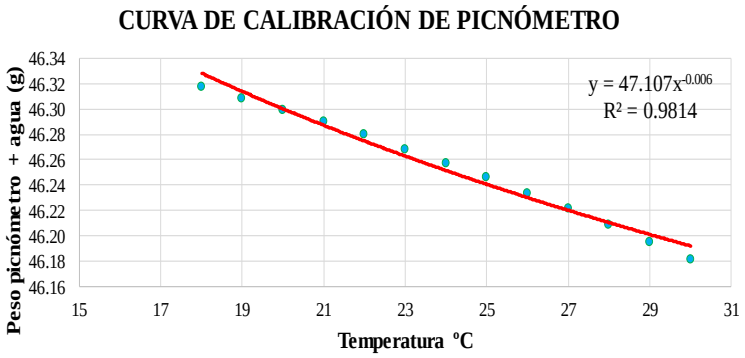
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

Canton:	Tena	**Parroquia:**	Muyuna
Peso Muestra Seca:	50 gr	**Tipo de muestra:**	750°C

Identificacion del recipiente	15	
Temperatura	22.00	°C
Picnometro + Agua (Wbw)	670.60	g
Peso del suelo + recipiente	126.70	g
Peso del recipiente	80.40	g
Peso del suelo seco (Ws)	46.30	g
Ws+ Wbw	716.90	g
Picnometro + Agua + Suelo (Wbws)	699.00	g
Desplazamiento del agua (Ws+Wbw-Wbws)	17.90	
Factor de corrección por temperatura (**K**)	0.99957	
Gravedad específica (Gs)	**2.585**	

Calibración del Picnómetro	
Temperatura ° C	Masa (g)
18	46.32
19	46.31
20	46.30
21	46.29
22	46.28
23	46.27
24	46.26
25	46.25
26	46.23
27	46.22
28	46.21
29	46.20
30	46.18



Anexo 11: Gravedad específica en estado natural - Parroquia Puerto Napo.

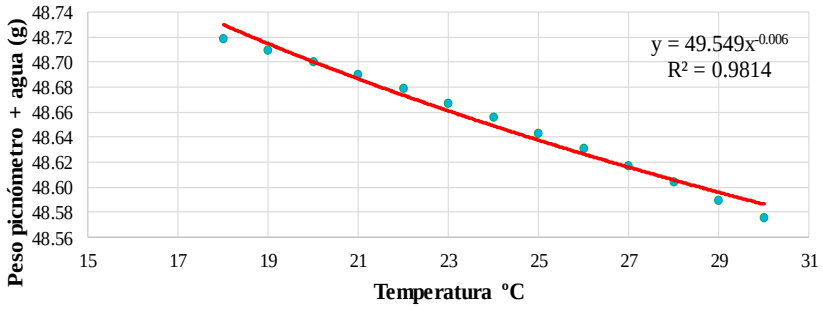
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

Canton:	Tena	**Parroquia:**	Puerto Napo
Peso Muestra Seca:	50 gr	**Tipo de muestra:**	Natural

Identificacion del recipiente	13	
Temperatura	22.00	°C
Picnómetro + Agua (Wbw)	662.70	g
Peso del suelo + recipiente	305.20	g
Peso del recipiente	256.50	g
Peso del suelo seco (Ws)	48.70	g
Ws+ Wbw	711.40	g
Picnómetro + Agua + Suelo (Wbws)	692.40	g
Desplazamiento del agua (Ws+Wbw-Wbws)	19.00	
Factor de corrección por temperatura (**K**)	0.99957	
Gravedad específica (Gs)	**2.562**	

Calibración del Picnómetro	
Temperatura ° C	**Masa (g)**
18	48.72
19	48.71
20	48.70
21	48.69
22	48.68
23	48.67
24	48.66
25	48.64
26	48.63
27	48.62
28	48.60
29	48.59
30	48.58



Anexo 12: Gravedad específica a los 750ºC - Parroquia Puerto Napo.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA

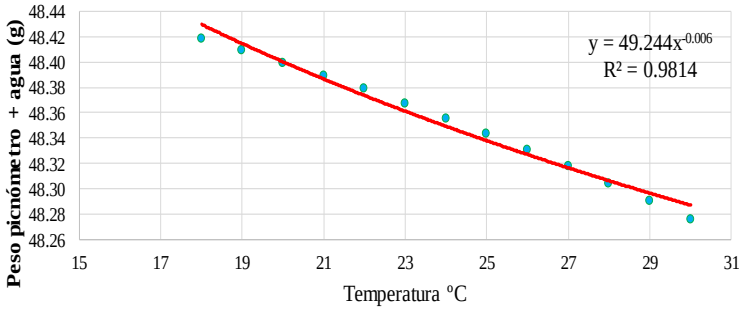
Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

Canton:	Tena	**Parroquia:**	Puero Napo
Peso Muestra Seca:	50 gr	**Tipo de muestra:**	750°C

Identificacion del recipiente	13	
Temperatura	23.00	°C
Picnometro + Agua (Wbw)	672.40	g
Peso del suelo + recipiente	304.60	g
Peso del recipiente	256.20	g
Peso del suelo seco (Ws)	48.40	g
Ws+ Wbw	720.80	g
Picnometro + Agua + Suelo (Wbws)	701.40	g
Desplazamiento del agua (Ws+Wbw-Wbws)	19.40	
Factor de corrección por temperatura (**K**)	0.99933	
Gravedad específica (Gs)	**2.493**	

Calibración del Picnómetro	
Temperatura ° C	**Masa (g)**
18	48.42
19	48.41
20	48.40
21	48.39
22	48.38
23	48.37
24	48.36
25	48.34
26	48.33
27	48.32
28	48.30
29	48.29
30	48.28

CURVA DE CALIBRACIÓN DE PICNÓMETRO



Anexo 13: Límites de Atterberg en estado natural - Parroquia Pano.

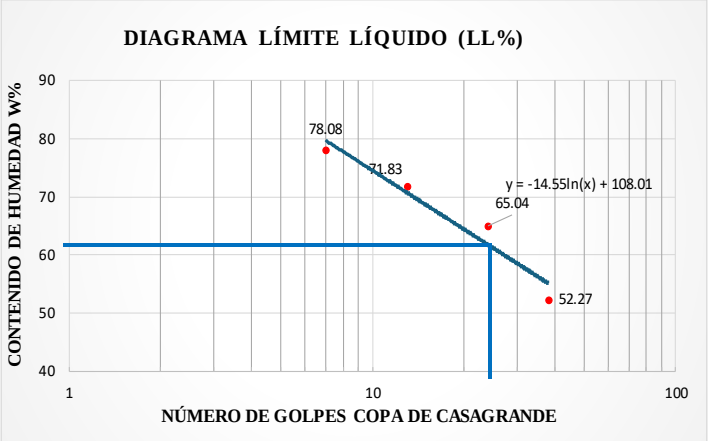
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO DE ATTERBERG

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

Canton:	Tena		**Parroquia:**	Pano
Peso Muestra Seca:	1000	gr	**Tipo de muestra:**	Natural

LÍMITE LÍQUIDO

Número de Golpes	7		13		24		38		
Identificación de Cápsula	51	39	26	27	3	50	24	22	
Peso de Cápsula	17.8	17.7	11.5	11.4	11.4	11.2	11.3	11.4	gr
Peso de muestra húmeda + cápsula	25.80	24.30	18.40	20.30	17.50	15.00	16.90	18.60	gr
Peso de muestra seca + cápsula	22.30	21.40	15.50	16.60	15.10	13.50	15.00	16.10	gr
Peso del agua	3.50	2.90	2.90	3.70	2.40	1.50	1.90	2.50	gr
Peso de la muestra seca	4.50	3.70	4.00	5.20	3.70	2.30	3.70	4.70	gr
Contenido de humedad (ω)	77.78	78.38	72.50	71.15	64.86	65.22	51.35	53.19	%
Promedio de contenido de humedad (ω)	78.08		71.83		65.04		52.27		%
Límite Líquido (LL)	**61.18**								**%**



LÍMITE PLÁSTICO

Identificación del recipiente	15	16	17	31	32	33	
Peso muestra húmeda + recipiente	11.80	12.10	11.90	12.10	11.80	11.70	g
Peso muestra seca + recipiente	11.40	11.60	11.40	11.60	11.40	11.40	g
Peso del agua	0.40	0.50	0.50	0.50	0.40	0.30	g
Peso del recipiente	10.70	10.70	10.60	10.90	10.60	10.70	g
Peso de la muestra seca	0.70	0.90	0.80	0.70	0.80	0.70	g
Contenido de humedad (ω)	57.14	55.56	62.50	71.43	50.00	42.86	%
Promedio contenido de humedad (ω)	**56.58**						**%**

RESULTADOS DE LÍMITES DE ATTERBERG

Límite Líquido (LL)	**61.18**	**%**
Límite Plástico (Lp)	**56.58**	**%**
Índice Plástico (IP)	**4.59**	**%**

Anexo 14: Límites de Atterberg a los 750ºC - Parroquia Pano.

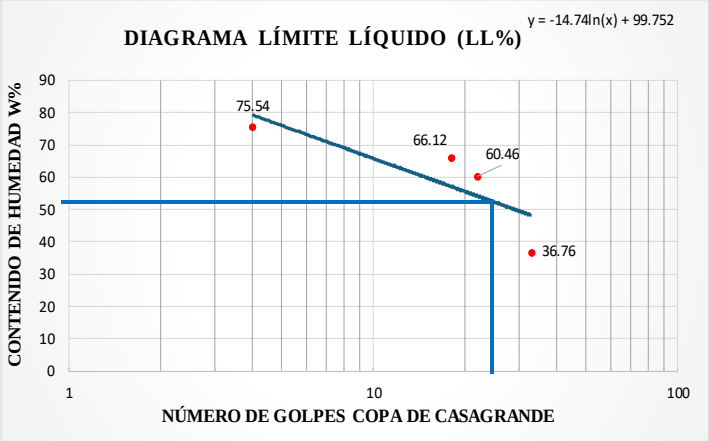
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO DE ATTERBERG

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

Canton:	Tena		**Parroquia:**	Pano
Peso Muestra Seca:	1000	gr	**Tipo de muestra:**	750°C

LÍMITE LÍQUIDO

Número de Golpes	4		18		22		33		
Identificación de Cápsula	16	24	28	35	57	59	67	73	
Peso de Cápsula	4.4	4.4	4.2	4.4	4.3	4.4	4.3	4.2	gr
Peso de muestra húmeda + cápsula	13.10	16.20	11.70	14.50	13.50	11.10	13.80	13.30	gr
Peso de muestra seca + cápsula	9.30	11.20	8.70	10.50	10.00	8.60	11.10	11.00	gr
Peso del agua	3.80	5.00	3.00	4.00	3.50	2.50	2.70	2.30	gr
Peso de la muestra seca	4.90	6.80	4.50	6.10	5.70	4.20	6.80	6.80	gr
Contenido de humedad (ω)	77.55	73.53	66.67	65.57	61.40	59.52	39.71	33.82	%
Promedio de contenido de humedad (ω)	75.54		66.12		60.46		36.76		%
Límite Líquido (LL)	**52.31**								**%**



LÍMITE PLÁSTICO

Identificación del recipiente	5	20	22	23	36	24	
Peso muestra húmeda + recipiente	13.40	13.60	13.10	12.80	12.80	13.30	g
Peso muestra seca + recipiente	12.60	12.70	12.30	12.00	12.10	12.40	g
Peso del agua	0.80	0.90	0.80	0.80	0.70	0.90	g
Peso del recipiente	10.80	10.70	10.60	10.60	10.60	10.60	g
Peso de la muestra seca	1.80	2.00	1.70	1.40	1.50	1.80	g
Contenido de humedad (ω)	44.44	45.00	47.06	57.14	46.67	50.00	%
Promedio contenido de humedad (ω)	**48.39**						**%**

RESULTADOS DE LÍMITES DE ATTERBERG

Límite Líquido (LL)	**52.31**	**%**
Límite Plástico (Lp)	**48.39**	**%**
Índice Plástico (IP)	**3.92**	**%**

Anexo 15: Límites de Atterberg en estado natural - Parroquia Muyuna.

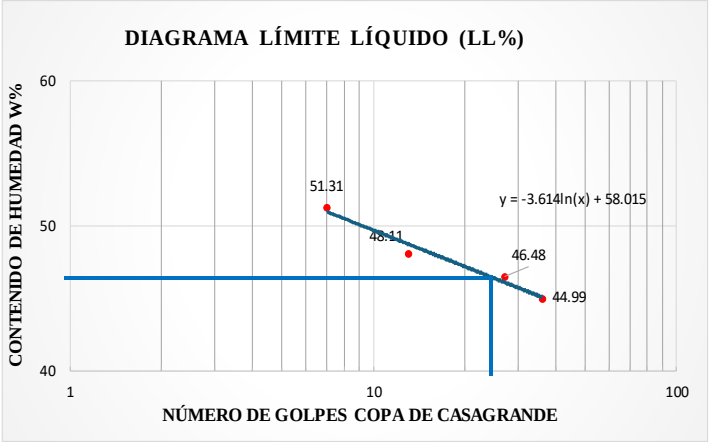
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO DE ATTERBERG

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

Canton:	Tena		**Parroquia:**	Muyuna
Peso Muestra Seca:	1000	gr	**Tipo de muestra:**	Natural

LÍMITE LÍQUIDO

Número de Golpes	7		13		27		36		
Identificación de Cápsula	32	40	9	15	10	23	12	11	
Peso de Cápsula	17.5	17.5	11.5	11.1	11.3	11.5	11	10.8	gr
Peso de muestra húmeda + cápsula	24.60	27.20	17.30	17.00	17.80	17.60	17.60	17.10	gr
Peso de muestra seca + cápsula	22.20	23.90	15.40	15.10	15.70	15.70	15.60	15.10	gr
Peso del agua	2.40	3.30	1.90	1.90	2.10	1.90	2.00	2.00	gr
Peso de la muestra seca	4.70	6.40	3.90	4.00	4.40	4.20	4.60	4.30	gr
Contenido de humedad (ω)	51.06	51.56	48.72	47.50	47.73	45.24	43.48	46.51	%
Promedio de contenido de humedad (ω)	51.31		48.11		46.48		44.99		%
Límite Líquido (LL)	**46.38**								**%**



LÍMITE PLÁSTICO

Identificación del recipiente	2	3	4	5	42	6	
Peso muestra húmeda + recipiente	7.80	7.70	7.70	7.70	7.40	7.60	g
Peso muestra seca + recipiente	7.30	7.20	7.20	7.30	7.00	7.10	g
Peso del agua	0.50	0.50	0.50	0.40	0.40	0.50	g
Peso del recipiente	6.10	6.00	6.10	6.20	6.10	6.00	g
Peso de la muestra seca	1.20	1.20	1.10	1.10	0.90	1.10	g
Contenido de humedad (ω)	41.67	41.67	45.45	36.36	44.44	45.45	%
Promedio contenido de humedad (ω)	**42.51**						**%**

RESULTADOS DE LÍMITES DE ATTERBERG

Límite Líquido (LL)	**46.38**	**%**
Límite Plástico (Lp)	**42.51**	**%**
Índice Plástico (IP)	**3.87**	**%**

Anexo 16: Límites de Atterberg a los 750ºC - Parroquia Muyuna.

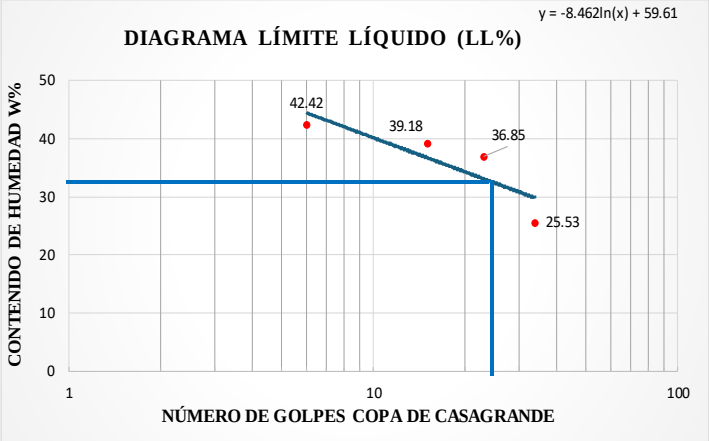
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO DE ATTERBERG

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

Canton:	Tena		**Parroquia:**	Muyuna
Peso Muestra Seca:	1000	gr	**Tipo de muestra:**	750°C

LÍMITE LÍQUIDO

Número de Golpes	6		15		23		34		
Identificación de Cápsula	12	21	24	34	38	39	41	44	
Peso de Cápsula	4.4	4.4	4.2	4.4	4.3	4.4	4.3	4.2	gr
Peso de muestra húmeda + cápsula	16.30	17.00	19.90	18.90	23.10	22.40	15.60	14.50	gr
Peso de muestra seca + cápsula	12.80	13.20	15.50	14.80	17.60	18.00	13.20	12.50	gr
Peso del agua	3.50	3.80	4.40	4.10	5.50	4.40	2.40	2.00	gr
Peso de la muestra seca	8.40	8.80	11.30	10.40	13.30	13.60	8.90	8.30	gr
Contenido de humedad (ω)	41.67	43.18	38.94	39.42	41.35	32.35	26.97	24.10	%
Promedio de contenido de humedad (ω)	42.42		39.18		36.85		25.53		%
Límite Líquido (LL)	**32.37**								**%**



LÍMITE PLÁSTICO

Identificación del recipiente	8	13	18	19	32	33	
Peso muestra húmeda + recipiente	13.60	13.50	13.00	13.70	13.70	13.70	g
Peso muestra seca + recipiente	13.00	12.90	12.50	13.00	13.10	12.90	g
Peso del agua	0.60	0.60	0.50	0.70	0.60	0.80	g
Peso del recipiente	10.80	10.80	10.70	10.60	10.60	10.70	g
Peso de la muestra seca	2.20	2.10	1.80	2.40	2.50	2.20	g
Contenido de humedad (ω)	27.27	28.57	27.78	29.17	24.00	36.36	%
Promedio contenido de humedad (ω)	**28.86**						**%**

RESULTADOS DE LÍMITES DE ATTERBERG

Límite Líquido (LL)	**32.37**	**%**
Límite Plástico (Lp)	**28.86**	**%**
Índice Plástico (IP)	**3.51**	**%**

Anexo 17: Límites de Atterberg en estado natural - Parroquia Puerto Napo.

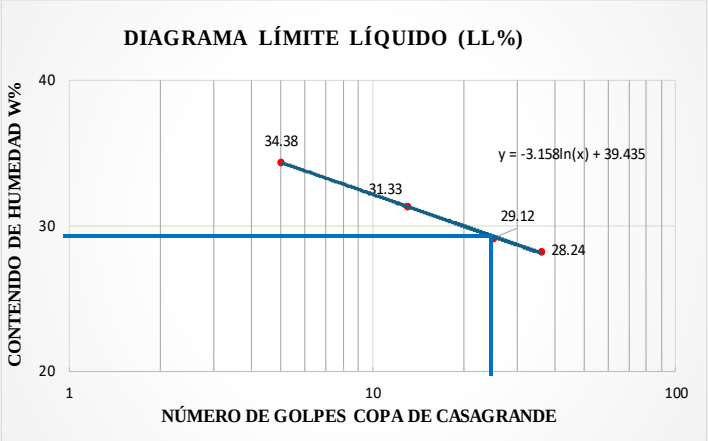
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO DE ATTERBERG

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

Canton:	Tena		**Parroquia:**	Puerto Napo
Peso Muestra Seca:	1000	gr	**Tipo de muestra:**	Natural

LÍMITE LÍQUIDO

Número de Golpes	5		13		25		36		
Identificación de Cápsula	49	43	4	21	2	1	33	34	
Peso de Cápsula	11.5	11.1	10.9	11.3	11.3	10.9	17.8	18	gr
Peso de muestra húmeda + cápsula	24.60	23.00	22.50	23.60	21.20	22.70	28.80	29.70	gr
Peso de muestra seca + cápsula	21.20	20.00	19.70	20.70	19.00	20.00	26.40	27.10	gr
Peso del agua	3.40	3.00	2.80	2.90	2.20	2.70	2.40	2.60	gr
Peso de la muestra seca	9.70	8.90	8.80	9.40	7.70	9.10	8.60	9.10	gr
Contenido de humedad (ω)	35.05	33.71	31.82	30.85	28.57	29.67	27.91	28.57	%
Promedio de contenido de humedad (ω)	34.38		31.33		29.12		28.24		%
Límite Líquido (LL)	**29.27**								**%**



LÍMITE PLÁSTICO

Identificación del recipiente	33	25	26	27	1	42	
Peso muestra húmeda + recipiente	13.10	7.10	7.60	7.70	7.80	7.80	g
Peso muestra seca + recipiente	12.60	6.90	7.30	7.40	7.40	7.40	g
Peso del agua	0.50	0.20	0.30	0.30	0.40	0.40	g
Peso del recipiente	10.70	6.00	6.00	6.10	6.00	6.10	g
Peso de la muestra seca	1.90	0.90	1.30	1.30	1.40	1.30	g
Contenido de humedad (ω)	26.32	22.22	23.08	23.08	28.57	30.77	%
Promedio contenido de humedad (ω)	**25.67**						**%**

RESULTADOS DE LÍMITES DE ATTERBERG

Límite Líquido (LL)	**29.27**	**%**
Límite Plástico (Lp)	**25.67**	**%**
Índice Plástico (IP)	**3.60**	**%**

Anexo 18: Límites de Atterberg a los 750ºC - Parroquia Puerto Napo.

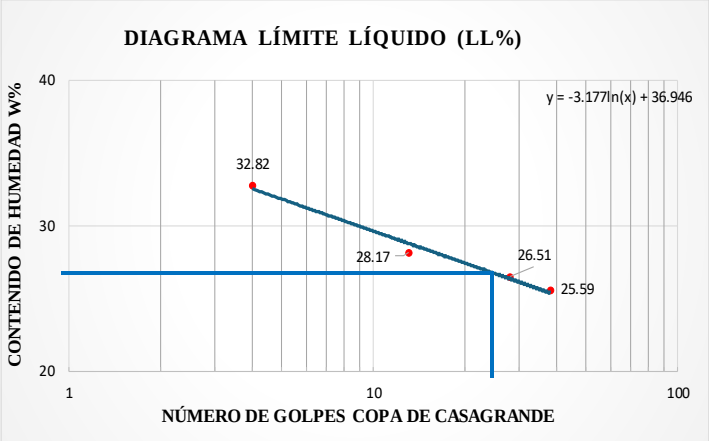
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO DE ATTERBERG

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

Canton:	Tena		**Parroquia:**	Puerto Napo
Peso Muestra Seca:	1000	gr	**Tipo de muestra:**	750°C

LÍMITE LÍQUIDO

Número de Golpes	4		13		28		38		
Identificación de Cápsula	12	21	24	34	38	39	41	44	
Peso de Cápsula	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.4	7.5	7.5	gr
Peso de muestra húmeda + cápsula	24.70	27.10	20.00	19.10	22.60	24.30	23.20	23.70	gr
Peso de muestra seca + cápsula	20.50	22.20	17.20	16.60	19.40	20.80	20.00	20.40	gr
Peso del agua	4.20	4.90	2.80	2.50	3.20	3.50	3.20	3.30	gr
Peso de la muestra seca	13.00	14.70	9.70	9.10	11.90	13.40	12.50	12.90	gr
Contenido de humedad (ω)	32.31	33.33	28.87	27.47	26.89	26.12	25.60	25.58	%
Promedio de contenido de humedad (ω)	32.82		28.17		26.51		25.59		%
Límite Líquido (LL)	**26.72**								**%**



LÍMITE PLÁSTICO

Identificación del recipiente	8	13	18	19	32	17	
Peso muestra húmeda + recipiente	13.50	12.90	12.60	12.70	12.70	12.80	g
Peso muestra seca + recipiente	12.90	12.40	12.20	12.30	12.30	12.40	g
Peso del agua	0.60	0.50	0.40	0.40	0.40	0.40	g
Peso del recipiente	10.80	10.70	10.60	10.60	10.60	10.60	g
Peso de la muestra seca	2.10	1.70	1.60	1.70	1.70	1.80	g
Contenido de humedad (ω)	28.57	29.41	25.00	23.53	23.53	22.22	%
Promedio contenido de humedad (ω)	**25.38**						**%**

RESULTADOS DE LÍMITES DE ATTERBERG

Límite Líquido (LL)	**26.72**	**%**
Límite Plástico (Lp)	**25.38**	**%**
Índice Plástico (IP)	**1.34**	**%**

Anexo 19: Permeabilidad en estado natural - Parroquia Pano.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE PERMEABILIDAD

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

Canton:	Tena		**Parroquia:**	Pano
Peso Muestra Seca:	1000	gr	**Tipo de muestra:**	Natural

Permeámetro de Carga Constante

$$k = \frac{(VL)}{(Aht)}$$

V= Volumen del Agua	**cm3**	5
L= Longitud de la muestra	**cm**	5.5
A= Área transversal de la muestra	**cm2**	30.19
D= Diámetro interior del permeámetro	**cm**	6.2
t= Tiempo Prueba	**s**	395
h= Altura en que se produce filtración	**cm**	73.4
k= Coeficiente de permeabilidad	**cm/seg**	3.14E-05

Tipo de Permeabilidad: **Baja permeabilidad**

Tipo de Suelo: **Arena arcillosa**

Corrección de temperatura

Temperatura de trabajo (°C) 24

$$k(20\ C) = \frac{(nt)(kt)}{n(20\ C)}$$

20	1.007E-06
25	8.970E-07

5	1.100E-07
1	x

x= 2.200E-08

Temperatura (Celsius)		**24**
k(20 C)= Coeficiente de permeabilidad estandarizado	**cm/seg**	**3.073E-05**
nt= Viscosidad del fluido a la temperatura de trabajo	**m2/seg**	9.850E-07
n(20 C)= Viscosidad del fluido a la temperatura estandarizada	**m2/seg**	1.007E-06
kt= Coeficiente de permeabilidad a temperatura de trabajo	**cm/seg**	3.142E-05

Tipo de Permeabilidad: **Baja permeabilidad**

Tipo de Suelo: **Arena arcillosa**

Anexo 20: Permeabilidad a los 750ºC - Parroquia Pano.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE PERMEABILIDAD

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

Canton:	Tena		**Parroquia:**	Pano	
Peso Muestra Seca:	1000	gr	**Tipo de muestra:**	750°C	

Permeámetro de Carga Constante

$$k = \frac{(VL)}{(Aht)}$$

V= Volumen del Agua	**cm3**	5
L= Longitud de la muestra	**cm**	5.3
A= Área transversal de la muestra	**cm2**	30.19
D= Diámetro interior del permeámetro	**cm**	6.2
t= Tiempo Prueba	**s**	202
h= Altura en que se produce filtración	**cm**	74.8
k= Coeficiente de permeabilidad	**cm/seg**	5.81E-05

Tipo de Permeabilidad: **Baja permeabilidad**

Tipo de Suelo: **Arena arcillosa**

Corrección de temperatura

Temperatura de trabajo (°C) 20

$$k(20\ C) = \frac{(nt)(kt)}{n(20\ C)}$$

20	1.007E-06
25	8.970E-07

5	1.100E-07
5	x

x= 1.100E-07

Temperatura (Celsius)		**20**
k(20 C)= Coeficiente de permeabilidad estandarizado	**cm/seg**	**5.175E-05**
nt= Viscosidad del fluido a la temperatura de trabajo	**m2/seg**	8.970E-07
n(20 C)= Viscosidad del fluido a la temperatura estandarizada	**m2/seg**	1.007E-06
kt= Coeficiente de permeabilidad a temperatura de trabajo	**cm/seg**	5.809E-05

Tipo de Permeabilidad: **Baja permeabilidad**

Tipo de Suelo: **Arena arcillosa**

Anexo 21: Permeabilidad en estado natural - Parroquia Muyuna.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE PERMEABILIDAD

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

Canton:	Tena		**Parroquia:**	Muyuna
Peso Muestra Seca:	1000	gr	**Tipo de muestra:**	Natural

Permeámetro de Carga Constante

$$k = \frac{(VL)}{(Aht)}$$

V= Volumen del Agua	**cm3**	**5**
L= Longitud de la muestra	**cm**	**5.7**
A= Área transversal de la muestra	**cm2**	30.19
D= Diámetro interior del permeámetro	**cm**	6.2
t= Tiempo Prueba	**s**	**532**
h= Altura en que se produce filtración	**cm**	**72.1**
k= Coeficiente de permeabilidad	**cm/seg**	2.46E-05

Tipo de Permeabilidad: **Muy baja permeabilidad**

Tipo de Suelo: **Arena limosa**

Corrección de temperatura

Temperatura de trabajo (°C) 21

$$k(20\ C) = \frac{(nt)(kt)}{n(20\ C)}$$

20	1.007E-06
25	8.970E-07

5	1.100E-07
4	x

x= 8.800E-08

Temperatura (Celsius)		**21**
k(20 C)= Coeficiente de permeabilidad estandarizado	**cm/seg**	**2.246E-05**
nt= Viscosidad del fluido a la temperatura de trabajo	**m2/seg**	9.190E-07
n(20 C)= Viscosidad del fluido a la temperatura estandarizada	**m2/seg**	1.007E-06
kt= Coeficiente de permeabilidad a temperatura de trabajo	**cm/seg**	2.461E-05

Tipo de Permeabilidad: **Muy baja permeabilidad**

Tipo de Suelo: **Arena limosa**

Anexo 22: Permeabilidad a los 750ºC - Parroquia Muyuna.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE PERMEABILIDAD

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

Canton:	Tena		**Parroquia:**	Muyuna
Peso Muestra Seca:	1000	gr	**Tipo de muestra:**	750°C

Permeámetro de Carga Constante

$$k = \frac{(VL)}{(Aht)}$$

V= Volumen del Agua	**cm3**	5
L= Longitud de la muestra	**cm**	5.8
A= Área transversal de la muestra	**cm2**	30.19
D= Diámetro interior del permeámetro	**cm**	6.2
t= Tiempo Prueba	**s**	266
h= Altura en que se produce filtración	**cm**	74.5
k= Coeficiente de permeabilidad	**cm/seg**	**4.85E-05**

Tipo de Permeabilidad: **Baja permeabilidad**

Tipo de Suelo: **Arena limosa**

Corrección de temperatura

Temperatura de trabajo (°C) 21

$$k(20\ C) = \frac{(nt)(kt)}{n(20\ C)}$$

20	1.007E-06
25	8.970E-07

5	1.100E-07
4	x

x= 8.800E-08

Temperatura (Celsius)		**21**
k(20 C)= Coeficiente de permeabilidad estandarizado	**cm/seg**	**4.424E-05**
nt= Viscosidad del fluido a la temperatura de trabajo	**m2/seg**	9.190E-07
n(20 C)= Viscosidad del fluido a la temperatura estandarizada	**m2/seg**	1.007E-06
kt= Coeficiente de permeabilidad a temperatura de trabajo	**cm/seg**	4.847E-05

Tipo de Permeabilidad: **Baja permeabilidad**

Tipo de Suelo: **Arena limosa**

Anexo 23: Permeabilidad en estado natural - Parroquia Puerto Napo.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE PERMEABILIDAD

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

Canton: Tena **Parroquia:** Puerto Napo

Peso Muestra Seca: 1000 gr **Tipo de muestra:** Natural

Permeámetro de Carga Constante

$$k = \frac{(VL)}{(Aht)}$$

V= Volumen del Agua	**cm3**	5
L= Longitud de la muestra	**cm**	5.6
A= Área transversal de la muestra	**cm2**	30.19
D= Diámetro interior del permeámetro	**cm**	6.2
t= Tiempo Prueba	**s**	345
h= Altura en que se produce filtración	**cm**	72.8
k= Coeficiente de permeabilidad	**cm/seg**	3.69E-05

Tipo de Permeabilidad: **Baja permeabilidad**

Tipo de Suelo: **Arena limosa**

Corrección de temperatura

Temperatura de trabajo (°C) 20

$$k(20\ C) = \frac{(nt)(kt)}{n(20\ C)}$$

20	1.007E-06
25	8.970E-07

5	1.100E-07
5	x

x= 1.100E-07

Temperatura (Celsius)		**20**
k(20 C)= Coeficiente de permeabilidad estandarizado	**cm/seg**	**3.289E-05**
nt= Viscosidad del fluido a la temperatura de trabajo	**m2/seg**	8.970E-07
n(20 C)= Viscosidad del fluido a la temperatura estandarizada	**m2/seg**	1.007E-06
kt= Coeficiente de permeabilidad a temperatura de trabajo	**cm/seg**	3.693E-05

Tipo de Permeabilidad: **Baja permeabilidad**

Tipo de Suelo: **Arena limosa**

Anexo 24: Permeabilidad a los 750ºC - Parroquia Puerto Napo.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE PERMEABILIDAD

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

Canton:	Tena		**Parroquia:**	Puerto Napo	
Peso Muestra Seca:	1000	gr	**Tipo de muestra:**	750°C	

Permeámetro de Carga Constante

$$k = \frac{(VL)}{(Aht)}$$

V= Volumen del Agua	**cm3**	5
L= Longitud de la muestra	**cm**	5.7
A= Área transversal de la muestra	**cm2**	30.19
D= Diámetro interior del permeámetro	**cm**	6.2
t= Tiempo Prueba	**s**	267
h= Altura en que se produce filtración	**cm**	73.5
k= Coeficiente de permeabilidad	**cm/seg**	**4.81E-05**

Tipo de Permeabilidad: **Baja permeabilidad**

Tipo de Suelo: **Arena limosa**

Corrección de temperatura

Temperatura de trabajo (°C) 24

$$k(20\ C) = \frac{(nt)(kt)}{n(20\ C)}$$

20	1.007E-06
25	8.970E-07

5	1.100E-07
1	x

x= 2.200E-08

Temperatura (Celsius)		**24**
k(20 C)= Coeficiente de permeabilidad estandarizado	**cm/seg**	**4.705E-05**
nt= Viscosidad del fluido a la temperatura de trabajo	**m2/seg**	9.850E-07
n(20 C)= Viscosidad del fluido a la temperatura estandarizada	**m2/seg**	1.007E-06
kt= Coeficiente de permeabilidad a temperatura de trabajo	**cm/seg**	4.810E-05

Tipo de Permeabilidad: **Baja permeabilidad**

Tipo de Suelo: **Arena limosa**

Anexo 25: Proctor modificado Tipo B en estado natural - Parroquia Pano.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO DE COMPACTACIÓN (PROCTOR MODIFICADO "B")

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

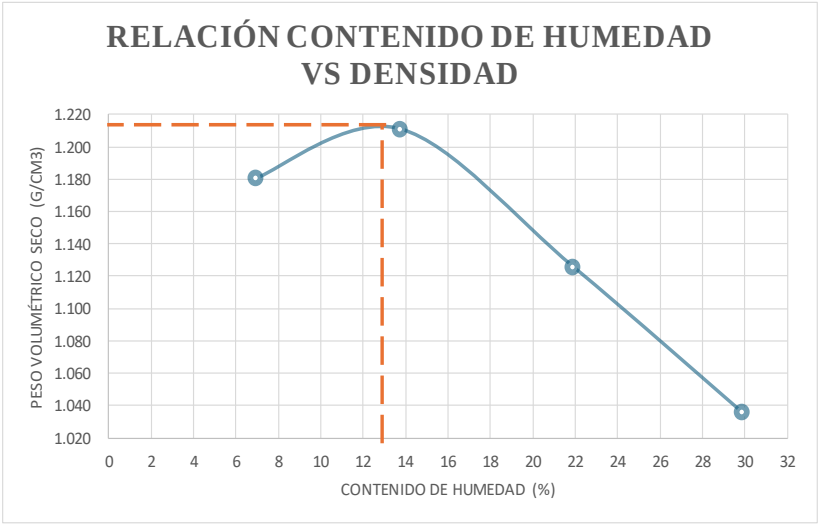
CANTÓN:	Tena		**Parroquia:**	Pano	
Peso Muestra Seca:	20000	gr	**Tipo de muestra:**	Natural	

ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR									
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del Molde		12924.5	gr	
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Volumen del Molde		2286.37	cm³	
Energía de Compactación	55986		lb pie/pie³	Øint	15.2	h	12.6	cm
Peso Inicial Deseado	5000	5000		5000		5000		gr

PROCESO DE COMPACTACIÓN									
Ensayo Número	1		2		3		4		
Humedad inicial añadida	6%		14%		22%		30%		%
P. molde+Suelo húmedo	15811.0		16074.0		16062.0		15999.5		gr
Peso suelo húmedo Wm	2886.5		3149.5		3137.5		3075		gr
Peso unitario húmedo γm	1.262		1.378		1.372		1.345		g/cm³

DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD									
Recipiente número	12	38	40	41	20	29	13	25	
Peso del recipiente Wr	30.8	31	20.9	20.8	24.9	24.2	24.3	25.3	gr
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm + Wr)	100.0	85.0	93.6	93.7	88.1	91.4	92.5	91.6	gr
Peso muestra seca + recipiente (Ws + Wr)	94.5	82.3	84.8	84.9	76.3	79.8	77.5	75.7	gr
Peso de la muestra seca (Ws)	63.70	51.30	63.90	64.10	51.40	55.60	53.20	50.40	gr
Peso del agua (Ww)	5.50	2.70	8.80	8.80	11.80	11.60	15.00	15.90	gr
Contenido de humedad (ω)	8.63	5.26	13.77	13.73	22.96	20.86	28.20	31.55	%
Promedio contenido de humedad (ω)	6.95		13.75		21.91		29.87		%
Peso Volumétrico Seco γd	1.180		1.211		1.126		1.036		gr/cm³

DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA		
Cont. Humedad optimo ω	**12.80**	%
Peso Volumétrico Seco γd	**1.213**	gr/cm³



Anexo 26: Proctor modificado Tipo B a los 750ºC - Parroquia Pano.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO DE COMPACTACIÓN (PROCTOR MODIFICADO "B")

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

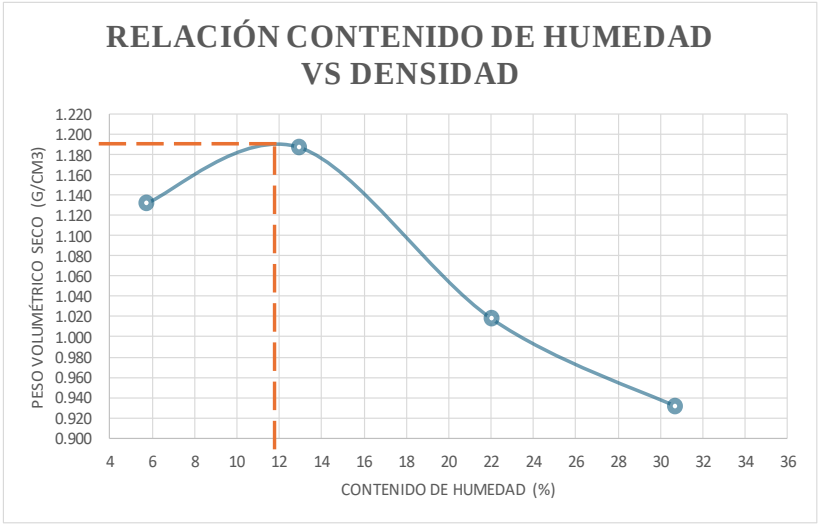
CANTÓN:	Tena		**Parroquia:**	Pano
Peso Muestra Seca:	20000	gr	**Tipo de muestra:**	750°C

ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR									
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del Molde	12924.5	gr			
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Volumen del Molde	2286.37	cm³			
Energía de Compactación	55986		lb pie/pie³	Øint	15.2	h	12.6	cm	
Peso Inicial Deseado	5000		5000		5000		5000		gr

PROCESO DE COMPACTACIÓN									
Ensayo Número	1		2		3		4		
Humedad inicial añadida	6%		14%		22%		30%		%
P. molde+Suelo húmedo	15663.5		15992.0		15765.0		15708.5		gr
Peso suelo húmedo Wm	2739		3067.5		2840.5		2784		gr
Peso unitario húmedo γm	1.198		1.342		1.242		1.218		g/cm³

DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD									
Recipiente número	16	7	22	23	10	14	12	30	
Peso del recipiente Wr	24.9	24.7	28.9	24.1	25.5	22.8	24.7	24.5	gr
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm + Wr)	92.4	95.0	85.4	80.8	91.5	93.0	96.1	98.4	gr
Peso muestra seca + recipiente (Ws + Wr)	88.7	91.2	79.1	74.1	79.7	80.2	78.9	81.5	gr
Peso de la muestra seca (Ws)	63.80	66.50	50.20	50.00	54.20	57.40	54.20	57.00	gr
Peso del agua (Ww)	3.70	3.80	6.30	6.70	11.80	12.80	17.20	16.90	gr
Contenido de humedad (ω)	5.80	5.71	12.55	13.40	21.77	22.30	31.73	29.65	%
Promedio contenido de humedad (ω)	5.76		12.97		22.04		30.69		%
Peso Volumétrico Seco γd	1.133		1.188		1.018		0.932		gr/cm³

DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA		
Cont. Humedad optimo ω	**11.90**	%
Peso Volumétrico Seco γd	**1.192**	gr/cm³



Anexo 27: Proctor modificado Tipo B en estado natural - Parroquia Muyuna.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO DE COMPACTACIÓN (PROCTOR MODIFICADO "B")

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

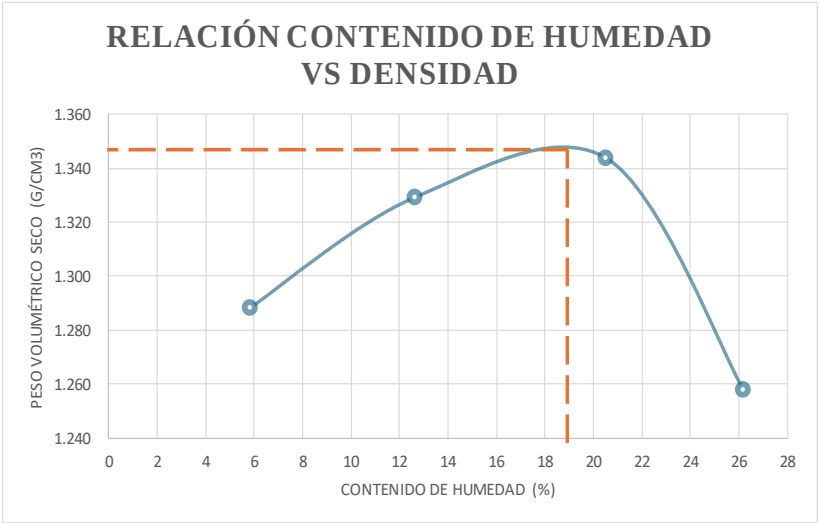
CANTÓN:	Tena		**Parroquia:**	Muyuna	
Peso Muestra Seca:	20000	gr	**Tipo de muestra:**	Natural	

ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR									
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del Molde		15375.5	gr	
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Volumen del Molde		2286.37	cm³	
Energía de Compactación	55986		lb pie/pie³	Øint	15.2	h	12.6	cm
Peso Inicial Deseado	5000	5000		5000		5000		gr

PROCESO DE COMPACTACIÓN					
Ensayo Número	1	2	3	4	
Humedad inicial añadida	6%	13%	20%	27%	%
P. molde+Suelo húmedo	18493.0	18798.5	19078.5	19004.5	gr
Peso suelo húmedo Wm	3117.5	3423	3703	3629	gr
Peso unitario húmedo γm	1.364	1.497	1.620	1.587	g/cm³

DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD									
Recipiente número	22	23	12	30	16	7	10	14	
Peso del recipiente Wr	28.9	24.1	24.7	24.5	24.9	24.7	25.5	22.8	gr
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm + Wr)	112.5	105.4	99.9	100.8	109.7	101.8	99.8	98.8	gr
Peso muestra seca + recipiente (Ws + Wr)	108.2	100.6	91.8	91.9	94.9	89.0	84.6	82.8	gr
Peso de la muestra seca (Ws)	79.30	76.50	67.10	67.40	70.00	64.30	59.10	60.00	gr
Peso del agua (Ww)	4.30	4.80	8.10	8.90	14.80	12.80	15.20	16.00	gr
Contenido de humedad (ω)	5.42	6.27	12.07	13.20	21.14	19.91	25.72	26.67	%
Promedio contenido de humedad (ω)	5.85		12.64		20.52		26.19		%
Peso Volumétrico Seco γd	1.288		1.329		1.344		1.258		gr/cm³

DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA		
Cont. Humedad optimo ω	**18.90**	%
Peso Volumétrico Seco γd	**1.348**	gr/cm³



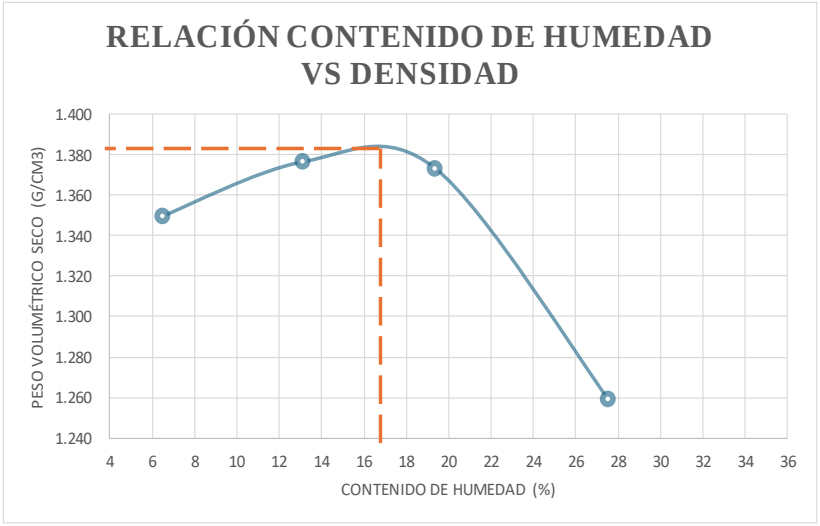
Anexo 28: Proctor modificado Tipo B a los 750ºC - Parroquia Muyuna.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO DE COMPACTACIÓN (PROCTOR MODIFICADO "B")

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

CANTÓN:	Tena		**Parroquia:**	Muyuna
Peso Muestra Seca:	20000	gr	**Tipo de muestra:**	750°C

ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR									
Número de Golpes	56	Altura de Caída		18"	Peso del Molde		15375.5	gr	
Número de Capas	5	Peso del Martillo		10 lb	Volumen del Molde		2286.37	cm³	
Energía de Compactación	55986			lb pie/pie³	Øint	15.2	h	12.6	cm
Peso Inicial Deseado	5000		5000		5000		5000		gr
PROCESO DE COMPACTACIÓN									
Ensayo Número	1		2		3		4		
Humedad inicial añadida	6%		13%		20%		27%		%
P. molde+Suelo húmedo	18661.5		18935.5		19123.0		19048.0		gr
Peso suelo húmedo Wm	3286		3560		3747.5		3672.5		gr
Peso unitario húmedo γm	1.437		1.557		1.639		1.606		g/cm³
DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD									
Recipiente número	5	6	1	26	2	31	29	17	
Peso del recipiente Wr	23.2	26.8	26.4	25.8	25.7	23.7	24.1	24.5	gr
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm + Wr)	104.3	106.6	110.1	108.5	102.0	99.8	104.5	105.2	gr
Peso muestra seca + recipiente (Ws + Wr)	99.4	101.7	100.5	98.8	89.6	87.5	86.9	88.0	gr
Peso de la muestra seca (Ws)	76.20	74.90	74.10	73.00	63.90	63.80	62.80	63.50	gr
Peso del agua (Ww)	4.90	4.90	9.60	9.70	12.40	12.30	17.60	17.20	gr
Contenido de humedad (ω)	6.43	6.54	12.96	13.29	19.41	19.28	28.03	27.09	%
Promedio contenido de humedad (ω)	6.49		13.12		19.34		27.56		%
Peso Volumétrico Seco γd	1.350		1.376		1.373		1.259		gr/cm³
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA									
Cont. Humedad optimo ω			**16.80**						%
Peso Volumétrico Seco γd			**1.384**						gr/cm³



Anexo 29: Proctor modificado Tipo B en estado natural - Parroquia Puerto Napo.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO DE COMPACTACIÓN (PROCTOR MODIFICADO "B")

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

CANTÓN:	Tena		**Parroquia:**	Puerto Napo	
Peso Muestra Seca:	20000	gr	**Tipo de muestra:**	Natural	

ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR

Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del Molde		15521.5	gr	
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Volumen del Molde		2256.39	cm³	
Energía de Compactación	55986		lb pie/pie³	Øint	15.1	h	12.6	cm
Peso Inicial Deseado	5000	5000		5000		5000		gr

PROCESO DE COMPACTACIÓN

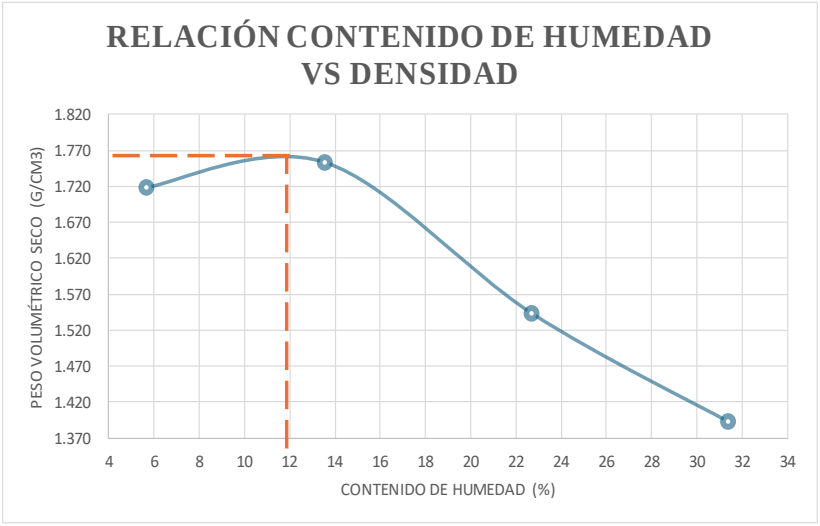
Ensayo Número	1	2	3	4	
Humedad inicial añadida	6%	14%	22%	30%	%
P. molde+Suelo húmedo	19619.5	20013.5	19792.0	19647.0	gr
Peso suelo húmedo Wm	4098	4492	4270.5	4125.5	gr
Peso unitario húmedo γm	1.816	1.991	1.893	1.828	g/cm³

DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD

Recipiente número	2	31	5	6	29	17	1	26	
Peso del recipiente Wr	25.7	23.7	23.2	26.8	24.1	24.5	26.4	25.8	gr
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm + Wr)	123.2	121.5	133.1	122.9	144.0	134.8	138.8	142.0	gr
Peso muestra seca + recipiente (Ws + Wr)	117.8	116.4	120.6	110.9	121.8	114.4	112.0	114.2	gr
Peso de la muestra seca (Ws)	92.10	92.70	97.40	84.10	97.70	89.90	85.60	88.40	gr
Peso del agua (Ww)	5.40	5.10	12.50	12.00	22.20	20.40	26.80	27.80	gr
Contenido de humedad (ω)	5.86	5.50	12.83	14.27	22.72	22.69	31.31	31.45	%
Promedio contenido de humedad (ω)	5.68		13.55		22.71		31.38		%
Peso Volumétrico Seco γd	1.719		1.753		1.542		1.392		gr/cm³

DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA

Cont. Humedad optimo ω	**11.90**	%
Peso Volumétrico Seco γd	**1.762**	gr/cm³



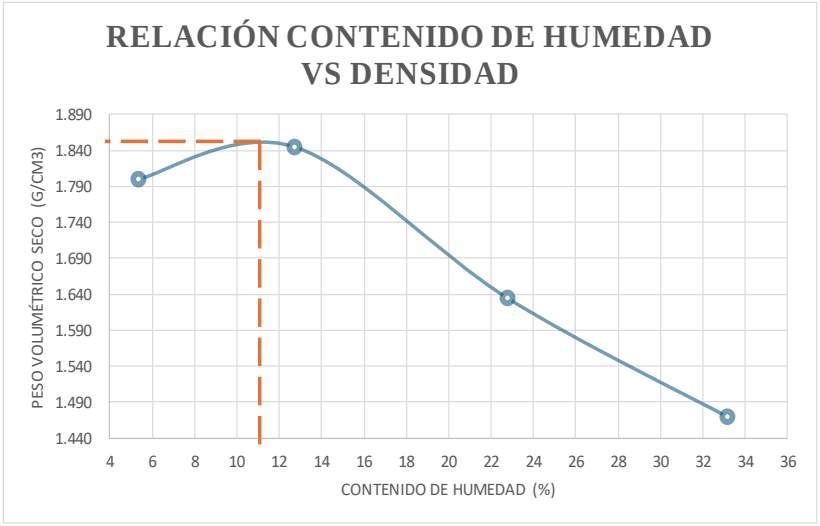
Anexo 30: Proctor modificado Tipo B a los 750ºC - Parroquia Puerto Napo.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO DE COMPACTACIÓN (PROCTOR MODIFICADO "B")

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

CANTÓN:	Tena		**Parroquia:**	Puerto Napo
Peso Muestra Seca:	20000	gr	**Tipo de muestra:**	750°C

ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR									
Número de Golpes	56	Altura de Caída		18"	Peso del Molde		15521.5	gr	
Número de Capas	5	Peso del Martillo		10 lb	Volumen del Molde		2256.39	cm³	
Energía de Compactación	55986			lb pie/pie³	Øint	15.1	h	12.6	cm
Peso Inicial Deseado	5000		5000		5000		5000		gr
PROCESO DE COMPACTACIÓN									
Ensayo Número	1		2		3		4		
Humedad inicial añadida	6%		14%		22%		30%		%
P. molde+Suelo húmedo	19802.5		20215.0		20048.0		19933.5		gr
Peso suelo húmedo Wm	4281		4693.5		4526.5		4412		gr
Peso unitario húmedo γm	1.897		2.080		2.006		1.955		g/cm³
DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD									
Recipiente número	40	41	13	25	20	29	12	38	
Peso del recipiente Wr	20.9	20.8	24.3	25.3	24.9	24.2	30.8	31	gr
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm + Wr)	117.3	118.1	122.5	127.0	119.2	120.6	134.7	135.1	gr
Peso muestra seca + recipiente (Ws + Wr)	112.4	113.1	111.5	115.4	101.6	102.8	109.2	108.8	gr
Peso de la muestra seca (Ws)	91.50	92.30	87.20	90.10	76.70	78.60	78.40	77.80	gr
Peso del agua (Ww)	4.90	5.00	11.00	11.60	17.60	17.80	25.50	26.30	gr
Contenido de humedad (ω)	5.36	5.42	12.61	12.87	22.95	22.65	32.53	33.80	%
Promedio contenido de humedad (ω)	5.39		12.74		22.80		33.17		%
Peso Volumétrico Seco γd	1.800		1.845		1.634		1.468		gr/cm³
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA									
Cont. Humedad optimo ω			**11.00**						%
Peso Volumétrico Seco γd			**1.850**						gr/cm³



Anexo 31: CBR en estado natural - Parroquia Pano.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO PARA DETERMINAR CBR

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

CANTÓN:	Tena	**Parroquia:**	Pano
Peso Muestra Seca:	18000 gr	**Tipo de muestra:**	Natural

ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

Peso Muestra	6000	g		Densidad Máx. Seca	1.213	g/cm³
Peso Martillo	10	lb		W% Óptimo	12.8	%
Altura de Caída	18	in				

ENSAYO DE COMPACTACIÓN CBR

MOLDE	14		A3		27		
DIMENSIONES	Diámetro	15	Diámetro	15.1	Diámetro	15.1	cm
	Altura	12.5	Altura	12.5	Altura	13	cm
Nº de Capas	5		5		5		
Nº de Golpes	56		27		11		
Peso Húmeda + Molde	12038		10949.5		8873.5		g
Peso Molde	9106.5		8316		6209		g
Peso de Muestra Húmeda	2931.5		2633.5		2664.5		g
Volumen Muestra	2208.93		2238.48		2328.02		cm³
Peso unitario Húmedo γm	**1.327**		**1.176**		**1.145**		g/cm³

CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente Número	28	9	20	22	31	18	
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm + Wr)	111.70	118.30	125.70	120.60	127.10	121.90	g
Peso muestra seca + recipiente (Ws + Wr)	101.80	108.50	115.10	110.90	115.40	110.90	g
Peso del agua (Ww)	9.90	9.80	10.60	9.70	11.70	11.00	g
Peso del recipiente (Wr)	30.70	30.20	33.20	32.70	30.80	30.20	g
Peso de la muestra seca (Ws)	71.10	78.30	81.90	78.20	84.60	80.70	g
Contenido de humedad (ω)	13.92	12.52	12.94	12.40	13.83	13.63	%
Promedio contenido de humedad (ω)	13.22		12.67		13.73		%
Peso Volumétrico Seco γd	**1.172**		**1.044**		**1.006**		g/cm³

DESPÚES DE LA SATURACIÓN

Peso Húmeda + Molde	12324		11465		9238.5		g
Peso Molde	9106.5		8316		6209		g
Peso de Muestra Húmeda	3217.5		3149		3029.5		g
Volumen Muestra	2208.93		2238.48		2328.02		cm³
Peso unitario Húmedo γm	**1.457**		**1.407**		**1.301**		g/cm³

CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente Número	30	14	22	26	2	13	
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm + Wr)	85.50	85.30	115.00	95.40	128.40	137.50	g
Peso muestra seca + recipiente (Ws + Wr)	74.80	73.70	99.70	82.20	110.90	117.70	g
Peso del agua (Ww)	10.70	11.60	15.30	13.20	17.50	19.80	g
Peso del recipiente (Wr)	24.30	22.60	32.70	25.90	33.40	30.80	g
Peso de la muestra seca (Ws)	50.50	51.10	67.00	56.30	77.50	86.90	g
Contenido de humedad (ω)	21.19	22.70	22.84	23.45	22.58	22.78	%
Promedio contenido de humedad (ω)	**21.94**		**23.14**		**22.68**		%

Anexo 32: Datos de la máquina de compresión en estado natural - Parroquia Pano.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO PARA DETERMINAR CBR

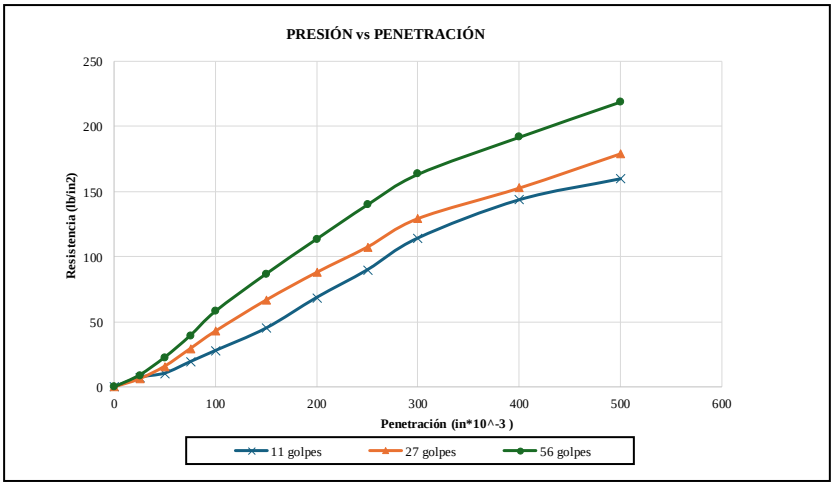
Proyecto CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

CANTÓN:	Tena	**Parroquia:**	Pano
Peso Muestra Seca:	18000 gr	**Tipo de muestra:**	Natural

MÁQUINA DE COMPRESIÓN SIMPLE (CONTROLS)

Área de Pistón	3	in²		Velocida de carga	1.270	mm/min	
					0.05	in/min	

PENETRACIÓN		Q Estándar (lb/in²)	MOLDE Nº 1 (56 Golpes)				MOLDE Nº 2 (27 Golpes)				MOLDE Nº 3 (11 Golpes)			
			Q Carga	Presiones		CBR %	Q Carga	Presiones		CBR %	Q Carga	Presiones		CBR %
mm	in *10-3			Leída	Correg.			Leída	Correg.			Leída	Correg.	
0	0		0	0			0	0			0	0		
0.64	25		9.1	3.0			6.2	2.1			7.3	2.4		
1.27	50		22.8	7.6			15.9	5.3			10.6	3.5		
1.91	75		39.3	13.1			29.3	9.8			19.3	6.4		
2.54	100	1000	58.1	19.4	19.37	**1.94**	42.8	14.3	14.27	**1.43**	27.9	9.3	9.30	**0.93**
3.81	150		86.8	28.9			66.6	22.2			45.1	15.0		
5.08	200	1500	113.6	37.9	37.87	**2.52**	87.9	29.3	29.30	**1.95**	68.6	22.9	22.87	**1.52**
6.35	250		139.8	46.6			107.3	35.8			89.8	29.9		
7.62	300		163.3	54.4			129.2	43.1			114.2	38.1		
10.16	400		191.8	63.9			152.6	50.9			143.5	47.8		
12.7	500		218.9	73.0			178.9	59.6			159.6	53.2		



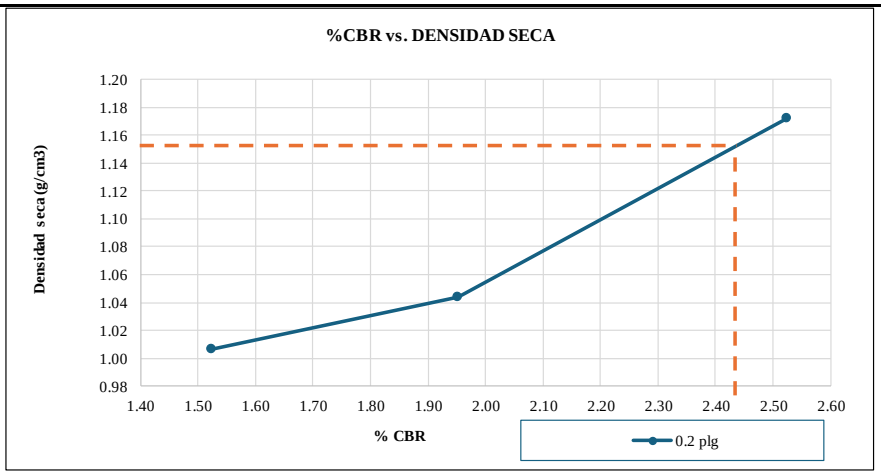
Anexo 33: Curva %CBR vs Densidad Seca en estado natural - Parroquia Pano.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO PARA DETERMINAR CBR

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

CANTÓN:	Tena	**Parroquia:**	Pano
Peso Muestra Seca:	18000 gr	**Tipo de muestra:**	Natural

MOLDE		**56 Golpes**	**27 Golpes**	**11 Golpes**
CBR %	0.2"	2.52	1.95	1.52
Densida Seca	g/cm3	1.172	1.044	1.006



Densidad seca máx :	1.213	g/cm3

Densidad seca máx	**%CBR-0,2 in**	**MAYOR % CBR**
95% DSM= **1.152**	2.422	**2.42**

Anexo 34: CBR a los 750ºC - Parroquia Pano.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO PARA DETERMINAR CBR

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

CANTÓN:	Tena	**Parroquia:**	Pano
Peso Muestra Seca:	18000 gr	**Tipo de muestra:**	750ºC

ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

Peso Muestra	6000	g		Densidad Máx. Seca	1.192	g/cm³
Peso Martillo	10	lb		W% Óptimo	11.9	%
Altura de Caída	18	in				

ENSAYO DE COMPACTACIÓN CBR

MOLDE	27		14		A3		
DIMENSIONES	Diámetro	15.1	Diámetro	15	Diámetro	15.1	cm
	Altura	13	Altura	12.5	Altura	12.5	cm
Nº de Capas	5		5		5		
Nº de Golpes	56		27		11		
Peso Húmeda + Molde	9204.5		11630		10646.5		g
Peso Molde	6209		9106.5		8316		g
Peso de Muestra Húmeda	2995.5		2523.5		2330.5		g
Volumen Muestra	2328.02		2208.93		2238.48		cm³
Peso unitario Húmedo γm	**1.287**		**1.142**		**1.041**		g/cm³

CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente Número	3	13	31	26	20	23	
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm + Wr)	94.80	92.40	101.90	103.40	96.70	93.60	g
Peso muestra seca + recipiente (Ws + Wr)	87.30	86.20	95.30	96.00	90.50	87.80	g
Peso del agua (Ww)	7.50	6.20	6.60	7.40	6.20	5.80	g
Peso del recipiente (Wr)	24.10	31.20	30.80	25.90	33.10	33.20	g
Peso de la muestra seca (Ws)	63.20	55.00	64.50	70.10	57.40	54.60	g
Contenido de humedad (ω)	11.87	11.27	10.23	10.56	10.80	10.62	%
Promedio contenido de humedad (ω)	11.57		10.39		10.71		%
Peso Volumétrico Seco γd	**1.153**		**1.035**		**0.940**		g/cm³

DESPÚES DE LA SATURACIÓN

Peso Húmeda + Molde	9683	12015.5	11126	g
Peso Molde	6209	9106.5	8316	g
Peso de Muestra Húmeda	3474	2909	2810	g
Volumen Muestra	2328.02	2208.93	2238.48	cm³
Peso unitario Húmedo γm	**1.492**	**1.317**	**1.255**	g/cm³

CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente Número	26	31	20	3	23	13	
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm + Wr)	85.70	88.20	92.40	86.80	83.50	84.30	g
Peso muestra seca + recipiente (Ws + Wr)	76.10	78.80	83.00	76.90	74.90	75.10	g
Peso del agua (Ww)	9.60	9.40	9.40	9.90	8.60	9.20	g
Peso del recipiente (Wr)	25.90	30.80	33.10	24.10	33.20	31.20	g
Peso de la muestra seca (Ws)	50.20	48.00	49.90	52.80	41.70	43.90	g
Contenido de humedad (ω)	19.12	19.58	18.84	18.75	20.62	20.96	%
Promedio contenido de humedad (ω)	**19.35**		**18.79**		**20.79**		%

Anexo 35: Datos de la máquina de compresión a los 750ºC - Parroquia Pano.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO PARA DETERMINAR CBR

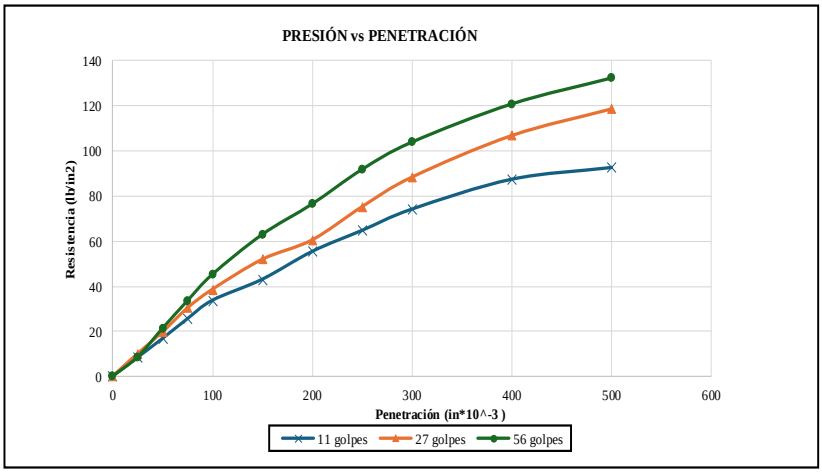
Proyecto CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

CANTÓN: Tena **Parroquia:** Pano
Peso Muestra Seca: 18000 gr **Tipo de muestra:** 750ºC

MÁQUINA DE COMPRESIÓN SIMPLE (CONTROLS)

Área de Pistón	3	in²		Velocida de carga	1.270	mm/min	
					0.05	in/min	

PENETRACIÓN		Q Estándar (lb/in²)	MOLDE Nº 1 (56 Golpes)				MOLDE Nº 2 (27 Golpes)				MOLDE Nº 3 (11 Golpes)			
			Q Carga	Presiones		CBR %	Q Carga	Presiones		CBR %	Q Carga	Presiones		CBR %
mm	in *10-3			Leída	Correg.			Leída	Correg.			Leída	Correg.	
0	0		0	0			0	0			0	0		
0.64	25		8.6	2.9			10.1	3.4			8.4	2.8		
1.27	50		21.2	7.1			19.6	6.5			16.7	5.6		
1.91	75		33.5	11.2			30.3	10.1			25.5	8.5		
2.54	100	1000	45.1	15.0	15.03	**1.50**	38.5	12.8	12.83	**1.28**	33.6	11.2	11.20	**1.12**
3.81	150		62.8	20.9			51.8	17.3			42.9	14.3		
5.08	200	1500	76.3	25.4	25.43	**1.70**	60.4	20.1	20.13	**1.34**	55.2	18.4	18.40	**1.23**
6.35	250		91.6	30.5			75.1	25.0			64.5	21.5		
7.62	300		103.7	34.6			88.2	29.4			73.9	24.6		
10.16	400		120.6	40.2			106.6	35.5			87.1	29.0		
12.7	500		132.1	44.0			118.4	39.5			92.3	30.8		



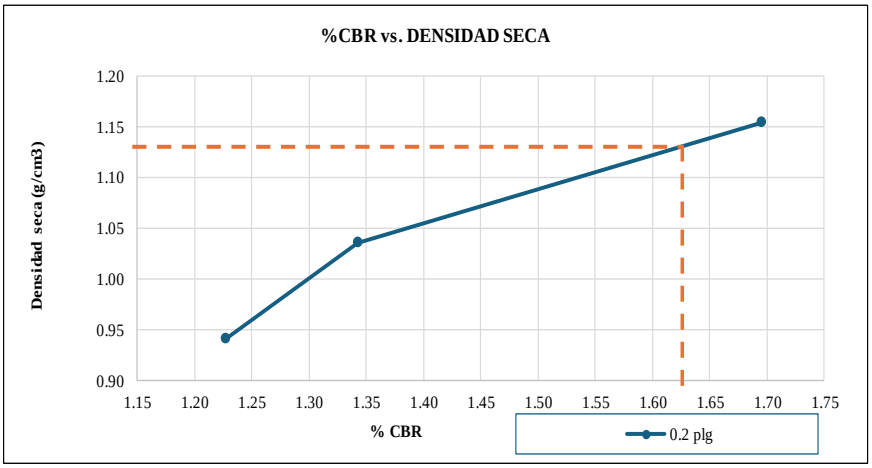
Anexo 36: Curva %CBR vs Densidad Seca a los 750ºC - Parroquia Pano.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO PARA DETERMINAR CBR

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

CANTÓN:	Tena	**Parroquia:**	Pano
Peso Muestra Seca:	18000 gr	**Tipo de muestra:**	750ºC

MOLDE		**56 Golpes**	**27 Golpes**	**11 Golpes**
CBR %	0.2"	1.70	1.34	1.23
Densida Seca	g/cm3	1.153	1.035	0.940



Densidad seca máx :	1.192	g/cm3

Densidad seca máx	**%CBR-0,2 in**	**MAYOR % CBR**
95% DSM= 1.132	1.626	**1.63**

Anexo 37: CBR en estado natural - Parroquia Muyuna.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO PARA DETERMINAR CBR

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

CANTÓN:	Tena	**Parroquia:**	Muyuna
Peso Muestra Seca:	18000 gr	**Tipo de muestra:**	Natural

ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

Peso Muestra	6000	g		Densidad Máx. Seca	1.348	g/cm³
Peso Martillo	10	lb		W% Óptimo	18.9	%
Altura de Caída	18	in				

ENSAYO DE COMPACTACIÓN CBR

MOLDE	15		11		2		
DIMENSIONES	Diámetro	15.1	Diámetro	15.2	Diámetro	15.1	cm
	Altura	12.6	Altura	12.6	Altura	12.5	cm
Nº de Capas	5		5		5		
Nº de Golpes	56		27		11		
Peso Húmeda + Molde	12004.5		13058.5		11398.5		g
Peso Molde	8372		9588.5		8191.5		g
Peso de Muestra Húmeda	3632.5		3470		3207		g
Volumen Muestra	2256.39		2286.37		2238.48		cm³
Peso unitario Húmedo γm	**1.610**		**1.518**		**1.433**		g/cm³

CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente Número	13	2	14	30	26	22	
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm + Wr)	136.20	135.10	106.30	116.10	109.00	145.40	g
Peso muestra seca + recipiente (Ws + Wr)	120.70	120.30	93.40	101.80	96.50	127.60	g
Peso del agua (Ww)	15.50	14.80	12.90	14.30	12.50	17.80	g
Peso del recipiente (Wr)	30.80	33.40	22.60	24.30	30.60	32.70	g
Peso de la muestra seca (Ws)	89.90	86.90	70.80	77.50	65.90	94.90	g
Contenido de humedad (ω)	17.24	17.03	18.22	18.45	18.97	18.76	%
Promedio contenido de humedad (ω)	17.14		18.34		18.86		%
Peso Volumétrico Seco γd	**1.374**		**1.283**		**1.205**		g/cm³

DESPÚES DE LA SATURACIÓN

Peso Húmeda + Molde	12698.5		13901.5		12037.5		g
Peso Molde	8372		9588.5		8191.5		g
Peso de Muestra Húmeda	4326.5		4313		3846		g
Volumen Muestra	2256.39		2286.37		2238.48		cm³
Peso unitario Húmedo γm	**1.917**		**1.886**		**1.718**		g/cm³

CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente Número	9	28	22	20	31	18	
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm + Wr)	82.30	86.30	128.80	111.60	125.80	132.40	g
Peso muestra seca + recipiente (Ws + Wr)	66.10	69.20	97.20	85.60	97.60	101.90	g
Peso del agua (Ww)	16.20	17.10	31.60	26.00	28.20	30.50	g
Peso del recipiente (Wr)	30.20	30.70	32.70	33.20	30.80	30.20	g
Peso de la muestra seca (Ws)	35.90	38.50	64.50	52.40	66.80	71.70	g
Contenido de humedad (ω)	45.13	44.42	48.99	49.62	42.22	42.54	%
Promedio contenido de humedad (ω)	**44.77**		**49.31**		**42.38**		%

Anexo 38: Datos de la máquina de compresión en estado natural - Parroquia Muyuna.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO PARA DETERMINAR CBR

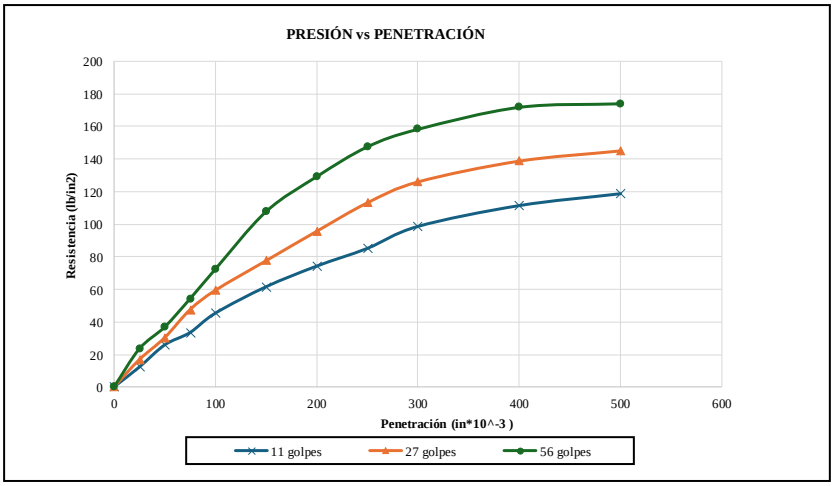
Proyecto CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

CANTÓN:	Tena	**Parroquia:**	Muyuna
Peso Muestra Seca:	18000 gr	**Tipo de muestra:**	Natural

MÁQUINA DE COMPRESIÓN SIMPLE (CONTROLS)

Área de Pistón	3	in²		Velocida de carga	1.270	mm/min	
					0.05	in/min	

PENETRACIÓN		Q Estándar (lb/in²)	MOLDE Nº 1 (56 Golpes)				MOLDE Nº 2 (27 Golpes)				MOLDE Nº 3 (11 Golpes)			
			Q Carga	Presiones		CBR %	Q Carga	Presiones		CBR %	Q Carga	Presiones		CBR %
mm	in *10-3			Leída	Correg.			Leída	Correg.			Leída	Correg.	
0	0		0	0			0	0			0	0		
0.64	25		23.4	7.8			16.8	5.6			12.2	4.1		
1.27	50		36.8	12.3			30.3	10.1			25.8	8.6		
1.91	75		54.1	18.0			47.5	15.8			33.4	11.1		
2.54	100	1000	72.3	24.1	24.10	**2.41**	59.4	19.8	19.80	**1.98**	45.3	15.1	15.10	**1.51**
3.81	150		107.6	35.9			77.6	25.9			61.5	20.5		
5.08	200	1500	129.1	43.0	43.03	**2.87**	95.7	31.9	31.90	**2.13**	74.2	24.7	24.73	**1.65**
6.35	250		147.4	49.1			113.2	37.7			85.1	28.4		
7.62	300		158.2	52.7			126.1	42.0			98.6	32.9		
10.16	400		171.7	57.2			138.9	46.3			111.4	37.1		
12.7	500		173.9	58.0			145.2	48.4			118.7	39.6		



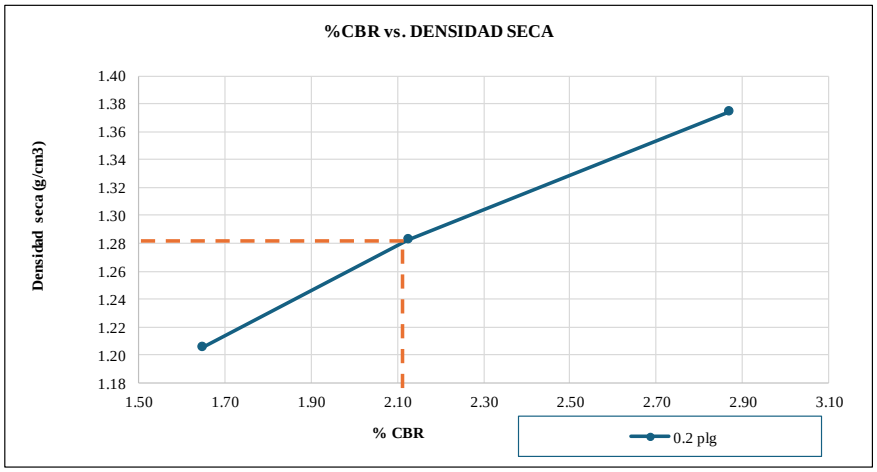
Anexo 39: Curva %CBR vs Densidad Seca en estado natural - Parroquia Muyuna.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO PARA DETERMINAR CBR

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

CANTÓN:	Tena	**Parroquia:**	Muyunna
Peso Muestra Seca:	18000 gr	**Tipo de muestra:**	Natural

MOLDE		**56 Golpes**	**27 Golpes**	**11 Golpes**
CBR %	0.2"	2.87	2.13	1.65
Densida Seca	g/cm3	1.374	1.283	1.205



Densidad seca máx :	1.348	g/cm3

Densidad seca máx	**%CBR-0,2 in**	**MAYOR % CBR**
95% DSM= **1.281**	2.121	**2.12**

Anexo 40: CBR a los 750ºC - Parroquia Muyuna.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO PARA DETERMINAR CBR

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

CANTÓN:	Tena	**Parroquia:**	Muyuna
Peso Muestra Seca:	18000 gr	**Tipo de muestra:**	750ºC

ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

Peso Muestra	5000	g		Densidad Máx. Seca	1.384	g/cm³
Peso Martillo	10	lb		W% Óptimo	16.8	%
Altura de Caída	18	in				

ENSAYO DE COMPACTACIÓN CBR

MOLDE	2		15		11		
DIMENSIONES	Diámetro	15.1	Diámetro	15.1	Diámetro	15.2	cm
	Altura	12.5	Altura	12.6	Altura	12.6	cm
Nº de Capas	5		5		5		
Nº de Golpes	56		27		11		
Peso Húmeda + Molde	11646.5		11604		12649		g
Peso Molde	8191.5		8372		9588.5		g
Peso de Muestra Húmeda	3455		3232		3060.5		g
Volumen Muestra	2238.48		2256.39		2286.38		cm³
Peso unitario Húmedo γm	**1.543**		**1.432**		**1.339**		g/cm³

CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente Número	9	22	18	28	31	20	
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm + Wr)	116.40	119.20	110.60	114.10	117.00	120.20	g
Peso muestra seca + recipiente (Ws + Wr)	105.10	107.80	99.40	102.60	104.80	108.00	g
Peso del agua (Ww)	11.30	11.40	11.20	11.50	12.20	12.20	g
Peso del recipiente (Wr)	30.20	32.70	30.20	30.70	30.80	33.20	g
Peso de la muestra seca (Ws)	74.90	75.10	69.20	71.90	74.00	74.80	g
Contenido de humedad (ω)	15.09	15.18	16.18	15.99	16.49	16.31	%
Promedio contenido de humedad (ω)	15.13		16.09		16.40		%
Peso Volumétrico Seco γd	**1.341**		**1.234**		**1.150**		g/cm³

DESPÚES DE LA SATURACIÓN

Peso Húmeda + Molde	11932		11886		12941.5		g
Peso Molde	8191.5		8372		9588.5		g
Peso de Muestra Húmeda	3740.5		3514		3353		g
Volumen Muestra	2238.48		2256.39		2286.38		cm³
Peso unitario Húmedo γm	**1.671**		**1.557**		**1.467**		g/cm³

CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente Número	31	18	22	20	9	28	
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm + Wr)	105.80	107.20	112.40	110.90	106.50	104.80	g
Peso muestra seca + recipiente (Ws + Wr)	88.10	90.30	93.20	92.40	89.70	87.60	g
Peso del agua (Ww)	17.70	16.90	19.20	18.50	16.80	17.20	g
Peso del recipiente (Wr)	30.80	30.20	32.70	33.20	30.20	30.70	g
Peso de la muestra seca (Ws)	57.30	60.10	60.50	59.20	59.50	56.90	g
Contenido de humedad (ω)	30.89	28.12	31.74	31.25	28.24	30.23	%
Promedio contenido de humedad (ω)	**29.50**		**31.49**		**29.23**		%

Anexo 41: Datos de la máquina de compresión a los 750ºC - Parroquia Muyuna.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO PARA DETERMINAR CBR

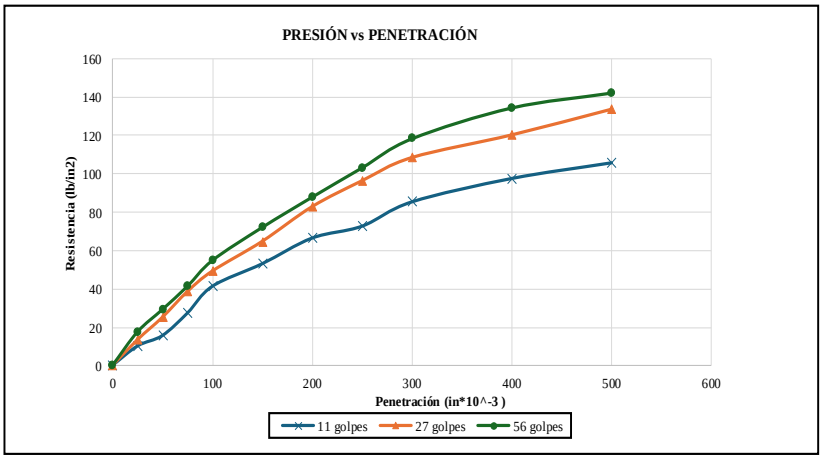
Proyecto CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

CANTÓN: Tena **Parroquia:** Muyuna
Peso Muestra Seca: 18000 gr **Tipo de muestra:** 750ºC

MÁQUINA DE COMPRESIÓN SIMPLE (CONTROLS)

Área de Pistón	3	in²		Velocida de carga	1.270	mm/min
					0.05	in/min

PENETRACIÓN		Q Estándar (lb/in²)	MOLDE Nº 1 (56 Golpes)				MOLDE Nº 2 (27 Golpes)				MOLDE Nº 3 (11 Golpes)			
			Q Carga	Presiones		CBR %	Q Carga	Presiones		CBR %	Q Carga	Presiones		CBR %
mm	in *10-3			Leída	Correg.			Leída	Correg.			Leída	Correg.	
0	0		0	0			0	0			0	0		
0.64	25		17.6	5.9			13.5	4.5			10.2	3.4		
1.27	50		29.2	9.7			25.1	8.4			15.6	5.2		
1.91	75		41.4	13.8			38.6	12.9			27.4	9.1		
2.54	100	1000	54.8	18.3	18.27	**1.83**	49.2	16.4	16.40	**1.64**	41.3	13.8	13.77	**1.38**
3.81	150		72.1	24.0			64.7	21.6			53.1	17.7		
5.08	200	1500	87.9	29.3	29.30	**1.95**	82.8	27.6	27.60	**1.84**	66.5	22.2	22.17	**1.48**
6.35	250		103.2	34.4			96.3	32.1			72.7	24.2		
7.62	300		118.4	39.5			108.4	36.1			85.4	28.5		
10.16	400		134.5	44.8			120.2	40.1			97.6	32.5		
12.7	500		142.3	47.4			133.6	44.5			105.8	35.3		



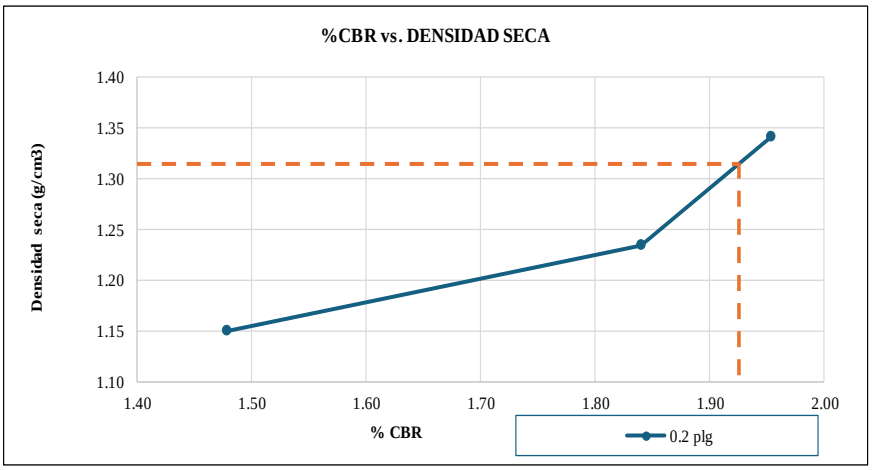
Anexo 42: Curva %CBR vs Densidad Seca a los 750ºC - Parroquia Muyuna.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO PARA DETERMINAR CBR

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

CANTÓN:	Tena	**Parroquia:**	Muyunna
Peso Muestra Seca:	18000 gr	**Tipo de muestra:**	750ºC

MOLDE		56 Golpes	27 Golpes	11 Golpes
CBR %	0.2"	1.95	1.84	1.48
Densida Seca	g/cm3	1.341	1.234	1.150



Densidad seca máx :	1.384	g/cm3

Densidad seca máx	%CBR-0,2 in	MAYOR % CBR
95% DSM= 1.315	1.922	**1.92**

Anexo 43: CBR en estado natural - Parroquia Puerto Napo.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO PARA DETERMINAR CBR

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

CANTÓN:	Tena	**Parroquia:**	Puerto Napo
Peso Muestra Seca:	18000 gr	**Tipo de muestra:**	Natural

ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

Peso Muestra	5000	g		Densidad Máx. Seca	1.762	g/cm³
Peso Martillo	10	lb		W% Óptimo	11.9	%
Altura de Caída	18	in				

ENSAYO DE COMPACTACIÓN CBR

MOLDE	15		11		2		
DIMENSIONES	Diámetro	15.1	Diámetro	15.2	Diámetro	15.1	cm
	Altura	12.6	Altura	12.6	Altura	12.5	cm
Nº de Capas	5		5		5		
Nº de Golpes	56		27		11		
Peso Húmeda + Molde	13189		11097.5		11964.5		g
Peso Molde	8662.5		6900.5		8191.5		g
Peso de Muestra Húmeda	4526.5		4197		3773		g
Volumen Muestra	2256.39		2286.37		2238.48		cm³
Peso unitario Húmedo γm	**2.006**		**1.836**		**1.686**		g/cm³

CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente Número	26	3	23	13	20	31	
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm + Wr)	110.90	106.10	156.30	168.10	144.90	146.10	g
Peso muestra seca + recipiente (Ws + Wr)	102.40	97.80	144.20	154.90	133.60	134.20	g
Peso del agua (Ww)	8.50	8.30	12.10	13.20	11.30	11.90	g
Peso del recipiente (Wr)	25.90	24.10	33.20	31.20	33.10	30.80	g
Peso de la muestra seca (Ws)	76.50	73.70	111.00	123.70	100.50	103.40	g
Contenido de humedad (ω)	11.11	11.26	10.90	10.67	11.24	11.51	%
Promedio contenido de humedad (ω)	11.19		10.79		11.38		%
Peso Volumétrico Seco γd	**1.804**		**1.657**		**1.513**		g/cm³

DESPÚES DE LA SATURACIÓN

Peso Húmeda + Molde	13374.5		11387		12284		g
Peso Molde	8662.5		6900.5		8191.5		g
Peso de Muestra Húmeda	4712		4486.5		4092.5		g
Volumen Muestra	2256.39		2286.37		2238.48		cm³
Peso unitario Húmedo γm	**2.088**		**1.962**		**1.828**		g/cm³

CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente Número	31	23	20	13	26	3	
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm + Wr)	117.40	96.60	176.70	177.50	120.30	114.80	g
Peso muestra seca + recipiente (Ws + Wr)	100.90	85.10	150.40	150.50	104.10	99.00	g
Peso del agua (Ww)	16.50	11.50	26.30	27.00	16.20	15.80	g
Peso del recipiente (Wr)	30.80	33.20	33.10	31.20	25.90	24.10	g
Peso de la muestra seca (Ws)	70.10	51.90	117.30	119.30	78.20	74.90	g
Contenido de humedad (ω)	23.54	22.16	22.42	22.63	20.72	21.09	%
Promedio contenido de humedad (ω)	**22.85**		**22.53**		**20.91**		%

Anexo 44: Datos de la máquina de compresión en estado natural - Parroquia Puerto Napo.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO PARA DETERMINAR CBR

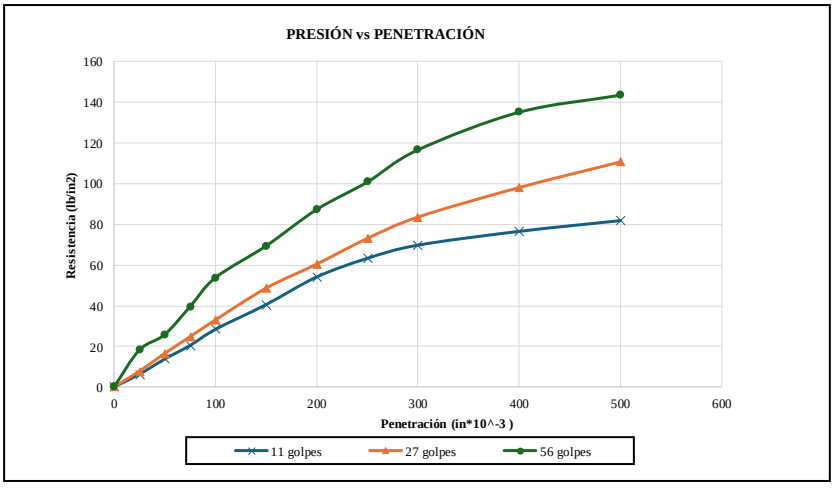
Proyecto CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

CANTÓN: Tena **Parroquia:** Puerto Napo
Peso Muestra Seca: 18000 gr **Tipo de muestra:** Natural

MÁQUINA DE COMPRESIÓN SIMPLE (CONTROLS)

Área de Pistón	3	in²		Velocida de carga	1.270	mm/min	
					0.05	in/min	

PENETRACIÓN		Q Estándar (lb/in²)	MOLDE Nº 1 (56 Golpes)				MOLDE Nº 2 (27 Golpes)				MOLDE Nº 3 (11 Golpes)			
			Q Carga	Presiones		CBR %	Q Carga	Presiones		CBR %	Q Carga	Presiones		CBR %
mm	in *10-3			Leída	Correg.			Leída	Correg.			Leída	Correg.	
0	0		0	0			0	0			0	0		
0.64	25		18.1	6.0			7.7	2.6			6.2	2.1		
1.27	50		25.7	8.6			16.4	5.5			13.7	4.6		
1.91	75		39.4	13.1			24.6	8.2			20.4	6.8		
2.54	100	1000	53.6	17.9	17.87	**1.79**	32.8	10.9	10.93	**1.09**	28.3	9.4	9.43	**0.94**
3.81	150		69.2	23.1			48.4	16.1			40.5	13.5		
5.08	200	1500	87.1	29.0	29.03	**1.94**	60.2	20.1	20.07	**1.34**	54.1	18.0	18.03	**1.20**
6.35	250		100.6	33.5			72.8	24.3			63.3	21.1		
7.62	300		116.4	38.8			83.3	27.8			69.8	23.3		
10.16	400		134.9	45.0			97.8	32.6			76.6	25.5		
12.7	500		143.3	47.8			110.4	36.8			81.9	27.3		



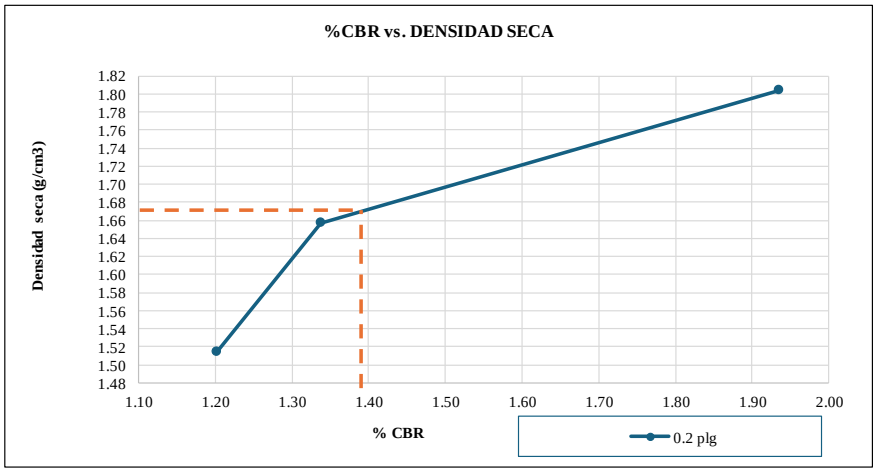
Anexo 45: Curva %CBR vs Densidad Seca en estado natural - Parroquia Puerto Napo.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO PARA DETERMINAR CBR

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

CANTÓN:	Tena	**Parroquia:**	Puerto Napo
Peso Muestra Seca:	18000 gr	**Tipo de muestra:**	Natural

MOLDE		**56 Golpes**	**27 Golpes**	**11 Golpes**
CBR %	0.2"	1.94	1.34	1.20
Densida Seca	g/cm3	1.804	1.657	1.513



Densidad seca máx :	1.762	g/cm3

Densidad seca máx	**%CBR-0,2 in**	**MAYOR % CBR**
95% DSM= **1.674**	1.389	**1.39**

Anexo 46: CBR a los 750ºC - Parroquia Puerto Napo.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO PARA DETERMINAR CBR

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

CANTÓN:	Tena	**Parroquia:**	Puerto Napo
Peso Muestra Seca:	18000 gr	**Tipo de muestra:**	750ºC

ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO

Peso Muestra	5000	g		Densidad Máx. Seca	1.85	g/cm³
Peso Martillo	10	lb		W% Óptimo	11	%
Altura de Caída	18	in				

ENSAYO DE COMPACTACIÓN CBR

MOLDE	2		15		11		
DIMENSIONES	Diámetro	15.1	Diámetro	15.1	Diámetro	15.2	cm
	Altura	12.5	Altura	12.6	Altura	12.6	cm
Nº de Capas	5		5		5		
Nº de Golpes	56		27		11		
Peso Húmeda + Molde	12791.5		12966.5		11079		g
Peso Molde	8191.5		8662.5		6900		g
Peso de Muestra Húmeda	4600		4304		4179		g
Volumen Muestra	2238.48		2256.39		2286.38		cm³
Peso unitario Húmedo γm	**2.055**		**1.907**		**1.828**		g/cm³

CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente Número	14	26	13	30	22	2	
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm + Wr)	102.60	104.10	101.50	98.40	107.30	109.70	g
Peso muestra seca + recipiente (Ws + Wr)	95.90	98.00	94.30	90.90	100.10	102.30	g
Peso del agua (Ww)	6.70	6.10	7.20	7.50	7.20	7.40	g
Peso del recipiente (Wr)	22.60	30.60	30.80	24.30	32.70	33.40	g
Peso de la muestra seca (Ws)	73.30	67.40	63.50	66.60	67.40	68.90	g
Contenido de humedad (ω)	9.14	9.05	11.34	11.26	10.68	10.74	%
Promedio contenido de humedad (ω)	9.10		11.30		10.71		%
Peso Volumétrico Seco γd	**1.884**		**1.714**		**1.651**		g/cm³

DESPÚES DE LA SATURACIÓN

Peso Húmeda + Molde	13002	13238.5	11319.5	g
Peso Molde	8191.5	8662.5	6900	g
Peso de Muestra Húmeda	4810.5	4576	4419.5	g
Volumen Muestra	2238.48	2256.39	2286.38	cm³
Peso unitario Húmedo γm	**2.149**	**2.028**	**1.933**	g/cm³

CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente Número	30	2	14	22	26	13	
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm + Wr)	94.30	95.80	92.10	96.40	98.50	97.30	g
Peso muestra seca + recipiente (Ws + Wr)	83.90	86.40	81.20	86.50	88.10	86.90	g
Peso del agua (Ww)	10.40	9.40	10.90	9.90	10.40	10.40	g
Peso del recipiente (Wr)	24.30	33.40	22.60	32.70	30.60	30.80	g
Peso de la muestra seca (Ws)	59.60	53.00	58.60	53.80	57.50	56.10	g
Contenido de humedad (ω)	17.45	17.74	18.60	18.40	18.09	18.54	%
Promedio contenido de humedad (ω)	**17.59**		**18.50**		**18.31**		%

Anexo 47: Datos de la máquina de compresión a los 750ºC - Parroquia Puerto Napo.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO PARA DETERMINAR CBR

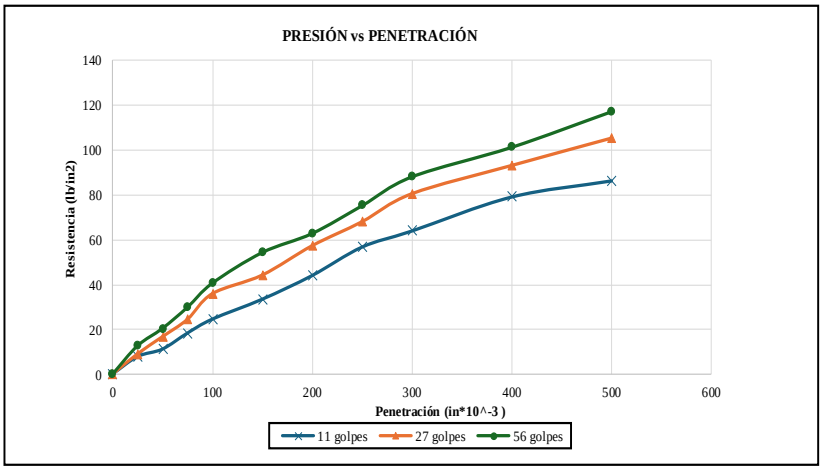
Proyecto CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

CANTÓN: Tena **Parroquia:** Puerto Napo
Peso Muestra Seca: 18000 gr **Tipo de muestra:** 750ºC

MÁQUINA DE COMPRESIÓN SIMPLE (CONTROLS)

Área de Pistón	3	in²		Velocida de carga	1.270	mm/min	
					0.05	in/min	

PENETRACIÓN		Q Estándar (lb/in²)	MOLDE Nº 1 (56 Golpes)				MOLDE Nº 2 (27 Golpes)				MOLDE Nº 3 (11 Golpes)			
			Q Carga	Presiones		CBR %	Q Carga	Presiones		CBR %	Q Carga	Presiones		CBR %
mm	in *10-3			Leída	Correg.			Leída	Correg.			Leída	Correg.	
0	0		0	0			0	0			0	0		
0.64	25		12.7	4.2			9.1	3.0			7.9	2.6		
1.27	50		20.4	6.8			16.7	5.6			11.2	3.7		
1.91	75		29.9	10.0			24.5	8.2			18.4	6.1		
2.54	100	1000	40.6	13.5	13.53	**1.35**	35.9	12.0	11.97	**1.20**	24.6	8.2	8.20	**0.82**
3.81	150		54.3	18.1			44.2	14.7			33.5	11.2		
5.08	200	1500	62.8	20.9	20.93	**1.40**	57.3	19.1	19.10	**1.27**	44.1	14.7	14.70	**0.98**
6.35	250		75.2	25.1			68.0	22.7			56.8	18.9		
7.62	300		88.1	29.4			80.5	26.8			64.0	21.3		
10.16	400		101.3	33.8			93.1	31.0			79.2	26.4		
12.7	500		117.2	39.1			105.3	35.1			86.4	28.8		



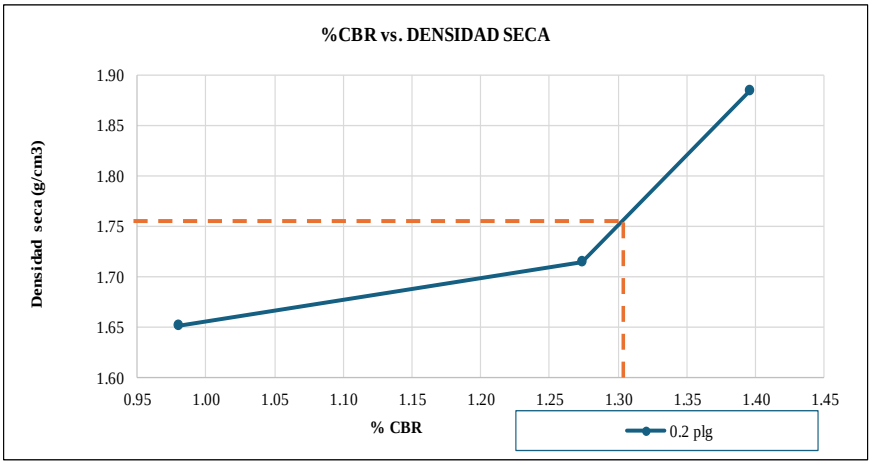
Anexo 48: Curva %CBR vs Densidad Seca a los 750ºC - Parroquia Puerto Napo.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO PARA DETERMINAR CBR

Proyecto: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

CANTÓN:	Tena	**Parroquia:**	Puerto Napo
Peso Muestra Seca:	18000 gr	**Tipo de muestra:**	Natural

MOLDE		56 Golpes	27 Golpes	11 Golpes
CBR %	0.2"	1.40	1.27	0.98
Densida Seca	g/cm3	1.884	1.714	1.651



Densidad seca máx :	1.85	g/cm3

Densidad seca máx	%CBR-0,2 in	MAYOR % CBR
95% DSM= 1.758	1.302	**1.30**

Anexo 49: Ensayo de inflamabilidad - Parroquia Pano.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
INFLAMABILIDAD DEL SUELO

Proyecto:	CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

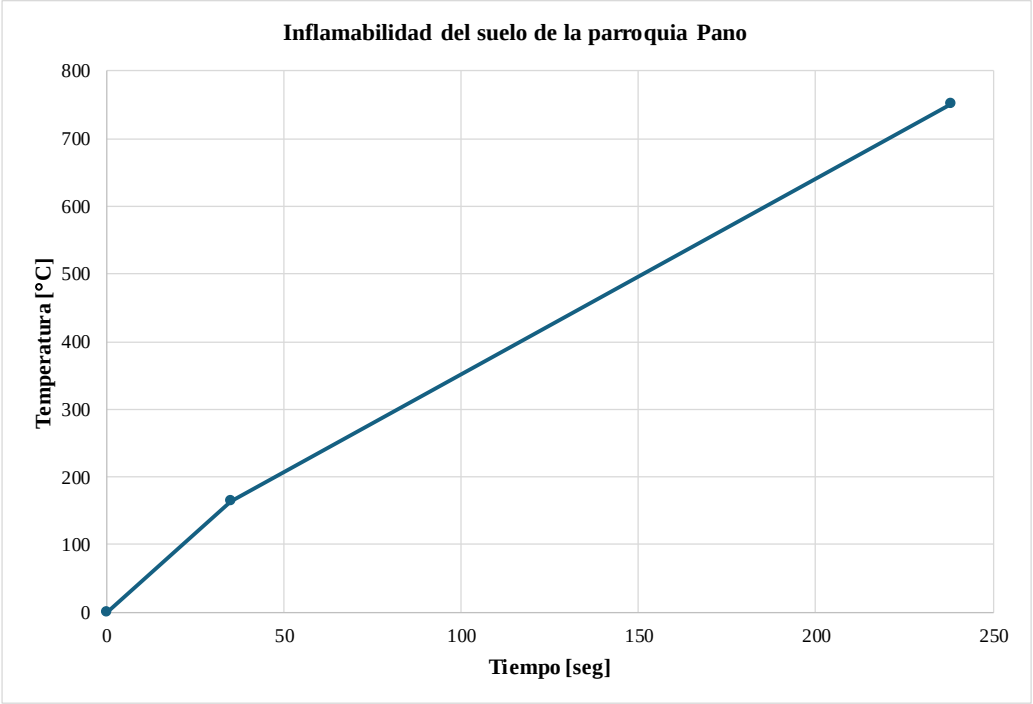
CANTÓN:	Tena		**Parroquia:**	Pano	
Peso Muestra Seca:	1000	gr	**Tipo de muestra:**	Natural	

Dimensiones del recipiente para el ensayo

Largo	33.00 cm	**Ancho**	20.00 cm	**Altura**	5.00 cm
Volumen del recipiente			**3300**		**cm3**

Datos de inflambilidad

Tiempo [seg]	**Temperaura [C]**
35	164
238	752



Anexo 50: Ensayo de inflamabilidad - Parroquia Muyuna.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
INFLAMABILIDAD DEL SUELO

Proyecto:	CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

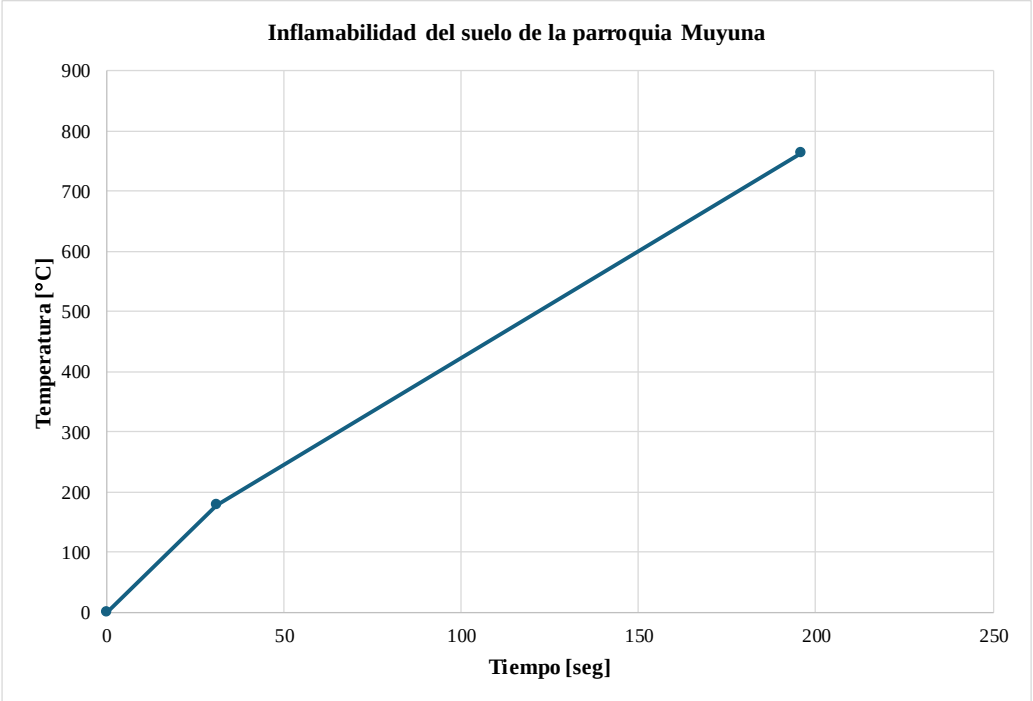
CANTÓN:	Tena		**Parroquia:**	Muyuna	
Peso Muestra Seca:	1000	gr	**Tipo de muestra:**	Natural	

Dimensiones del recipiente para el ensayo

Largo	33.00 cm	**Ancho**	20.00 cm	**Altura**	5.00 cm
Volumen del recipiente			**3300**		**cm3**

Datos de inflambilidad

Tiempo [seg]	**Temperaura [C]**
31	178
196	763



Anexo 51: Ensayo de inflamabilidad - Parroquia Puerto Napo.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
INFLAMABILIDAD DEL SUELO

Proyecto:	CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE TRES TIPOS DE SUELOS PROVENIENTES DE LAS PARROQUIAS PANO, MUYUNA Y PUERTO NAPO DE LA PROVINCIA DE NAPO UTILIZADOS EN OBRAS CIVILES.

CANTÓN:	Tena		**Parroquia:**	Puerto Napo	
Peso Muestra Seca:	1000	gr	**Tipo de muestra:**	Natural	

Dimensiones del recipiente para el ensayo

Largo	33.00 cm	**Ancho**	20.00 cm	**Altura**	5.00 cm
Volumen del recipiente			**3300**		**cm3**

Datos de inflambilidad

Tiempo [seg]	**Temperaura [C]**
33	153
247	758

