

**Evaluación de la resistencia de ladrillos cerámicos de la vereda La Eme,
Mocoa-Putumayo.**

Cristian David Rojas Gómez
Yeferson Montealegre Benavides

Ingeniería civil

Facultad De Ingenierías Y Ciencias Básicas, Uniputumayo.

Mayo de 2026

Dedicatoria

A mi madre, el amor de mi vida y el pilar fundamental de mi existencia. Gracias por ser mi fuerza, mi apoyo incondicional y la persona que nunca dejó de creer en mí. Con tu entrega, perseverancia y ejemplo me enseñaste a resistir ante las dificultades, a no rendirme y a luchar siempre por mis sueños. Gracias por brindarme las herramientas para enfrentar la vida, por acompañarme en los momentos más difíciles y por sostenerme cuando las fuerzas parecían agotarse. Hoy, al alcanzar esta meta, veo reflejado el fruto de cada uno de tus sacrificios. Eres para mí una fuente inagotable de valentía, inspiración y amor. Este logro también es tuyo.

A mi compañera de vida, Nayely, gracias por estar siempre a mi lado, por dar paz a mi vida y por ser refugio en medio de las tormentas. Gracias por tu apoyo, por tus palabras de aliento, por motivarme a seguir adelante y por recordarme que siempre era posible avanzar un paso más. En los momentos de incertidumbre encontré en ti una mano firme que sostuvo la mía y una voz que me impulsó a continuar. Hoy puedo ver los frutos de tantos esfuerzos compartidos y sé que tu apoyo fue fundamental para llegar hasta aquí.

A mis hermanos, Kener y Miller, pilares importantes en mi vida. Gracias por acompañarme durante este proceso, por creer en mí incluso cuando las circunstancias parecían difíciles y por compartir conmigo cada logro alcanzado. Me llena de orgullo poder celebrar este momento junto a ustedes y contar con su apoyo incondicional.

Y a mi padre, aunque hoy no estés físicamente conmigo y te encuentres en el cielo, quiero agradecerte por haber sido un ejemplo de trabajo duro, disciplina y sacrificio. Muchas de las enseñanzas que me dejaste siguen guiando mis pasos. Hoy se cumple aquel sueño del que alguna vez hablamos, y aunque no puedas verlo con tus ojos, sé que de alguna manera estás presente compartiendo esta alegría. Gracias, papá. Este logro también lleva tu nombre.

YEFERSON MONTEALEGRE B.

A mi madre, por ser el pilar fundamental de mi vida y la persona que siempre estuvo presente en cada paso de este camino. Gracias por tu amor incondicional, por cada sacrificio realizado y por enseñarme, con tu ejemplo, el valor de la perseverancia, la responsabilidad y el trabajo honesto. En los momentos de dificultad encontré en ti la fortaleza que necesitaba para continuar, así como las palabras de aliento que me impulsaron a no rendirme y a luchar siempre por mis sueños.

Hoy, al alcanzar esta meta tan importante, quiero expresarte mi más profundo agradecimiento por todo lo que has hecho por mí. Cada logro obtenido es también el reflejo de tu esfuerzo, dedicación y confianza. Gracias por creer en mis capacidades incluso cuando yo mismo dudaba, por acompañarme en cada desafío y por brindarme las herramientas necesarias para crecer como persona y como profesional. Este logro también te pertenece, porque sin tu apoyo, amor y entrega incondicional no habría sido posible llegar hasta aquí.

CRISTIAN DAVID ROJAS.

Agradecimientos

Expreso mis más sinceros agradecimientos a la ingeniera Aida Liliana Marín Villota Sánchez por su orientación, disponibilidad y acompañamiento desde el momento en que asumió la asesoría de esta tesis. Su apoyo profesional, dedicación y guía fueron fundamentales para superar los desafíos que se presentaron durante el desarrollo de esta investigación y para alcanzar los objetivos propuestos de manera satisfactoria.

Agradezco igualmente a cada uno de los docentes que hicieron parte de mi formación académica, quienes no solo contribuyeron a mi crecimiento profesional, sino también a mi formación como persona y ser humano. Gracias por impulsarme a fortalecer mis capacidades, por brindarme las herramientas necesarias para afrontar los nuevos retos que la vida profesional me depara y por cada enseñanza compartida a lo largo de este proceso. Hoy comprendo que cada esfuerzo, cada trabajo y cada noche de dedicación representaron mucho más que una exigencia académica; fueron parte de un camino lleno de aprendizaje, experiencias y momentos que marcarán mi vida para siempre. De manera especial, expreso mi más sincero agradecimiento al ingeniero Mauricio Revelo Hidalgo, quien fue uno de los grandes mentores de mi formación y a quien agradezco profundamente por cada conocimiento y enseñanza transmitidos.

Finalmente, expreso mi gratitud a mis compañeros, quienes con el paso del tiempo se convirtieron en grandes amigos. Gracias por su amabilidad, compañerismo, apoyo incondicional y por compartir momentos únicos a lo largo de esta etapa. Hoy sé que muchas de esas amistades perdurarán en el tiempo y que los recuerdos contruidos juntos harán de esta experiencia una de las más valiosas e inolvidables de mi vida.

Tabla de Contenido

Dedicatoria	2
Agradecimientos	4
Tabla de Contenido	5
Índice de Figuras	14
Resumen	18
Abstract	20
Introducción	22
Planteamiento del Problema	24
Hipótesis	30
Formulación del problema	30
Objetivos	33
Objetivo general	33
Objetivos específicos	33
Marco de Referencia (Teórico, Conceptual, Contextual y Legal):	34
Marco teórico	34
Marco Conceptual	53
Marco contextual	60
Marco legal	67
Metodología	73
Enfoque de la investigación	74
Tipo de investigación	77

	6
Diseño metodológico	77
Población y muestra	79
Recolección de datos	81
Etapa 1: Análisis documental y delimitación del área de estudio	92
Etapa 2: Trabajo de campo y muestreo	94
Etapa 3: Caracterización fisicoquímica y geotécnica en laboratorio	96
Etapa 4: Evaluación de ladrillos en laboratorio	103
Etapa 5: Análisis comparativo e interpretación	106
Técnicas de análisis de acuerdo con el enfoque	109
Permisos de la comunidad o permisos de colecta y demás:	110
Resultados	111
Análisis Granulometría y Límites de Atterberg (NTC 77, 4630 y INVE E 124)	111
Caracterización Geotécnica y Fisicoquímica del Suelo SUCS (NTC 1504)	154
Gravedad Específica de Partículas Sólidas de los Suelos (INV-E 128)	156
Determinación del pH (NTC 5264)	163
Contenido de Humedad (NTC 1495)	166
Determinación de Materia Orgánica / Carbono Orgánico (NTC 5403)	168
Determinación de Carbonatos (ensayo cualitativo con HCl)	170
Verificación Dimensional, Alabeo, Ortogonalidad y Defectos Superficiales (NTC 4017)	172

Ensayo de absorción de agua a las 24 horas (NTC 4017 – NTC 4205)	192
Ensayo de módulo de rotura flexión (NTC 4017 – 4205)	200
Ensayo de resistencia a la compresión (NTC 4017 – 4205)	205
Discusión	209
Conclusiones	211
Referencias bibliográficas:	213

Índice de Tablas

Tabla 1.	Licencias de construcción aprobadas en el municipio de Mocoa (2020–2025)	24
Tabla 2.	Estimación de la demanda anual de ladrillos en el municipio de Mocoa considerando construcción formal e informal	26
Tabla 3.	Ladrilleras registradas en el departamento del Putumayo	27
Tabla 4.	Clasificación granulométrica de suelos según tamaño de partículas y características asociadas	35
Tabla 5.	Principales minerales arcillosos y sus características cerámicas	36
Tabla 6.	Rangos de composición química de arcillas aptas para fabricación de ladrillos	37
Tabla 7.	Ensayos normalizados para caracterización de suelos con fines cerámicos	43
Tabla 8.	Ensayos normalizados para evaluación de ladrillos cerámicos	44
Tabla 9.	Rangos de referencia para evaluación de aptitud cerámica de suelos	45
Tabla 10.	Rangos de referencia para evaluación de aptitud cerámica de suelos	47
Tabla 11.	Relación entre propiedades del suelo y comportamiento del ladrillo	49
Tabla 12.	Normas técnicas aplicadas en los ensayos de laboratorio	69
Tabla 13.	Normas técnicas aplicadas en los ensayos de laboratorio	76
Tabla 14.	Normas técnicas aplicadas en los ensayos de laboratorio	77
Tabla 15.	Características del muestreo	80
Tabla 16.	Síntesis de técnicas e instrumentos para el análisis documental y cartográfica	81
Tabla 17.	Protocolo de instrumentos y procedimientos para la fase de campo	82
Tabla 18.	Ensayos de laboratorio para caracterización de suelos	87
Tabla 19.	Normativa aplicable a la evaluación de ladrillos cerámicos	90

Tabla 20. Muestras analizadas para la caracterización geotécnica y tecnológica de los materiales.	116
Tabla 21. Resultados del análisis granulométrico — Ladrillera Andina, muestra natural (M-01).	117
Tabla 22. Índices de Atterberg — Ladrillera Andina, muestra natural (M-01).	119
Tabla 23. Perfil estratigráfico — Ladrillera Andina, muestra natural (M-01)	120
Tabla 24. Clasificación geotécnica y evaluación de aptitud — Ladrillera Andina, muestra natural (M-01).	121
Tabla 25. Resultados del análisis granulométrico — Ladrillera Andina, mezcla con arena (M-02).	122
Tabla 26. Índices de Atterberg — Ladrillera Andina, mezcla con arena (M-02).	124
Tabla 27. Perfil estratigráfico — Ladrillera Andina, mezcla con arena (M-02).	125
Tabla 28. Clasificación geotécnica y evaluación de aptitud — Ladrillera Andina, mezcla con arena (M-02)	126
Tabla 29. Comparación de resultados geotécnicos — muestra natural (M-01) vs. mezcla con arena (M-02)	127
Tabla 30. Evaluación comparativa de aptitud para ladrillera cerámica — M-01 vs. M-02.	129
Tabla 31. Resultados del análisis granulométrico — Ladrillera Caicedo, muestra natural (M-01)	130
Tabla 32. Índices de Atterberg — Ladrillera Caicedo, muestra natural (M-01)	131
Tabla 33. Perfil estratigráfico — Ladrillera Caicedo, muestra natural (M-01)	133

Tabla 34. Clasificación geotécnica y evaluación de aptitud — Ladrillera Caicedo, muestra natural (M-01)	134
Tabla 35. Resultados del análisis granulométrico — Ladrillera Caicedo, mezcla con arena (M-02).	135
Tabla 36. Índices de Atterberg — Ladrillera Caicedo, mezcla con arena (M-02)	136
Tabla 37. Perfil estratigráfico — Ladrillera Caicedo, mezcla con arena (M-02)	138
Tabla 38. Clasificación geotécnica y evaluación de aptitud — Ladrillera Caicedo, mezcla con arena (M-02).	138
Tabla 39. Comparación de resultados geotécnicos — muestra natural (M-01) vs. mezcla con arena (M-02)	139
Tabla 40. Evaluación comparativa de aptitud para ladrillera cerámica — M-01 vs. M-02	141
Tabla 41. Muestras analizadas para la caracterización geotécnica y tecnológica de los materiales	142
Tabla 42. Resultados del análisis granulométrico — Ladrillera La Eme, muestra natural (M-01)	142
Tabla 43. Índices de Atterberg — Ladrillera La Eme, muestra natural (M-01)	144
Tabla 44. Perfil estratigráfico — Ladrillera La Eme, muestra natural (M-01)	145
Tabla 45. Clasificación geotécnica y evaluación de aptitud — Ladrillera La Eme, muestra natural (M-01)	146
Tabla 46. Resultados del análisis granulométrico — Ladrillera La Eme, mezcla con arena (M-02).	147
Tabla 47. Índices de Atterberg — Ladrillera La Eme, mezcla con arena (M-02).	149

Tabla 48. Perfil estratigráfico — Ladrillera La Eme, mezcla con arena (M-02).	150
Tabla 49. Clasificación geotécnica y evaluación de aptitud — Ladrillera La Eme, mezcla con arena (M-02).	151
Tabla 50. Comparación de resultados geotécnicos — muestra natural (M-01) vs. mezcla con arena (M-02).	151
Tabla 51. Evaluación comparativa de aptitud para ladrillera cerámica — M-01 vs. M-02	154
Tabla 52. Clasificación SUCS de las muestras analizadas según la NTC 1504	155
Tabla 53. Masa recomendada para la muestra de ensayo	157
Tabla 54. Calibración del picnómetro mediante variación de temperatura	158
Tabla 55. Determinación del volumen del picnómetro a diferentes temperaturas	160
Tabla 56. Factores de corrección K en función de la temperatura	161
Tabla 57. Gravedad específica representativa de las tres ladrilleras según la INV E-128	162
Tabla 58. Determinación del pH del suelo según la NTC 5264	164
Tabla 59. Ensayo cualitativo de materia orgánica con peróxido de hidrógeno (NTC 5403)	168
Tabla 60. Ensayo cualitativo de carbonatos por reacción con ácido clorhídrico	170
Tabla 61. Resultados de las mediciones dimensionales del ladrillo 1 proveniente de la Ladrillera Caicedo	174
Tabla 62. Resultados de las mediciones dimensionales del ladrillo 2 proveniente de la Ladrillera Caicedo	174
Tabla 63. Resultados de las mediciones dimensionales del ladrillo 3 proveniente de la Ladrillera Caicedo	175

Tabla 64. Verificación de tolerancia dimensional — Ladrillera Caicedo	175
Tabla 65. Resumen de dimensiones promedio — Ladrillera Caicedo	176
Tabla 66. Resultados del ensayo de alabeo — Ladrillera Caicedo	176
Tabla 67. Resultados del ensayo de ortogonalidad — Ladrillera Caicedo	177
Tabla 68. Registro de fisuras superficiales — Ladrillera Caicedo	177
Tabla 69. Evaluación de desbordados y defectos de fabricación — Ladrillera Caicedo	178
Tabla 70. Resultados de las mediciones dimensionales del ladrillo 1 proveniente de la Ladrillera La Eme	179
Tabla 71. Resultados de las mediciones dimensionales del ladrillo 2 proveniente de la Ladrillera La Eme	179
Tabla 72. Resultados de las mediciones dimensionales del ladrillo 3 proveniente de la Ladrillera La Eme	180
Tabla 73. Verificación de tolerancia dimensional — Ladrillera La Eme	180
Tabla 74. Resumen de dimensiones promedio — Ladrillera La Eme	181
Tabla 75. Resultados del ensayo de alabeo — Ladrillera La Eme	181
Tabla 76. Resultados del ensayo de ortogonalidad — Ladrillera La Eme	181
Tabla 77. Registro de fisuras superficiales — Ladrillera La Eme	182
Tabla 78. Evaluación de desbordados y defectos de fabricación — Ladrillera La Eme	183
Tabla 79. Resultados de las mediciones dimensionales del ladrillo 1 proveniente de la Ladrillera Andina	184
Tabla 80. Resultados de las mediciones dimensionales del ladrillo 2 proveniente de la Ladrillera Andina	184

Tabla 81. Resultados de las mediciones dimensionales del ladrillo 3 proveniente de la Ladrillera Andina	184
Tabla 82. Verificación de tolerancia dimensional — Ladrillera Andina	185
Tabla 83. Resumen de dimensiones promedio — Ladrillera Andina	185
Tabla 84. Resultados del ensayo de alabeo — Ladrillera Andina	186
Tabla 85. Resultados del ensayo de ortogonalidad — Ladrillera Andina	186
Tabla 86. Evaluación de desbordados y defectos de fabricación — Ladrillera Andina	187
Tabla 87. Espesor de paredes y tabiques — Ladrillera Andina	188
Tabla 88. Dimensiones nominales utilizadas para el cálculo de unidades por metro cuadrado	189
Tabla 89. Características nominales del ladrillo macizo fabricado por la Ladrillera Caicedo	190
Tabla 90. Características nominales del ladrillo macizo fabricado por la Ladrillera La Eme	190
Tabla 91. Características nominales del ladrillo macizo fabricado por la Ladrillera Andina	191
Tabla 92. Cantidad estimada de ladrillos por metro cuadrado de muro según las dimensiones nominales de cada unidad	191
Tabla 93. Límites normativos de absorción de agua según la NTC 4205	193
Tabla 94. Resultados del ensayo de absorción de agua a las 24 horas	193
Tabla 95. Clasificación de la tasa inicial de absorción y prehumedecimiento recomendado	195
Tabla 96. Resultados del ensayo de tasa inicial de absorción (succión)	195

	14
Tabla 97. Resultados del ensayo de eflorescencia	200
Tabla 98. Datos del ensayo de módulo de rotura por flexión	202
Tabla 99. Requisitos mínimos de resistencia a la compresión para unidades de mampostería de arcilla según la NTC 4205	205
Tabla 100. Determinación de la resistencia a la compresión de los ladrillos analizados conforme a la NTC 4017	206
Tabla 101. Síntesis comparativa de los resultados de caracterización física y mecánica de los ladrillos evaluados frente a los criterios normativos de la NTC 4205	208

Índice de Figuras

Figura 1. Unidades de suelo en la vereda La Eme, municipio de Mocoa, Putumayo.	50
Figura 2. Relación conceptual entre las propiedades del suelo arcilloso y la calidad del ladrillo cerámico.	56
Figura 3. Localización geográfica de las ladrilleras identificadas en la vereda La Eme, municipio de Mocoa, Putumayo.	61
Figura 4. Ubicación de la Institución Universitaria del Putumayo y del laboratorio donde se realizarán los ensayos de caracterización del suelo y evaluación de los ladrillos	66
Figura 5. Diseño del formato de registro para la descripción macroscópica de suelos en campo	79
Figura 6. Diseño del formato de registro para la descripción macroscópica de suelos en campo	84

Figura 7. Cuadro Sinóptico General de la Metodología	92
Figura 8. Proceso de cuarteo de la muestra para la obtención de una porción representativa de ensayo.	112
Figura 9. Serie de tamices empleada para el análisis granulométrico de las muestras.	113
Figura 10. Proceso de tamizado de la muestra durante el ensayo granulométrico.	114
Figura 11. Determinación del límite líquido mediante la copa de Casagrande.	115
Figura 12. Determinación del límite plástico mediante la formación de hilos de 3 mm de diámetro.	116
Figura 13. Curva granulométrica semilogarítmica — Ladrillera Andina, muestra natural (M-01). NTC 77 / INV E-123 / ASTM D422.	118
Figura 14. Curva de flujo — Ladrillera Andina, muestra natural (M-01). Número de golpes (escala logarítmica) vs Contenido de agua W (%).	119
Figura 15. Carta de Plasticidad de Casagrande — Ladrillera Andina, muestra natural (M-01).	119
Figura 16. Perfil estratigráfico del sondeo — Ladrillera Andina, muestra natural (M-01). Textura y clasificación SUCS por estrato.	121
Figura 17. Curva granulométrica semilogarítmica — Ladrillera Andina, mezcla con arena (M-02). NTC 77 / INV E-123 / ASTM D422.	123
Figura 18. Curva de flujo — Ladrillera Andina, mezcla con arena (M-02). Número de golpes (escala logarítmica) vs Contenido de agua W (%).	124
Figura 19. Carta de Plasticidad de Casagrande — Ladrillera Andina, mezcla con arena (M-02).	125

Figura 20. Curva granulométrica semilogarítmica — Ladrillera Caicedo, muestra natural (M-01). NTC 77 / INV E-123 / ASTM D422.	130
Figura 21. Curva de flujo — Ladrillera Caicedo, muestra natural (M-01). Número de golpes (escala logarítmica) vs Contenido de agua W (%).	132
Figura 22. Carta de Plasticidad de Casagrande — Ladrillera Caicedo, muestra natural (M-01).	132
Figura 23. Perfil estratigráfico del sondeo — Ladrillera Caicedo, muestra natural (M-01). Textura y clasificación SUCS por estrato.	133
Figura 24. Curva granulométrica semilogarítmica — Ladrillera Caicedo, mezcla con arena (M-02). NTC 77 / INV E-123 / ASTM D422.	135
Figura 25. Curva de flujo — Ladrillera Caicedo, mezcla con arena (M-02). Número de golpes (escala logarítmica) vs Contenido de agua W (%).	137
Figura 26. Carta de Plasticidad de Casagrande — Ladrillera Caicedo, mezcla con arena (M-02).	137
Figura 27. Curva granulométrica semilogarítmica — Ladrillera La Eme, muestra natural (M-01). NTC 77 / INV E-123 / ASTM D422.	143
Figura 28. Curva de flujo — Ladrillera La Eme, muestra natural (M-01). Número de golpes (escala logarítmica) vs Contenido de agua W (%).	144
Figura 29. Carta de Plasticidad de Casagrande — Ladrillera La Eme, muestra natural (M-01).	145
Figura 30. Perfil estratigráfico del sondeo — Ladrillera La Eme, muestra natural (M-01). Textura y clasificación SUCS por estrato.	146

Figura 31. Curva granulométrica semilogarítmica — Ladrillera La Eme, mezcla con arena (M-02). NTC 77 / INV E-123 / ASTM D422.	148
Figura 32. Curva de flujo — Ladrillera La Eme, mezcla con arena (M-02). Número de golpes (escala logarítmica) vs Contenido de agua W (%).	149
Figura 33. Carta de Plasticidad de Casagrande — Ladrillera La Eme, mezcla con arena (M-02).	150
Figura 34. Curva de calibración del picnómetro: masa de agua en función de la temperatura	159
Figura 35. Densidades del agua en función de la temperatura	159
Figura 36. Extracción de aire del agua mediante bomba de vacío para la obtención de agua desairada	161
Figura 37. Gravedad específica obtenida frente al rango típico de las arcillas	162
Figura 38. Medición directa del pH de la muestra de la Ladrillera Caicedo (pH = 4.02; T = 24.1 °C)	164
Figura 39. Medición directa del pH de la muestra de la Ladrillera La Eme (pH = 4.44; T = 24.1 °C)	165
Figura 40. Medición directa del pH de la muestra de la Ladrillera Andina (pH = 4.48; T = 24.1 °C)	165
Figura 41. Contenido de humedad natural de los materiales según la NTC 1495	166
Figura 42. Registro de la masa seca de la muestra (500.0 g) en balanza digital	167
Figura 43. Muestra de suelo dispuesta en la tara metálica para el ensayo de contenido de humedad	167

Figura 44. Reacción de las muestras con peróxido de hidrógeno; las microburbujas evidencian la oxidación de la materia orgánica	169
Figura 45. Reacción cualitativamente similar en las muestras de las tres ladrilleras	169
Figura 46. Muestras de 10 g en estado natural de las tres ladrilleras, previo a la adición del reactivo	171
Figura 47. Adición del reactivo (5 gotas de HCl) sobre las muestras	171
Figura 48. Efervescencia observada en las muestras durante la reacción con HCl	172
Figura 49. Unidades cerámicas en estado seco y después de inmersión con base humedecida durante 7 días, por ladrillera evaluada	199
Figura 50. Diagrama del montaje para el ensayo de módulo de rotura	201
Figura 51. Diagrama de cuerpo libre para la deducción de la fórmula del módulo de rotura	201
Figura 52. Evidencia del patrón de falla por flexión: Ladrillera Caicedo (izquierda), Ladrillera La Eme (centro) y Ladrillera Andina (derecha)	203
Figura 53. Determinación del módulo de rotura por flexión de los ladrillos analizados conforme a la NTC 4017.	204

Resumen

El sector de la construcción depende en gran medida de la calidad de los materiales utilizados, ya que estos influyen directamente en la resistencia, durabilidad y seguridad de las obras civiles, entre los materiales más utilizados en la construcción de viviendas se encuentran los ladrillos cerámicos, los cuales se elaboran a partir de suelos arcillosos sometidos a procesos de moldeo, secado y cocción. En el municipio de Mocoa,

departamento del Putumayo, la producción de ladrillos se realiza principalmente de manera artesanal en algunos sectores rurales, como la vereda La Eme, pero actualmente no se cuenta con estudios técnicos que permitan determinar si el suelo utilizado en estas ladrilleras posee las características físicas y mecánicas necesarias para producir unidades cerámicas que cumplan con la normatividad técnica vigente.

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo evaluar la aptitud del suelo arcilloso empleado por las ladrilleras artesanales de la vereda La Eme para la fabricación de ladrillos cerámicos, para ello se propone caracterizar las propiedades físicas y geotécnicas del suelo mediante ensayos de laboratorio normalizados; de igual manera se analizarán las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos producidos con dicho material, especialmente su resistencia a la compresión y su capacidad de absorción de agua, parámetros fundamentales para evaluar su calidad en aplicaciones constructivas.

La metodología de la investigación contempla actividades de revisión documental, trabajo de campo, muestreo de suelos y evaluación experimental en laboratorio, las muestras de suelo serán obtenidas en las zonas de explotación utilizadas por las ladrilleras de la vereda La Eme, mientras que los ensayos de caracterización fisicoquímica y geotécnica, y las pruebas sobre las unidades de ladrillo se desarrollarán en los laboratorios del Institución Universitaria del Putumayo (UIP) y posteriormente los resultados obtenidos serán comparados con los parámetros establecidos en la normatividad técnica vigente para unidades de mampostería de arcilla, con el fin de determinar el grado de cumplimiento de los ladrillos producidos en la zona.

Finalmente, se espera que los resultados de esta investigación aporten información técnica relevante sobre la calidad del suelo arcilloso disponible en la vereda La Eme y su

potencial para la producción de ladrillos cerámicos, de esta manera el estudio podrá servir como base para el fortalecimiento de la actividad productiva local, la mejora en los procesos de fabricación artesanal y la toma de decisiones relacionadas con el aprovechamiento de los recursos del suelo en el municipio de Mocoa, contribuyendo al desarrollo económico y técnico del sector de la construcción en la región.

Palabras claves: ladrillo, arcilla, suelo, resistencia.

Abstract

The construction sector relies heavily on the quality of the materials used, as these directly influence the strength, durability, and safety of civil works. Among the most commonly used materials in housing construction are ceramic bricks, which are manufactured from clayey soils subjected to molding, drying, and firing processes. In the municipality of Mocoa, in the department of Putumayo, brick production is carried out

mainly through artisanal methods in some rural areas, such as the village of La Eme. However, there are currently no technical studies available to determine whether the soil used in these brick kilns possesses the physical and mechanical characteristics required to produce ceramic units that comply with current technical standards.

In this context, the present research aims to evaluate the suitability of the clayey soil used by artisanal brickmakers in the village of La Eme for the production of ceramic bricks. To achieve this, the physical and geotechnical properties of the soil will be characterized through standardized laboratory tests. Likewise, the physical and mechanical properties of the bricks produced with this material will be analyzed, particularly their compressive strength and water absorption capacity, which are fundamental parameters to assess their quality for construction applications.

The research methodology includes documentary review, fieldwork, soil sampling, and experimental evaluation in the laboratory. Soil samples will be collected from the extraction areas used by the brickmakers of La Eme, while the physicochemical and geotechnical characterization tests, as well as the tests on the brick units, will be carried out in the laboratories of the *Institución Universitaria del Putumayo (UIP)*. The results obtained will then be compared with the parameters established in the current technical standards for clay masonry units in order to determine the degree of compliance of the bricks produced in the area.

Finally, it is expected that the results of this research will provide relevant technical information on the quality of the clayey soil available in the village of La Eme and its potential for ceramic brick production. In this way, the study may serve as a basis for strengthening local productive activities, improving artisanal manufacturing processes, and

supporting decision-making related to the use of soil resources in the municipality of Mocoa, thereby contributing to the economic and technical development of the construction sector in the region.

Keywords: brick, clay, soil, resistance.

Introducción

En el municipio de Mocoa se aprueban anualmente cerca de 85 licencias de construcción, lo que representa una demanda estimada superior al millón de ladrillos cerámicos. Paradójicamente, la producción local apenas alcanza las 540.000 unidades anuales, y el déficit restante debe cubrirse con ladrillos provenientes del Huila, a pesar de los costos adicionales de transporte. Esta dependencia externa no responde a una falta de materia prima, sino a la ausencia de estudios técnicos que certifiquen la calidad del ladrillo artesanal producido en la vereda La Eme, principal zona ladrillera del municipio.

Mientras el ladrillo industrializado cuenta con certificaciones que respaldan su comportamiento estructural, el producto local —a pesar de ser más económico— se utiliza únicamente en viviendas de baja altura, cerramientos y construcciones rurales. La Norma Técnica Colombiana NTC 4205 exige valores específicos de resistencia a la compresión y absorción de agua para las unidades de mampostería de arcilla cocida (ICONTEC, 2017), pero ninguna de las ladrilleras artesanales de La Eme ha sometido sus productos a ensayos de laboratorio que permitan verificar el cumplimiento de estos requisitos.

Ante esta situación, la presente investigación tiene como objetivo evaluar la resistencia mecánica y la absorción de agua de los ladrillos cerámicos producidos en la vereda La Eme, comparando los resultados con los parámetros establecidos en la NTC 4205. Para ello, se caracterizarán las propiedades físicoquímicas y geotécnicas del suelo arcilloso utilizado como materia prima y se someterán las unidades de ladrillo a ensayos normalizados de compresión y absorción en los laboratorios de la Institución Universitaria del Putumayo (IUP).

Los resultados permitirán determinar si las limitaciones del ladrillo local se deben a la calidad del suelo disponible o a deficiencias en los procesos artesanales de fabricación. De esta manera, la investigación aspira a generar información técnica confiable que contribuya al fortalecimiento de la producción local, a la reducción de la dependencia externa de materiales de construcción y al desarrollo económico del sector ladrillero en el municipio de Mocoa.

Planteamiento del Problema

El municipio de Mocoa, capital del departamento del Putumayo, ha presentado una actividad constructiva constante durante los últimos años. Conforme a las Estadística de Edificación Licencias de Construcción (ELIC) del Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE, en el año 2025 se aprobaron 85 licencias de construcción, que representaron aproximadamente 27.570 m² de área edificada y 195 unidades de construcción. Con el fin de evidenciar la dinámica del sector edificador en el municipio y su posible incidencia en la demanda de materiales de mampostería, en la Tabla 1 se

presenta el número de licencias de construcción aprobadas en Mocoa durante el periodo 2020–2025.

Tabla 1. *Licencias de construcción aprobadas en el municipio de Mocoa (2020–2025)*

Año	Licencias aprobadas
2020	71
2021	59
2022	77
2023	88
2024	111
2025	85

Nota. Elaboración propia a partir de los microdatos de la Estadística de Edificación Licencias de Construcción (ELIC) del Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE (2025).

El número de licencias de construcción aprobadas en el municipio presenta variaciones a lo largo del periodo analizado, con una tendencia general que evidencia una actividad constructiva sostenida. Esto indica que el sector edificador mantiene una dinámica importante dentro del desarrollo urbano del municipio, lo cual implica una demanda constante de materiales de construcción como el ladrillo cerámico (DANE, 2025).

Con el fin de estimar la demanda de ladrillo cerámico asociada a estas construcciones, se realizó la revisión de 56 expedientes de licencias de construcción correspondientes al año 2025 en la Secretaría de Planeación Municipal. A partir del análisis de los planos arquitectónicos y la cuantificación de áreas de muros, se determinó que las edificaciones analizadas sumaban un total de 21.885 m² de área construida, lo que representó un consumo aproximado de 568.298 unidades de ladrillo cerámico.

Para efectos del análisis, se tomó como referencia base el ladrillo farol, con medidas aproximadas de 30 cm de largo por 20 cm de alto, siendo uno de los tipos más utilizados en las construcciones del municipio. Considerando juntas de mortero entre 1.5 cm y 2 cm, un rendimiento aproximado de 15 unidades por metro cuadrado y se tuvo en cuenta un 5 % de desperdicio, se estimó el consumo de unidades de mampostería para cada proyecto revisado.

Al extrapolar este rendimiento al total de área edificada aprobada en el municipio durante el año 2025 (27.570 m²), se obtiene una demanda aproximada de 716.820 ladrillos cerámicos asociados únicamente a las construcciones formales registradas mediante licencias.

No obstante, en Colombia diferentes estudios enfocados al sector de la construcción indican que una proporción significativa de las edificaciones se desarrolla sin licencia. Considerando la información del Centro de Estudios de la Construcción y el Desarrollo Urbano y Regional (CENAC) y el Consejo Profesional Nacional de Arquitectura y sus Profesiones Auxiliares (CPNAA), aproximadamente 3 de cada 5 viviendas en el país son construidas sin licencia, lo que equivale a cerca del 60 % de informalidad en el sector (CPNAA, 2023). Estas construcciones corresponden principalmente a ampliaciones de vivienda, cerramientos, edificaciones rurales o proyectos de pequeña escala que no siempre se registran ante las autoridades municipales.

Considerando esta situación, la demanda real de ladrillo en el municipio podría ser significativamente mayor a la estimada únicamente con base en las licencias de construcción. Con el fin de aproximar la demanda total, incluyendo la construcción

informal, en la Tabla 2 se presenta una estimación de la demanda anual de ladrillos en el municipio de Mocoa.

Tabla 2. *Estimación de la demanda anual de ladrillos en el municipio de Mocoa considerando construcción formal e informal*

Concepto	Cantidad de ladrillos
Demanda formal (85 licencias)	716.820
Demanda informal (60% adicional)	430092
Demanda total estimada	1.1146.912

Nota. Elaboración propia a partir de los rendimientos calculados por metro cuadrado en los expedientes de licencias de construcción del DANE (2025) y la tasa de informalidad sectorial reportada por el Consejo Profesional Nacional de Arquitectura y sus Profesiones Auxiliares CPNAA (2023).

Al considerar la construcción informal la demanda anual estimada asciende a aproximadamente 1.146.912 unidades de ladrillo, lo que evidencia la importancia de este material dentro de la actividad constructiva local. Esta estimación permite dimensionar de manera más realista el consumo de unidades de mampostería en el municipio.

A pesar de esta demanda, la producción de ladrillos en el municipio es limitada. En la vereda La Eme, ubicada en la zona rural de Mocoa, operan tres unidades productivas de carácter artesanal: Ladrillos Andina S.A.S., Ladrillera Caicedo y Ladrillera La M, cuya producción conjunta se estima en aproximadamente 45.000 unidades mensuales, equivalentes a cerca de 540.000 ladrillos al año. Esta capacidad productiva resulta insuficiente para cubrir la demanda estimada del municipio, generando un déficit cercano a 600.000 unidades anuales.

En el contexto departamental existen algunas unidades productivas registradas ante la Cámara de Comercio en municipios como Puerto Asís y San Francisco; sin embargo, estas corresponden igualmente a emprendimientos de pequeña escala con procesos mayoritariamente artesanales, orientados principalmente al abastecimiento local de sus respectivos municipios y zonas rurales cercanas. Con el fin de identificar la disponibilidad de productores formales de ladrillo en el departamento del Putumayo, en la Tabla 3 se presentan las ladrilleras registradas ante la Cámara de Comercio.

Tabla 3. *Ladrilleras registradas
en el departamento del Putumayo*

Empresa	Municipio	Estado de matrícula
E.A.T. Ladrillera y Construcciones California	Puerto Asís	Activa
Ladrillera Delgado Murcia Hermanos S.A.S.	San Francisco	Activa
Sociedad Comercializadora y Productora de Cal y Ladrillo S.A.S.	San Francisco	Activa
Distribuidora y Fábrica de Ladrillos La Esmeralda S.A.S.	Puerto Asís	Activa
Ladrillera y Construcciones Tolima S.A.S. ZOMAC	Puerto Asís	En liquidación

Nota. Datos tomados a partir de los registros mercantiles de las unidades productivas de arcilla de la Cámara de Comercio del Putumayo (2025).

Como se observa el número de ladrilleras formalmente registradas en el departamento es reducido y se concentra principalmente en los municipios de Puerto Asís y San Francisco. Además, una de las unidades productivas se encuentra en proceso de liquidación, lo que limita aún más la oferta regional de ladrillo. Esta situación evidencia que la capacidad productiva departamental es insuficiente para abastecer la demanda del municipio de Mocoa.

Como consecuencia de esta situación, una parte importante del ladrillo utilizado en el municipio de Mocoa proviene del municipio de Pitalito (Huila), donde operan plantas ladrilleras con procesos de producción más tecnificados y con certificación de calidad. De acuerdo con información recolectada mediante entrevistas a distribuidores de materiales de construcción y profesionales del sector, el ladrillo proveniente de esta ciudad es ampliamente utilizado en proyectos constructivos de mayor escala, mientras que el ladrillo producido localmente suele emplearse principalmente en viviendas de uno o dos pisos, cerramientos, cocheras o construcciones rurales, debido a su menor costo y a la cercanía en el transporte.

Paradójicamente, el ladrillo producido en las ladrilleras artesanales de la vereda La Eme presenta un precio inferior al material proveniente de Pitalito. Mientras el ladrillo farol artesanal local se comercializa aproximadamente en \$1.300 por unidad, los ladrillos industrializados provenientes del Huila pueden alcanzar precios entre \$1.800 y \$1.900 por unidad. Sin embargo, a pesar de esta diferencia económica, muchos ingenieros y constructores prefieren utilizar ladrillo proveniente de Pitalito debido a la confianza generada por sus procesos industriales y por la existencia de certificaciones de calidad que respaldan su comportamiento estructural.

Entre los factores que más influyen en esta preferencia se encuentra la ausencia de estudios técnicos que permitan certificar la calidad del ladrillo producido localmente. La Norma Técnica Colombiana NTC 4205 establece los requisitos mínimos que deben cumplir las unidades de mampostería de arcilla cocida en términos de resistencia a la compresión y absorción de agua para su uso en edificaciones (ICONTEC, 2017). No obstante, las ladrilleras artesanales de la vereda La Eme no cuentan con estudios de laboratorio que

permitan verificar si los ladrillos producidos con los suelos arcillosos de la zona cumplen con estos parámetros técnicos, lo que genera desconfianza en el sector constructor y limita su uso en edificaciones de mayor responsabilidad estructural.

A esta situación se suman otros factores asociados a las condiciones de producción artesanal. En el ámbito ambiental, la cocción de los ladrillos se realiza principalmente en hornos alimentados con carbón mineral, lo que puede generar salida de humo y partículas que terminan contaminando el ambiente sin sistemas adecuados de control. Asimismo, la obtención de material arcilloso se desarrolla generalmente al aire libre y de forma empírica, sin planes técnicos de manejo o restauración del terreno. Considerando los aspectos sociales y las medidas de protección en el trabajo, los trabajadores suelen desempeñar sus labores en condiciones informales, con escasas medidas de protección frente a la exposición prolongada a humo, polvo y altas temperaturas.

Estas condiciones reflejan no solo una problemática técnica relacionada con la calidad del material, sino también un conjunto de factores socioeconómicos y productivos que afectan la competitividad de la zona ladrillera en el municipio de Mocoa, Putumayo. La falta de estudios científicos sobre las características físicas y mecánicas de los suelos utilizados en la fabricación de ladrillos impide determinar si las limitaciones actuales del producto local se deben a la naturaleza del material arcilloso disponible o a deficiencias en los procesos de producción empleados por las ladrilleras.

En este contexto, resulta necesario realizar una caracterización técnica del suelo arcilloso utilizado por las ladrilleras artesanales de la vereda La Eme, así como una evaluación de las condiciones mecánicas de los ladrillos producidos con este material, con el fin de establecer si cumplen con los requisitos establecidos en la normativa colombiana

vigente. La generación de esta información permitirá aportar bases técnicas para mejorar los procesos productivos, fortalecer la competitividad del sector ladrillero local y reducir la dependencia del municipio frente a materiales provenientes de otras regiones del país.

Hipótesis

Los ladrillos cerámicos fabricados con el suelo arcilloso de la vereda La Eme presentan propiedades físicas y mecánicas que cumplen con los requisitos establecidos en la normatividad técnica vigente para unidades de mampostería de arcilla.

Formulación del problema

¿Los ladrillos cerámicos fabricados con el suelo arcilloso utilizado por las ladrilleras de la vereda La Eme, en Mocoa-Putumayo cumplen con los requisitos físicos y mecánicos establecidos en la normatividad técnica vigente?

Justificación

La presente investigación surge de la necesidad de generar información técnica confiable sobre la aptitud del suelo arcilloso utilizado por las ladrilleras artesanales de la vereda La Eme, en el municipio de Mocoa (Putumayo). A pesar de que en el municipio existe una demanda importante de ladrillo cerámico asociada al crecimiento del sector constructor, la producción local se desarrolla principalmente de forma artesanal y sin estudios de laboratorio que certifiquen la calidad del material empleado en su fabricación. Esta situación limita la competitividad de las ladrilleras locales, ya que en proyectos de mayor escala se suele recurrir a ladrillos provenientes de otras ciudades que cuentan con certificaciones técnicas.

En este contexto, la investigación busca aportar evidencia técnico-científica mediante la determinación físico-mecánica del suelo arcilloso utilizado en la producción local y la evaluación del comportamiento de los ladrillos fabricados con dicho material frente a los parámetros definidos en la normativa técnica vigente para piezas de mampostería cerámica. Este análisis permitirá identificar si las limitaciones en el uso del ladrillo local están asociadas a las características del suelo o a los procesos de producción artesanal.

Desde el punto de vista académico, el estudio contribuye al conocimiento aplicado en ingeniería civil, geotecnia y materiales de construcción, al generar información empírica sobre los suelos arcillosos presentes en la vereda La Eme, para los cuales actualmente no existen estudios técnicos documentados, esta información podrá servir como referencia para futuras investigaciones relacionadas con la caracterización de materiales cerámicos y el aprovechamiento de recursos geológicos locales. Los resultados podrán servir como referencia para futuras investigaciones y como insumo técnico para productores locales,

profesionales de la construcción y autoridades territoriales interesadas en fortalecer la producción regional bajo criterios técnicos y normativos.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar la resistencia mecánica y la absorción de agua de los ladrillos cerámicos producidos por las ladrilleras artesanales de la vereda La Eme (Mocoa, Putumayo), en cumplimiento con los requisitos establecidos en la normatividad técnica vigente.

Objetivos específicos

1. Caracterizar las propiedades fisicoquímicas y geotécnicas del suelo arcilloso utilizado por las ladrilleras artesanales de la vereda La Eme mediante ensayos de laboratorio normalizados.
2. Determinar el comportamiento mecánico y la absorción de agua de ladrillos cerámicos elaborados con dicho suelo, mediante pruebas técnicas estandarizadas.
3. Comparar los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio con los parámetros establecidos en la Norma Técnica Colombiana NTC 4205 para unidades de mampostería de arcilla.
4. Evaluar la viabilidad técnica de la producción de ladrillos cerámicos elaborados con el suelo arcilloso de la vereda La Eme, con base en los resultados de resistencia mecánica y absorción obtenidos en laboratorio.

Marco de Referencia (Teórico, Conceptual, Contextual y Legal):

Marco teórico

El estudio de los suelos como material de construcción constituye una de las bases fundamentales de la ingeniería civil, particularmente en las áreas de geotecnia y materiales de construcción. En el caso específico de la producción de ladrillos cerámicos, el

comportamiento del suelo arcilloso determina en disposición la calidad final del producto, ya que sus propiedades físicas, químicas y mineralógicas influyen directamente en la plasticidad, trabajabilidad, resistencia mecánica y durabilidad del material cerámico obtenido.

Desde el enfoque de la ingeniería geotécnica, el suelo se establece como un material natural no consolidado, variado por partículas minerales, materia orgánica, agua y aire, cuyo comportamiento mecánico depende del tamaño, forma, distribución y naturaleza mineralógica de sus partículas (Das & Sobhan, 2018). La clasificación de los suelos atiende fundamentalmente a su granulometría y plasticidad, siendo los sistemas unificados de clasificación de suelos (SUCS) y el sistema AASHTO los más empleados en la práctica ingenieril para evaluar su comportamiento geotécnico. En el contexto colombiano, estos criterios se aplican a través de las Normas Técnicas Colombianas (NTC) emitidas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), las cuales adoptan o adaptan metodologías de normas internacionales como ASTM y AASHTO, garantizando la estandarización de los procedimientos de laboratorio y la comparabilidad de los resultados.

Dentro de la clasificación granulométrica, las partículas del suelo se agrupan según su tamaño y comportamiento. Con el fin de describir las fracciones granulométricas y sus características principales, en la Tabla 4 se presenta la clasificación de los suelos de acuerdo con el tamaño de partículas.

Tabla 4. *Clasificación
granulométrica de suelos según*

tamaño de partículas y

características asociadas

Empresa	Municipio	Características
Grava	> 4.75	Sin cohesión, alta permeabilidad
Arena	0.075 - 4.75	Baja cohesión, permeable
Limo	0.002 - 0.075	Cohesión media, baja plasticidad
Arcilla	< 0.002	Alta cohesión, muy plástica, impermeable

Nota. Adaptado de Principles of Geotechnical Engineering (p. 34), por B. M. Das y K. Sobhan, (2018).

Las partículas arcillosas presentan mayor cohesión y plasticidad en comparación con las fracciones gruesas, estas propiedades resultan fundamentales en la fabricación de ladrillos cerámicos, ya que la fracción arcillosa es la responsable de la capacidad de moldeo en estado húmedo y del desarrollo de resistencia mecánica después del proceso de secado y cocción. Por esta razón, el análisis granulométrico constituye un aspecto clave en la evaluación de la aptitud del suelo para la producción de unidades de mampostería.

Los suelos se clasifican comúnmente según el tamaño de sus partículas en grava, arena, limo y arcilla. Dentro de esta clasificación, la fracción arcillosa corresponde a partículas menores a 0,002 mm de diámetro, caracterizadas por presentar alta superficie específica, cohesión y capacidad de retención de agua (Badillo & Rodríguez, 2017).

Estas propiedades otorgan a las arcillas una elevada plasticidad cuando se mezclan con agua, lo que permite su moldeo y compactación en diferentes formas. Debido a esta característica, los suelos arcillosos han sido utilizados históricamente como un elemento esencial para la elaboración de materiales cerámicos de construcción, como tejas y ladrillos.

Las arcillas se originan principalmente a partir de procesos de meteorización química de minerales silicatados presentes en rocas ígneas y metamórficas. Durante este proceso, los minerales primarios se transforman en minerales arcillosos secundarios compuestos principalmente por silicatos de aluminio hidratados (Mitchel & Soga, 2025). Los minerales arcillosos más comunes presentan propiedades físicas y cerámicas diferentes que influyen directamente en el comportamiento del suelo durante el moldeo, secado y cocción. Con el fin de describir estas características, en la Tabla 5 se presentan los principales minerales arcillosos y sus propiedades relevantes para la fabricación de materiales cerámicos.

Tabla 5. *Principales minerales arcillosos y sus características cerámicas*

Mineral	Formula aproximada	Características
Caolinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	Baja plasticidad, alta refractariedad
Illita	$(\text{K}, \text{H}_3\text{O})(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{O}, \text{H})_2, (\text{H}_2\text{O})]$	Plasticidad media, fundente moderado
Montmorillonita	$(\text{Na}, \text{Ca})_{0.33}(\text{Al}, \text{Mg})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Alta plasticidad, alto hinchamiento

Nota. Adaptado de Fundamentals of Soil Behavior, por J. K. Mitchell y K. Soga (2025).

Cada uno de estos minerales presenta comportamientos distintos en términos de plasticidad, expansión y contracción volumétrica. Por ejemplo, la montmorillonita presenta alta capacidad de expansión, mientras que la caolinita muestra menor plasticidad y mayor estabilidad dimensional, siendo favorable para procesos cerámicos. La illita presenta un comportamiento intermedio. Estas diferencias mineralógicas influyen directamente en la

calidad del producto final, por lo que la identificación del tipo de arcilla resulta importante en la evaluación de la viabilidad técnica del suelo para la fabricación de ladrillos cerámicos.

Desde el punto de vista químico, las arcillas utilizadas en la producción de ladrillos están compuestas principalmente por óxidos de silicio (SiO_2), aluminio (Al_2O_3), hierro (Fe_2O_3), calcio (CaO), magnesio (MgO) y potasio (K_2O). La proporción de estos compuestos influye directamente en el comportamiento del material durante el proceso de cocción (Rahaman, 2017). Con el fin de establecer estos valores de referencia, en la Tabla 6 se presentan los rangos de composición química recomendados para arcillas utilizadas en la fabricación de ladrillos (Zea, 2005; Martínez Contreras et al., 2020).

Tabla 6. *Rangos de composición química de arcillas aptas para fabricación de ladrillos*

Componente	Porcentaje	Función
Sílice (SiO_2)	45-60%	Aporta resistencia, estabilidad dimensional
Alúmina (Al_2O_3)	15-30%	Responsable de la plasticidad, refractariedad
Óxido de hierro (Fe_2O_3)	3-8%	Actúa como fundente, da coloración rojiza
Óxidos alcalinos (CaO , MgO , K_2O , Na_2O)	2-6%	Favorecen la vitrificación durante la cocción
Agua combinada	10-14%	Parte de la estructura cristalina

Nota. Elaboración propia a partir de Zea (2005) y Martínez Contreras et al. (2020).

En términos generales, una proporción adecuada de sílice y alúmina favorece la formación de estructuras cerámicas estables y resistentes, la presencia de óxidos de hierro, por su parte, es responsable del color rojizo característico de los ladrillos cerámicos,

asimismo, los óxidos alcalinos actúan como fundentes, disminuyendo la temperatura de cocción y mejorando la cohesión entre partículas.

Estas características químicas influyen directamente en la trabajabilidad de la arcilla, en el comportamiento durante el secado y en la resistencia final del material una vez sometido al proceso de cocción; por esta razón, el análisis químico del suelo constituye un criterio importante para evaluar la viabilidad técnica del material arcilloso en la fabricación de ladrillos cerámicos (Rahaman, 2017).

Diversos estudios realizados en Colombia han evidenciado que la relación entre sílice y alúmina influye significativamente en la resistencia mecánica de los ladrillos cocidos, así como en su capacidad de absorción de agua (Martínez Contreras et al., 2020).

La aptitud de un suelo para la fabricación de ladrillos cerámicos depende de diversas propiedades físicas que determinan su comportamiento durante el moldeo, secado y cocción. Entre las más relevantes se encuentran la granulometría, la plasticidad y el contenido de materia orgánica.

La granulometría determina la distribución porcentual de los diferentes tamaños de partículas. Se realiza mediante tamizado (para fracciones gruesas) y sedimentación (para fracciones finas), siguiendo la NTC 77. En suelos aptos para cerámica, se busca un contenido de arcilla superior al 25-30%, con proporciones equilibradas de limo y arena que controlen la contracción (Zea, 2005).

Por su parte, la plasticidad del suelo se evalúa mediante los límites de Atterberg, específicamente el límite líquido (LL), el límite plástico (LP) y el índice de plasticidad (IP).

Estos parámetros permiten determinar la capacidad del suelo para deformarse sin romperse cuando contiene agua (Das & Sobhan, 2018). Se definen:

Límite Líquido (LL)

Contenido de humedad en el que el suelo pasa de estado semilíquido a plástico.

Límite Plástico (LP)

Contenido de humedad en el que el suelo deja de comportarse plásticamente y se vuelve quebradizo.

Índice de Plasticidad ($IP = LL - LP$)

Rango de humedad en el que el suelo se comporta plásticamente. A mayor IP, mayor plasticidad.

Un índice de plasticidad moderado es generalmente favorable para la fabricación de ladrillos, ya que permite moldear las piezas sin generar deformaciones excesivas durante el secado. Suelos con baja plasticidad presentan dificultades de moldeo, mientras que suelos excesivamente plásticos pueden experimentar agrietamientos o deformaciones durante el proceso de secado. Para ladrillos cerámicos, se consideran favorables valores de IP entre 10% y 25%. Plasticidades muy bajas ($IP < 10\%$) indican suelos poco cohesivos; plasticidades muy altas ($IP > 30\%$) pueden generar agrietamientos excesivos durante el secado (Martínez Contreras et al., 2020).

Otro factor importante a tener en cuenta es la presencia de materia orgánica es perjudicial porque durante la cocción se quema, dejando poros que debilitan la estructura del ladrillo (Rincón & Romero). Se considera aceptable un contenido inferior al 5% (NTC 5403, 2017).

De manera complementaria, el pH del suelo también constituye un parámetro relevante dentro de la caracterización química de las arcillas. La acidez o alcalinidad del suelo interviene en la estabilidad de los minerales arcillosos y en el comportamiento químico de sus componentes. Suelos con valores de pH muy bajos ($\text{pH} < 4,5$) suelen indicar procesos intensos de lixiviación o lavado de bases, mientras que valores de pH elevados ($\text{pH} > 8,5$) pueden asociarse con la presencia de sales solubles o materiales calcáreos (FAO, 2026).

Asimismo, la presencia de carbonatos en el suelo constituye otro aspecto que debe evaluarse durante la caracterización de arcillas para uso cerámico. Estos compuestos, generalmente asociados a materiales calcáreos, pueden identificarse mediante la reacción de efervescencia al entrar en contacto con ácido clorhídrico. Cuando se presentan en cantidades apreciables, los carbonatos pueden generar fenómenos de eflorescencia —manifestados como manchas blancas en la superficie del ladrillo— y ocasionar puntos de debilidad estructural en el material cocido (Rincón & Romero).

La aptitud cerámica de una arcilla se define como su capacidad para ser transformada en un producto cerámico con las propiedades deseadas (resistencia, durabilidad, estabilidad) mediante procesos de moldeo, secado y cocción (Linares González et al., 2013). Depende de:

Granulometría. La fracción arcillosa debe ser suficiente para garantizar cohesión, pero no excesiva para evitar contracciones descontroladas.

Plasticidad. Determina la trabajabilidad de la pasta y su comportamiento durante el secado.

Comportamiento térmico. La curva de cocción debe permitir la sinterización sin provocar deformaciones o vitrificaciones prematuras.

Contenido de impurezas. La presencia de carbonatos, sulfatos o materia orgánica puede afectar negativamente la calidad final:

La producción de ladrillos cerámicos comprende una serie de etapas que transforman la arcilla natural en un material de construcción resistente y durable. El proceso tradicional de fabricación de ladrillos cerámicos determina las siguientes etapas (Kingery & Uhlmann, 2018):

Extracción y preparación. La arcilla se extrae de la cantera, eliminando impurezas gruesas y dejando madurar el material para homogenizarlo y permitir la descomposición de materia orgánica.

Mezclado y moldeado. Se añade agua hasta alcanzar la consistencia plástica adecuada y se moldea, ya sea manualmente (en gavillas) o mediante extrusión. En el caso de las ladrilleras de La Eme, el moldeado es artesanal, con algunas mejoras mecánicas básicas.

Secado. Se elimina el agua de amasado mediante evaporación controlada. En procesos artesanales, el secado es natural, al aire libre, lo que lo hace dependiente de las condiciones climáticas. Un secado demasiado rápido puede provocar agrietamientos; demasiado lento retrasa la producción.

Cocción. Es la etapa más crítica. Se somete el ladrillo seco a temperaturas entre 800°C y 1000°C, durante las cuales ocurren transformaciones físico-químicas que consolidan la estructura cerámica. Durante la cocción se produce la sinterización, fenómeno mediante el

cual las partículas se fusionan parcialmente, aumentando la resistencia mecánica del material (Rahaman, 2017).

En hornos artesanales, como los de La Eme, las variaciones de temperatura dentro del horno pueden generar diferencias en la calidad del producto final, afectando la resistencia mecánica y la uniformidad estructural de los ladrillos.

La evaluación de suelos destinados a la producción de materiales cerámicos requiere la aplicación de ensayos de laboratorio normalizados, los cuales permiten obtener información confiable sobre las propiedades físicas y químicas del material. Estos ensayos permiten determinar parámetros como la distribución granulométrica, la plasticidad, el contenido de materia orgánica y otras características que influyen directamente en el comportamiento del suelo durante los procesos de moldeo, secado y cocción.

En Colombia, los ensayos utilizados para la caracterización de suelos se encuentran regulados por dos fuentes principales: las Normas Técnicas Colombianas (NTC), desarrolladas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), y las Normas de Ensayo del Instituto Nacional de Vías (INV E), empleadas ampliamente en proyectos de infraestructura y estudios geotécnico. La aplicación de estas normas garantiza la comparabilidad de los resultados y permite interpretar los datos obtenidos de acuerdo con criterios técnicos reconocidos.

Con el fin de identificar los ensayos requeridos para la caracterización del suelo arcilloso con fines cerámicos, en la Tabla 7 se presentan los principales ensayos normalizados y su propósito dentro del análisis geotécnico y físicoquímico del material.

Tabla 7. *Ensayos normalizados
para caracterización de suelos con
fines cerámicos*

Ensayo	Norma	Propósito
Análisis granulométrico por tamizado	NTC 77 / INV E-123	Determinar el porcentaje de grava y arena presente en la muestra, separando las fracciones gruesas.
Límites de Atterberg	NTC 4630	Determinar la plasticidad del suelo.
Peso específico de sólidos	INV E-128	Determinar la densidad de las partículas sólidas del suelo (gravedad específica).
pH del suelo	NTC 5264	Determinar el grado de acidez o alcalinidad.
Contenido de humedad	NTC 1495	Determinar la cantidad de agua presente en el suelo en su estado natural.
Contenido de materia orgánica	NTC 5403	Cuantificar la presencia de materia orgánica.
Determinación de carbonatos	Prueba cualitativa	Detectar presencia de cal (carbonatos) mediante efervescencia con HCl al 10%.
Clasificación de suelos (SUCS)	NTC 1504	Para clasificar el suelo según su comportamiento.

Nota. Elaboración propia a partir de las normas técnicas del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC (2017) y nomas del Instituto Nacional de Vías INVIAS (2013).

Los ensayos considerados permiten evaluar de manera integral las propiedades físicas, químicas y geotécnicas del suelo, estos análisis proporcionan información sobre la granulometría, plasticidad, composición química y comportamiento volumétrico del material, aspectos fundamentales para determinar su aptitud en la fabricación de ladrillos cerámicos. La aplicación de estos ensayos normalizados garantiza que los resultados

obtenidos sean comparables con estudios similares y que la evaluación técnica del suelo se realice bajo criterios estandarizados, estos parámetros servirán como base para analizar la viabilidad técnica del material arcilloso en la producción de unidades de mampostería.

Con el fin de evaluar el desempeño técnico de las unidades de mampostería elaboradas con arcilla, en la Tabla 8 se presentan los ensayos normalizados utilizados para la evaluación de ladrillos cerámicos, de acuerdo con la normativa técnica colombiana.

Tabla 8. *Ensayos normalizados
para evaluación de ladrillos
cerámicos*

Ensayo	Norma	Propósito
Verificación dimensional	NTC 4205	Controlar las tolerancias en largo, ancho y alto de las unidades de ladrillo.
Resistencia a la compresión	NTC 4017/4205	Evaluar la capacidad de carga axial de la unidad.
Absorción de agua	NTC 4017/4205	Medir la porosidad y durabilidad potencial del material.

Nota. Elaboración propia a partir de las normas técnicas del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC (2017) y nomas del Instituto Nacional de Vías INVIAS (2013).

Los ensayos considerados permiten evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos cerámicos, tales como su precisión dimensional, resistencia estructural y capacidad de absorción de agua, estos parámetros son fundamentales para determinar la calidad del producto final y su comportamiento en obras de mampostería.

La información obtenida mediante estos ensayos permite establecer si las unidades de ladrillo cumplen con los requisitos establecidos en la normativa técnica colombiana y,

por tanto, evaluar la viabilidad técnica del uso del suelo arcilloso como materia prima para la fabricación de productos cerámicos.

Con base en la literatura técnica especializada, se han establecido rangos de referencia que permiten evaluar preliminarmente la aptitud cerámica de los suelos arcillosos. Estos rangos no constituyen valores absolutos, sino que funcionan como criterios orientativos para interpretar los resultados de laboratorio y determinar si un material puede ser adecuado para la fabricación de ladrillos.

Diversos autores, entre ellos Linares, Huertas y Capel (2013), Zea (2005) y Manco et al. (2020), han propuesto rangos de referencia para variables como el contenido de arcilla, la plasticidad y el contenido de materia orgánica, los cuales permiten evaluar la aptitud cerámica de los suelos. Con el fin de establecer criterios técnicos para la interpretación de los resultados de laboratorio, en la Tabla 9 se presentan los rangos de referencia utilizados para la evaluación de suelos destinados a la fabricación de ladrillos.

Tabla 9. *Rangos de referencia
para evaluación de aptitud
cerámica de suelos*

Parámetro	Rango favorable	Rango aceptable	Rango desfavorable
Contenido de arcilla (<0.002 mm)	$> 30 \%$	25–30 %	$< 25 \%$
Índice de Plasticidad	15–25 %	10–15 % o 25–30 %	$< 10 \%$ o $> 30 \%$
Materia orgánica	$< 3 \%$	3–5 %	$> 5 \%$
Carbonatos	Sin efervescencia	Efervescencia a leve	Efervescencia a fuerte
pH	5.5 – 7.5	4.5–5.5 o 7.5–8.5	< 4.5 o > 8.5

Nota. Elaboración propia a partir de Linares et al. (2013), Zea (2005) y Manco et al. (2020).

La aptitud cerámica de un suelo depende de varios parámetros fisicoquímicos que influyen en la plasticidad, estabilidad dimensional y comportamiento durante la cocción, un contenido adecuado de arcilla y un índice de plasticidad dentro del rango favorable permiten obtener materiales con buena capacidad de moldeo y menor riesgo de fisuración durante el secado. Asimismo, bajos contenidos de materia orgánica y ausencia de carbonatos favorecen la estabilidad del producto cerámico y reducen defectos en la cocción.

Es importante señalar que la aptitud cerámica final de un suelo depende de la interacción entre todas estas propiedades, así como de las condiciones del proceso productivo, particularmente el control del secado y la temperatura de cocción. Estos rangos servirán como referencia para interpretar los resultados obtenidos en la caracterización del suelo arcilloso de la vereda La Eme y evaluar su viabilidad técnica en la fabricación de ladrillos cerámicos.

La resistencia a la compresión es uno de los principales indicadores de calidad de las unidades de mampostería. Este ensayo se realiza aplicando carga axial sobre el ladrillo hasta alcanzar su falla, registrando la carga máxima soportada por la unidad.

En Colombia, este ensayo se realiza siguiendo los lineamientos establecidos en la NTC 4017, la cual define el procedimiento para determinar la resistencia a la compresión de unidades de mampostería.

La resistencia se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Donde:

- σ : (Resistencia) Fuerza por unidad de área (MPa)

- P : (Carga) Carga máxima aplicada (N)
- A : (Área) Superficie sobre la que se aplica la carga (mm²)

De acuerdo con la NTC 4205, las unidades cerámicas utilizadas en mampostería no estructural deben cumplir valores mínimos de resistencia, los cuales varían según el tipo de unidad, estos valores permiten establecer criterios técnicos para evaluar la calidad y viabilidad del producto cerámico.

Tabla 10. Rangos de referencia
para evaluación de aptitud
cerámica de suelos

Tipo de unidad	Resistencia mínima (MPa)
Ladrillo macizo	15.0
Ladrillo perforado (farol)	3.5

Nota. Adaptado de la Norma Técnica Colombiana NTC 4205 por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC (2017).

Estos valores constituyen el criterio de referencia para determinar si las unidades cerámicas fabricadas cumplen con los requisitos mínimos exigidos para su uso en mampostería no estructural. En particular, el ladrillo tipo farol presenta menores exigencias de resistencia debido a la presencia de perforaciones, las cuales reducen el área efectiva resistente.

Investigaciones realizadas en diferentes regiones del país evidencian que los ladrillos artesanales pueden presentar resistencias variables. Por ejemplo, Piscal, Afanador y Medina (2012) reportaron valores entre 1,5 y 4,0 MPa en ladrillos producidos en Ocaña,

mientras que Martínez Contreras et al. (2020) encontraron resistencias entre 1,7 y 2,3 MPa en ladrillos fabricados con arcillas del Caribe colombiano.

La absorción de agua es un parámetro que permite evaluar la porosidad del ladrillo y su comportamiento frente a la humedad ambiental. Este ensayo consiste en sumergir las unidades cerámicas en agua durante un periodo de 24 horas y determinar el incremento de peso respecto al estado seco.

El porcentaje de absorción se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Absorcion(\%) = \frac{W_{humedo} - W_{seco}}{W_{seco}} * 100$$

Donde:

- **Peso húmedo (W_{humedo}):** Peso del material tras sumergirse en agua (g)
- **Peso seco (W_{seco}):** Peso constante del material tras secarse en horno, aprox. 110± 5 °C (g)

De acuerdo con la NTC 4205, para unidades cerámicas utilizadas en mampostería no estructural el valor máximo de absorción permitido es 20 %. Valores superiores indican una porosidad excesiva que puede reducir la durabilidad del material frente a ciclos de humedad y secado.

Diversos estudios han demostrado que existe una relación directa entre las propiedades del suelo utilizado como materia prima y la calidad del ladrillo obtenido después del proceso de cocción. Variables como la granulometría, la plasticidad, el

contenido de materia orgánica y la presencia de carbonatos influyen significativamente en la resistencia mecánica y en la estabilidad dimensional del producto final.

La literatura técnica establece correlaciones entre las propiedades del suelo y la calidad del producto final, indicando que las características físicas y químicas de la arcilla influyen directamente en el comportamiento del ladrillo durante el secado, la cocción y su desempeño mecánico (Martínez Contreras et al., 2020; Zea, 2005).

Tabla 11. *Relación entre propiedades del suelo y comportamiento del ladrillo*

Propiedad del suelo	Efecto en el ladrillo
Alto contenido de arcilla (>40%)	Alta contracción y posible agrietamiento
Bajo contenido de arcilla (<20%)	Baja resistencia mecánica
Índice de plasticidad alto (>30%)	Dificultad de secado y agrietamiento
Índice de plasticidad bajo (<10%)	Baja cohesión del material
Alta materia orgánica	Alta porosidad y baja resistencia
Alta sílice libre (arena)	Disminución de la resistencia
Presencia de carbonatos	Eflorescencias y puntos de debilidad

Nota. Datos tomados de Zea (2005) y Martínez Contreras et al. (2020).

Estas relaciones permiten comprender cómo las características del suelo influyen directamente en el desempeño del material cerámico. En este sentido, un equilibrio adecuado entre contenido de arcilla, plasticidad y composición mineralógica resulta

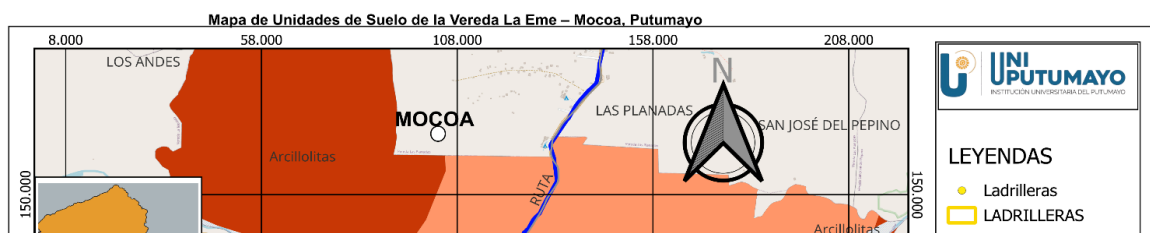
fundamental para obtener ladrillos con buena resistencia y estabilidad dimensional. Por ello, la caracterización geotécnica y fisicoquímica del suelo constituye una etapa esencial antes de su utilización como materia prima en la fabricación de ladrillos cerámicos, ya que permite anticipar posibles problemas durante el proceso productivo y garantizar la calidad del producto final.

El municipio de Mocoa se localiza en la zona de transición entre la cordillera Oriental y la región amazónica colombiana, caracterizada por condiciones climáticas húmedas y altos niveles de precipitación anual. Esta posición geográfica determina la presencia de materiales sedimentarios provenientes de la erosión de la cordillera, depositados en abanicos aluviales y terrazas fluviales (Corpoamazonía, 2021).

De acuerdo con la cartografía de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el área donde se ubica la vereda La Eme presenta unidades edafológicas asociadas a limolitas y lodolitas, materiales sedimentarios compuestos por mezclas de limo y arcilla que pueden constituir materias primas potenciales para la fabricación de materiales cerámicos (IGAC, 2023). Estos suelos se caracterizan por presentar: Texturas moderadamente finas, alta acidez natural, elevada saturación de aluminio, baja fertilidad natural.

Con el fin de comprender mejor la distribución espacial de estas unidades de suelo en el área de estudio, se elaboró el mapa presentado en la Figura 1, el cual muestra la localización de las ladrilleras artesanales de la vereda La Eme en relación con las unidades litológicas identificadas en la cartografía oficial del IGAC.

Figura 1. *Unidades de suelo en la vereda La Eme, municipio de Mocoa, Putumayo.*





Zona urbana: Zona urbana El Pepino.



Arcillolitas: Suelos superficiales, y muy profundos, bien drenados, texturas moderadamente finas y finas, fuertemente y muy fuertemente ácidos, muy alta saturación de aluminio, fertilidad baja.



Limolitas y lodolitas: Suelos moderadamente profundos y profundos, bien drenados, texturas moderadamente finas y medias, fuertemente y muy fuertemente ácidos, muy alta saturación de aluminio, fertilidad baja.

Nota. Adaptado de la información cartográfica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2023) y QGIS. El mapa identifica depósitos de limolitas y lodolitas con texturas finas y alta saturación de aluminio, características químicas que condicionan la plasticidad y el comportamiento térmico del material empleado en las ladrilleras de la vereda La Eme.

Las limolitas son rocas sedimentarias de grano fino compuestas principalmente por partículas del tamaño del limo, generalmente formadas por la compactación y litificación de sedimentos finos depositados en ambientes fluviales o lacustres. Por su parte, las

lodolitas corresponden a rocas sedimentarias que contienen una mezcla de limo y arcilla, caracterizadas por su textura muy fina y su elevada cohesión cuando se encuentran en estado húmedo. Este tipo de materiales puede presentar propiedades favorables para la elaboración de productos cerámicos, debido a la presencia de fracciones finas que contribuyen a la plasticidad del material durante el moldeo (Boggs, 2016; Mitchell & Soga, 2025).

Desde el punto de vista cerámico, estos materiales pueden ser utilizados para la producción de ladrillos siempre que presenten una fracción arcillosa suficiente y propiedades de plasticidad adecuadas.

En este contexto, la caracterización fisicoquímica y geotécnica del suelo arcilloso empleado por las ladrilleras artesanales de la vereda La Eme permitirá establecer si sus propiedades granulométricas, químicas y mineralógicas se encuentran dentro de los rangos recomendados en la literatura técnica para la fabricación de ladrillos cerámicos destinados a la construcción.

El clima del municipio de Mocoa corresponde a un ambiente húmedo tropical, caracterizado por precipitaciones anuales superiores a los 4.000 mm y temperaturas medias relativamente estables durante todo el año (FCDS Conservacion y desarrollo, 2017). Estas condiciones climáticas influyen directamente en la formación, composición y comportamiento de los suelos presentes en la región, especialmente en aquellos con alto contenido de arcillas.

Uno de los efectos más importantes de la alta pluviosidad es el proceso de lixiviación o lavado de bases. Las lluvias intensas favorecen la movilización y pérdida de

cationes básicos como calcio, magnesio y potasio, lo que conduce a la formación de suelos fuertemente ácidos y con elevada saturación de aluminio intercambiable. Esta condición química es común en los suelos tropicales altamente meteorizados y puede influir en la estabilidad de los minerales arcillosos y en las propiedades químicas del material utilizado para la fabricación de productos cerámicos.

Adicionalmente, la alta humedad y las condiciones de meteorización química propias de las regiones tropicales favorecen la transformación de minerales primarios en minerales arcillosos secundarios, particularmente caolinita, la cual es común en suelos desarrollados bajo climas cálidos y húmedos (Mitchel & Soga, 2025). Este proceso contribuye a la formación de suelos con fracciones finas significativas, lo que potencialmente puede resultar favorable para la fabricación de ladrillos cerámicos, siempre que se cumpla un equilibrio adecuado entre las fracciones de arcilla, limo y arena.

Por otra parte, las condiciones climáticas también tienen implicaciones en el proceso productivo de las ladrilleras artesanales. La alta humedad ambiental y la frecuencia de lluvias pueden afectar el proceso de secado natural de los ladrillos antes de la cocción, prolongando los tiempos de producción y aumentando la probabilidad de defectos como fisuras, deformaciones o pérdidas de resistencia en las unidades cerámicas. En contextos de producción artesanal, donde el secado se realiza generalmente al aire libre, estas condiciones representan un factor adicional que puede influir en la calidad final del producto.

La revisión bibliográfica realizada no identificó estudios previos de caracterización de suelos para fines cerámicos en el municipio de Mocoa ni en la vereda La Eme. Existen investigaciones en otras regiones de Colombia (Martínez Contreras et al., 2020 en

Valledupar; Santos, Malagón & Córdoba, 2011 en Barichara; Piscal et al., 2011 en Ocaña), pero ninguna aborda las condiciones específicas del piedemonte amazónico putumayense.

Esta ausencia de antecedentes resalta la originalidad y necesidad de la presente investigación, que generará el primer conjunto de datos técnicos sobre las arcillas de la zona y su aptitud para la producción de ladrillos cerámicos.

Marco Conceptual

La construcción constituye uno de los sectores fundamentales para el desarrollo económico y social, ya que permite la ejecución de infraestructura como viviendas, edificaciones, vías, puentes y otras obras civiles necesarias para el desarrollo de las comunidades. La calidad y desempeño de estas obras dependen en gran medida de los materiales utilizados en su construcción, puesto que sus propiedades físicas y mecánicas influyen directamente en la resistencia, durabilidad y seguridad de las estructuras.

Dentro de los materiales tradicionales utilizados en la construcción, los productos cerámicos elaborados a partir de arcilla cocida, como los ladrillos, han sido ampliamente empleados en sistemas de mampostería debido a su disponibilidad, facilidad de producción y comportamiento estructural adecuado en edificaciones de baja y mediana altura. Sin embargo, la calidad de estos materiales depende en gran medida de las características del suelo arcilloso utilizado como materia prima, tales como su granulometría, plasticidad, composición mineralógica y contenido de materia orgánica (Badillo & Rodríguez, 2017).

En este sentido, la caracterización fisicoquímica y geotécnica del suelo arcilloso permite determinar su aptitud para la fabricación de ladrillos cerámicos que cumplan con los requisitos técnicos establecidos en la normativa vigente. A partir de esta premisa, el

presente marco conceptual describe los principales conceptos y variables que intervienen en la investigación, relacionadas con las propiedades del suelo y el comportamiento mecánico de los ladrillos producidos a partir de este material.

Con el fin de analizar la relación entre las propiedades del suelo arcilloso y la calidad de los ladrillos cerámicos obtenidos, la investigación se estructura a partir de diferentes variables que permiten evaluar el comportamiento del material durante el proceso de fabricación. En términos generales, se consideran variables independientes, dependientes y variables de control, las cuales permiten establecer la relación entre las características del suelo utilizado como materia prima y las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos producidos.

La variable independiente corresponde a las propiedades del suelo arcilloso empleado en la fabricación de los ladrillos, ya que estas características influyen directamente en el comportamiento del material durante las etapas de moldeo, secado y cocción.

Por su parte, la variable dependiente corresponde a la calidad del ladrillo cerámico obtenido, la cual se evalúa mediante ensayos de laboratorio que permiten determinar parámetros como la resistencia a la compresión y la absorción de agua.

Adicionalmente, se consideran variables de control relacionadas con el proceso de fabricación, tales como las condiciones de moldeo, secado y cocción, las cuales deben mantenerse constantes durante el desarrollo del estudio, esto permite garantizar que los resultados obtenidos dependan principalmente de las características del suelo analizado y no de variaciones en el proceso productivo, de igual manera, el control de estas variables

contribuye a minimizar posibles fuentes de error experimental y a asegurar la comparabilidad de los resultados entre las muestras evaluadas. En particular, factores como el contenido de humedad durante el moldeo, el tiempo de secado, la temperatura y duración de la cocción influyen directamente en las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos, por lo que su control es fundamental para obtener resultados representativos y confiables, de esta manera, se busca que las diferencias observadas en el comportamiento de las unidades cerámicas estén asociadas principalmente a las características geotécnicas y fisicoquímicas del material arcilloso empleado como materia prima.

A continuación, se presentan las variables consideradas en el estudio:

Figura 2. *Relación conceptual entre las propiedades del suelo arcilloso y la calidad del ladrillo cerámico.*



Nota. Elaboración propia (2026).

Suelo arcilloso

En ingeniería civil, el suelo se define como un material natural no consolidado formado a partir de la meteorización de rocas y compuesto por partículas minerales, agua y aire (Das & Sobhan, 2018). Dentro de sus diferentes fracciones granulométricas, los suelos arcillosos se caracterizan por contener partículas de tamaño inferior a 0,002 mm, las cuales presentan una elevada superficie específica y comportamiento cohesivo.

Estas características generan propiedades como plasticidad, capacidad de retención de agua y deformabilidad, las cuales influyen significativamente en su comportamiento durante procesos de moldeo y secado. Debido a estas propiedades, los suelos arcillosos

constituyen una de las principales materias primas utilizadas en la industria cerámica para la fabricación de ladrillos, tejas y otros productos de construcción (Mitchel & Soga, 2025).

En el caso de la presente investigación, el suelo analizado corresponde a depósitos identificados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) como limolitas y lodolitas, materiales sedimentarios compuestos por mezclas de limo y arcilla cuya aptitud para la fabricación de ladrillos debe evaluarse mediante ensayos de caracterización físicoquímica y geotécnica.

Arcilla

La arcilla es un material mineral compuesto principalmente por silicatos de aluminio hidratados pertenecientes al grupo de los filosilicatos, entre los cuales se destacan minerales como la caolinita, illita y montmorillonita (Mitchel & Soga, 2025). Estas partículas presentan estructuras cristalinas laminares que les permiten absorber agua entre sus capas, generando propiedades de plasticidad que facilitan el moldeado del material.

Desde el punto de vista cerámico, la arcilla cumple una función fundamental como material aglutinante, permitiendo la cohesión de las partículas durante el moldeo de las unidades cerámicas. Posteriormente, durante el proceso de cocción a temperaturas superiores a 800 °C, se produce la sinterización del material, fenómeno mediante el cual las partículas se fusionan parcialmente y adquieren resistencia mecánica permanente (Rahaman, 2017).

La aptitud cerámica de una arcilla depende de diversos factores, entre ellos su composición mineralógica, granulometría, contenido de materia orgánica y plasticidad, los cuales influyen en el comportamiento del material durante las etapas de preparación, secado y cocción (Linares González, Huertas García, & Martínez, 2013).

Ladrillo cerámico

El ladrillo cerámico es una unidad de mampostería obtenida a partir de arcilla moldeada y sometida a procesos de secado y cocción a altas temperaturas, que generan cambios físicos y químicos en el material y producen su endurecimiento permanente (Rahaman, 2017).

Estos elementos son ampliamente utilizados en la construcción de viviendas y edificaciones debido a su resistencia mecánica, durabilidad y comportamiento térmico. En Colombia, las características técnicas de los ladrillos de arcilla cocida se encuentran reguladas por la Norma Técnica Colombiana NTC 4205, la cual establece los requisitos que deben cumplir las unidades de mampostería destinadas a la construcción, incluyendo parámetros como resistencia a la compresión, absorción de agua y tolerancias dimensionales.

Resistencia a la compresión

Según la Norma Técnica Colombiana NTC 4205, La resistencia a la compresión corresponde a la capacidad de un material para soportar cargas axiales sin experimentar fallas estructurales. En el caso de los ladrillos cerámicos, este parámetro constituye uno de los principales indicadores de calidad y desempeño estructural.

El ensayo consiste en aplicar una carga progresiva sobre la unidad cerámica hasta su ruptura, registrando la carga máxima soportada. El valor obtenido se expresa generalmente en megapascuales (MPa) y depende de factores como la composición del suelo, la compactación durante el moldeo y las condiciones de cocción del material (Martínez Contreras et al., 2020).

Absorción de agua

La absorción de agua es una propiedad física que indica la cantidad de agua que un ladrillo puede absorber cuando se encuentra en contacto con humedad. Este parámetro se expresa como el porcentaje de incremento de masa que experimenta una unidad seca después de permanecer sumergida en agua durante un período determinado (Rahaman, 2017).

La absorción está directamente relacionada con la porosidad del material, la cual depende de la granulometría del suelo, la presencia de materia orgánica y las condiciones de cocción. Valores elevados de absorción pueden afectar la durabilidad del material y su comportamiento frente a condiciones ambientales adversas, por lo que la normativa técnica establece límites máximos admisibles para su uso en construcción (ICONTEC, 2017).

Aptitud técnica del suelo

En el contexto de esta investigación, la aptitud técnica del suelo se define como la capacidad del suelo arcilloso presente en la vereda La Eme para ser utilizado como materia prima en la fabricación de ladrillos cerámicos que cumplan con los requisitos establecidos en la normativa colombiana.

Esta aptitud se evaluará mediante la caracterización físico-mecánica del suelo y la elaboración de unidades de prueba suministradas por las ladrilleras que serán sometidas a ensayos de laboratorio para determinar su resistencia a la compresión y su absorción de agua. De esta manera, será posible establecer la relación entre las propiedades del suelo y el desempeño técnico de los ladrillos obtenidos.

Marco contextual

La presente investigación se desarrolla en el municipio de Mocoa, capital del departamento del Putumayo, ubicado en el sur de Colombia, en la región conocida como el piedemonte amazónico, zona de transición entre la cordillera Oriental de los Andes y la llanura amazónica. Esta posición geográfica confiere al territorio características geomorfológicas y climáticas particulares, entre las que destacan una alta pluviosidad anual, suelos altamente meteorizados y una compleja dinámica hidrográfica asociada a múltiples cuencas fluviales (IGAC, 2023).

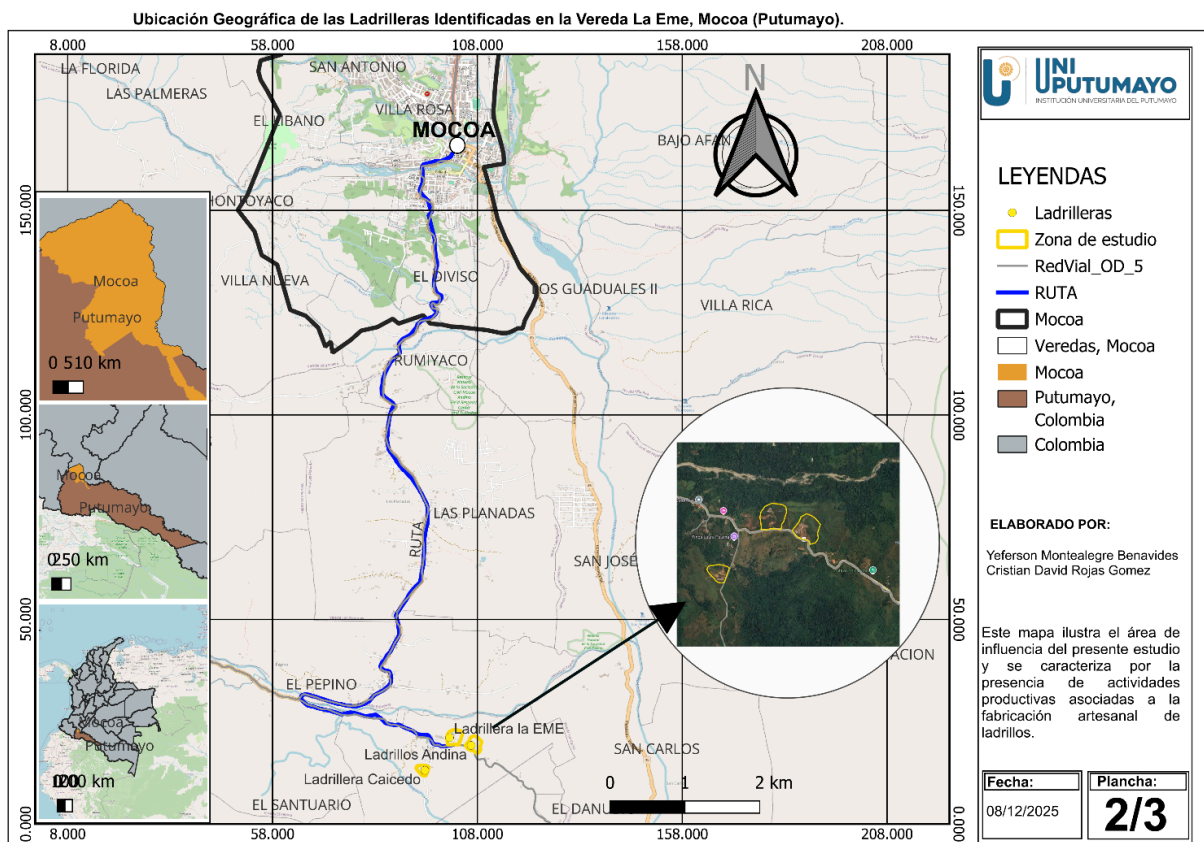
El municipio de Mocoa se localiza aproximadamente a 604 m s. n. m. y presenta un clima cálido húmedo tropical, con precipitaciones que superan los 4.000 mm anuales, condiciones que influyen directamente en los procesos de meteorización de las rocas y en la formación de suelos finos ricos en arcillas. Estas características geológicas y climáticas favorecen la presencia de materiales sedimentarios como limos y arcillas, los cuales históricamente han sido aprovechados de forma artesanal para la fabricación de ladrillos utilizados en la construcción local (IGAC, 2023; IDEAM, 2022).

Dentro de este contexto territorial, la investigación se concentra en la vereda La Eme, ubicada en la zona rural del municipio, cerca del sector conocido como El Pepino, sobre la vía que conecta a Mocoa con la ciudad de Pasto en una desviación hacia Villagarzón. Esta área se localiza aproximadamente a 11 km del casco urbano de Mocoa, siguiendo el corredor vial que atraviesa el piedemonte hacia el occidente del municipio.

La Figura 3 muestra la localización general del área de estudio, donde se identifica la ubicación del departamento del Putumayo dentro de Colombia, la localización del

municipio de Mocoa dentro del departamento y la posición específica de la vereda La Eme respecto al casco urbano.

Figura 3. *Localización geográfica de las ladrilleras identificadas en la vereda La Eme, municipio de Mocoa, Putumayo.*



Nota. Elaboración propia (2026), con base en cartografía IGAC y QGIS.

El mapa evidencia la relación espacial entre el casco urbano de Mocoa y el área de estudio, así como la ruta de acceso desde el centro del municipio hasta las unidades productivas de ladrillo ubicadas en la vereda La Eme. Esta información permite contextualizar geográficamente la investigación y facilita la identificación del entorno donde se desarrollan las actividades de extracción y fabricación artesanal de ladrillos.

De acuerdo con la cartografía temática del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2023), el área donde se ubican las ladrilleras corresponde a unidades litológicas clasificadas como limolitas y lodolitas, materiales sedimentarios de grano fino compuestos por fracciones de limo y arcilla.

Los perfiles edáficos identificados presentan las siguientes características, suelos moderadamente profundos a profundos, texturas moderadamente finas y medias, alta acidez (pH bajo), alta saturación de aluminio, baja fertilidad natural, buen drenaje natural.

- *Suelos moderadamente profundos a profundos.*
- *Texturas moderadamente finas a medias.*
- *Alta acidez natural (pH bajo).*
- *Alta saturación de aluminio.*
- *Baja fertilidad natural.*
- *Buen drenaje natural.*

Las limolitas están constituidas predominantemente por partículas del tamaño limo, mientras que las lodolitas contienen proporciones variables de limo y arcilla. Desde el punto de vista cerámico, este tipo de materiales puede representar una materia prima potencial para la fabricación de ladrillos, siempre que presenten propiedades adecuadas de plasticidad, cohesión y comportamiento térmico durante el proceso de cocción.

Sin embargo, estas características deben ser verificadas mediante ensayos de caracterización fisicoquímicas y geotécnicas, con el fin de determinar si los suelos presentes en el área cumplen con los rangos recomendados para la producción de unidades cerámicas destinadas a la construcción.

En términos socioeconómicos, el municipio de Mocoa ha experimentado un proceso de crecimiento urbano significativo, particularmente después de la avalancha ocurrida en 2017, evento que generó importantes programas de reconstrucción y proyectos de vivienda en la ciudad (Infoamazonia, 2021).

Como consecuencia, la demanda de materiales de construcción, especialmente cemento, acero y ladrillos, ha aumentado considerablemente en los últimos años. Sin embargo, la oferta local de estos materiales continúa siendo limitada, ya que el municipio no cuenta con una industria ladrillera formalmente establecida.

En el departamento del Putumayo existen algunos productores artesanales de ladrillo, ubicados en municipios como Puerto Asís, San Francisco y en la vereda La Eme de Mocoa, aunque su producción se desarrolla a pequeña escala y está destinada principalmente a mercados locales reducidos (DANE, 2025).

Debido a esta limitada capacidad productiva, una parte importante de los ladrillos utilizados en Mocoa proviene de otros departamentos, principalmente del Huila, donde ciudades como Pitalito cuentan con una industria ladrillera consolidada capaz de producir millones de unidades mensuales para abastecer distintas regiones del sur del país.

En la vereda La Eme se desarrollan actividades artesanales de fabricación de ladrillos desde hace varios años, aprovechando los depósitos de suelo arcilloso presentes en la zona. Actualmente operan tres unidades productivas que constituyen el objeto de estudio de la presente investigación:

- *Ladrillos Andina S.A.S.*
- *Ladrillera Caicedo.*

- *Ladrillera La Eme.*

Estas unidades productivas emplean procesos de fabricación principalmente artesanales, que incluyen la extracción manual del suelo, el moldeo de las piezas y la cocción en hornos alimentados con carbón mineral. La producción estimada conjunta de estas ladrilleras es cercana a 45.000 unidades mensuales, destinadas principalmente al mercado local del municipio de Mocoa.

A pesar de su importancia para el abastecimiento de materiales de construcción en la región, estas unidades productivas no cuentan actualmente con certificación técnica de calidad ni con procesos estandarizados de caracterización del suelo, lo que genera incertidumbre sobre el comportamiento mecánico de los ladrillos producidos.

Esta situación refuerza la necesidad de realizar estudios técnicos que permitan evaluar la aptitud del suelo utilizado como materia prima y determinar si los ladrillos producidos cumplen con los requisitos establecidos en la normativa colombiana para unidades de mampostería de arcilla cocida.

Desde el punto de vista institucional, el municipio de Mocoa se encuentra bajo la jurisdicción ambiental de Corpoamazonia, entidad encargada de regular el uso de los recursos naturales y las actividades de aprovechamiento del suelo en la región amazónica colombiana.

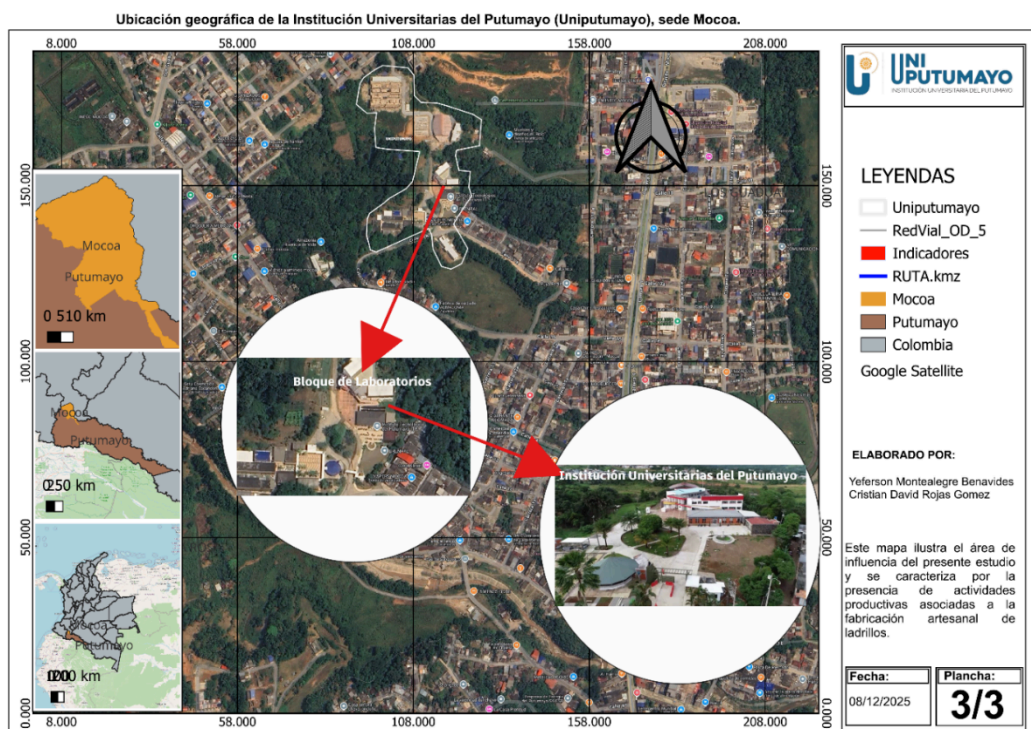
Cualquier actividad relacionada con la extracción de arcilla o la producción de materiales cerámicos debe cumplir con la normativa ambiental y minera vigente, además de considerar las disposiciones establecidas en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio.

Dado que la actividad ladrillera no ha tenido un desarrollo industrial significativo en Mocoa, es posible que el ordenamiento territorial actual no contemple explícitamente zonas destinadas a este tipo de actividad productiva. Por esta razón, cualquier iniciativa futura orientada al aprovechamiento de los depósitos de arcilla deberá articularse con los instrumentos de planificación territorial, identificando áreas adecuadas para la extracción y transformación del material sin generar conflictos con zonas urbanas o áreas de importancia ambiental.

En síntesis, el marco contextual nos dice que Mocoa tiene la materia prima (arcillas) pero no la industria, que existe un entorno geográfico favorable en ciertos sectores (valles aluviales con depósitos arcillosos) pero con retos como alta pluviosidad y pendientes que dispersan el recurso. Social y económicamente, el municipio ganaría en autonomía y ahorro si logra desarrollar su producción de ladrillos.

El desarrollo experimental de la investigación se realizará en los laboratorios de ingeniería civil de la Institución Universitaria del Putumayo (IUP), sede principal ubicada en el municipio de Mocoa, en estos laboratorios se llevarán a cabo los ensayos necesarios para la caracterización del suelo y la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos obtenidos, incluyendo pruebas de granulometría, límites de Atterberg, resistencia a la compresión y absorción de agua, de acuerdo con las normas técnicas colombianas aplicables. La Figura 4 presenta la localización de la Institución Universitaria del Putumayo dentro del municipio de Mocoa y el área donde se realizarán los ensayos de laboratorio.

Figura 4. *Ubicación de la Institución Universitaria del Putumayo y del laboratorio donde se realizarán los ensayos de caracterización del suelo y evaluación de los ladrillos*



Nota. Elaboración propia (2026), con base en cartografía IGAC y QGIS.

(Calle 17, Carrera 17, Mocoa Putumayo)

Coordenadas: 1° 9'25.26"N / 76°39'5.43"O

Las condiciones geológicas, climáticas y productivas presentes en la vereda La Eme convierten a esta zona en un escenario adecuado para evaluar el potencial de los suelos arcillosos locales en la fabricación de ladrillos cerámicos.

La proximidad entre las unidades productivas y el casco urbano de Mocoa, así como la disponibilidad de depósitos de materiales finos asociados a limolitas y lodolitas, favorecen el desarrollo de actividades artesanales de producción de ladrillo. No obstante, la ausencia de estudios técnicos que caractericen las propiedades del suelo utilizado limita la posibilidad de garantizar la calidad del producto final.

En este contexto, la presente investigación busca aportar información técnica que permita evaluar la aptitud del suelo disponible en la zona y contribuir al fortalecimiento de la producción local de materiales de construcción bajo criterios técnicos y normativos.

Marco legal

El desarrollo de actividades relacionadas con la caracterización de suelos y la producción de materiales cerámicos para la construcción se encuentra regulado en Colombia por un conjunto de normas técnicas, ambientales, mineras y de ordenamiento territorial. Estas disposiciones establecen los requisitos que deben cumplir los materiales utilizados en la construcción, así como las condiciones legales para la extracción de materias primas y el desarrollo de actividades productivas asociadas.

En el contexto de la presente investigación, el marco legal se relaciona principalmente con tres ámbitos normativos: normativa técnica de materiales de construcción, normativa minera para la extracción de arcilla y normativa ambiental y territorial aplicable al aprovechamiento de recursos naturales.

Normativa técnica para laboratorio de suelos y unidades de mampostería de arcilla:

La calidad y el uso de los ladrillos cerámicos en Colombia se encuentran regulados por las Normas Técnicas Colombianas (NTC) expedidas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), las cuales establecen procedimientos estandarizados para la caracterización de suelos y la evaluación de materiales utilizados en la construcción. Adicionalmente, en el ámbito de la ingeniería geotécnica y de infraestructura, las Normas de Ensayo del Instituto Nacional de Vías (INV E) son ampliamente utilizadas para la caracterización de suelos. La combinación de ambas fuentes

normativas garantiza que los procedimientos ejecutados en laboratorio sean técnicamente rigurosos, comparables y acordes con las prácticas nacionales e internacionales.

En particular, la Norma Técnica Colombiana NTC 4205 establece los requisitos que deben cumplir las unidades de mampostería de arcilla cocida destinadas a la construcción, incluyendo criterios relacionados con resistencia mecánica, absorción de agua, dimensiones y clasificación según su uso estructural o no estructural.

De igual manera, la NTC 4017 define los procedimientos para el muestreo y ensayo de unidades de mampostería, permitiendo evaluar propiedades como la resistencia a la compresión y la absorción de agua mediante métodos estandarizados de laboratorio.

Estas normas constituyen el criterio técnico de referencia para evaluar los ladrillos elaborados con el suelo arcilloso proveniente de la vereda La Eme, permitiendo determinar si cumplen con los requisitos mínimos establecidos para su uso en la construcción.

Asimismo, el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) establece que los materiales utilizados en elementos estructurales deben cumplir especificaciones técnicas verificables mediante ensayos de laboratorio, lo cual refuerza la importancia de caracterizar técnicamente los materiales empleados en sistemas de mampostería.

Para el desarrollo de la presente investigación se emplean diferentes normas técnicas colombianas que regulan los procedimientos de caracterización de suelos y evaluación de ladrillos cerámicos. Estas normas permiten estandarizar los ensayos, garantizar la confiabilidad de los resultados y facilitar la comparación con los valores de referencia establecidos a nivel nacional.

Tabla 12. *Normas técnicas*
aplicadas en los ensayos de
laboratorio

Categoría	Ensayo	Norma Técnica	Propósito en la investigación
Suelos	Análisis granulométrico por tamizado	NTC 77 Ingeniería civil y arquitectura. Método para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos. INV E-123 Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos.	Determinar el porcentaje de grava y arena, separando las fracciones gruesas del suelo.
Suelos	Límites de Atterberg	NTC 4630 Método de ensayo para la determinación del límite líquido, del límite plástico y del índice de plasticidad de los suelos cohesivos.	Determinar la plasticidad del suelo mediante el Límite Líquido (LL), Límite Plástico (LP) e Índice de Plasticidad (IP), valores de IP entre 10% y 25% son favorables para la fabricación de ladrillos.
Suelos	Peso específico de sólidos	INV E-128 Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro de agua.	Determinar la densidad de las partículas sólidas del suelo (Gs).
Suelos	pH del suelo	NTC 5264 Calidad de suelo. Determinación del pH.	Determinar el grado de acidez o alcalinidad del suelo en suspensión acuosa.
Suelos	Contenido de humedad	NTC 1495 Método de ensayo para determinar en el laboratorio el contenido de agua (humedad) de suelos y rocas, con base en la masa.	Determinar la cantidad de agua presente en el suelo en su estado natural en el frente de explotación.
Suelos	Contenido de materia orgánica	NTC 5403 Calidad de suelo. Determinación del carbono orgánico.	Cuantificar el porcentaje de materia orgánica presente en el suelo, valores superiores al 5% son perjudiciales para la fabricación de ladrillos.
Suelos	Determinación de carbonatos (cal)	Prueba cualitativa Método estándar efervescencia con ácido clorhídrico (HCl) al 10%.	Detectar presencia de carbonatos (CaCO_3) en el suelo, la presencia de carbonatos puede generar eflorescencias en los ladrillos cocidos.
Suelos	Clasificación de suelos (SUCS)	NTC 1504 Clasificación de suelos para propósitos de ingeniería	Clasificar el suelo según su comportamiento geotécnico (arcilla de alta o baja plasticidad, limo, etc.)

Categoría	Ensayo	Norma Técnica	Propósito en la investigación
		(Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).	con base en los resultados de granulometría y límites de Atterberg.
Ladrillos	Verificación dimensional	NTC 4017 Ingeniería civil y arquitectura. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos.	Controlar las tolerancias en largo, ancho y alto de las unidades de ladrillo, verificando el cumplimiento de las dimensiones estándar.
Ladrillos	Resistencia a la compresión	NTC 4017 Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla. NTC 4205 Ingeniería civil y arquitectura. Unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos.	Evaluar la capacidad de carga axial de la unidad mediante prensa hidráulica hasta la rotura, calcular la resistencia en MPa y establecer los requisitos mínimos de resistencia que deben cumplir las unidades según su tipo (estructural o no estructural).
Ladrillos	Absorción de agua	NTC 4017 Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla. NTC 4205 Ingeniería civil y arquitectura. Unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos.	Medir la porosidad abierta del material mediante inmersión en agua durante 24 horas, calcular el porcentaje de absorción y establecer los valores máximos de absorción permitidos.

Nota. Adaptado a partir de ICONTEC (2017) e INVIAS (2013).

La aplicación de estas normas técnicas permite evaluar de manera integral las propiedades físicas, mecánicas y químicas del suelo arcilloso, así como el desempeño de los ladrillos elaborados. De esta manera, se garantiza que los resultados obtenidos sean comparables con los criterios establecidos por la normativa colombiana y que las conclusiones sobre la viabilidad del material cuenten con sustento técnico confiable.

Normativa minera para la extracción de arcilla

La arcilla utilizada para la fabricación de ladrillos está clasificada como material de construcción y su explotación se rige por la Ley 685 de 2001 (Código de Minas). Esta

normativa establece que toda actividad de extracción requiere título minero otorgado por la Agencia Nacional de Minería.

Esta ley establece que cualquier actividad de extracción de minerales requiere la obtención de un título minero otorgado por la Agencia Nacional de Minería (ANM), así como el cumplimiento de las obligaciones técnicas, ambientales y administrativas asociadas a la explotación del recurso.

En el contexto de la vereda La Eme, la actividad de extracción de arcilla para la fabricación artesanal de ladrillos se realiza actualmente a pequeña escala, por lo que en muchos casos no cuenta con procesos de formalización minera. Esta situación limita el desarrollo productivo de las unidades artesanales y evidencia la necesidad de estudios técnicos que permitan evaluar el potencial del recurso disponible.

Normativa ambiental aplicable

Las actividades relacionadas con la extracción de arcilla y la producción de ladrillos también se encuentran reguladas por la legislación ambiental colombiana.

La Ley 99 de 1993 creó el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y estableció el marco institucional para la gestión ambiental en el país, incluyendo la regulación del aprovechamiento de los recursos naturales, tales como el uso de aguas, vertimientos, emisiones, aprovechamiento forestal si aplica, etc., para la ejecución de un proyecto que use recursos naturales. Posteriormente, el Decreto 1076 de 2015, conocido como el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente, compila la normativa ambiental vigente y establece los requisitos para la obtención de permisos, concesiones y licencias ambientales necesarias para el desarrollo de actividades que puedan generar impactos sobre el medio ambiente.

En el caso específico del departamento del Putumayo, la autoridad ambiental encargada de aplicar estas disposiciones es Corpoamazonia, entidad responsable de regular el uso de los recursos naturales y supervisar las actividades productivas que puedan generar impactos sobre el suelo, el aire o los recursos hídricos, en la práctica, esto implica que, si se quisiera montar una cantera de arcilla en Mocoa, habría que presentar un Estudio de Impacto Ambiental a la autoridad (Corpoamazonia) y obtener la licencia respectiva.

Normativa territorial y uso del suelo:

El desarrollo de actividades productivas relacionadas con la extracción de arcilla y la fabricación de ladrillos también debe ser compatible con los instrumentos de planificación territorial del municipio.

En este sentido, el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio de Mocoa establece las disposiciones relacionadas con el uso del suelo urbano y rural, definiendo las áreas donde pueden desarrollarse actividades industriales, extractivas o productivas.

Cualquier proceso de formalización de la actividad ladrillera en la vereda La Eme deberá verificar la compatibilidad con la zonificación establecida en el POT, así como con las restricciones ambientales existentes en el piedemonte amazónico.

El conjunto de normas descritas establece el marco jurídico dentro del cual se desarrolla la presente investigación. En particular, las normas técnicas colombianas permiten garantizar que los ensayos realizados sobre el suelo arcilloso y los ladrillos elaborados cumplan con procedimientos estandarizados y comparables a nivel nacional.

De esta manera, los resultados obtenidos podrán servir como soporte técnico para evaluar el potencial de los suelos presentes en la vereda La Eme y contribuir al desarrollo

de procesos productivos que cumplan con los requisitos técnicos, ambientales y legales establecidos en la legislación colombiana.

Metodología

La presente investigación se desarrollará mediante un enfoque aplicado, con diseño no experimental, de tipo transversal y bajo el enfoque de estudio de caso, orientado a evaluar la viabilidad técnica de la producción de ladrillos cerámicos elaborados con el suelo arcilloso de la vereda La Eme, municipio de Mocoa (Putumayo). La metodología integra actividades de análisis documental, trabajo de campo, ensayos de laboratorio y análisis comparativo con la normatividad técnica vigente, con el fin de dar respuesta a la pregunta de investigación y cumplir los objetivos planteados.

El proceso metodológico se estructurará en etapas secuenciales; en una primera etapa se realizará la revisión documental, cartográfica y normativa relacionada con la producción de ladrillos cerámicos, características de suelos arcillosos y requisitos técnicos establecidos en la normativa colombiana aplicable, es decir en esta fase permitirá establecer los criterios técnicos de evaluación y delimitar el área de estudio.

En la segunda etapa se llevará a cabo el trabajo de campo, que incluye el reconocimiento del área de estudio en la vereda La Eme, la identificación de los sitios de extracción del suelo utilizado por las ladrilleras artesanales, la excavación de apiques y la recolección de muestras representativas del material, de manera complementaria, se realizará la recolección de unidades de ladrillos producidas artesanalmente en la zona, correspondientes a las tipologías más utilizadas, así como entrevistas informales a los productores locales para conocer los procesos de elaboración.

Posteriormente, en la tercera etapa se efectuará la caracterización fisicoquímica y geotécnica del suelo en laboratorio, para ello se realizarán ensayos tales como análisis granulométrico, límites de Atterberg, contenido de humedad, peso específico de sólidos, pH, contenido de materia orgánica y determinación de carbonatos, además de la clasificación del suelo mediante el sistema SUCS. Estos ensayos permitirán conocer las propiedades índices del material y su comportamiento potencial para la fabricación de ladrillos cerámicos.

En la cuarta etapa se evaluarán las unidades de ladrillo recolectadas mediante ensayos de laboratorio que incluyen verificación dimensional, resistencia a la compresión y absorción de agua, siguiendo los procedimientos establecidos en la Norma Técnica Colombiana NTC 4205, estos ensayos permitirán determinar el comportamiento mecánico y la durabilidad de los ladrillos producidos con el suelo de la zona.

Finalmente, en la quinta etapa se realizará el análisis e interpretación de los resultados obtenidos. Se compararán las propiedades fisicoquímicas y geotécnicas del suelo con el desempeño mecánico de los ladrillos, aplicando análisis cuantitativo y estadística descriptiva, asimismo, los resultados serán contrastados con los requisitos establecidos en la normatividad técnica vigente, con el fin de determinar el cumplimiento de los parámetros exigidos y evaluar la viabilidad técnica de la producción de ladrillos cerámicos elaborados con el suelo arcilloso de la vereda La Eme. Este proceso permitirá formular conclusiones y recomendaciones dirigidas a mejorar la calidad del material producido por las ladrilleras artesanales del sector.

Enfoque de la investigación

La presente investigación se enmarca en un enfoque mixto, con predominio cuantitativo, pero con componentes cualitativos que permiten contextualizar e interpretar los resultados. Esta combinación responde a la naturaleza del problema: por un lado, se requiere medir objetivamente las propiedades del suelo y la calidad de los ladrillos (componente cuantitativo); por otro, es necesario comprender el contexto productivo, las percepciones de los actores y las dinámicas del mercado local (componente cualitativo).

El enfoque cuantitativo se fundamenta en la obtención de datos numéricos mediante ensayos normalizados de laboratorio que permiten medir propiedades físicas, químicas y mecánicas del suelo y de los ladrillos producidos. Este tipo de investigación se caracteriza por utilizar mediciones objetivas y análisis estadísticos para evaluar relaciones entre variables (Hernandez & Mendoza, 2018).

Investigación cuantitativa según Borja Suárez, (2016), “plantea que el conocimiento de la realidad puede obtenerse de manera objetiva mediante la recopilación y el análisis sistemático de información. A partir de estos datos es posible responder a las preguntas de investigación y verificar las hipótesis planteadas. Este enfoque se fundamenta principalmente en el uso de mediciones numéricas, el registro y conteo de datos y, con frecuencia, en la aplicación de métodos estadísticos que permiten identificar con precisión patrones de comportamiento dentro de una población” (p.11).

Estos resultados permitirán determinar si el suelo analizado cumple con los parámetros técnicos establecidos en la Norma Técnica Colombiana NTC 4205 para unidades de mampostería de arcilla cocida.

Por otra parte, el componente cualitativo permitirá complementar la interpretación de los resultados técnicos mediante el análisis del contexto productivo de las ladrilleras artesanales de la vereda La Eme. Para ello se realizará observación directa del proceso de fabricación y entrevistas informales a los productores locales con el fin de comprender las prácticas de extracción, preparación del material, moldeo y cocción.

Investigación cualitativa según Borja, (2016), “también denominada investigación naturalista, interpretativa, fenomenológica o etnográfica. Este tipo de estudios se caracteriza por la obtención de información mediante técnicas que no se basan en mediciones numéricas, sino en la descripción e interpretación de los fenómenos observados. Entre los métodos más utilizados se encuentran la observación directa, las entrevistas, el análisis de documentos, las discusiones grupales y la valoración de experiencias personales, etc.” (p.12).

La combinación de ambos enfoques permite obtener una comprensión integral del fenómeno estudiado, articulando el análisis técnico de laboratorio con el contexto productivo real en el cual se fabrican los ladrillos. A continuación, se sintetiza la aplicación de cada componente en la presente investigación:

Tabla 13. *Normas técnicas
aplicadas en los ensayos de
laboratorio*

Componente Mixto	Descripción	Técnicas asociadas
Cuantitativo	Medición objetiva de propiedades físicas, químicas y mecánicas mediante ensayos normalizados que arrojan datos numéricos.	Granulometría, límites de Atterberg, contenidos de materia orgánica, contenido de humedad, pH del suelo, resistencia a compresión, absorción de agua.

Cualitativo	Comprensión del contexto productivo, las percepciones de calidad y las barreras de mercado a través del diálogo con los actores locales.	Entrevistas semiestructuradas, observación directa, registro fotográfico.
-------------	--	---

Nota. Elaboración propia basado en Hernández & Mendoza (2018) y Borja (2016).

La integración del componente cuantitativo y cualitativo permite no solo evaluar técnicamente la aptitud del suelo para la fabricación de ladrillos cerámicos, sino también comprender las condiciones productivas y comerciales del entorno local. De esta manera, los resultados del estudio adquieren un enfoque más completo, al considerar tanto la calidad del material como la viabilidad de su aprovechamiento en el contexto real de las ladrilleras artesanales de la vereda La Eme.

Tipo de investigación

El estudio corresponde a una investigación de tipo aplicado, con alcances descriptivo, evaluativo y correlacional:

Tabla 14. *Normas técnicas
aplicadas en los ensayos de
laboratorio*

Tipo	Descripción	Aplicación en la investigación
Aplicada	Busca resolver un problema técnico específico del contexto local.	Determinar si el suelo de La Eme es apto para fabricar ladrillos que cumplan la NTC 4205.
Descriptiva	Caracteriza las propiedades del suelo y de los ladrillos tal como se encuentran en su estado natural y productivo.	Descripción granulométrica, límites de Atterberg, resistencia actual de los ladrillos.
Evaluativa	Contrasta los resultados obtenidos con parámetros normativos establecidos.	Comparación de resistencias y absorciones con los valores exigidos por la NTC 4205.

Correlacional	Establece relaciones entre las propiedades del suelo y la calidad del producto final.	Análisis de cómo el contenido de arcilla o la plasticidad influyen en la resistencia.
---------------	---	---

Nota. Elaboración propia.

Este tipo de investigación permite no solo describir las características del suelo y del producto cerámico, sino también evaluar su cumplimiento con la normativa vigente y analizar la relación entre las propiedades del material y el desempeño de los ladrillos, de esta manera, se obtiene un enfoque integral orientado a determinar la viabilidad técnica del aprovechamiento del suelo arcilloso de la vereda La Eme para la fabricación de ladrillos.

Diseño metodológico

El diseño de la investigación corresponde a un estudio no experimental de tipo transversal con enfoque de estudio de caso.

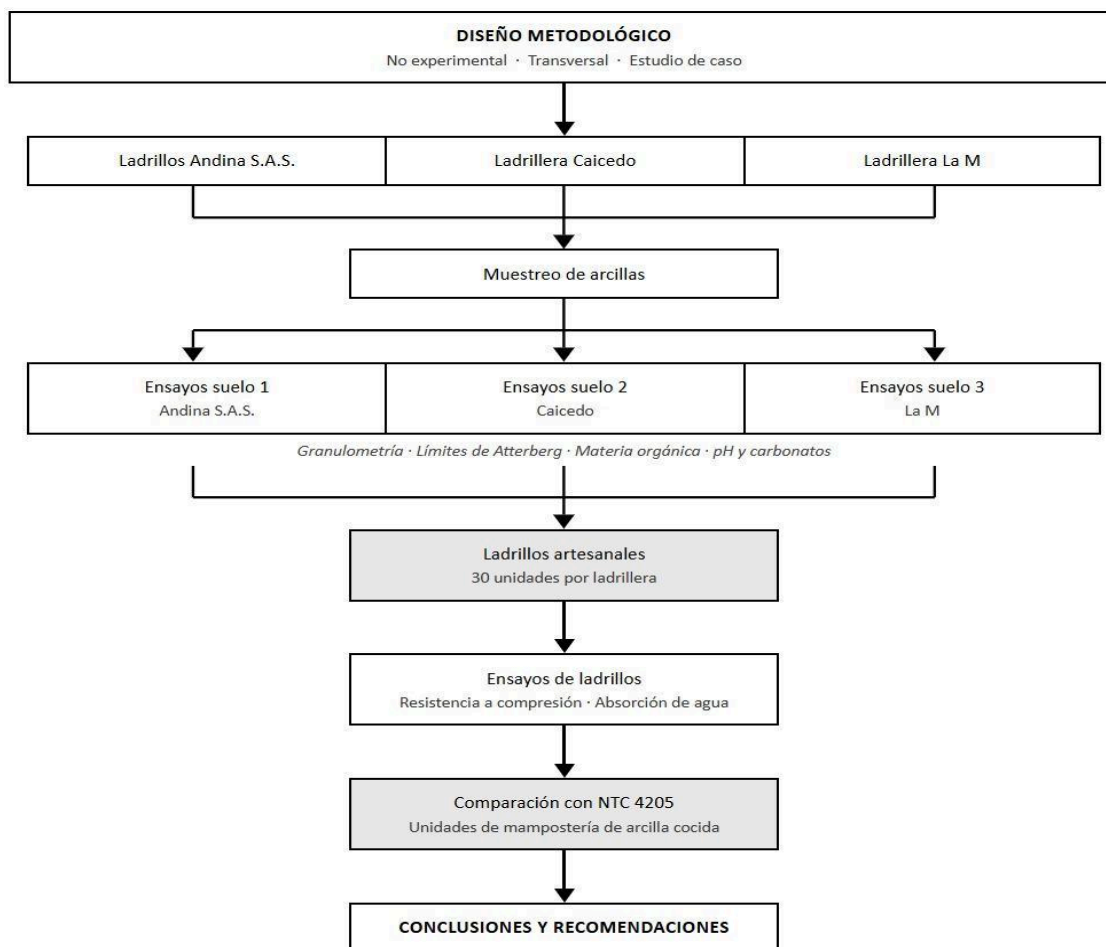
Se considera no experimental porque las variables del estudio no serán manipuladas por los investigadores, sino que se analizarán las características naturales del suelo existente en la zona de estudio y el comportamiento de los ladrillos producidos con dicho material.

El diseño es transversal debido a que la recolección de datos se realizará en un periodo determinado de tiempo, sin seguimiento longitudinal de las variables.

Finalmente, la investigación se desarrolla bajo la modalidad de estudio de caso, debido a que se centra específicamente en las ladrilleras artesanales ubicadas en la vereda La Eme, municipio de Mocoa, analizando de manera detallada las características del suelo utilizado en este contexto particular, este enfoque permite profundizar en las condiciones reales de extracción, procesamiento y uso del material, facilitando la comprensión integral del fenómeno estudiado dentro de su entorno local. Asimismo, posibilita la identificación

de las prácticas productivas empleadas por los fabricantes, así como de los factores técnicos y operativos que pueden influir en la calidad final de las unidades cerámicas producidas, de igual manera, el estudio de caso proporciona información específica y contextualizada sobre las condiciones geológicas, geotécnicas y ambientales de la zona de estudio, permitiendo relacionar las propiedades del suelo con el desempeño físico y mecánico de los ladrillos obtenidos y en consecuencia, esta metodología aporta evidencia técnica relevante para evaluar la viabilidad del material como materia prima para la producción de ladrillos cerámicos y para formular recomendaciones orientadas al mejoramiento de los procesos productivos desarrollados en la región.

Figura 5. *Diseño del formato de registro para la descripción macroscópica de suelos en campo*



Nota. Elaboración propia (2026).

Población y muestra

La población objeto de estudio está constituida por los depósitos de suelo arcilloso presentes en la vereda La Eme, los cuales son utilizados por las ladrilleras artesanales del sector como materia prima para la producción de ladrillos cerámicos. Asimismo, forman parte de la población los ladrillos fabricados con dicho material en las unidades productivas existentes en la zona.

Se utilizará un muestreo no probabilístico de tipo intencional, seleccionando puntos representativos dentro de las zonas de extracción de arcilla identificadas mediante

reconocimiento de campo y análisis cartográfico del IGAC, este tipo de muestreo permite elegir unidades de análisis que presentan características relevantes para los objetivos del estudio, garantizando la representatividad técnica del material evaluado.

Tabla 15. *Características del muestreo*

Elemento	Descripción	Cantidad
Muestras de suelo	Extraídas del frente de explotación de cada ladrillera, a profundidades entre 0,5 m y 2,0 m, evitando el horizonte orgánico superficial.	3 muestras (una por ladrillera), de 50 kg cada una.
Ladrillos artesanales	Unidades de producción regular, tomadas al azar de los lotes disponibles en cada ladrillera.	10 ladrillos por ladrillera (30 en total).

Nota. Elaboración propia (2026).

Criterios de inclusión para muestras de suelo:

- *Frentes de explotación activos en el momento del estudio, asegurando que el material analizado sea el mismo que ingresa a la línea de producción actual.*
- *Extracción del horizonte subsuperficial (B o BC), evitando la capa orgánica superficial.*
- *Representatividad del material usado regularmente de la ladrillera, evitando pedazos de tierra extraña o capas de suelo que aparecen por accidente y que no se usan en la fabricación masiva.*

Criterios de inclusión para ladrillos artesanales:

- *Ladrillos de producción regular, que no sean fabricados especialmente para este estudio.*

- *Correspondientes a los tipos comercializados por cada ladrillera, específicamente ladrillo farol #4, farol #5 y ladrillo macizo.*
- *Sin defectos visibles extremos, excluyendo piezas con defectos, rotos o deformes, aunque se dejara constancia de la frecuencia de estos defectos como observación del proceso artesanal.*

Recolección de datos

Para recolectar la información necesaria se emplearán tres tipos de técnicas de investigación como documentales, de campo y de laboratorio.

En primera instancia, se desarrollará una fase de fundamentación técnica mediante la revisión de fuentes secundarias. Esta etapa es crítica para establecer el marco de comparación de los resultados y asegurar que el muestreo se realice en las zonas geológicas correctas. Se revisará cartografía temática, normatividad nacional y literatura especializada.

Tabla 16. *Síntesis de técnicas e instrumentos para el análisis documental y cartográfica*

Técnica	Instrumentos	Propósito
Análisis de cartografía	Mapas de suelos IGAC, imágenes satelitales, apoyo con el software de QGIS.	Identificar unidades litológicas (limolitas, lodolitas) y delimitar área de estudio.
Revisión normativa	NTC 77, 1503, 1504, 1495, 4630, 4017, 4205, 5403, 5264 e INV E-123, INV E-124, INV E-128.	Establecer procedimientos de ensayo y criterios de evaluación.
Revisión de literatura	Artículos científicos, tesis, libros relacionados con el tema de la investigación.	Contextualizar teóricamente la investigación.

Nota. Elaboración propia (2026).

Esta información permitirá contextualizar técnicamente el área de estudio y establecer los parámetros de comparación para los resultados obtenidos.

En el trabajo de campo se utilizará un formato de descripción de suelos como herramienta principal de registro. Este documento permitirá anotar de forma organizada las propiedades del material (color, textura, consistencia) en el momento exacto de la excavación. De esta manera, aseguramos que cada muestra de 50 kg esté vinculada con precisión a su ubicación geográfica y a la profundidad real de extracción en la ladrillera, se presenta el protocolo de instrumentos y procedimientos para la fase de campo, detallando para cada técnica los instrumentos utilizados y el procedimiento específico a seguir.

Tabla 17. Protocolo de instrumentos y procedimientos para la fase de campo

Técnica	Instrumentos	Procedimiento
Georreferenciación	GPS Garmin o similar suministrado por la universidad. 	Registrar coordenadas de cada punto de muestreo.
Excavación de apiques	Pala, barra, pica. 	Excavar hasta 1,5-2,0 m de profundidad hasta alcanzar el horizonte arcilloso.
Descripción de perfiles	Formato de descripción de suelos con su portapapeles.	Registrar color, textura al tacto, consistencia, presencia de raíces, gravas, etc.

Técnica	Instrumentos	Procedimiento
Toma de muestras	 Bolsas plásticas resistentes, costales, marcadores. 	Extraer 50 kg por punto; homogenizar; rotular con código.
Registro fotográfico	Celular con cámara de buena resolución. 	Fotografiar frentes, perfiles, proceso de extracción y muestras rotuladas.

Nota. Elaboración propia (2026), basada en los estándares de muestreo para geotecnia.

La aplicación de este protocolo permitirá garantizar la trazabilidad de las muestras y la correcta documentación de las condiciones del suelo en campo, información que servirá de base para la interpretación de los resultados obtenidos posteriormente en laboratorio. Asimismo, contribuirá a asegurar la confiabilidad y representatividad de los datos recopilados, permitiendo establecer una relación directa entre las características observadas durante el muestreo y las propiedades físicas, químicas y geotécnicas determinadas mediante los ensayos correspondientes, de esta manera, se minimiza la posibilidad de errores asociados a la identificación de las muestras o a la pérdida de información relevante durante las diferentes etapas de la investigación.

Con este propósito, Se diseñó un formato de registro para documentar las propiedades del suelo (color, textura, consistencia, humedad), ubicación, profundidad y código de cada muestra, asegurando la trazabilidad entre el perfil de suelo y la muestra de laboratorio.

Figura 6. *Diseño del formato de registro para la descripción macroscópica de suelos en campo*

	MACROPROCESO: MISIONAL		Código: F-INV-049
	PROCESO: INVESTIGACIÓN		Versión: 01 Fecha: 31-07-2025
	FORMATO DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO ARCILLOSO		Página: 1 de 2

1. DATOS GENERALES DE LA MUESTRA			
Muestra N°:		Fecha de toma:	
Ladrillera:	☐ Ladrillos Andina S.A.S. ☐ Ladrillera Caicedo ☐ Ladrillera La M		
Responsable(s):			
Municipio / Vereda:	Mocoa – Vereda La Eme, Putumayo	Departamento:	Putumayo
Coordenadas:	Norte (N): _____	Este (E): _____	

2. DATOS DE MUESTREO			
Profundidad (m):		Horizonte:	
Método extracción:		Tipo de muestra:	☐ Alterada ☐ Inalterada
Condición suelo:	☐ Seco ☐ Húmedo ☐ Saturado ☐ Plástico ☐ Semisólido		
Zona de extracción:	☐ Zona activa de explotación ☐ Zona nueva ☐ Zona de acopio ☐ Otra: _____		

3. DESCRIPCIÓN VISUAL EN CAMPO (ASTM D2488)			
Color (Munsell):		Olor:	☐ Ninguno ☐ Orgánico
Textura en campo:	☐ Arcilla ☐ Limo ☐ Arena fina ☐ Arena gruesa ☐ Mezcla	Humedad:	☐ Seco ☐ Húmedo ☐ Mojado
Consistencia:	☐ Muy blanda ☐ Blanda ☐ Firme ☐ Rígida ☐ Muy rígida ☐ Dura		
Reacción al HCl:	☐ Ninguna ☐ Débil ☐ Fuerte (carbonatos)	Materia orgánica:	☐ Sin evidencia ☐ Trazas ☐ Alta presencia
Clasificación SUCS (campo):	☐ GW ☐ GP ☐ GM ☐ GC ☐ SW ☐ SP ☐ SM ☐ SC ☐ ML ☐ CL ☐ OL ☐ MH ☐ CH ☐ OH	Símbolo SUCS:	
Descripción preliminar SUCS:	Ej: Arcilla de alta plasticidad (CH) — color gris oscuro, húmeda, de consistencia firme.		
Descripción visual general:			

4. ENSAYOS DE LABORATORIO REQUERIDOS			
Ensayo	Norma aplicable	Parámetro obtenido	Observaciones
Granulometría (tamizado + hidrómetro)	INV E-123 / ASTM D422	Distribución granulométrica (%)	
Límite líquido (LL)	INV E-125 / ASTM D4318	LL (%)	
Límite plástico (LP) e Índice de plasticidad (IP)	INV E-126 / ASTM D4318	LP (%) — IP (%)	
Humedad natural (w)	INV E-122 / ASTM D2216	w (%)	

	MACROPROCESO: MISIONAL	Código: F-INV-049
	PROCESO: INVESTIGACIÓN	Versión: 01 Fecha: 31-07-2025
	FORMATO DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO ARCILLOSO	

Peso específico de sólidos (Gs)	INV E-127 / ASTM D854	Gs (adimensional)	
Contenido de materia orgánica	INV E-121 / ASTM D2974	MO (%)	
pH del suelo	NTC 5264 / ASTM D4972	pH (unidades)	
Carbonatos (reacción HCl)	Ensayo cualitativo campo	Presencia / ausencia	

5. REGISTRO FOTOGRÁFICO			
N° total de fotos:		Equipo utilizado:	
		Formato:	☐ JPG ☐ PNG ☐ RAW
Descripción de fotografías tomadas (nombre archivo – contenido):			
N° foto	Nombre del archivo	Descripción del contenido	
1			
2			
3			
4			
5			

6. CADENA DE CUSTODIA Y EMBALAJE	
Tipo de envase:	☐ Bolsa plástica ☐ Balde ☐ Frasco vidrio ☐ Otro: _____
Peso embalado:	
Estado embalaje:	☐ Sellado ☐ Etiquetado ☐ Refrigerado ☐ A temperatura ambiente
Entregado por:	
Recibido por:	
Fecha de entrega:	
Laboratorio:	

7. OBSERVACIONES GENERALES

8. FIRMAS Y APROBACIÓN		
Investigador 1	Investigador 2	Asesora
Firma: _____ Yeferson Montealegre B. C.C. 1.127.079.181	Firma: _____ Cristian David Rojas G. C.C. 1.006.908.421	Firma: _____ Aida Liliana Marín V. Asesora de tesis

Nota. Elaboración propia (2026), este instrumento permite la estandarización de los datos recolectados en las ladrilleras de la vereda La Eme, asegurando la trazabilidad entre el origen geológico de la arcilla y la muestra enviada al laboratorio de la Institución Universitaria del Putumayo IUP.

El formato incluye campos para: código de muestra, fecha, ubicación (coordenadas GPS), profundidad de extracción, descripción del horizonte, color (en estado húmedo y

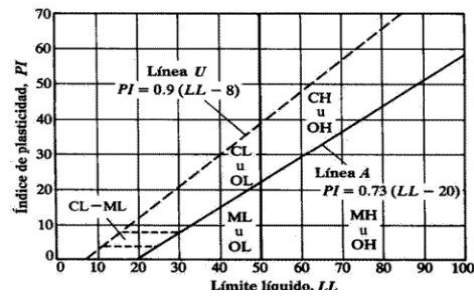
seco), textura al tacto, consistencia, presencia de raíces y gravas, humedad aparente, y observaciones adicionales.

Una vez cumplido el protocolo de muestreo, las muestras recolectadas serán trasladadas y analizadas en los laboratorios de la Institución Universitaria del Putumayo (IUP). En este escenario controlado, el material será sometido a una batería de ensayos físicos y químicos bajo el estricto cumplimiento de las Normas Técnicas Colombianas (NTC) y las Normas de Ensayo del Instituto Nacional de Vías (INV E), según corresponda para cada tipo de prueba. El objetivo de esta fase es transformar las observaciones cualitativas de campo en datos cuantitativos de resistencia, plasticidad, composición granulométrica y durabilidad, que permitan validar la aptitud técnica del suelo arcilloso de La Eme para la fabricación de ladrillos cerámicos. Los resultados obtenidos serán contrastados con los rangos de referencia establecidos en la literatura especializada y con los requisitos exigidos por la Norma Técnica Colombiana NTC 4205.

La caracterización fisicoquímica y geotécnica de los suelos arcillosos extraídos de las ladrilleras de La Eme se realizará mediante los ensayos de laboratorio que se presentan a continuación, cada ensayo está regido por su respectiva norma técnica (NTC o INV E) y permite determinar una propiedad específica del suelo, como la distribución de tamaños de partículas, la plasticidad, la contracción durante el secado, el pH, el contenido de materia orgánica, entre otros.

Tabla 18. *Ensayos de laboratorio*
para caracterización de suelos

Ensayo	Norma	Propósito	Equipo requerido
Análisis granulométrico por tamizado	NTC 77 / INV E-123	Determinar el porcentaje de grava y arena, separando las fracciones gruesas del suelo.	Juego de tamices (desde 3" hasta No. 200), balanza de precisión, horno de secado.  
Límite Líquido (LL)	NTC 4630	Establecer el contenido de humedad en el cual el suelo pasa del estado semilíquido al plástico.	Cazuela de Casagrande, ranurador, balanza de precisión, recipientes para humedad, recipiente para mezclar, horno de secado, aspersor.  
Límite Plástico (LP)	NTC 4630	Determinar el contenido de humedad en el cual el suelo se vuelve quebradizo.	Placa de vidrio, recipientes para humedad, balanza de precisión, recipiente para mezclar, horno, aspersor.  

Ensayo	Norma	Propósito	Equipo requerido
Índice de Plasticidad (IP)	NTC 4630	Calcular el rango de humedad plástico (IP = LL - LP).	Calculado a partir de LL y LP. Carta de plasticidad de Casagrande 
Peso específico de sólidos	INV E-128	Determinar la densidad de las partículas sólidas (gravedad específica)	Picnómetro, balanza analítica, termómetro, bomba de vacío, baño de temperatura constante, termómetro, agua destilada. 
pH del suelo	NTC 5264	Medir el grado de acidez o alcalinidad del suelo en suspensión acuosa.	Potenciómetro (pH-metro) con electrodo de vidrio, balanza de precisión, beakers, soluciones buffer para calibración. 
Contenido de humedad	NTC 1495	Determinar la cantidad de agua presente en el suelo en su estado natural en el frente de explotación.	Horno de secado, balanza de precisión, recipientes metálicos con tapa, desecador. 

Ensayo	Norma	Propósito	Equipo requerido
Contenido de materia orgánica	NTC 5403	Cuantificar el porcentaje de materia orgánica mediante oxidación con dicromato de potasio.	Balanza analítica, buretas, pipetas volumétricas, probetas graduadas, horno de secado, tamiz No. 60, reactivos químicos (dicromato de potasio, ácido sulfúrico). 
Determinación de carbonatos	Prueba cualitativa	Detectar presencia de caliza (carbonatos) mediante efervescencia con HCl al 10%.	Ácido clorhídrico diluido (HCl), gotero, cápsula de porcelana, lupa. 
Clasificación de suelos (SUCS)	NTC 1504	Clasificar el suelo según su comportamiento geotécnico con base en los resultados de granulometría y límites de Atterberg.	No requiere equipo; se aplica después de tener los resultados de los ensayos anteriores. Se utiliza la carta de plasticidad (Carta de Casagrande).

Nota. Elaboración propia (2026), con base en normas NTC (2017) e INV E (2013).

La aplicación de estos ensayos permitirá obtener una caracterización integral del suelo, incluyendo su distribución granulométrica, plasticidad, contenido de humedad, composición química y comportamiento volumétrico, estos parámetros son fundamentales para analizar la trabajabilidad del material, su comportamiento durante el secado y su desempeño potencial en el proceso de cocción.

Los ladrillos producidos por las ladrilleras artesanales de La Eme (farol #4, farol #5 y macizo) serán evaluados según los ensayos que se presentan en la siguiente tabla. Los resultados obtenidos se contrastarán con los requisitos establecidos en la NTC 4205 para unidades de mampostería no estructural.

Tabla 19. *Normativa aplicable a la evaluación de ladrillos cerámicos*

Ensayo	Norma	Propósito	Equipo requerido
Verificación dimensional	NTC 4205	Controlar las tolerancias en largo, ancho y alto de las unidades.	Pie de rey digital, regla metálica graduada, escuadra metálica, cuña de medición graduada, flexómetro. 
Resistencia a la compresión	NTC 4017 / NTC 4205	Evaluar la capacidad de carga axial mediante prensa hidráulica.	Pie de rey digital, balanza de precisión, horno de secado, Máquina universal de ensayos. 
Absorción de agua	NTC 4017 / NTC 4205	Medir la porosidad abierta y la durabilidad del material.	Horno de secado, balanza de precisión, tanque de agua, rejillas de soporte. 

Nota. Elaboración propia (2026), con base en normas NTC e INV E.

La Norma Técnica Colombiana NTC 4205 "Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos", es el documento normativo que establece los requisitos que deben cumplir los ladrillos cerámicos para su uso en construcción en Colombia. Los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio se compararán directamente con estos valores normativos para determinar si los ladrillos producidos en La Eme cumplen con los requisitos exigidos para su comercialización en el mercado formal.

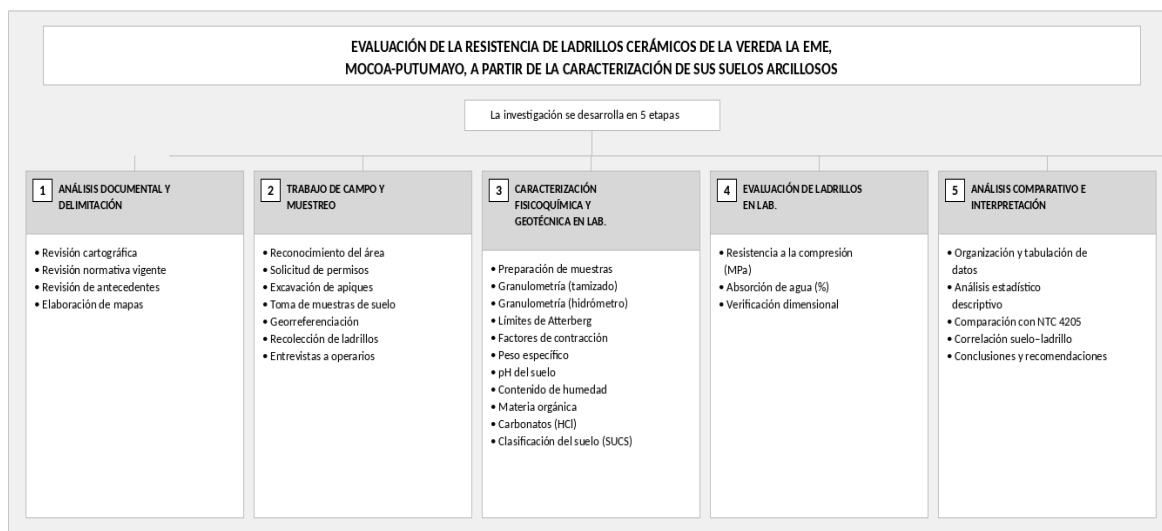
Procedimiento

El desarrollo del estudio se ejecutará de manera secuencial en cinco etapas articuladas, garantizando coherencia técnica y metodológica con los objetivos planteados, cada etapa corresponde a un momento específico de la investigación y agrupa actividades afines que conducen a la obtención de productos concretos, asegurando la trazabilidad y el rigor científico del proceso.

La metodología combina técnicas de recolección de información documental, trabajo de campo, ensayos de laboratorio normalizados y análisis de resultados, permitiendo abordar integralmente el problema de investigación desde sus múltiples dimensiones. Este enfoque garantiza la articulación entre la fundamentación teórica, la caracterización del material en campo y la evaluación experimental en laboratorio. En la Figura 7 se presenta el cuadro sinóptico general de la metodología, donde se sintetizan las cinco etapas que componen la investigación (Análisis documental, Trabajo de campo, Caracterización de suelos, Evaluación de ladrillos y Análisis de resultados), junto con las actividades principales de cada etapa y los productos esperados. Este enfoque garantiza la

articulación entre la fundamentación teórica, la caracterización del material en campo y la evaluación experimental en laboratorio.

Figura 7. *Cuadro Sinóptico General de la Metodología*



Nota. Elaboración propia (2026).

Etapas 1: Análisis documental y delimitación del área de estudio

Esta fase inicial tiene como propósito fundamental establecer las bases conceptuales, normativas y cartográficas que orientarán todo el proceso investigativo. A través de la revisión sistemática de fuentes secundarias, se busca delimitar técnicamente el área de estudio, identificar las unidades litológicas presentes y definir los criterios que guiarán el trabajo de campo y los ensayos de laboratorio.

Revisión cartográfica del área de estudio

Se realizará el análisis de cartografía geológica y edafológica disponible en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), con el fin de identificar las unidades litológicas presentes en la zona donde operan las ladrilleras artesanales de la vereda La

Eme. Esta revisión permitirá reconocer la presencia de depósitos de limolitas y lodolitas, materiales sedimentarios que pueden contener fracciones importantes de arcilla aptas para procesos cerámicos.

Revisión normativa

Se realizará una revisión de las principales normas técnicas colombianas aplicables al análisis de suelos y evaluación de unidades de mampostería de arcilla.

Entre las normas consideradas se encuentran:

- *NTC 77 / INVE E-123 y 124 – Análisis granulométrico*
- *NTC 4630 / INVE E-125 y 126– Límites de Atterberg*
- *NTC 5403 – Contenido de materia orgánica*
- *NTC 5264 – Determinación de pH*
- *INV E-128 – Peso específico de sólidos*
- *NTC 4017 y 4205 – Ensayos para unidades de mampostería*
- *NTC 4017 y 4205 – Requisitos para ladrillos cerámicos*

Revisión de antecedentes técnicos

Se realizará la consulta de literatura científica, tesis y publicaciones relacionadas con, caracterización de arcillas para ladrillos cerámicos, propiedades geotécnicas de suelos arcillosos, además de estudios de fabricación de ladrillos cerámicos. Esta información permitirá establecer criterios técnicos de comparación para los resultados obtenidos en la investigación.

Elaboración de mapas

Se realizará procesamiento digital de la información cartográfica para generar mapas de localización, unidades de suelo y puntos de muestreo, con ayudas de imágenes satelitales, capas IGAC y un software que permita gestionar datos geográficos como QGIS.

Etapa 2: Trabajo de campo y muestreo

Recolectar muestras representativas del suelo arcilloso utilizado por las ladrilleras artesanales de la vereda La Eme, se realizará un reconocimiento detallado del área donde operan las ladrilleras artesanales, se ejecutarán los procedimientos de muestreo de suelos y se recolectarán las unidades de ladrillo producidas regular y adicionalmente, se aplicarán entrevistas semiestructuradas a los actores clave del sector.

Reconocimiento del área de estudio

Se realizará una visita técnica a la zona donde operan las ladrilleras para identificar las áreas de extracción de arcilla, reconocer las condiciones geomorfológicas del terreno. registrar información fotográfica del proceso productivo.

Solicitud de permisos

Previo a la fase de campo, se adelantará la concertación con los propietarios y representantes legales de las ladrilleras en la vereda La Eme. Este proceso se formalizará mediante el envío de cartas de solicitud institucional, en las cuales se detallarán los objetivos del estudio, los procedimientos de muestreo y el compromiso de confidencialidad sobre la información productiva recolectada, a intervención en los predios solo se iniciará una vez obtenido el consentimiento informado de los dueños, garantizando que la toma de

muestras y la ejecución de apiques no interfieran con las actividades operativas de las plantas.

Excavación de apiques

Se realizará la excavación manual de pozos de sondeo (apiques) en los frentes de explotación de cada ladrillera, alcanzando profundidades de entre 1.5 m y 2.0 m, este procedimiento iniciará con la remoción de la capa orgánica superficial (descapote) para evitar la contaminación del material con materia vegetal. Con el apoyo de herramientas manuales (palas, barras y picas), se logrará la exposición del horizonte arcilloso útil, permitiendo la identificación de los cambios de estrato; por cada unidad productiva, se levantará un perfil estratigráfico detallado, donde se describirán las características físicas del suelo en su estado natural, tales como el color, la humedad y la consistencia.

Toma de muestras de suelo

Se realizará la extracción de aproximadamente 50 kg de material arcilloso en cada frente de explotación identificado, garantizando que el suelo provenga directamente del horizonte de interés para la producción cerámica, con el fin de asegurar que la muestra sea representativa de la veta explotada, el material será sometido a un proceso de homogenización en campo mediante el método de cuarteo manual.

Para su transporte y conservación, el suelo se almacenará en costales de polipropileno de alta resistencia, debidamente sellados para evitar la pérdida de humedad natural o la contaminación externa. Cada unidad de muestreo contará con un rótulo de identificación (etiquetado) que garantice la trazabilidad del dato, incluyendo su código de la

ladrillera origen, coordenadas geográficas del punto de extracción, profundidad del estrato muestreado y fecha y responsables de la recolección.

Georreferenciación

Registro de coordenadas geográficas de cada punto de muestreo mediante uso de GPS, referencias que luego serán utilizada para mapas.

Recolección de ladrillos artesanales

Adquisición de 10 unidades de ladrillo por cada ladrillera, correspondientes a la producción regular (no fabricadas especialmente para el estudio). Se realizará un formato de muestreo, describiendo las características que se miren a la vista de los ladrillos, su respectivo registro fotográfico; los ladrillos serán codificados por tipo (farol #4, farol #5 y macizo) y de las ladrilleras que provienen.

Entrevista a operarios

Para entender el panorama real de la producción en Mocoa, realizaremos entrevistas con los dueños de las ladrilleras, más allá de los números del laboratorio, nos interesa conocer de voz de los productores cómo fabrican sus ladrillos, qué problemas enfrentan y cómo perciben la calidad de su materia prima, esto nos dará una visión integral para que las conclusiones de la tesis sean útiles y aplicables a su situación actual.

Etapas 3: Caracterización fisicoquímica y geotécnica en laboratorio

Una vez recolectadas las muestras de suelo, serán trasladadas a los laboratorios del Institución Universitaria del Putumayo (IUP) para someterlas a una batería de ensayos físicos y químicos bajo el estricto cumplimiento de las normas técnicas correspondientes, el objetivo es determinar las propiedades índices que permitan evaluar la aptitud cerámica del

material, estos análisis se ejecutarán utilizando el equipamiento especializado del laboratorio de suelos, siguiendo la metodología detallada previamente en la Tabla 17 (Ensayos de laboratorio para caracterización de suelos), de esta manera, se transformarán las observaciones cualitativas de la vereda La Eme en datos cuantitativos que validen la calidad de la materia prima.

Preparación de muestras

Con el fin de garantizar la representatividad de los resultados, el material arcilloso recolectado será sometido a un proceso de acondicionamiento físico antes de la ejecución de los ensayos. Este procedimiento se rige bajo los lineamientos de la NTC 77, asegurando que las fracciones analizadas conserven las propiedades mecánicas originales.

-Secado y Disgregado: Las muestras se extenderán en bandejas metálicas para un secado al aire controlado, eliminando el exceso de humedad natural, posteriormente, se realizará el disgregado manual de terrones para facilitar el tamizado y la homogenización.

-Cuarteo manual: Se empleará o el método de cuarteo por cruz para dividir el material en porciones estadísticamente iguales, este paso es crítico para obtener las cantidades requeridas para los ensayos de plasticidad, granulometría y peso específico sin sesgar los resultados.

-Tratamiento Térmico: En los casos requeridos por la normativa, se utilizará el horno de precisión del laboratorio para determinar humedades residuales y preparar el material seco necesario para los ensayos de límites de Atterberg.

Granulometría por tamizado

Este ensayo sirve para saber de qué tamaños son las piedras y granos que componen el suelo de la ladrillera. Es como clasificar la tierra para saber cuánta arena y cuánta piedra (grava) tiene en realidad, se toma la tierra seca y se pasa por un juego de tamices, los tamices son una torre de coladores especiales que van desde huecos grandes hasta un tejido muy fino (Tamiz No. 200). El proceso consiste en agitar la torre de tamices para que la tierra caiga, lo que queda atrapado en cada colador se pesa en una balanza de precisión, seguiremos las normas NTC 77 o INV E-123, que son las que dicen cuánto tiempo debemos agitar y cómo debemos usar el horno para que la muestra esté totalmente seca y al final, obtendremos una curva granulométrica, es una gráfica que nos dice exactamente qué porcentaje del suelo es arena, qué porcentaje es grava y qué tanto material fino (limos y arcillas) tiene la muestra.

Límites de Atterberg

Este ensayo sirve para conocer cómo se comporta la arcilla cuando se mezcla con diferentes cantidades de agua, es fundamental para el fabricante de ladrillos, ya que determina qué tan fácil es moldear la pieza y cuánta agua necesita la mezcla para no dañarse, para este ensayo tomamos la tierra fina y le vamos agregando agua poco a poco para medir tres puntos clave, que son:

-Límite Líquido (LL): Usamos la Cazuela de Casagrande, es el punto donde la tierra está tan mojada que empieza a portarse como un lodo casi líquido.

-Límite Plástico (LP): Es cuando la tierra tiene la humedad justa para formar "rollitos" o "fideos" sobre un vidrio, sin que se rompan ni se desmoronen.

-Índice de Plasticidad (IP): Es una simple resta ($IP = LL - LP$), este número nos dice qué tan grande es el rango en el que la tierra se puede moldear bien.

Seguiremos las normas NTC 4630 e INV E-125 y 126, que son las que dictan cuántos golpes dar en la copa y cómo amasar los rollitos correctamente, así obtendremos los valores de LL, LP e IP, estos números nos permitirán clasificar el suelo y saber si la arcilla de La Eme es de alta o baja plasticidad, lo cual afecta directamente la resistencia del ladrillo final.

Peso específico de sólidos

Este ensayo sirve para calcular la Gravedad Específica (Gs) del suelo, básicamente, nos dice cuántas veces es más pesada la partícula de arcilla comparada con el agua, en la fabricación de ladrillos, este dato es clave para saber qué tan compacta quedará la mezcla antes de entrar al horno, para realizar este ensayo se utiliza un picnómetro, que es un frasco de vidrio especial con un volumen exacto, donde se introduce una cantidad pesada de suelo seco en el picnómetro y se llena con agua destilada, lo más importante aquí es usar una bomba de vacío para sacar todas las burbujas de aire que queden atrapadas entre los granos de tierra, ya que el aire nos daría un error en el peso, también usamos un termómetro para corregir el dato según la temperatura del agua, se toma como referencia la norma INV E-128, que nos da la fórmula matemática para relacionar el peso del suelo, el peso del agua y el volumen del frasco; se obtendrá el valor de Gs, un valor común para arcillas está entre 2.60 y 2.80, si el resultado es muy bajo, podría indicar presencia de materia orgánica; si es muy alto, podría haber minerales metálicos pesados en la zona de La Eme.

pH del suelo

El pH nos indica el grado de acidez o alcalinidad que tiene la arcilla. En la industria cerámica, conocer este valor es fundamental porque un suelo muy ácido o muy cargado de sales (alcalino) puede afectar la durabilidad del ladrillo o incluso dañar la maquinaria y los hornos con el paso del tiempo, se prepara una mezcla de tierra con agua destilada en un vaso de precipitados, revolviendo bien hasta crear una suspensión, es decir como una especie de jugo de tierra, el proceso de este ensayo es introducir un equipo electrónico llamado pH-metro, el cual debe estar previamente calibrado con líquidos de referencia soluciones buffer, el aparato nos da una lectura digital inmediata, se sigue la norma NTC 5264, que explica las proporciones exactas de agua y suelo, y el tiempo que debemos dejar reposar la mezcla antes de medir, con este ensayo se obtiene un valor numérico (de 0 a 14). Si el pH es cercano a 7, el suelo es neutro; si es menor, es ácido, si es mayor es alcalino; este dato nos ayudará a entender la composición química de la arcilla de Mocoa y su posible agresividad con otros materiales.

Contenido de humedad

Este ensayo permite conocer cuánta agua contiene el suelo en su estado natural al momento de la recolección, este dato es importante porque la humedad influye directamente en la trabajabilidad de la arcilla y en la cantidad de agua que se debe adicionar durante el proceso de fabricación de los ladrillos, un suelo demasiado húmedo puede dificultar el secado y provocar fisuras, mientras que uno muy seco requiere mayor adición de agua para su moldeo.

Para realizar este ensayo se toma una pequeña muestra representativa del suelo y se pesa en un recipiente metálico previamente calibrado, posteriormente la muestra se

introduce en un horno de secado a una temperatura aproximada de 105 ± 5 °C durante 24 horas, hasta eliminar completamente la humedad presente. Una vez seca, se retira del horno y se vuelve a pesar. La diferencia entre el peso húmedo y el peso seco permite calcular el contenido de humedad del suelo.

Este procedimiento se realiza siguiendo la norma NTC 1495, la cual establece el método estándar para la determinación del contenido de humedad en suelos. El resultado se expresa como un porcentaje (%), indicando la cantidad de agua respecto al peso seco del material. Este valor servirá como referencia para ajustar la cantidad de agua durante la preparación de la mezcla para la fabricación de ladrillos.

Materia orgánica

Para fabricar un buen ladrillo, la arcilla debe estar lo más limpia posible de restos vegetales, este ensayo nos permite medir qué tanta basura orgánica como raíces, hojas descompuestas o tierra negra tiene el suelo de la ladrillera, ya que estos materiales se queman dentro del horno y dejan poros que debilitan el ladrillo, se realiza usando un método químico llamado oxidación, se toma una muestra de tierra muy fina y la mezclamos con reactivos fuertes, específicamente dicromato de potasio, la mezcla reacciona con la materia orgánica y cambia de color, luego, mediante un proceso de titulación que es gotear otro reactivo hasta que cambie el tono, calculamos exactamente cuánta materia orgánica había en la muestra original; para este ensayo se sigue la norma NTC 5403, que es la que dicta las cantidades exactas de químicos y el uso de la balanza analítica para no fallar en el cálculo y se obtiene un porcentaje (%), si este número es muy alto, sabremos que el productor de La Eme debe limpiar mejor su veta de arcilla o excavar más profundo para evitar la capa vegetal.

Determinación de carbonatos

Esta es una prueba rápida pero muy importante para detectar la presencia de cal (carbonatos) en la arcilla, si el suelo tiene mucha cal, el ladrillo terminado puede sufrir daños internos cuando se moja, ya que la cal se expande y rompe la estructura del bloque desde adentro, para este ensayo se toma una pequeña muestra de suelo seco de la vereda y se coloca en un recipiente limpio, con un gotero, aplicamos unas cuantas gotas de Ácido Clorhídrico (HCl) diluido al 10%, debemos observar y escuchar con atención lo que sucede en el momento del contacto, si no pasa nada, el suelo está libre de carbonatos y si se produce un burbujeo o efervescencia, significa que hay presencia de cal, entre más fuerte sea el sonido y la espuma, mayor es la cantidad de carbonatos; reportaremos simplemente la presencia o ausencia de efervescencia, si sale positiva, le advertiremos al productor que debe moler mucho más fino su material o buscar otra zona de extracción para evitar que sus ladrillos se desportillen.

Clasificación del suelo (SUCS)

Una vez obtenidos los resultados de granulometría y límites de Atterberg, se procederá a clasificar el suelo mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), este sistema permite identificar el tipo de suelo según su comportamiento ingenieril, lo cual es esencial para determinar su aptitud en la fabricación de ladrillos cerámicos.

Para realizar la clasificación se utilizarán los valores obtenidos de porcentaje de finos, límite líquido e índice de plasticidad, los cuales se ubicarán en la carta de plasticidad de Casagrande, con esta información se determinará si el suelo corresponde a una arcilla de

alta plasticidad (CH), arcilla de baja plasticidad (CL), limo (ML) u otra clasificación intermedia.

Este procedimiento se realizará de acuerdo con la norma NTC 1504, que establece la clasificación unificada de suelos y el resultado permitirá definir técnicamente el tipo de material presente en la vereda La Eme y su comportamiento durante el moldeo, secado y cocción de los ladrillos, una clasificación adecuada facilitará la interpretación final de los resultados y la evaluación de la viabilidad del suelo para la producción artesanal de unidades cerámicas.

Etapla 4: Evaluación de ladrillos en laboratorio

Las unidades de ladrillo (Farol y Macizo) recolectadas en las diferentes ladrilleras de la vereda La Eme serán trasladadas a los laboratorios de la Institución Universitaria del Putumayo (IUP), allí se someterán a una serie de ensayos mecánicos y físicos bajo el estricto cumplimiento de la normativa colombiana, con el fin de verificar si cumplen con los estándares de calidad exigidos para la construcción.

El objetivo de esta fase es determinar si los ladrillos artesanales de la zona alcanzan los requisitos de la NTC 4205 Unidades de Mampostería Cerámica, estos análisis se ejecutarán utilizando el equipamiento especializado de la universidad, como la prensa hidráulica y balanzas de precisión, siguiendo la metodología detallada en la Tabla 18 (Evaluación de ladrillos cerámicos), de esta manera, pasaremos de una percepción visual de los ladrillos a datos numéricos exactos, estos resultados permitirán validar si el proceso de fabricación actual en La Eme entrega un producto resistente, duradero y apto para ser comercializado en el sector de la construcción en Mocoa.

Verificación dimensional

Este ensayo consiste en medir con precisión milimétrica las dimensiones de los ladrillos (largo, ancho y alto), el objetivo es verificar la uniformidad de la producción; es decir, asegurar que todos los ladrillos de una misma ladrillera tengan el mismo tamaño y no presenten deformaciones que dificulten su uso en la obra, tomamos cada una de las muestras y, con la ayuda de un calibrador digital (pie de rey), medimos las tres dimensiones principales, también usamos una escuadra para revisar que las esquinas estén a 90 grados y que las caras no estén pandeadas o curvas por un mal secado o exceso de calor en el horno, se realizan varias mediciones en diferentes puntos de la misma pieza para obtener un promedio real, luego, comparamos estas medidas con las que el productor dice vender y con las tolerancias que exige la norma, nos basamos en la NTC 4205, la cual establece cuántos milímetros de diferencia se permiten entre un ladrillo y otro antes de que sea considerado un producto de mala calidad y finalmente se obtiene una tabla con las dimensiones exactas y el cálculo de la desviación, si los ladrillos varían mucho de tamaño, indicaremos que hay fallas en los moldes o en el control de la temperatura durante la quema en la vereda La Eme.

Resistencia a la compresión

Este ensayo es fundamental para determinar cuánta carga de peso es capaz de soportar un ladrillo antes de romperse o fallar, es la medida principal para saber si el ladrillo tiene la calidad estructural necesaria para formar parte de una pared o un muro, se toma el ladrillo y se coloca en la prensa hidráulica del laboratorio, la prensa empieza a aplicar una fuerza vertical es decir una carga axial que aumenta poco a poco hasta que el ladrillo se estalla o se fisura, en ese momento, la máquina nos indica la carga máxima

alcanzada, siguiendo la norma NTC 4017, que explica cómo preparar la pieza, y compararemos los resultados con la NTC 4205, que es la que dice que un ladrillo para muros debe aguantar al menos ciertos Megapascals (MPa); se obtiene resultados de resistencia uno por cada unidad ensayada y al final, calcularemos el promedio para dar un veredicto sobre si la producción de La Eme cumple con los estándares mínimos de seguridad.

Absorción de agua (%)

Este ensayo sirve para medir qué tan esponjosa es el ladrillo, nos indica la cantidad de poros o huecos internos que tiene la pieza; un ladrillo que absorbe demasiada agua es un ladrillo menos duradero y más propenso a sufrir daños por la humedad del ambiente, entonces primero, metemos los ladrillos al horno hasta que estén totalmente secos y los pesamos encontrando el peso seco, luego, los sumergimos completamente en un tanque de agua a temperatura ambiente durante 24 horas, pasado ese tiempo, los sacamos, les secamos el exceso de agua superficial con un trapo y los volvemos a pesar así obteniendo el peso húmedo, la diferencia entre lo que pesaba seco y el peso saturado nos dice qué tanto líquido fue capaz de absorber.

La fórmula que usaremos la relación matemática:

$$Absorcion(\%) = \frac{W_{humedo} - W_{seco}}{W_{seco}} * 100$$

Seguiremos los parámetros de la NTC 4017 y compararemos el resultado con la NTC 4205, que pone un límite máximo de absorción para asegurar que el ladrillo sea de buena calidad, se obtendrá los resultados de cada unidad sometida a este ensayo, si el

porcentaje es muy alto, sabremos que el ladrillo es muy poroso, lo que podría deberse a una falta de temperatura en el horno de la ladrillera o a una mezcla de suelo mal preparada.

Etapas 5: Análisis comparativo e interpretación

En esta fase final se integran y analizan todos los datos obtenidos en las fases anteriores, con el propósito de establecer conclusiones técnicas sobre la aptitud del suelo arcilloso de La Eme para la fabricación de ladrillos cerámicos y determinar si las posibles deficiencias se originan en la materia prima o en los procesos productivos artesanales.

Organización y tabulación de datos

Una vez finalizadas todas las pruebas de laboratorio, tanto de los suelos como de las unidades de ladrillo, se procederá a la consolidación y tabulación de la información, dado el volumen de datos 30 muestras por ensayo más las pruebas de suelos, este paso es vital para transformar los registros manuales del laboratorio en información digital organizada y fácil de analizar.

Para esto, se diseñará una matriz de datos completa en el software Microsoft Excel, en esta base de datos, cada ladrillera de la vereda La Eme tendrá su propia sección, donde se cruzarán los resultados de la materia prima como la plasticidad y el pH con el rendimiento del producto final como su resistencia y absorción. Esta organización permitirá aplicar fórmulas estadísticas para hallar promedios, desviaciones y errores, asegurando que los resultados finales sean precisos.

Finalmente, este ordenamiento de los datos facilitará la creación de las gráficas y tablas comparativas que se presentarán en el capítulo de resultados. De esta manera,

podremos visualizar fácilmente si existe una relación directa entre la calidad de la arcilla de la zona y la fuerza de los ladrillos que se están construyendo en el Putumayo.

Análisis estadístico descriptivo

Para que los resultados sean representativos y confiables, los datos obtenidos no se analizarán de forma aislada, sino mediante herramientas de estadística descriptiva, esto nos permitirá entender el comportamiento general de la producción en la zona y determinar si la calidad es constante o si varía demasiado entre una ladrillera y otra, para cada grupo de ensayos como la resistencia o la absorción, calcularemos el promedio, que nos dará el valor central de calidad, también calcularemos la desviación estándar, que es fundamental para saber qué tan parejos son los ladrillos; si la desviación es muy alta, significa que la producción es inestable y que unos ladrillos salen muy buenos y otros muy malos.

Además identificaremos los valores máximos y mínimos, esto es clave para detectar puntos críticos, es decir, aquellos ladrillos que están muy por debajo de lo que exige la norma NTC 4205, toda esta información se organizará en tablas resumen clasificadas por cada unidad productiva, esto facilitará la comparación visual mediante gráficas de barras y diagramas, permitiendo identificar rápidamente cuál de las ladrilleras de la vereda La Eme tiene el proceso de fabricación más controlado y eficiente.

Comparación con NTC 4205

En esta etapa tomaremos los resultados obtenidos en el laboratorio de la Institución Universitaria del Putumayo IUP y los enfrentaremos directamente con los requisitos mínimos exigidos por la Norma Técnica Colombiana NTC 4205, la cual regula la calidad de los materiales cerámicos para mampostería, se crea un cuadro comparativo donde el

valor promedio de resistencia y el porcentaje de absorción de los ladrillos artesanales se contrasten con los límites legales, si el ladrillo de La Eme supera la resistencia mínima y no se pasa del límite de absorción, se clasificará como "Cumple", de lo contrario, se identificará como "No cumple", analizando qué tan lejos está de la norma.

Este cruce de información nos permitirá emitir un diagnóstico técnico, no solo diremos si el ladrillo es bueno o malo, sino que podremos explicar científicamente qué le falta al proceso artesanal de la zona para alcanzar los estándares industriales. esto servirá como una base sólida para proponer mejoras a los productores locales.

Correlación suelo-ladrillo

Este es el punto donde conectamos todo el estudio, aquí buscaremos entender por qué un ladrillo salió resistente o por qué otro absorbe demasiada agua, mirando directamente la receta de su materia prima, además cruzaremos los datos de los ensayos de suelos con los de las unidades terminadas, mediante tablas cruzadas y análisis gráfico, identificaremos los factores críticos, esto nos permitirá decirle al productor de La Eme exactamente qué parte de su tierra es la que está afectando la calidad de su producto.

Conclusiones y recomendaciones

En esta etapa, realizaremos una síntesis integral de todos los hallazgos para dar respuesta definitiva a nuestra pregunta de investigación y validar la hipótesis planteada, interpretar los resultados y qué significan para la ingeniería civil en Mocoa, un conjunto de conclusiones técnicas que resumen el estado actual de la producción artesanal frente a las exigencias modernas de construcción.

Como cierre, propondremos acciones concretas para que las ladrilleras de la vereda La Eme puedan evolucionar hacia un modelo más técnico y formal, es decir sugerencias sobre la mejora de procesos (mezclado, secado, quema), lineamientos para buscar la certificación de productos y estrategias para la formalización del sector, una guía técnica que servirá de apoyo para que los productores mejoren su competitividad en el mercado regional.

Técnicas de análisis de acuerdo con el enfoque

Análisis cuantitativo. Los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio serán organizados en tablas comparativas y analizados mediante estadística descriptiva, utilizando:

- *Medidas de tendencia central:* Promedio aritmético de resistencias y absorciones por ladrillera.
- *Medidas de dispersión:* Desviación estándar y coeficiente de variación para evaluar la homogeneidad de los productos.
- *Representaciones gráficas:* Curvas granulométricas, histogramas de resistencias, diagramas de barras comparativos.

Análisis cualitativo. La información recolectada en las entrevistas será procesada mediante análisis de contenido, identificando.

- Percepciones sobre la calidad del ladrillo local.
- Barreras percibidas para la comercialización.
- Prácticas productivas y su evolución en el tiempo.
- Expectativas frente a la certificación técnica.

Las citas textuales más relevantes serán incorporadas en la investigación final como evidencia cualitativa que complementa y contextualiza los resultados cuantitativos.

Permisos de la comunidad o permisos de colecta y demás:

Para el desarrollo de la investigación se gestionarán los permisos necesarios que garanticen la legalidad y el respeto por la comunidad local, en primer lugar, se contará con la autorización de los propietarios de los predios donde se realicen las excavaciones para la toma de muestras de suelo; asimismo, se establecerá coordinación previa con las ladrilleras artesanales de la vereda La Eme, quienes facilitarán el acceso a la información sobre sus procesos productivos y suministrarán las unidades de ladrillo requeridas para los ensayos.

Durante el proceso de muestreo se garantizará el manejo responsable del material extraído, evitando afectaciones significativas al terreno y cumpliendo con las disposiciones ambientales locales, la cantidad de suelo recolectada será únicamente la necesaria para los ensayos de laboratorio.

La investigación tendrá carácter estrictamente académico y no implicará explotación comercial del recurso ni intervención industrial sobre el área de estudio, los resultados obtenidos serán utilizados exclusivamente con fines investigativos y podrán servir como base técnica para futuras decisiones relacionadas con el mejoramiento de la producción artesanal en el sector.

Resultados

Análisis Granulometría y Límites de Atterberg (NTC 77, 4630 y INVE E 124)

Descripción de muestras y metodología

La caracterización geotécnica de las muestras se realizó mediante ensayos de análisis granulométrico y determinación de los límites de Atterberg, siguiendo los procedimientos establecidos en las normas NTC 77, INV E-123 e INV E-125. El análisis granulométrico permitió determinar la distribución de tamaños de partículas presentes en cada material, mientras que los límites de Atterberg permitieron evaluar su plasticidad y comportamiento frente a variaciones en el contenido de humedad. Los resultados obtenidos constituyen la base para la clasificación geotécnica de los suelos y la evaluación de su aptitud para la fabricación de ladrillos cerámicos.

El presente informe consolida y compara los resultados de seis muestras provenientes de tres ladrilleras ubicadas en la Vereda La Eme, Mocoa-Putumayo: Ladrillera Andina, Ladrillera Caicedo y Ladrillera La Eme. Para cada ladrillera se analizaron dos muestras extraídas entre 0.5 y 2.0 m de profundidad: una muestra natural (M-01) y una muestra con incorporación de arena (M-02), con el objetivo de evaluar comparativamente el efecto de la adición de arena sobre las propiedades geotécnicas del material arcilloso y su aptitud para la fabricación de ladrillos cerámicos.

Análisis granulométrico: NTC 77 / INV E-123-13 / ASTM D422. Tamizado en seco, masa de 500 g, serie ASTM desde 3" (76.2 mm) hasta No. 200 (0.075 mm). Curva semilogarítmica: escala logarítmica en eje X (apertura de tamiz), porcentaje que pasa en eje Y.

Límites de Atterberg: NTC 4630 / ASTM D4318. Límite líquido: copa de Casagrande Método A, cinco puntos de la curva de flujo. Límite plástico: hilo de 3 mm, tres determinaciones. Clasificación mediante carta de plasticidad de Casagrande.

Posteriormente, se efectuó el proceso de cuarteo de las muestras recolectadas, con el propósito de obtener una porción representativa del material para la ejecución de los ensayos granulométricos y demás pruebas de laboratorio. En la Figura 8 se presenta el procedimiento realizado durante esta etapa de preparación de la muestra.

Figura 8. *Proceso de cuarteo de la muestra para la obtención de una porción representativa de ensayo.*



Nota. Fotografía del procedimiento de reducción y homogenización de la muestra previo al análisis granulométrico. Elaboración propia (2026).

Una vez preparada la muestra, se procedió a realizar el análisis granulométrico mediante el uso de una serie de tamices normalizados, los cuales permiten clasificar las partículas del suelo según su tamaño y determinar su distribución granulométrica. La Figura 9 muestra el conjunto de tamices empleados durante el ensayo.

Figura 9. *Serie de tamices empleada para el análisis granulométrico de las muestras.*



Nota. Fotografía del conjunto de tamices utilizados para la clasificación de partículas según su tamaño. Elaboración propia (2026).

Una vez organizada la serie de tamices de acuerdo con las especificaciones establecidas en la NTC 77 e INV E-123, se procedió a realizar el proceso de tamizado de la muestra previamente preparada. Este procedimiento consistió en hacer pasar el material a través de una secuencia de tamices con aberturas decrecientes, permitiendo la separación y clasificación de las partículas según su tamaño. La información obtenida a partir de este ensayo es fundamental para determinar la distribución granulométrica del suelo, establecer los porcentajes retenidos y pasantes en cada tamiz, y evaluar las características texturales del material. Asimismo, los resultados sirven como base para la clasificación geotécnica del suelo y para analizar su aptitud como materia prima en la fabricación de ladrillos cerámicos. En la Figura 10 se presenta el procedimiento desarrollado durante la ejecución del ensayo granulométrico mediante tamizado mecánico.

Figura 10. *Proceso de tamizado de la muestra durante el ensayo granulométrico.*



Nota. Fotografía de la separación mecánica de partículas mediante la serie de tamices establecida en la NTC 77 e INV E-123. Elaboración propia (2026).

Con el propósito de determinar el límite líquido del suelo, se realizó el ensayo utilizando la copa de Casagrande, de acuerdo con la metodología establecida para los límites de Atterberg. Este procedimiento permitió identificar el contenido de humedad al cual el suelo cambia de un estado plástico a un estado líquido, proporcionando información fundamental sobre su comportamiento y plasticidad. Los resultados obtenidos constituyen un parámetro importante para la clasificación geotécnica del material y la evaluación de su aptitud para aplicaciones cerámicas. Asimismo, este ensayo permite comprender la variación del comportamiento del suelo frente a incrementos de humedad, lo cual es determinante en su desempeño durante los procesos de conformado y secado. De igual forma, los datos obtenidos sirven como base para correlacionar la plasticidad con otras propiedades índice del material, aportando criterios técnicos relevantes para su caracterización integral. La Figura 11 presenta el desarrollo del ensayo realizado en laboratorio.

Figura 11. *Determinación del límite líquido mediante la copa de Casagrande.*

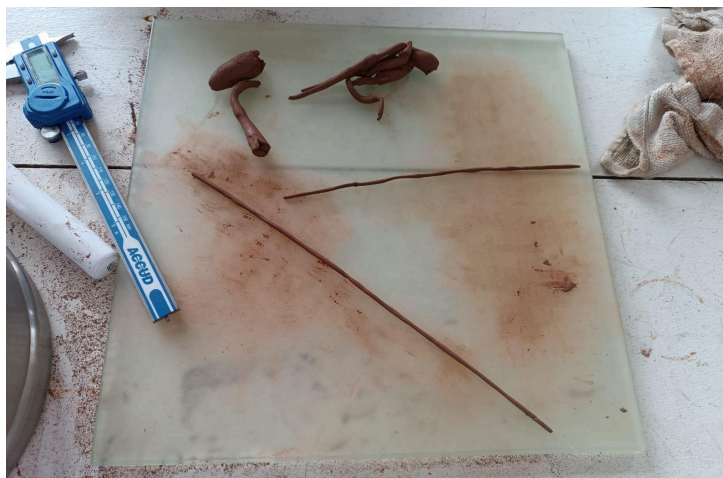


Nota. Fotografía del procedimiento empleado para determinar el límite líquido del suelo conforme a la metodología establecida para los límites de Atterberg. Elaboración propia (2026).

Se presenta el procedimiento correspondiente a la determinación del límite plástico del suelo, el cual forma parte de los ensayos de consistencia establecidos dentro de los límites de Atterberg. Este ensayo consiste en la preparación de una porción representativa de la muestra, la cual es sometida a un proceso de amasado y homogeneización con el fin de garantizar una adecuada humedad en toda la masa de suelo. Posteriormente, se procede al laminado manual del material sobre una superficie lisa, aplicando presión constante hasta lograr la formación de hilos de aproximadamente 3 mm de diámetro. Cuando el material comienza a agrietarse y pierde su continuidad estructural en dicho diámetro, se define el contenido de humedad correspondiente al límite plástico del suelo. Este procedimiento permite evaluar el comportamiento del material en transición entre el estado semisólido y

plástico, siendo un parámetro fundamental para la caracterización geotécnica del suelo analizado

Figura 12. *Determinación del límite plástico mediante la formación de hilos de 3 mm de diámetro.*



Nota. Fotografía del procedimiento utilizado para establecer el límite plástico del material mediante el amasado y laminado manual de la muestra. Elaboración propia (2026).

Ladrillera Andina — Muestra natural (M-01)

Muestra 01 · Profundidad: 0.5 – 2.0 m · Clasificación SUCS: CL — Arcilla de baja plasticidad.

Tabla 20. *Muestras analizadas para la caracterización geotécnica y tecnológica de los materiales.*

Nº	Ladrillera	Tipo	Prof. (m)	Descripción visual
01	Ladrillera Andina — muestra natural (M-01)	Muestra natural	0.5 – 2.0	Arcilla plástica, coloración pardo-rojiza

Nota. Elaboración propia a partir de las actividades de reconocimiento de campo, muestreo y descripción visual realizadas en las ladrilleras durante la fase de investigación geotécnica.

Análisis granulométrico

El análisis granulométrico por tamizado se realizó conforme a la NTC 77 (ICONTEC, 2018), empleando la serie de tamices ASTM desde 3" (76.2 mm) hasta No. 200 (0.075 mm) sobre una muestra seca de 500 g.

Tabla 21. *Resultados del análisis granulométrico — Ladrillera Andina, muestra natural (M-01).*

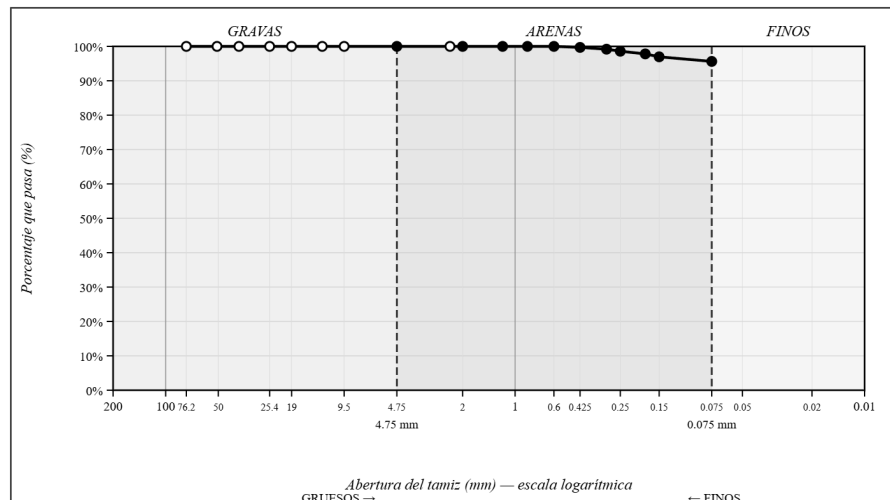
Tamiz	Abertura (mm)	M. ret. parcial (g)	M. ret. acum. (g)	% Ret. acum.	% Que pasa
No. 40	0.425	1.5	1.50	0.30	99.70
No. 50	0.300	2.5	4.00	0.80	99.20
No. 60	0.250	3.1	7.10	1.42	98.58
No. 80	0.180	3.8	10.90	2.18	97.82
No. 100	0.150	4.2	15.10	3.02	96.98
No. 200	0.075	6.7	21.80	4.36	95.64
Fondo	—	478.20	500.00	100.00	0.00
Parámetro		% Grava	% Arena	% Finos (F200)	Masa total
Ladrillera Andina — muestra natural (M-01)		0.0%	4.4%	95.6%	500 g

Nota.

Elaboración propia con base en los resultados del ensayo de granulometría por tamizado.

Con el 95.6% de finos (pasa No. 200), el suelo se clasifica como FINO según SUCS. La escasa fracción gruesa (4.4% arenas, 0.0% gravas) impide calcular C_u y C_c con precisión, en este sentido, la predominancia de material fino condiciona de manera significativa el comportamiento geotécnico del suelo, influyendo en su plasticidad, compresibilidad y sensibilidad al contenido de humedad. Asimismo, esta composición granulométrica limita la aplicación de parámetros granulométricos convencionales propios de suelos granulares, requiriendo un análisis complementario basado en propiedades índice.

Figura 13. *Curva granulométrica semilogarítmica — Ladrillera Andina, muestra natural (M-01). NTC 77 / INV E-123 / ASTM D422.*



Nota. Escala semilogarítmica: eje X abertura del tamiz (mm), eje Y porcentaje que pasa (%). GRAVAS a la izquierda, FINOS a la derecha. Elaboración propia (2026).

La curva granulométrica muestra una distribución de partículas predominantemente finas, con caída pronunciada en la zona de arenas finas y finos. Indica suelo cohesivo con alto contenido arcilloso.

Límites de Atterberg

La determinación de los límites de Atterberg permite evaluar la plasticidad del suelo y su comportamiento ante cambios de humedad. El LL se obtuvo mediante la copa de Casagrande (Método A, cinco puntos) y el LP mediante el hilo de 3 mm (tres determinaciones), conforme a la NTC 4630 (ICONTEC, 2006). Estos resultados permiten establecer los rangos de consistencia del material, fundamentales para su clasificación geotécnica y para comprender su respuesta frente a procesos de compactación, moldeo y secado. Asimismo, constituyen parámetros esenciales para correlacionar la plasticidad con el desempeño del suelo en aplicaciones cerámicas.

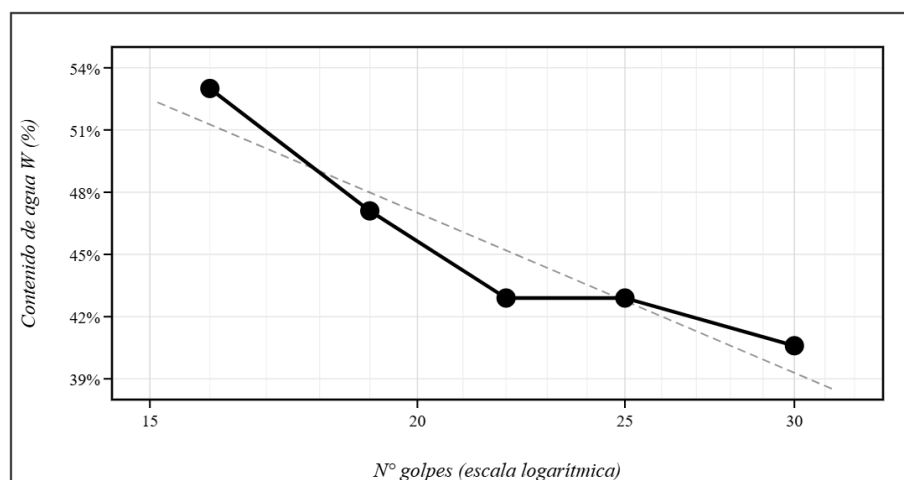
Tabla 22. *Índices de Atterberg —
Ladrillera Andina, muestra natural
(M-01).*

Parámetro	Valor
Límite Líquido LL	43.0 %
Límite Plástico LP	18.4 %
Índice de Plasticidad IP	24.6 % → alta plasticidad ($17\% \leq IP < 35\%$)
W natural (W.n)	28.0 %
Índice de Liquidez IL	0.39 → estado plástico firme
Clasificación carta Casagrande	Zona CL — LL < 50 %, sufijo "L"

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados de los ensayos de límites de Atterberg.

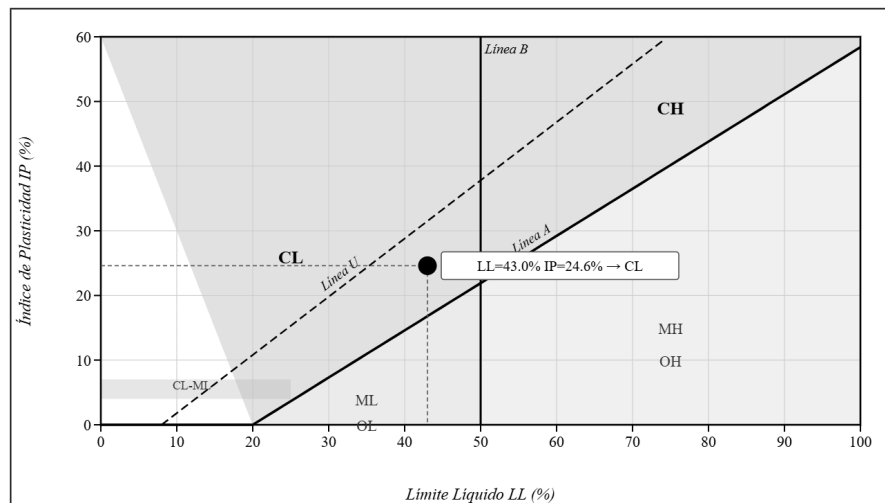
Con LL = 43.0% y LP = 18.4%, el IP = 24.6% clasifica el material como de alta plasticidad (Das & Sobhan, 2014). El IL = 0.39 indica estado plástico firme en condiciones naturales.

Figura 14. *Curva de flujo — Ladrillera Andina, muestra natural (M-01). Número de golpes (escala logarítmica) vs Contenido de agua W (%).*



Nota. El LL = 43.0% corresponde al contenido de agua interpolado a 25 golpes. Copa de Casagrande, NTC 4630 (ICONTEC, 2006). Elaboración propia (2026).

Figura 15. *Carta de Plasticidad de Casagrande — Ladrillera Andina, muestra natural (M-01).*



Nota. El punto ($LL = 43.0\%$, $IP = 24.6\%$) se ubica en la zona CL, por encima de la Línea A — comportamiento arcilloso predominante. NTC 4630 / ASTM D4318. Elaboración propia (2026).

En la carta de plasticidad, el punto ($LL = 43.0\%$, $IP = 24.6\%$) se clasifica en la zona CL. Al ubicarse sobre la Línea A, el material presenta comportamiento predominantemente arcilloso.

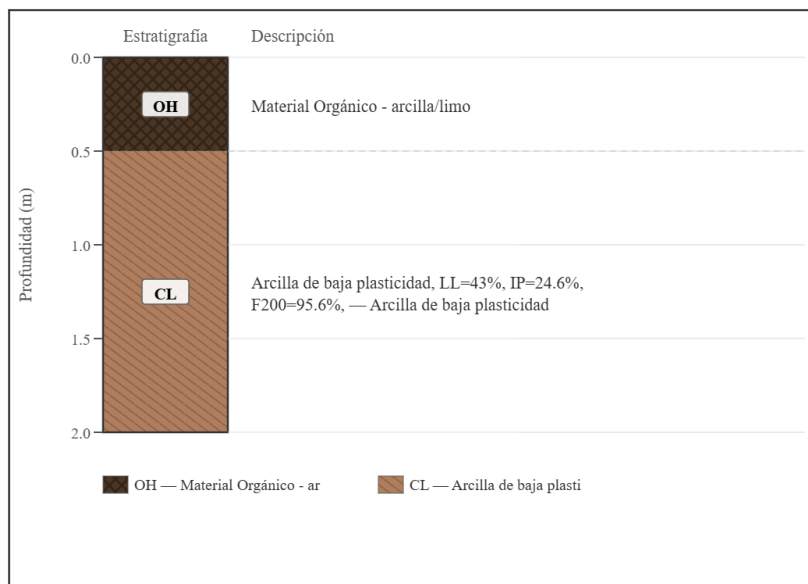
Perfil estratigráfico

Tabla 23. *Perfil estratigráfico —
Ladrillera Andina, muestra natural
(M-01)*

Ladrillera	Desde (m)	Hasta (m)	SUCS	Descripción del estrato
Ladrillera Andina — muestra natural	0	0.5	OH	Material Orgánico — arcilla/limo superficial
Ladrillera Andina — muestra natural	0.5	2.0	CL	Arcilla de baja plasticidad, $LL=43\%$, $IP=24.6\%$, $F200=95.6\%$

Nota. Elaboración propia a partir de la exploración geotécnica realizada en campo.

Figura 16. *Perfil estratigráfico del sondeo — Ladrillera Andina, muestra natural (M-01). Textura y clasificación SUCS por estrato.*



Nota. Elaboración propia (2026).

Clasificación y resultados

Tabla 24. *Clasificación geotécnica y evaluación de aptitud — Ladrillera Andina, muestra natural (M-01).*

Parámetro	Valor
SUCS (ASTM D2487)	CL — Arcilla de baja plasticidad
AASHTO M 145	Grupo A-7-6: Índice de Grupo IG :25
Aptitud como subrasante vial	Muy deficiente (IG = 25). No recomendado para uso vial sin tratamiento previo.
Aptitud para ladrillera cerámica	Alto contenido arcilloso y plasticidad alta: favorable para cohesión y moldeo del ladrillo crudo. Se recomienda evaluar encogimiento en cocción.

Nota. Elaboración propia a partir de la clasificación SUCS, AASHTO M 145 y los resultados de caracterización geotécnica.

Ladrillera Andina — Muestra con mezcla de arena (M-02)

Muestra 02 · Profundidad: 0.5 – 2.0 m · Clasificación SUCS: CL — Arcilla de baja plasticidad.

Análisis granulométrico

El análisis granulométrico por tamizado se realizó conforme a la NTC 77 (ICONTEC, 2018), empleando la serie de tamices ASTM desde 3" (76.2 mm) hasta No. 200 (0.075 mm) sobre una muestra seca de 500 g. La incorporación de arena en la mezcla modifica significativamente la distribución granulométrica respecto a la muestra natural.

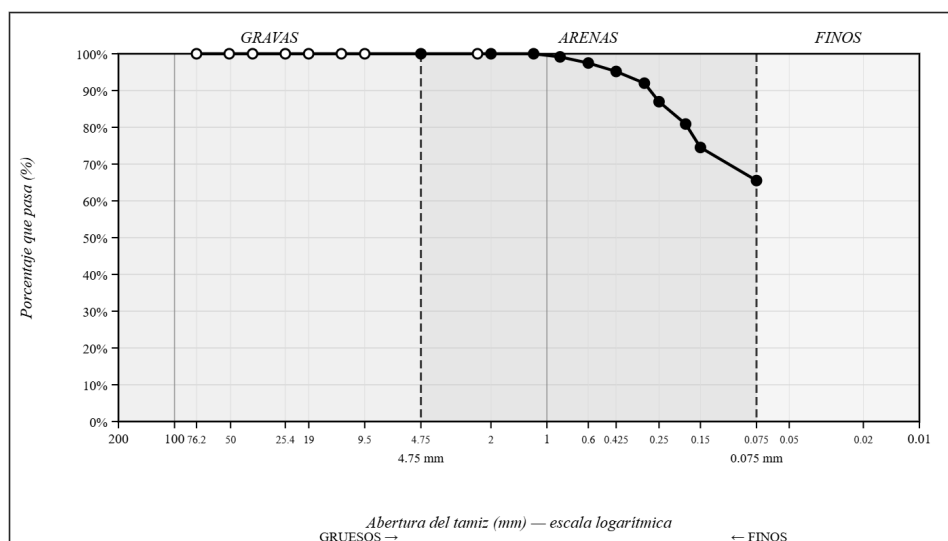
Tabla 25. *Resultados del análisis granulométrico — Ladrillera Andina, mezcla con arena (M-02).*

Tamiz	Abertura (mm)	M. ret. parcial (g)	M. ret. acum. (g)	% Ret. acum.	% Que pasa
No. 20	0.850	4.2	4.20	0.84	99.16
No. 30	0.600	8.3	12.50	2.50	97.50
No. 40	0.425	11.5	24.00	4.80	95.20
No. 50	0.300	16.0	40.00	8.00	92.00
No. 60	0.250	25.2	65.20	13.04	86.96
No. 80	0.180	30.3	95.50	19.10	80.90
No. 100	0.150	32.0	127.50	25.50	74.50
No. 200	0.075	45.0	172.50	34.50	65.50
Fondo	—	327.50	500.00	100.00	0.00
Parámetro		% Grava	% Arena	% Finos (F200)	Masa total
Ladrillera Andina — mezcla con arena (M-02)		0.0%	34.5%	65.5%	500 g

Nota. Elaboración propia con base en los resultados del ensayo de granulometría por tamizado.

Con el 65.5% de finos (pasa No. 200), el suelo se clasifica como FINO según SUCS. La fracción de arenas alcanza el 34.5%, valor significativamente superior al de la muestra natural (4.4%), evidenciando el efecto de la adición de arena en la mezcla.

Figura 17. *Curva granulométrica semilogarítmica — Ladrillera Andina, mezcla con arena (M-02). NTC 77 / INV E-123 / ASTM D422.*



Nota. Escala semilogarítmica: eje X abertura del tamiz (mm), eje Y porcentaje que pasa (%). La curva muestra distribución mixta arenas-finos, con descenso gradual. Elaboración propia (2026).

La curva granulométrica muestra una distribución mixta de arenas y finos, con descenso gradual desde la zona de gravas hasta los finos, indicando un suelo de transición con mayor presencia de fracción gruesa respecto a la muestra natural.

Límites de Atterberg

La determinación de los límites de Atterberg permite evaluar la plasticidad del suelo y su comportamiento ante cambios de humedad. El LL se obtuvo mediante la copa de

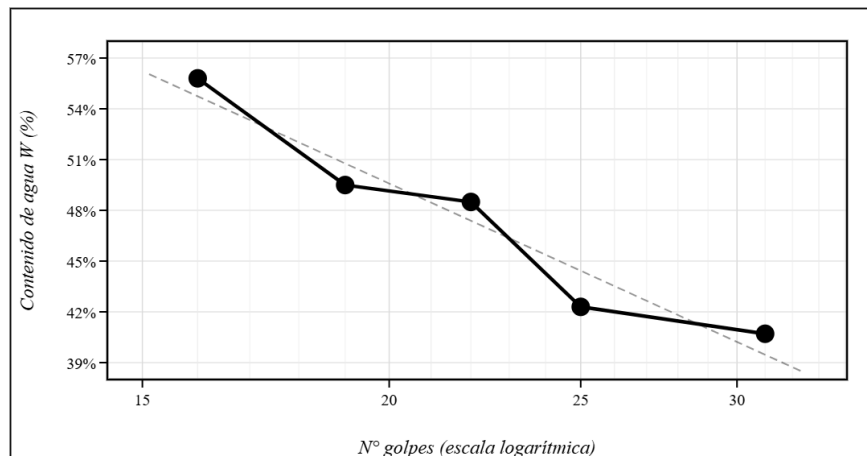
Casagrande (Método A, cinco puntos) y el LP mediante el hilo de 3 mm (tres determinaciones), conforme a la NTC 4630 (ICONTEC, 2006).

Tabla 26. *Índices de Atterberg —
Ladrillera Andina, mezcla con
arena (M-02).*

Parámetro	Valor
Límite Líquido LL	42.3 %
Límite Plástico LP	21.2 %
Índice de Plasticidad IP	21.1 % → alta plasticidad ($17\% \leq IP < 35\%$)
W natural Wn	28.0 %
Índice de Liquidez IL	0.32 → estado plástico firme
Clasificación carta Casagrande	Zona CL — $LL < 50\%$, sufijo "L"

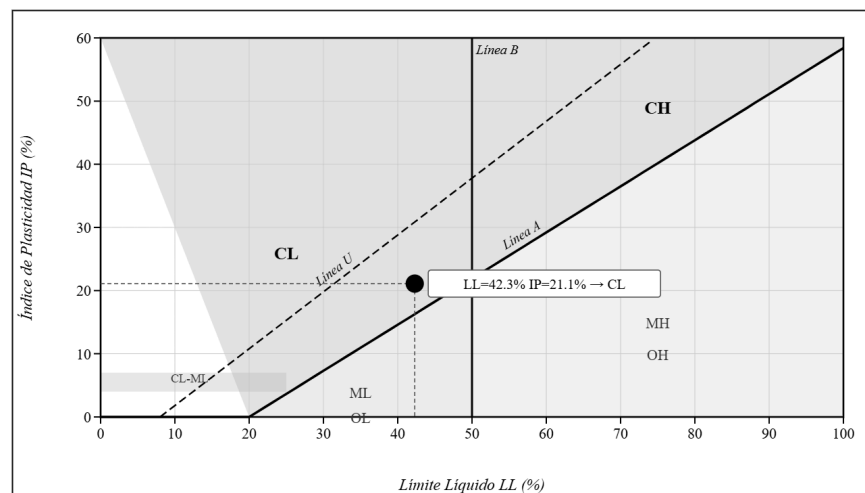
Nota. Elaboración propia a partir de los resultados de los ensayos de límites de Atterberg. Con $LL = 42.3\%$ y $LP = 21.2\%$, el $IP = 21.1\%$ clasifica el material como de alta plasticidad (Das & Sobhan, 2014). El $IL = 0.32$ indica mayor firmeza respecto a la muestra natural ($IL = 0.39$), con menor susceptibilidad a flujo.

Figura 18. *Curva de flujo — Ladrillera Andina, mezcla con arena (M-02). Número de golpes (escala logarítmica) vs Contenido de agua W (%).*



Nota. El LL = 42.3% corresponde al contenido de agua interpolado a 25 golpes. Copa de Casagrande, NTC 4630 (ICONTEC, 2006). Elaboración propia (2026).

Figura 19. *Carta de Plasticidad de Casagrande — Ladrillera Andina, mezcla con arena (M-02).*



Nota. El punto (LL = 42.3%, IP = 21.1%) se ubica en la zona CL, por encima de la Línea A. NTC 4630 / ASTM D4318. Elaboración propia (2026).

En la carta de plasticidad, el punto (LL = 42.3%, IP = 21.1%) se clasifica en la zona CL. Al ubicarse sobre la Línea A, el material conserva comportamiento arcilloso predominante, compatible con la fabricación de ladrillos cerámicos.

Perfil estratigráfico

Tabla 27. *Perfil estratigráfico —
Ladrillera Andina, mezcla con
arena (M-02).*

Ladrillera	SUCS	Descripción del estrato
Ladrillera Andina — mezcla con arena	OH	Material Orgánico — arcilla/limo superficial
Ladrillera Andina — mezcla con arena	CL	Arcilla de baja plasticidad, LL=42%, IP=21.1%, F200=65.5%

Nota. Elaboración propia a partir de la exploración geotécnica realizada en campo.

Clasificación y resultados

Tabla 28. *Clasificación geotécnica
y evaluación de aptitud —
Ladrillera Andina, mezcla con
arena (M-02)*

Parámetro	Valor
SUCS (ASTM D2487)	CL — Arcilla de baja plasticidad
AASHTO M 145	Grupo A-7-6: Índice de Grupo IG: 12
Aptitud como subrasante vial	Deficiente (IG = 12). Requiere mejoramiento antes de uso vial.
Aptitud para ladrillera cerámica	Distribución granulométrica equilibrada. La reducción de finos y plasticidad mejora la trabajabilidad. Verificar resistencia a compresión en ladrillo cocido.

Nota. Elaboración propia a partir de la clasificación SUCS, AASHTO M 145 y los
resultados de caracterización geotécnica.

Análisis comparativo: muestra natural vs. mezcla con arena

La incorporación de arena en la mezcla arcillosa introduce cambios cuantificables en los parámetros geotécnicos del material, a continuación se presenta el análisis detallado de los parámetros que mejoraron con la adición de arena y su relevancia tecnológica para la fabricación de ladrillos cerámicos, en este sentido, la presencia de una fracción granular adicional contribuye a modificar la estructura interna del suelo, reduciendo su plasticidad y mejorando su estabilidad dimensional durante los procesos de moldeo y secado. Asimismo, este ajuste granulométrico favorece una disminución en la contracción del material, lo cual incide directamente en la reducción de deformaciones y fisuras en el producto final, de igual forma, la incorporación de arena puede influir positivamente en la trabajabilidad de la mezcla, facilitando su manipulación durante la etapa de conformado y en conjunto, estos cambios representan una mejora en el comportamiento tecnológico del material destinado a la fabricación de ladrillos cerámicos.

Tabla comparativa general de resultados

Tabla 29. *Comparación de resultados geotécnicos — muestra natural (M-01) vs. mezcla con arena (M-02)*

Parámetro	M-01 Natural	M-02 Arena	Variación
% Arena (fracción gruesa)	4.4%	34.5%	681.8%
% Finos — F200	95.6%	65.5%	31.5%
Límite Líquido LL	43.0%	42.3%	1.6%
Límite Plástico LP	18.4%	21.2%	15.2%

Índice de Plasticidad IP	24.6%	21.1%	14.2%
Índice de Liquidez IL	0.39	0.32	17.9%
Índice de Grupo IG (AASHTO)	25	12	52.0%
Clasificación SUCS	CL	CL	Sin cambio

Nota. Elaboración propia. Porcentajes de variación calculados respecto a M-01.

Parámetros que mejoraron con la adición de arena

Fracción arenosa — incremento del 681.8%. El parámetro con mayor variación relativa es la fracción de arenas, que pasó de 4.4% en la muestra natural a 34.5% en la mezcla con arena, representando un incremento del 681.8%. Según Das & Sobhan (2014), la incorporación de fracción gruesa en mezclas arcillosas actúa como esqueleto granular resistente que reduce la susceptibilidad del material a la contracción durante el secado y la cocción. Para la fabricación de ladrillos, una distribución granulométrica con mayor proporción de arena reduce el riesgo de fisuración y deformación en el proceso de quema (Crespo Villalaz, 2004).

Reducción de finos (F200) — 30.1 puntos porcentuales. El contenido de finos disminuyó de 95.6% a 65.5%, una reducción absoluta de 30.1 puntos porcentuales (−31.5% relativo). Un exceso de fracción fina en materiales cerámicos produce mayor retracción durante el secado, mayor absorción de agua y menor resistencia mecánica del ladrillo cocido. La reducción de finos hacia el 65–70% corresponde a rangos tecnológicamente más favorables para la industria ladrillera, en los que la arcilla conserva su función aglomerante sin comprometer la estabilidad dimensional del producto (Lambe & Whitman, 1969).

Reducción del Índice de Plasticidad — 14.2%. El IP disminuyó de 24.6% a 21.1% (−14.2%). Ambos valores permanecen en el rango de alta plasticidad, conservando la

capacidad de moldeo. No obstante, la reducción del IP es favorable porque disminuye la sensibilidad a los cambios de humedad: arcillas con IP muy elevado presentan mayor encogimiento diferencial y agrietamiento superficial durante el secado (Das & Sobhan, 2014). La mezcla con arena atenúa este riesgo manteniendo la plasticidad funcional.

Incremento del Límite Plástico — 15.2%. El LP aumentó de 18.4% a 21.2% (+15.2%), lo que indica que la mezcla tolera mayor contenido de humedad antes de perder consistencia plástica. Un LP más alto amplía el rango hídrico de trabajabilidad de la pasta arcillosa, permitiendo mayor flexibilidad en el control de humedad durante el proceso industrial (Crespo Villalaz, 2004).

Reducción del Índice de Liquidez — 17.9%. El IL pasó de 0.39 a 0.32 (−17.9%), manteniéndose en estado plástico firme. Un IL menor indica mayor firmeza en condiciones naturales y menor susceptibilidad a fluir, lo que implica mejor comportamiento durante las operaciones de extracción, transporte y almacenamiento.

Reducción del Índice de Grupo AASHTO — 52.0%. El IG disminuyó de 25 a 12 (−52.0%). El índice de grupo integra simultáneamente el contenido de finos, el LL y el IP, por lo que su reducción a la mitad es un indicador sintético de la optimización geotécnica global conseguida con la incorporación de arena (AASHTO, 2012).

Evaluación comparada de aptitud para ladrillera cerámica

Tabla 30. *Evaluación comparativa
de aptitud para ladrillera cerámica
— M-01 vs. M-02.*

Criterio tecnológico	M-01 Natural	M-02 Mezcla arena	Evaluación
Cohesión y moldeo	Muy alta (F200=95.6%)	Alta (F200=65.5%)	Ambas aptas

Riesgo de retracción	Alto (IP=24.6%, F200 alto)	Moderado (IP=21.1%)	M-02 superior
Trabajabilidad pasta	Buena (LP=18.4%)	Mejor (LP=21.2%)	M-02 superior
Firmeza en cantera	Firme (IL=0.39)	Más firme (IL=0.32)	M-02 superior
Esqueleto resistente	Escaso (Arena=4.4%)	Presente (Arena=34.5%)	M-02 superior
Clasificación SUCS	CL	CL	Equivalentes
Evaluación global	Apta — evaluar encogimiento	Mejor aptitud cerámica	M-02 recomendada

Nota. Elaboración propia. Criterios basados en Das & Sobhan (2014), Crespo Villalaz (2004) y Lambe & Whitman (1969).

Ladrillera Caicedo — Muestra natural (M-01)

Muestra 01 · Profundidad: 0.5 – 2.0 m · Clasificación SUCS: CL — Arcilla de baja plasticidad

Análisis granulométrico

El análisis granulométrico por tamizado se realizó conforme a la NTC 77 (ICONTEC, 2018), empleando la serie de tamices ASTM desde 3" (76.2 mm) hasta No. 200 (0.075 mm) sobre una muestra seca de 500 g. Los resultados permiten establecer la distribución de tamaños de partículas y clasificar el suelo según los sistemas SUCS y AASHTO.

Tabla 31. *Resultados del análisis granulométrico — Ladrillera Caicedo, muestra natural (M-01)*

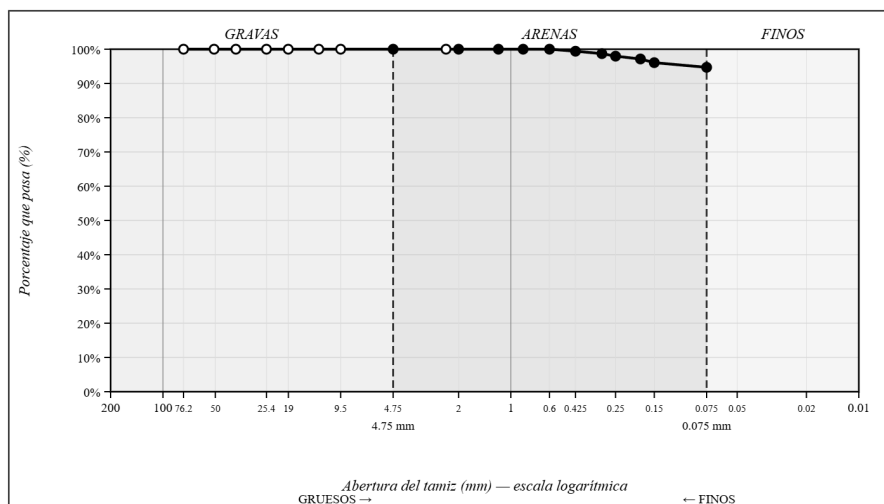
Tamiz	Abertura (mm)	M. ret. parcial (g)	M. ret. acum. (g)	% Ret. acum.	% Que pasa
No. 40	0.425	3.0	3.00	0.60	99.40

No. 50	0.300	3.4	6.40	1.28	98.72
No. 60	0.250	3.8	10.20	2.04	97.96
No. 80	0.180	4.1	14.30	2.86	97.14
No. 100	0.150	5.4	19.70	3.94	96.06
No. 200	0.075	6.8	26.50	5.30	94.70
Fondo	—	473.50	500.00	100.00	0.00
Parámetro		% Grava	% Arena	% Finos (F200)	Masa total
Ladrillera Caicedo — muestra natural (M-01)		0.0%	5.3%	94.7%	500 g

Nota. Elaboración propia con base en los resultados del ensayo de granulometría por tamizado.

Con el 94.7% de finos (pasa No. 200), el suelo se clasifica como FINO según SUCS. La escasa fracción gruesa (5.3% arenas, 0.0% gravas) impide calcular Cu y Cc con precisión.

Figura 20. *Curva granulométrica semilogarítmica — Ladrillera Caicedo, muestra natural (M-01). NTC 77 / INV E-123 / ASTM D422.*



Nota. Escala semilogarítmica: eje X abertura del tamiz (mm), eje Y porcentaje que pasa (%). GRAVAS a la izquierda, FINOS a la derecha. Elaboración propia (2026).

La curva granulométrica muestra una distribución de partículas predominantemente finas, con caída pronunciada en la zona de arenas finas y finos. Indica suelo cohesivo con alto contenido arcilloso.

Límites de Atterberg

La determinación de los límites de Atterberg permite evaluar la plasticidad del suelo y su comportamiento ante cambios de humedad. El LL se obtuvo mediante la copa de Casagrande (Método A, cinco puntos) y el LP mediante el hilo de 3 mm (tres determinaciones), conforme a la NTC 4630 (ICONTEC, 2006). Estos resultados permiten interpretar de manera más precisa la consistencia del material en sus diferentes estados de humedad, lo cual es fundamental para su adecuada caracterización geotécnica y su aplicación en procesos constructivos y cerámicos.

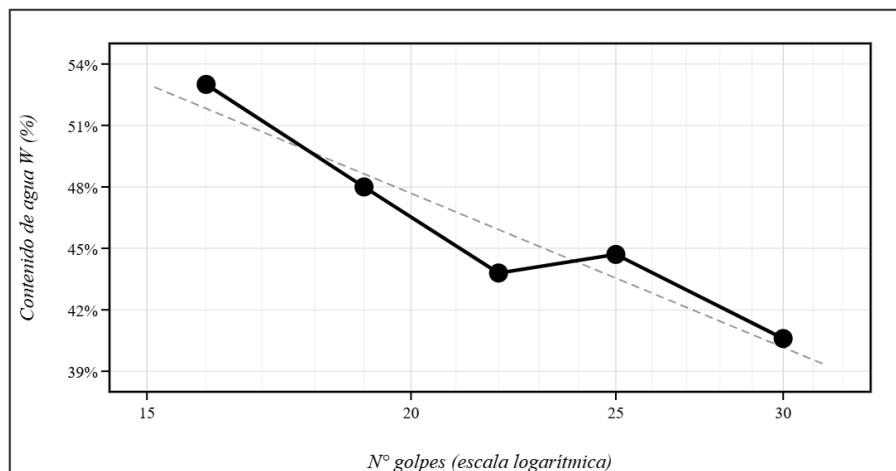
Tabla 32. *Índices de Atterberg —
Ladrillera Caicedo, muestra natural
(M-01)*

Parámetro	Valor
Límite Líquido LL	45.0 %
Límite Plástico LP	20.8 %
Índice de Plasticidad IP	24.2 % → alta plasticidad ($17\% \leq IP < 35\%$)
W natural Wn	26.0 %
Índice de Liquidez IL	0.21 → estado plástico firme
Clasificación carta Casagrande	Zona CL — LL < 50 %, sufijo "L"

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados de los ensayos de límites de Atterberg. Con LL = 45.0% y LP = 20.8%, el IP = 24.2% clasifica el material como de alta plasticidad (Das & Sobhan, 2014).

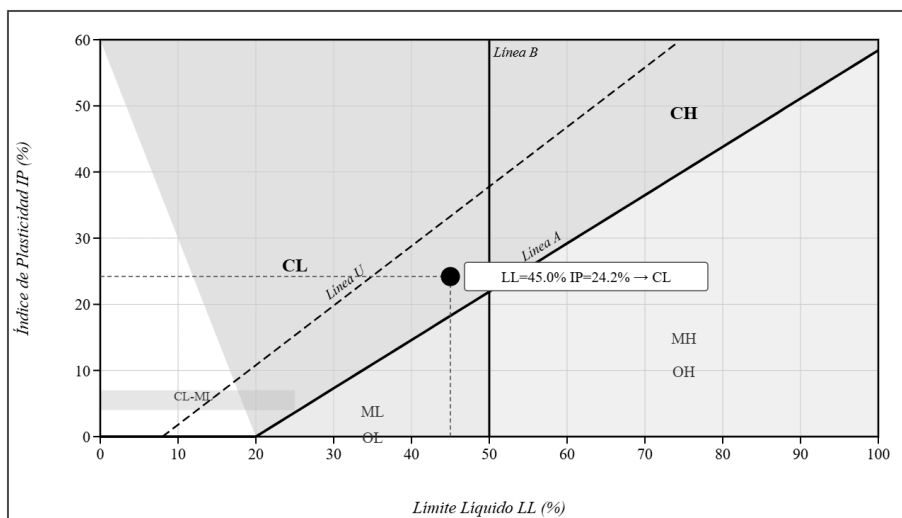
El IL = 0.21 indica estado plástico muy firme en condiciones naturales, con gran distancia al límite líquido.

Figura 21. *Curva de flujo — Ladrillera Caicedo, muestra natural (M-01). Número de golpes (escala logarítmica) vs Contenido de agua W (%).*



Nota. El LL = 45.0% corresponde al contenido de agua interpolado a 25 golpes. Copa de Casagrande, NTC 4630 (ICONTEC, 2006). Elaboración propia (2026).

Figura 22. *Carta de Plasticidad de Casagrande — Ladrillera Caicedo, muestra natural (M-01).*



Nota. El punto (LL = 45.0%, IP = 24.2%) se ubica en la zona CL, por encima de la Línea A. NTC 4630 / ASTM D4318. Elaboración propia (2026).

En la carta de plasticidad, el punto (LL = 45.0%, IP = 24.2%) se clasifica en la zona CL. Al ubicarse sobre la Línea A, el material presenta comportamiento predominantemente arcilloso, coherente con el contenido de finos F200 = 94.7%.

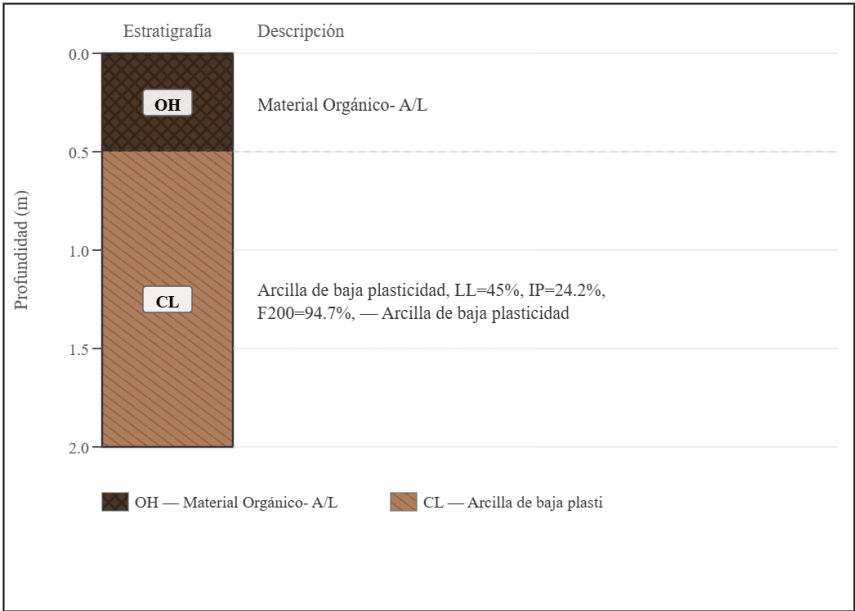
Perfil estratigráfico

Tabla 33. Perfil estratigráfico —
Ladrillera Caicedo, muestra natural
(M-01)

Ladrillera	Desde (m)	Hasta (m)	SUCS	Descripción del estrato
Ladrillera Caicedo — muestra natural	0	0.5	OH	Material Orgánico — arcilla/limo superficial
Ladrillera Caicedo — muestra natural	0.5	2.0	CL	Arcilla de baja plasticidad, LL=45%, IP=24.2%, F200=94.7%

Nota. Elaboración propia a partir de la exploración geotécnica realizada en campo.

Figura 23. Perfil estratigráfico del sondeo — Ladrillera Caicedo, muestra natural (M-01). Textura y clasificación SUCS por estrato.



Nota. Elaboración propia (2026).

Clasificación y resultados

Tabla 34. *Clasificación geotécnica y evaluación de aptitud — Ladrillera Caicedo, muestra natural (M-01)*

Parámetro	Valor
SUCS (ASTM D2487)	CL — Arcilla de baja plasticidad
AASHTO M 145	Grupo A-7-6: Índice de Grupo IG: 25
Aptitud como subrasante vial	Muy deficiente (IG = 25). No recomendado para uso vial sin tratamiento previo.
Aptitud para ladrillera cerámica	Alto contenido arcilloso y plasticidad alta: favorable para cohesión y moldeo del ladrillo crudo. Se recomienda evaluar encogimiento en cocción.

Nota. Elaboración propia a partir de la clasificación SUCS, AASHTO M 145 y los resultados de caracterización geotécnica.

Ladrillera Caicedo — Muestra con mezcla de arena (M-02)

Muestra 02 · Profundidad: 0.5 – 2.0 m · Clasificación SUCS: CL — Arcilla de baja plasticidad

Análisis granulométrico

El análisis granulométrico por tamizado se realizó conforme a la NTC 77 (ICONTEC, 2018), empleando la serie de tamices ASTM desde 3" (76.2 mm) hasta No. 200 (0.075 mm) sobre una muestra seca de 500 g, la incorporación de arena en la mezcla modifica significativamente la distribución granulométrica respecto a la muestra natural, en este sentido, se observa una variación en la proporción de las fracciones finas y gruesas, lo cual influye directamente en el comportamiento físico del material. Asimismo, estos

cambios permiten interpretar de manera más precisa la gradación del suelo y su posible efecto en la compactación y trabajabilidad de la mezcla.

Tabla 35. *Resultados del análisis*

granulométrico — Ladrillera

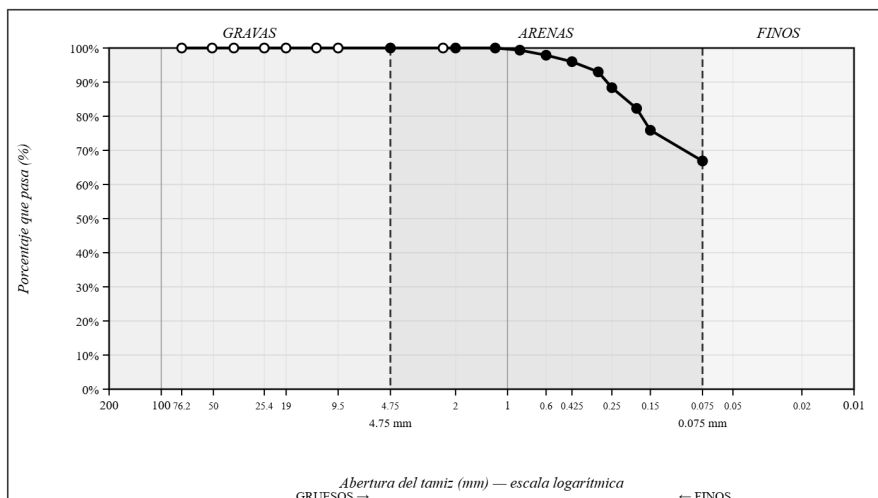
Caicedo, mezcla con arena (M-02).

Tamiz	Abertura (mm)	M. ret. parcial (g)	M. ret. acum. (g)	% Ret. acum.	% Que pasa
No. 20	0.850	3.2	3.20	0.64	99.36
No. 30	0.600	7.3	10.50	2.10	97.90
No. 40	0.425	9.5	20.00	4.00	96.00
No. 50	0.300	15.0	35.00	7.00	93.00
No. 60	0.250	23.2	58.20	11.64	88.36
No. 80	0.180	30.3	88.50	17.70	82.30
No. 100	0.150	32.0	120.50	24.10	75.90
No. 200	0.075	45.0	165.50	33.10	66.90
Fondo	—	334.50	500.00	100.00	0.00
Parámetro		% Grava	% Arena	% Finos (F200)	Masa total
Ladrillera Caicedo — mezcla con arena (M-02)		0.0%	33.1%	66.9%	500 g

Nota. Elaboración propia con base en los resultados del ensayo de granulometría por tamizado.

Con el 66.9% de finos (pasa No. 200), el suelo se clasifica como FINO según SUCS. La fracción de arenas alcanza el 33.1%, valor significativamente superior al de la muestra natural (5.3%), evidenciando el efecto de la adición de arena.

Figura 24. *Curva granulométrica semilogarítmica — Ladrillera Caicedo, mezcla con arena (M-02). NTC 77 / INV E-123 / ASTM D422.*



Nota. Escala semilogarítmica: eje X abertura del tamiz (mm), eje Y porcentaje que pasa (%). La curva muestra distribución mixta arenas-finos, con descenso gradual. Elaboración propia (2026).

La curva granulométrica muestra distribución mixta de arenas y finos, con descenso gradual, indicando un suelo de transición con mayor presencia de fracción gruesa respecto a la muestra natural.

Límites de Atterberg

La determinación de los límites de Atterberg permite evaluar la plasticidad del suelo y su comportamiento ante cambios de humedad. El LL se obtuvo mediante la copa de Casagrande (Método A, cinco puntos) y el LP mediante el hilo de 3 mm (tres determinaciones), conforme a la NTC 4630 (ICONTEC, 2006).

Tabla 36. *Índices de Atterberg —
Ladrillera Caicedo, mezcla con
arena (M-02)*

Parámetro	Valor
Límite Líquido LL	45.0 %
Límite Plástico LP	21.2 %

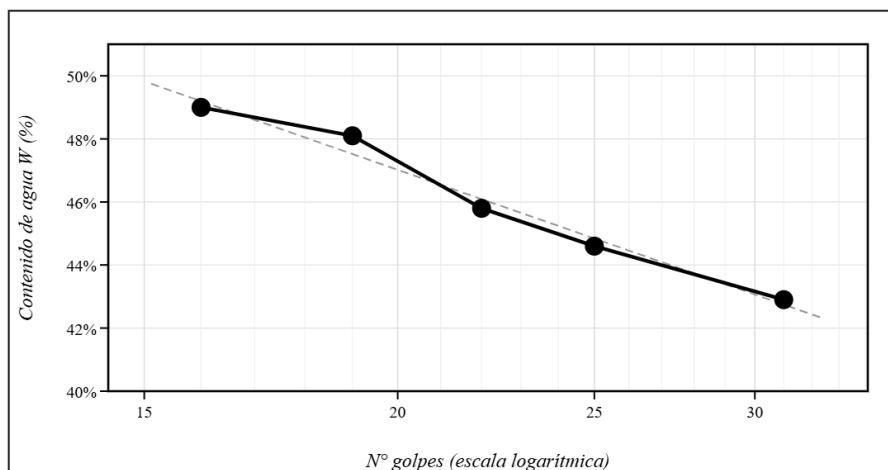
Índice de Plasticidad IP	23.8 % → alta plasticidad ($17\% \leq IP < 35\%$)
W natural W _n	28.0 %
Índice de Liquidez IL	0.29 → estado plástico firme
Clasificación carta Casagrande	Zona CL — LL < 50 %, sufijo "L"

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados de los ensayos de límites de Atterberg.

Con LL = 45.0% y LP = 21.2%, el IP = 23.8% clasifica el material como de alta plasticidad (Das & Sobhan, 2014).

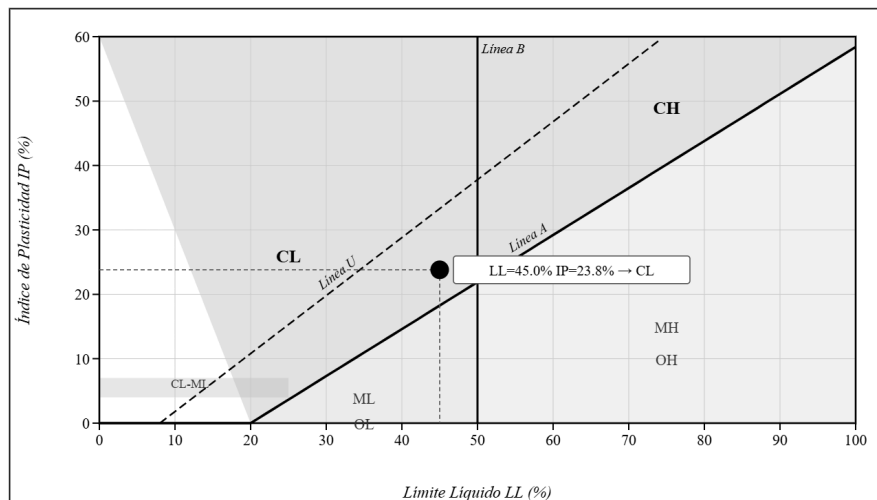
El IL = 0.29 indica estado plástico firme. El incremento del IL respecto a M-01 (0.21) se explica por el aumento de la humedad natural de campo (W_n = 28.0% vs. 26.0%), no por pérdida de firmeza estructural del material.

Figura 25. *Curva de flujo — Ladrillera Caicedo, mezcla con arena (M-02). Número de golpes (escala logarítmica) vs Contenido de agua W (%).*



Nota. El LL = 45.0% corresponde al contenido de agua interpolado a 25 golpes. Copa de Casagrande, NTC 4630 (ICONTEC, 2006). Elaboración propia (2026).

Figura 26. *Carta de Plasticidad de Casagrande — Ladrillera Caicedo, mezcla con arena (M-02).*



Nota. El punto ($LL = 45.0\%$, $IP = 23.8\%$) se ubica en la zona CL, por encima de la Línea A. NTC 4630 / ASTM D4318. Elaboración propia (2026).

En la carta de plasticidad, el punto ($LL = 45.0\%$, $IP = 23.8\%$) se clasifica en la zona CL. El comportamiento arcilloso se conserva, compatible con la fabricación de ladrillos cerámicos.

Perfil estratigráfico

Tabla 37. *Perfil estratigráfico —
Ladrillera Caicedo, mezcla con
arena (M-02)*

Ladrillera	SUCS	Descripción del estrato
Ladrillera Caicedo mezcla con arena	OH	Material Orgánico — arcilla/limo superficial
Ladrillera Caicedo mezcla con arena	CL	Arcilla de baja plasticidad, $LL=45\%$, $IP=23.8\%$, $F200=66.9\%$

Nota. Elaboración propia a partir de la exploración geotécnica realizada en campo.

Clasificación y resultados

Tabla 38. *Clasificación geotécnica**y evaluación de aptitud —**Ladrillera Caicedo, mezcla con**arena (M-02).*

Parámetro	Valor
SUCS (ASTM D2487)	CL — Arcilla de baja plasticidad
AASHTO M 145	Grupo A-7-6: Índice de Grupo IG: 14
Aptitud como subrasante vial	Deficiente (IG = 14). Requiere mejoramiento antes de uso vial.
Aptitud para ladrillera cerámica	Distribución granulométrica equilibrada. La reducción de finos mejora la trabajabilidad. Verificar resistencia a compresión en ladrillo cocido.

Nota. Elaboración propia a partir de la clasificación SUCS, AASHTO M 145 y los resultados de caracterización geotécnica.

Análisis comparativo: muestra natural vs. mezcla con arena

La incorporación de arena en la mezcla arcillosa de la Ladrillera Caicedo introduce cambios cuantificables en los parámetros geotécnicos. A continuación se presenta el análisis de los efectos observados y su relevancia tecnológica para la fabricación de ladrillos cerámicos.

Tabla comparativa general de resultados

Tabla 39. *Comparación de resultados geotécnicos — muestra natural (M-01) vs. mezcla con arena (M-02)*

Parámetro	M-01 Natural	M-02 Arena	Variación
% Arena (fracción gruesa)	5.3%	33.1%	524.5%
% Finos — F200	94.7%	66.9%	29.4%
Límite Líquido LL	45.0%	45.0%	0.0%
Límite Plástico LP	20.8%	21.2%	1.9%
Índice de Plasticidad IP	24.2%	23.8%	1.7%
Índice de Liquidez IL	0.21	0.29	38.1%
Índice de Grupo IG (AASHTO)	25	14	44.0%
Clasificación SUCS	CL	CL	Sin cambio

Nota. Elaboración propia. Porcentajes de variación calculados respecto a M-01.

El aumento del IL en M-02 (0.21 → 0.29) se explica por la diferencia en humedad natural de campo ($W_n = 26.0\%$ vs. 28.0%), no por un cambio en las propiedades plásticas del suelo. Ambos valores se mantienen en estado plástico firme ($IL < 0.50$), sin implicación negativa para el proceso de fabricación de ladrillos.

Parámetros que mejoraron con la adición de arena

Fracción arenosa — incremento del 524.5%. El parámetro con mayor variación relativa es la fracción de arenas, que pasó de 5.3% en la muestra natural a 33.1% en la mezcla con arena, representando un incremento del 524.5%. La incorporación de fracción gruesa en mezclas arcillosas actúa como esqueleto granular resistente que reduce la susceptibilidad del material a la contracción durante el secado y la cocción (Das & Sobhan, 2014). Para la fabricación de ladrillos, esta distribución más equilibrada reduce el riesgo de fisuración y deformación en el proceso de quema (Crespo Villalaz, 2004).

Reducción de finos (F200) — 27.8 puntos porcentuales. El contenido de finos disminuyó de 94.7% a 66.9%, una reducción absoluta de 27.8 puntos porcentuales (−29.4% relativo).

La reducción de finos hacia el 65–70% corresponde a rangos tecnológicamente favorables para la industria ladrillera: la arcilla conserva su función aglomerante sin comprometer la estabilidad dimensional del producto durante la cocción (Lambe & Whitman, 1969).

Límite líquido constante — sin sensibilidad a la arena. El LL se mantuvo idéntico en ambas muestras (45.0%), lo que indica que el material arcilloso de la Ladrillera Caicedo tiene un límite líquido muy estable, poco sensible a la incorporación de arena en la proporción utilizada. Esto es favorable porque confirma que la mezcla no pierde su carácter arcilloso ni su capacidad de retención de agua para el moldeo.

Reducción leve del Índice de Plasticidad — 1.7%. El IP disminuyó levemente de 24.2% a 23.8% (–1.7%). Aunque la reducción es menor que en otros materiales, ambos valores se mantienen en el rango de alta plasticidad funcional. Esto confirma que el material de Ladrillera Caicedo ya presenta una plasticidad intrínsecamente más estable, con menor sensibilidad a la incorporación de arena en comparación con otros materiales arcillosos.

Reducción del Índice de Grupo AASHTO — 44.0%. El IG disminuyó de 25 a 14 (–44.0%). El índice de grupo integra simultáneamente el contenido de finos, el LL y el IP, por lo que su reducción significativa refleja la mejora geotécnica global lograda con la incorporación de arena (AASHTO, 2012). Esta reducción se explica principalmente por la disminución del contenido de finos F200.

Nota sobre el Índice de Liquidez. El IL registró un incremento de 0.21 a 0.29 (+38.1%). Este comportamiento no indica deterioro del material sino que refleja una mayor humedad natural de campo en la muestra M-02 ($W_n = 28.0\%$) respecto a M-01 ($W_n = 26.0\%$), condición puntual de muestreo. Dado que el LL es idéntico en ambas muestras (45.0%) y el LP aumentó levemente, la elevación del IL es enteramente atribuible a la variación de W_n .

Ambos valores permanecen en estado plástico firme ($IL < 0.50$), sin implicación negativa para la fabricación de ladrillos.

Evaluación comparada de aptitud para ladrillera cerámica

Tabla 40. *Evaluación comparativa
de aptitud para ladrillera cerámica
— M-01 vs. M-02*

Criterio tecnológico	M-01 Natural	M-02 Mezcla arena	Evaluación
Cohesión y moldeo	Muy alta (F200=94.7%)	Alta (F200=66.9%)	Ambas aptas
Riesgo de retracción	Alto (IP=24.2%, F200 alto)	Moderado (IP=23.8%)	M-02 superior
Estabilidad del LL	45.0%	45.0% (idéntico)	Muy estable
Trabajabilidad pasta	Buena (LP=20.8%)	Similar (LP=21.2%)	Equivalentes
Esqueleto resistente	Escaso (Arena=5.3%)	Presente (Arena=33.1%)	M-02 superior
Clasificación SUCS	CL	CL	Equivalentes
Evaluación global	Apta, evaluar encogimiento	Mejor aptitud cerámica	M-02 recomendada

Nota. Elaboración propia. Criterios basados en Das & Sobhan (2014), Crespo Villalaz (2004) y Lambe & Whitman (1969).

Ladrillera La Eme — Muestra natural (M-01)

Muestra 01 · Profundidad: 0.5 – 2.0 m · Clasificación SUCS: CL — Arcilla de baja plasticidad

Tabla 41. *Muestras analizadas
para la caracterización geotécnica
y tecnológica de los materiales*

N°	Ladrillera	Tipo	Prof. (m)	Descripción visual
01	Ladrillera La Eme — muestra natural (M-01)	Muestra natural	0.5 – 2.0	Arcilla plástica, coloración pardo-rojiza

Nota. Elaboración propia a partir de las actividades de reconocimiento de campo, muestreo y descripción visual realizadas en la ladrillera durante la fase de investigación geotécnica.

Análisis granulométrico

El análisis granulométrico por tamizado se realizó conforme a la NTC 77 (ICONTEC, 2018), empleando la serie de tamices ASTM desde 3" (76.2 mm) hasta No. 200 (0.075 mm) sobre una muestra seca de 500 g.

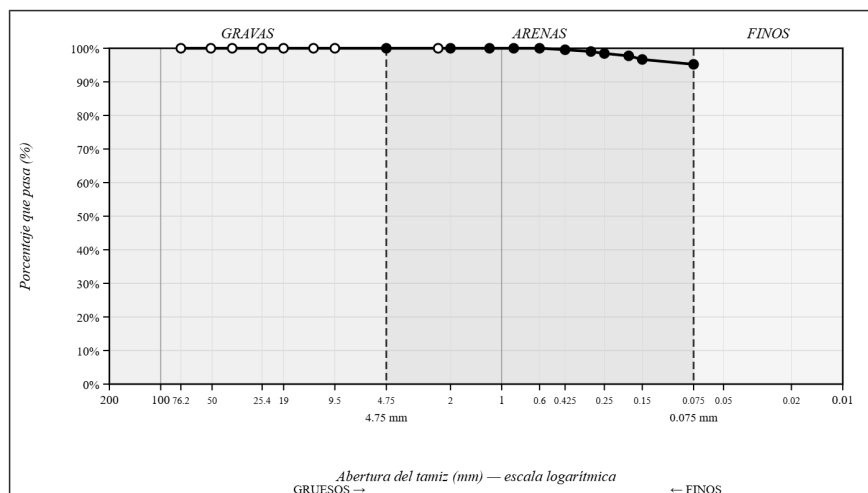
Tabla 42. *Resultados del análisis granulométrico — Ladrillera La Eme, muestra natural (M-01)*

Tamiz	Abertura (mm)	M. ret. parcial (g)	M. ret. acum. (g)	% Ret. acum.	% Que pasa
No. 40	0.425	2.3	2.30	0.46	99.54
No. 50	0.300	2.5	4.80	0.96	99.04
No. 60	0.250	3.05	7.85	1.57	98.43
No. 80	0.180	3.5	11.35	2.27	97.73
No. 100	0.150	5.3	16.65	3.33	96.67
No. 200	0.075	7.2	23.85	4.77	95.23
Fondo	—	476.15	500.00	100.00	0.00
Parámetro		% Grava	% Arena	% Finos (F200)	Masa total
Ladrillera La Eme — muestra natural (M-01)		0.0%	4.8%	95.2%	500 g

Nota. Elaboración propia con base en los resultados del ensayo de granulometría por tamizado.

Con el 95.2% de finos (pasa No. 200), el suelo se clasifica como FINO según SUCS. La escasa fracción gruesa (4.8% arenas, 0.0% gravas) impide calcular C_u y C_c con precisión.

Figura 27. *Curva granulométrica semilogarítmica — Ladrillera La Eme, muestra natural (M-01). NTC 77 / INV E-123 / ASTM D422.*



Nota. Escala semilogarítmica: eje X abertura del tamiz (mm), eje Y porcentaje que pasa (%). GRAVAS a la izquierda, FINOS a la derecha. Elaboración propia (2026).

La curva granulométrica muestra distribución predominantemente fina, con caída pronunciada en la zona de arenas finas y finos. Indica suelo cohesivo con alto contenido arcilloso.

Límites de Atterberg

La determinación de los límites de Atterberg permite evaluar la plasticidad del suelo y su comportamiento ante cambios de humedad. El LL se obtuvo mediante la copa de Casagrande (Método A, cinco puntos) y el LP mediante el hilo de 3 mm (tres determinaciones), conforme a la NTC 4630 (ICONTEC, 2006).

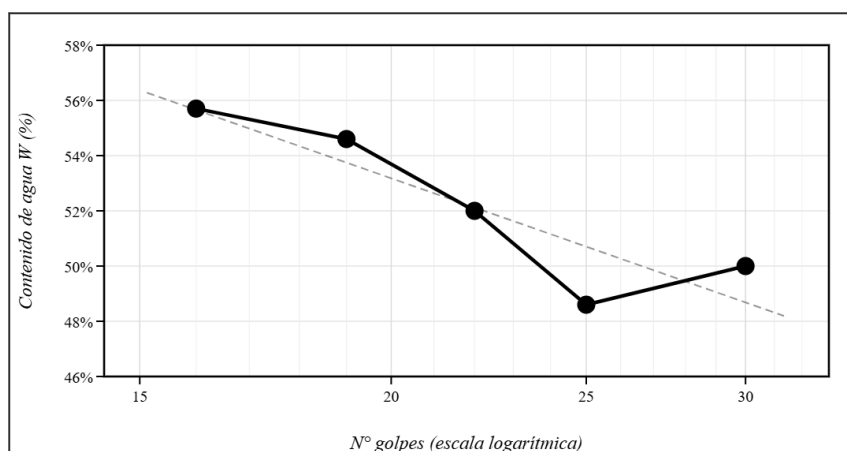
Tabla 43. *Índices de Atterberg —
Ladrillera La Eme, muestra natural
(M-01)*

Parámetro	Valor
Límite Líquido LL	49.0 %
Límite Plástico LP	25.2 %
Índice de Plasticidad IP	23.8 % → alta plasticidad ($17\% \leq IP < 35\%$)
W natural W _n	28.0 %
Índice de Liquidez IL	0.12 → estado plástico muy firme
Clasificación carta Casagrande	Zona CL — LL < 50 %, sufijo "L"

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados de los ensayos de límites de Atterberg.

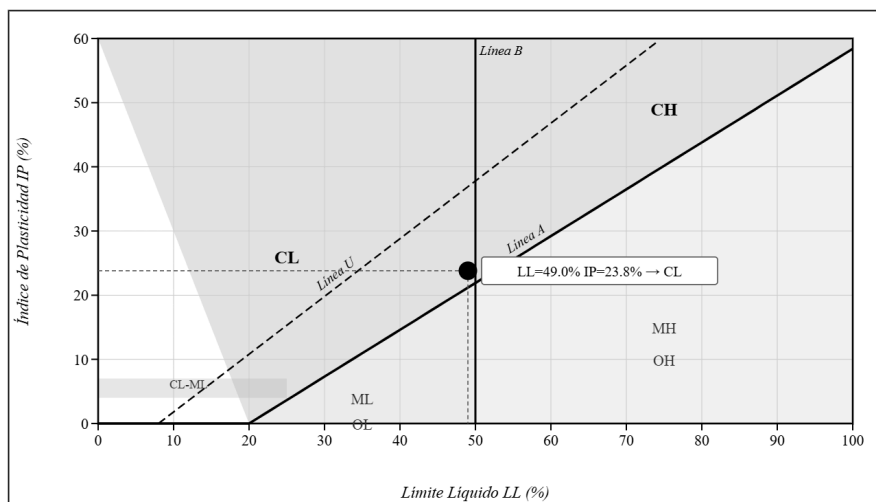
Con LL = 49.0% y LP = 25.2%, el IP = 23.8% clasifica el material como de alta plasticidad (Das & Sobhan, 2014). El IL = 0.12 indica estado plástico muy firme, con gran distancia respecto al límite líquido. El LL = 49.0% se acerca al umbral de 50%, lo que sugiere mayor sensibilidad potencial a incrementos de humedad respecto a las demás muestras analizadas.

Figura 28. *Curva de flujo — Ladrillera La Eme, muestra natural (M-01). Número de golpes (escala logarítmica) vs Contenido de agua W (%).*



Nota. El LL = 49.0% corresponde al contenido de agua interpolado a 25 golpes. Copa de Casagrande, NTC 4630 (ICONTEC, 2006). Elaboración propia (2026).

Figura 29. *Carta de Plasticidad de Casagrande — Ladrillera La Eme, muestra natural (M-01).*



Nota. El punto ($LL = 49.0\%$, $IP = 23.8\%$) se ubica en la zona CL, por encima de la Línea A. NTC 4630 / ASTM D4318. Elaboración propia (2026).

En la carta de plasticidad, el punto ($LL = 49.0\%$, $IP = 23.8\%$) se clasifica en la zona CL, sobre la Línea A, con comportamiento predominantemente arcilloso. El LL próximo al límite de 50% indica un material en el umbral de transición hacia la zona CH.

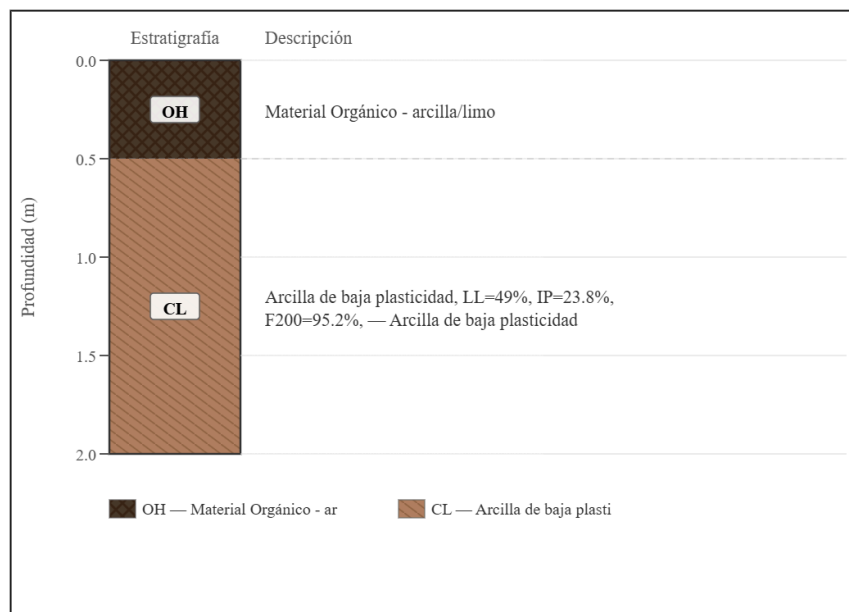
Perfil estratigráfico

Tabla 44. *Perfil estratigráfico — Ladrillera La Eme, muestra natural (M-01)*

Ladrillera	Desde (m)	Hasta (m)	SUCS	Descripción del estrato
Ladrillera La Eme — muestra natural	0	0.5	OH	Material Orgánico — arcilla/limo superficial
Ladrillera La Eme — muestra natural	0.5	2.0	CL	Arcilla de baja plasticidad, $LL=49\%$, $IP=23.8\%$, $F200=95.2\%$

Nota. Elaboración propia a partir de la exploración geotécnica realizada en campo.

Figura 30. Perfil estratigráfico del sondeo — Ladrillera La Eme, muestra natural (M-01). Textura y clasificación SUCS por estrato.



Nota. Elaboración propia (2026).

Clasificación y resultados

Tabla 45. Clasificación geotécnica y evaluación de aptitud — Ladrillera La Eme, muestra natural (M-01)

Parámetro	Valor
SUCS (ASTM D2487)	CL — Arcilla de baja plasticidad
AASHTO M 145	Grupo A-7-6: Índice de Grupo IG: 26
Aptitud como subrasante vial	Muy deficiente (IG = 26). No recomendado para uso vial sin tratamiento previo.
Aptitud para ladrillera cerámica	Alto contenido arcilloso y plasticidad alta: favorable para cohesión y moldeo del ladrillo crudo. Se recomienda evaluar encogimiento en cocción y controlar humedad dado el LL cercano a 50%.

Nota. Elaboración propia a partir de la clasificación SUCS, AASHTO M 145 y los resultados de caracterización geotécnica.

Ladrillera La Eme — Muestra con mezcla de arena (M-02)

Muestra 02 · Profundidad: 0.5 – 2.0 m · Clasificación SUCS: CL — Arcilla de baja plasticidad.

Análisis granulométrico

El análisis granulométrico por tamizado se realizó conforme a la NTC 77 (ICONTEC, 2018), empleando la serie de tamices ASTM desde 3" (76.2 mm) hasta No. 200 (0.075 mm) sobre una muestra seca de 500 g. La incorporación de arena modifica significativamente la distribución granulométrica respecto a la muestra natural.

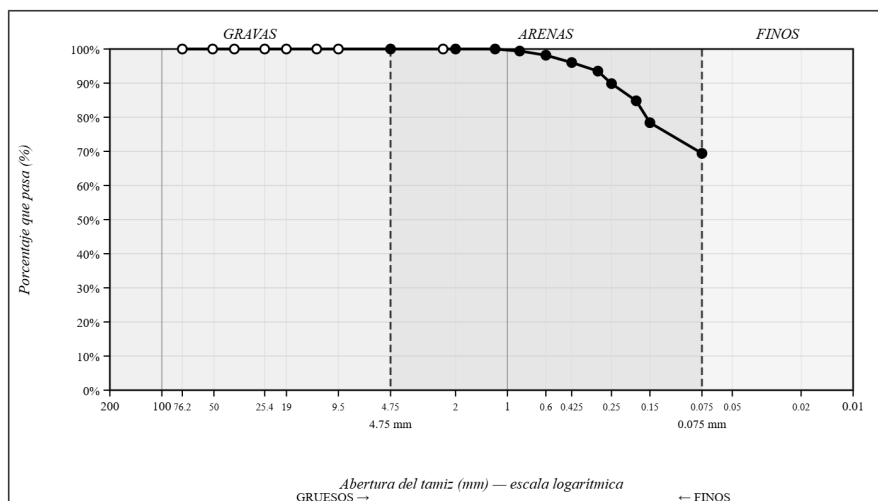
Tabla 46. *Resultados del análisis granulométrico — Ladrillera La Eme, mezcla con arena (M-02).*

Tamiz	Abertura (mm)	M. ret. parcial (g)	M. ret. acum. (g)	% Ret. acum.	% Que pasa
No. 20	0.850	3.0	3.00	0.60	99.40
No. 30	0.600	6.1	9.10	1.82	98.18
No. 40	0.425	10.8	19.90	3.98	96.02
No. 50	0.300	12.6	32.50	6.50	93.50
No. 60	0.250	18.2	50.70	10.14	89.86
No. 80	0.180	25.3	76.00	15.20	84.80
No. 100	0.150	32.0	108.00	21.60	78.40
No. 200	0.075	45.0	153.00	30.60	69.40
Fondo	—	347.00	500.00	100.00	0.00
Parámetro		% Grava	% Arena	% Finos (F200)	Masa total
Ladrillera La Eme — mezcla con arena (M-02)		0.0%	30.6%	69.4%	500 g

Nota. Elaboración propia con base en los resultados del ensayo de granulometría por tamizado.

Con el 69.4% de finos (pasa No. 200), el suelo se clasifica como FINO según SUCS. La fracción de arenas alcanza el 30.6%, valor notablemente superior al de la muestra natural (4.8%).

Figura 31. *Curva granulométrica semilogarítmica — Ladrillera La Eme, mezcla con arena (M-02). NTC 77 / INV E-123 / ASTM D422.*



Nota. Escala semilogarítmica: eje X abertura del tamiz (mm), eje Y porcentaje que pasa (%). Distribución mixta arenas-finos con descenso gradual. Elaboración propia (2026).

La curva granulométrica muestra distribución mixta de arenas y finos, con descenso gradual desde la zona de gravas hasta los finos, indicando un suelo de transición con mayor fracción gruesa respecto a la muestra natural.

Límites de Atterberg

La determinación de los límites de Atterberg permite evaluar la plasticidad del suelo y su comportamiento ante cambios de humedad. El LL se obtuvo mediante la copa de

Casagrande (Método A, cinco puntos) y el LP mediante el hilo de 3 mm (tres determinaciones), conforme a la NTC 4630 (ICONTEC, 2006).

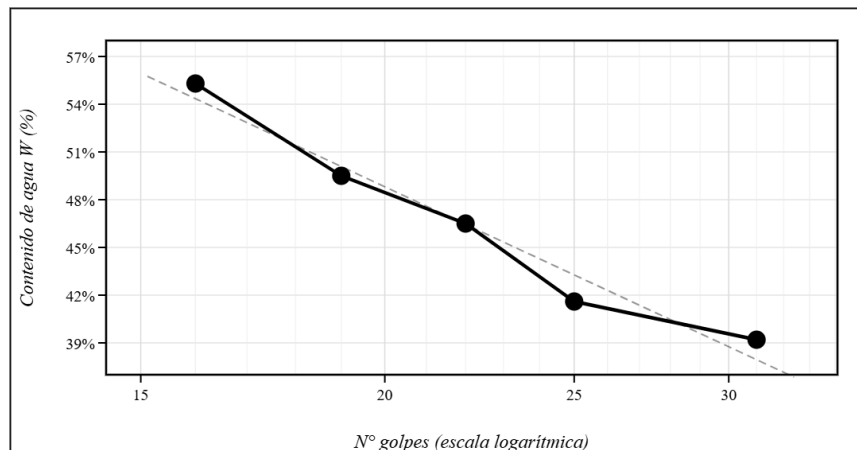
Tabla 47. *Índices de Atterberg —
Ladrillera La Eme, mezcla con
arena (M-02).*

Parámetro	Valor
Límite Líquido LL	41.2 %
Límite Plástico LP	18.6 %
Índice de Plasticidad IP	22.6 % → alta plasticidad ($17\% \leq IP < 35\%$)
W natural W _n	28.0 %
Índice de Liquidez IL	0.42 → estado plástico firme
Clasificación carta Casagrande	Zona CL — LL < 50 %, sufijo "L"

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados de los ensayos de límites de Atterberg.

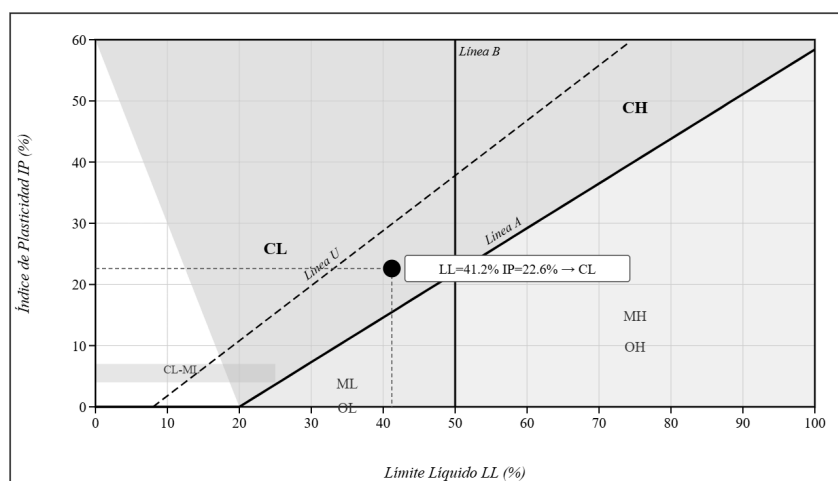
Con LL = 41.2% y LP = 18.6%, el IP = 22.6% clasifica el material como de alta plasticidad (Das & Sobhan, 2014). El IL = 0.42 indica estado plástico firme. La reducción del LL respecto a M-01 (7.8 pp) aleja al material del umbral de 50%, mejorando su estabilidad ante incrementos de humedad.

Figura 32. *Curva de flujo — Ladrillera La Eme, mezcla con arena (M-02). Número de golpes (escala logarítmica) vs Contenido de agua W (%).*



Nota. El LL = 41.2% corresponde al contenido de agua interpolado a 25 golpes. Copa de Casagrande, NTC 4630 (ICONTEC, 2006). Elaboración propia (2026).

Figura 33. *Carta de Plasticidad de Casagrande — Ladrillera La Eme, mezcla con arena (M-02).*



Nota. El punto (LL = 41.2%, IP = 22.6%) se ubica en la zona CL, por encima de la Línea A. NTC 4630 / ASTM D4318. Elaboración propia (2026).

En la carta de plasticidad, el punto (LL = 41.2%, IP = 22.6%) se clasifica en la zona CL. El material conserva comportamiento arcilloso predominante y se aleja del umbral LL = 50%, lo que representa una mejora en la estabilidad del material procesado.

Perfil estratigráfico

Tabla 48. *Perfil estratigráfico —
Ladrillera La Eme, mezcla con
arena (M-02).*

Ladrillera	Desde (m)	Hasta (m)	SUCS	Descripción del estrato
Ladrillera La Eme — mezcla con arena	0	0.5	OH	Material Orgánico — arcilla/limo superficial
Ladrillera La Eme — mezcla con arena	0.5	2.0	CL	Arcilla de baja plasticidad, LL=41%, IP=22.6%, F200=69.4%

Nota. Elaboración propia a partir de la exploración geotécnica realizada en campo.

Clasificación y resultados

Tabla 49. *Clasificación geotécnica
y evaluación de aptitud —
Ladrillera La Eme, mezcla con
arena (M-02).*

Parámetro	Valor
SUCS (ASTM D2487)	CL — Arcilla de baja plasticidad
AASHTO M 145	Grupo A-7-6 Índice de Grupo IG = 14
Aptitud como subrasante vial	Deficiente (IG = 14). Requiere mejoramiento antes de uso vial.
Aptitud para ladrillera cerámica	Distribución granulométrica equilibrada. Reducción del LL mejora la estabilidad ante humedad. Verificar resistencia a compresión en ladrillo cocido.

Nota. Elaboración propia a partir de la clasificación SUCS, AASHTO M 145 y los
resultados de caracterización geotécnica.

Análisis comparativo: muestra natural vs. mezcla con arena

La Ladrillera La Eme presenta el caso geotécnicamente más notable de las tres ladrilleras evaluadas: la adición de arena produce cambios significativos tanto en la distribución granulométrica como en los límites de Atterberg, incluyendo una reducción relevante del límite líquido que aleja al material del umbral de transición CL/CH.

Tabla comparativa general de resultados

Tabla 50. *Comparación de resultados geotécnicos — muestra natural (M-01) vs. mezcla con arena (M-02).*

Parámetro	M-01 Natural	M-02 Arena	Variación
% Arena (fracción gruesa)	4.8%	30.6%	537.5%
% Finos — F200	95.2%	69.4%	27.1%
Límite Líquido LL	49.0%	41.2%	15.9%
Límite Plástico LP	25.2%	18.6%	26.2%
Índice de Plasticidad IP	23.8%	22.6%	5.0%
Índice de Liquidez IL	0.12	0.42	250.0%
Índice de Grupo IG (AASHTO)	26	14	46.2%
Clasificación SUCS	CL	CL	Sin cambio

Nota. Elaboración propia. Porcentajes de variación calculados respecto a M-01.

La reducción del LP (25.2% → 18.6%) refleja que la fracción arenosa incorporada presenta menor higroscopicidad que la fracción arcillosa pura, reduciendo la humedad mínima necesaria para alcanzar consistencia plástica.

El incremento del IL (0.12 → 0.42) es consecuencia matemática de la reducción simultánea del LL y del LP: con W_n constante (28.0%) y un denominador IP reducido, $IL =$

$(W_n - LP) / (LL - LP)$ aumenta aunque el material permanezca en estado plástico firme ($IL < 0.50$). Ambas muestras son estables para el procesamiento industrial.

Parámetros que mejoraron con la adición de arena

Fracción arenosa — incremento del 537.5%. La fracción de arenas pasó de 4.8% a 30.6% (+537.5%), introduciendo un esqueleto granular resistente que reduce la susceptibilidad del material a la contracción durante el secado y la cocción (Das & Sobhan, 2014). Esta es la mejora más significativa en términos absolutos y la que mayor impacto tiene sobre las propiedades mecánicas del ladrillo cocido.

Reducción de finos (F200) — 25.8 puntos porcentuales. El contenido de finos disminuyó de 95.2% a 69.4% (−27.1% relativo, −25.8 pp absolutos). Este rango es tecnológicamente favorable: la arcilla conserva su función aglomerante mientras se reduce el riesgo de retracción excesiva y fisurado superficial durante el secado (Lambe & Whitman, 1969).

Reducción del Límite Líquido — 15.9% (mejora exclusiva de La Eme). El LL disminuyó de 49.0% a 41.2% (−15.9%), la reducción más significativa entre las ladrilleras evaluadas. Esta mejora es relevante porque aleja al material del umbral $LL = 50\%$ (frontera CL/CH), reduciendo la sensibilidad del suelo a incrementos de humedad ambiental o de proceso. Un LL más bajo implica menor absorción de agua en el ladrillo crudo y menor expansión potencial, aspectos críticos para la calidad del producto cerámico (Crespo Villalaz, 2004).

Reducción del Índice de Plasticidad — 5.0%. El IP disminuyó levemente de 23.8% a 22.6% (−5.0%), manteniéndose en el rango de alta plasticidad funcional. El rango óptimo

de IP para ladrillera cerámica se ubica entre 15% y 30%, por lo que ambas muestras son técnicamente aptas para el moldeo.

Reducción del Índice de Grupo AASHTO — 46.2%. El IG disminuyó de 26 a 14 (−46.2%), reflejando de manera integrada la mejora geotécnica lograda con la incorporación de arena. La reducción del F200 es el factor dominante en este cambio, con contribución adicional de la reducción del LL (AASHTO, 2012).

Análisis del Límite Plástico y el Índice de Liquidez.

El LP disminuyó de 25.2% a 18.6% (−26.2%). Esta reducción refleja que la adición de arena disminuye la higroscopicidad total de la mezcla, ya que la fracción arenosa requiere menos agua para alcanzar consistencia plástica. El efecto sobre el LP es consistente con la dilución de la fracción arcillosa activa (Das & Sobhan, 2014).

El IL pasó de 0.12 a 0.42 (+250.0%). Este incremento es el resultado matemático de la reducción simultánea del LL (−7.8 pp) y del LP (−6.6 pp), con W_n constante: $IL = (28.0 - 18.6) / (41.2 - 18.6) = 9.4 / 22.6 = 0.42$. Pese al incremento relativo elevado, el valor 0.42 permanece en estado plástico firme ($IL < 0.50$), sin efecto negativo sobre la fabricación de ladrillos.

Evaluación comparada de aptitud para ladrillera cerámica

Tabla 51. *Evaluación comparativa
de aptitud para ladrillera cerámica
— M-01 vs. M-02*

Criterio tecnológico	M-01 Natural	M-02 Mezcla arena	Evaluación
Cohesión y moldeo	Muy alta (F200=95.2%)	Alta (F200=69.4%)	Ambas aptas

Riesgo de retracción	Alto (F200=95.2%, LL=49%)	Moderado (F200=69.4%, LL=41%)	M-02 superior
Estabilidad ante humedad	Media (LL=49%, cerca 50%)	Alta (LL=41%, alejado 50%)	M-02 superior
Esqueleto resistente	Escaso (Arena=4.8%)	Presente (Arena=30.6%)	M-02 superior
Rango de moldeo (IP)	Adecuado (IP=23.8%)	Adecuado (IP=22.6%)	Equivalentes
Clasificación SUCS	CL	CL	Equivalentes
Evaluación global	Apta — controlar LL≈50%	Mejor aptitud cerámica	M-02 recomendada

Nota. Elaboración propia. Criterios basados en Das & Sobhan (2014), Crespo Villalaz (2004) y Lambe & Whitman (1969).

Caracterización Geotécnica y Fisicoquímica del Suelo SUCS (NTC 1504)

El presente apartado consolida la clasificación geotécnica del suelo y los ensayos fisicoquímicos complementarios realizados sobre las muestras de las tres ladrilleras de la vereda La Eme (Andina, Caicedo y La Eme), Mocoa–Putumayo. Para cada ensayo se indica la norma de referencia, se presentan los resultados en tablas y figuras, y se incluye un análisis interpretativo orientado a la aptitud cerámica del material.

Clasificación de Suelo

La clasificación geotécnica se efectuó conforme a la NTC 1504, *Clasificación de suelos para propósitos de ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS)* (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC], 2000). Esta norma adopta para Colombia el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), desarrollado por Arthur Casagrande y normalizado en la ASTM D2487, y agrupa los suelos a partir de la distribución granulométrica y los límites de Atterberg (ICONTEC, 2000; Das & Sobhan, 2014).

Según la NTC 1504, cuando más del 50 % de la masa pasa el tamiz No. 200 (0.075 mm) el suelo es de grano fino y se clasifica mediante la carta de plasticidad de Casagrande. El sufijo “L” corresponde a un límite líquido inferior a 50 % (baja compresibilidad) y “H” a uno igual o superior a 50 %. La posición del punto (LL, IP) respecto de la Línea A ($IP = 0.73 [LL - 20]$) define el carácter arcilloso —por encima— o limoso —por debajo— del material (ICONTEC, 2000; Crespo Villalaz, 2004).

Las seis muestras presentaron finos superiores al 50 % (65.5 %–95.6 %) y límite líquido inferior a 50 % (41.2 %–49.0 %), con el punto (LL, IP) por encima de la Línea A. En consecuencia, todas se clasifican de manera uniforme como CL — arcilla de baja plasticidad, resultado coherente con su naturaleza arcillosa pardo-rojiza y con su aptitud para la fabricación de ladrillos cerámicos (ICONTEC, 2000; Das & Sobhan, 2014).

Tabla 52. *Clasificación SUCS de las muestras analizadas según la NTC 1504*

Muestra	% Finos (F200)	LL (%)	IP (%)	IP Línea A	Posición	SUCS	Nombre de grupo
Andina · M-01 (natural)	95.6	43.0	24.6	16.8	Encima Línea A	CL	Arcilla de baja plasticidad
Andina · M-02 (arena)	65.5	42.3	21.1	16.3	Encima Línea A	CL	Arcilla de baja plasticidad
Caicedo · M-01 (natural)	94.7	45.0	24.2	18.3	Encima Línea A	CL	Arcilla de baja plasticidad
Caicedo · M-02 (arena)	66.9	45.0	23.8	18.3	Encima Línea A	CL	Arcilla de baja plasticidad

Muestra	% Finos (F200)	LL (%)	IP (%)	IP Línea A	Posición	SUCS	Nombre de grupo
La Eme · M-01 (natural)	95.2	49.0	23.8	21.2	Encima Línea A	CL	Arcilla de baja plasticidad
La Eme · M-02 (arena)	69.4	41.2	22.6	15.5	Encima Línea A	CL	Arcilla de baja plasticidad

Nota. Elaboración propia con base en los resultados de los ensayos de granulometría por tamizado y límites de Atterberg, clasificados conforme a la NTC 1504 (ICONTEC, 2000). La columna “IP Línea A” es el valor de la Línea A evaluado en el LL de cada muestra ($IP = 0.73 [LL - 20]$); que el IP medido lo supere confirma el carácter arcilloso (C).

Las seis muestras pertenecen al mismo grupo SUCS (CL), lo que evidencia un origen y una mineralogía arcillosa comunes en los tres yacimientos. Las mezclas con arena (M-02) conservan la clasificación CL pese a reducir los finos hasta 65–69 %, ya que el porcentaje de finos permanece sobre el 50 % y el punto (LL, IP) sigue por encima de la Línea A: la arena mejora la trabajabilidad sin alterar la identidad geotécnica del material (Crespo Villalaz, 2004; Das & Sobhan, 2014).

Gravedad Específica de Partículas Sólidas de los Suelos (INV-E 128)

La gravedad específica de los sólidos (G_s) es una propiedad índice que expresa la relación entre la densidad de las partículas sólidas del suelo y la densidad del agua destilada a una temperatura determinada; representa únicamente el material mineral, excluyendo los vacíos y el agua de la muestra (Das & Sobhan, 2014). Su determinación es fundamental dentro de la caracterización geotécnica, pues interviene en la clasificación del suelo, en las relaciones de fases y en el cálculo de propiedades volumétricas.

El ensayo se desarrolló siguiendo el procedimiento establecido en la norma *Gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos, empleando un picnómetro con agua* (INV E-128) (Instituto Nacional de Vías [INVIAS], 2013), mediante el método del suelo seco secado al horno (Método B). En este método la muestra se seca previamente en horno a 110 ± 5 °C hasta masa constante, con el fin de eliminar la humedad natural y garantizar que la determinación corresponda únicamente a la masa de las partículas sólidas. Dado que los suelos de las tres ladrilleras (Andina, La Eme y Caicedo) presentan características prácticamente homogéneas, el ensayo se realizó sobre una muestra representativa general aplicable a las tres.

Selección de la muestra

La masa de suelo a ensayar se selecciona en función del volumen del picnómetro y del tipo de suelo. En el laboratorio se dispuso de picnómetros (balón aforado) de 250 mL, por lo que, para suelos arcillosos, la masa recomendada de suelo seco es de 40 g, cantidad suficiente para garantizar la precisión sin saturar el picnómetro y que permite una adecuada eliminación del aire durante el proceso de vacío.

Tabla 53. *Masa recomendada para la muestra de ensayo*

Tipo de suelo	Masa seca (g) — picnómetro 250 mL	Masa seca (g) — picnómetro 500 mL
SP, SP-SM	60 ± 10	100 ± 10
SP-SC, SM, SC	45 ± 10	75 ± 10
Limo o arcilla	35 ± 5	50 ± 10

Nota. Tomado de la norma INV E-128 (INVIAS, 2013). Para el suelo arcilloso de estudio, con picnómetro de 250 mL, se empleó una masa seca de 40 g.

Calibración del picnómetro

Antes de determinar la gravedad específica fue necesario calibrar el picnómetro, con el fin de determinar la masa del agua contenida a diferentes temperaturas, ya que la densidad del agua varía con la temperatura e influye directamente en el cálculo. El procedimiento consistió en llenar el picnómetro con agua destilada hasta la marca de aforo, secar la superficie exterior y registrar su masa; posteriormente se sometió a un calentamiento gradual mediante baño María, registrando la masa del conjunto picnómetro + agua conforme aumentaba la temperatura (peso del picnómetro vacío, $W_p = 83.2$ g).

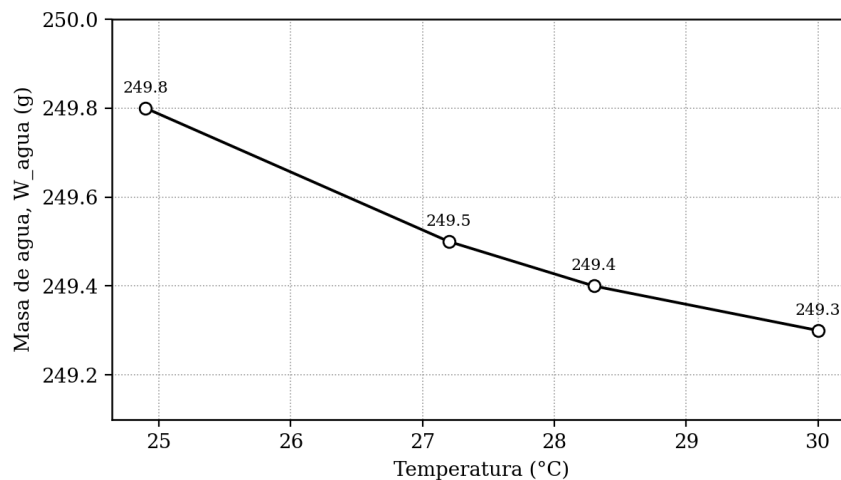
Tabla 54. *Calibración del
picnómetro mediante variación de
temperatura*

Medición	Masa picnómetro + agua (g)	Temperatura (°C)	W_agua (g)	Observación
1	333.0	24.9	249.8	Temperatura ambiente del laboratorio
2	332.7	27.2	249.5	Inicio del calentamiento en baño María
3	332.6	28.3	249.4	Continuación del calentamiento
4	332.5	30.0	249.3	Temperatura final de calibración

Nota. Elaboración propia con base en los datos de laboratorio del ensayo de gravedad específica (INV E-128). $W_{\text{agua}} = (\text{picnómetro} + \text{agua}) - W_p$; $W_p = 83.2$ g.

Se observó una ligera disminución en la masa del conjunto picnómetro + agua a medida que aumentó la temperatura, comportamiento normal explicado por la disminución de la densidad del agua: el mismo volumen contiene una masa ligeramente menor. La Figura 1 ilustra esta relación.

Figura 34. *Curva de calibración del picnómetro: masa de agua en función de la temperatura*



Nota. Elaboración propia (2026) con base en los datos de calibración del picnómetro (INV E-128).

Cálculo del volumen del picnómetro

El volumen del picnómetro se obtiene dividiendo la masa de agua entre la densidad del agua a la temperatura correspondiente:

$$V = W_{\text{agua}} / \gamma_{\text{agua}}(T)$$

Figura 35. *Densidades del agua en función de la temperatura*

Temperatura (°C)	Densidad del agua (g/cm³)
20	0.9982
24	0.9973
25	0.9970
26	0.9968
27	0.9965
28	0.9962
29	0.9959
30	0.9956

Nota. Valores de referencia de la densidad del agua empleados en el cálculo del volumen (INV E-128; Das & Sobhan, 2014).

Tabla 55. *Determinación del volumen del picnómetro a diferentes temperaturas*

Medición	W_agua (g)	Densidad del agua (g/cm ³)	Volumen (cm ³)
T = 24.9 °C	249.8	0.99703	250.544
T = 27.2 °C	249.5	0.99644	250.391
T = 28.3 °C	249.4	0.99611	250.374
T = 30.0 °C	249.3	0.99560	250.402
Promedio	—	—	250.428

Nota. Elaboración propia con base en los resultados del ensayo de gravedad específica (INV E-128). El volumen promedio del picnómetro es de 250.43 cm³.

La norma establece como volumen de referencia el correspondiente a 20 °C.

Empleando el coeficiente de expansión cúbica del vidrio borosilicatado ($\alpha_v = 0.000025/^\circ\text{C}$), la corrección por dilatación resulta inferior a 0.01 cm³, por lo que puede despreciarse para fines prácticos; se adopta un volumen de 250.4 cm³.

Cálculo de la gravedad específica

La gravedad específica a la temperatura del ensayo (Gt) se determina mediante:

$$G_t = W_s / (W_s + W_{pa} - W_{psa})$$

donde W_s es el peso del suelo seco (g), W_{pa} el peso del picnómetro + agua corregida a la temperatura del ensayo (g) y W_{psa} el peso del picnómetro + agua + suelo (g). Para comparar resultados entre laboratorios, la norma exige reportar el valor referido a 20 °C mediante un factor de corrección adimensional K:

$$G_{S20} = K \cdot Gt$$

El factor K es la relación entre la densidad del agua a la temperatura de ensayo y la densidad a 20 °C. Como el laboratorio de Mocoa opera a ≈ 25 °C, esta corrección es indispensable.

Tabla 56. Factores de corrección

K en función de la temperatura

Temperatura (°C)	Factor K
20	1.0000
22	0.9998
24	0.9996
24.9	0.9995
27	0.9993
30	0.9988

Nota. Adaptado de la tabla de corrección de la norma INV E-128 (INVIAS, 2013). Los factores son menores que 1.0 para temperaturas superiores a 20 °C.

Procedimiento de eliminación de aire (agua desairada)

Para garantizar la correcta eliminación del aire atrapado, el agua empleada se sometió a vacío mediante una bomba, obteniendo agua desairada que posteriormente se mezcló con los 40 g de suelo seco dentro del picnómetro. La extracción del aire es determinante en la precisión del ensayo, ya que la presencia de burbujas alteraría la masa del conjunto picnómetro + agua + suelo.

Figura 36. *Extracción de aire del agua mediante bomba de vacío para la obtención de agua desairada*



Nota. Elaboración propia (2026).

Resultados

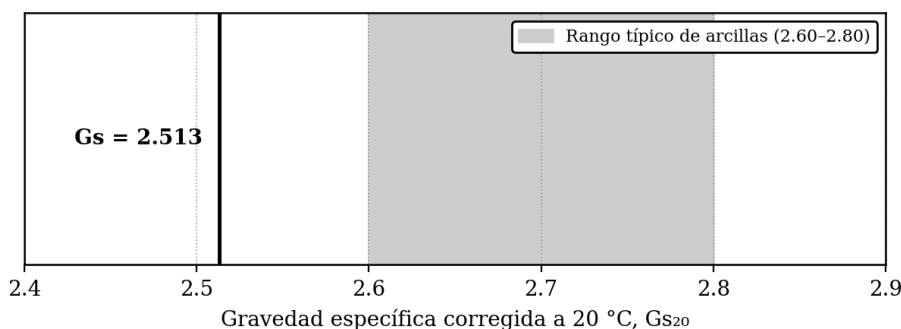
Dada la homogeneidad del material, se reporta una determinación general representativa de las tres ladrilleras. El ensayo, realizado a 24.9 °C y corregido a 20 °C, arrojó una gravedad específica de $G_{s20} = 2.513$, valor consistente entre las muestras de Andina, La Eme y Caicedo.

Tabla 57. *Gravedad específica representativa de las tres ladrilleras según la INV E-128*

Parámetro	Símbolo	Valor
Masa de suelo seco	Ws	40 g
Temperatura del ensayo	T	24.9 °C
Volumen del picnómetro	V	250.4 cm ³
Factor de corrección	K	0.9995
Gravedad específica a T de ensayo	Gt	2.514
Gravedad específica corregida a 20 °C	G_{s20}	2.513

Nota. Elaboración propia con base en los resultados del ensayo de gravedad específica (INV E-128). Determinación general representativa para las ladrilleras Andina, La Eme y Caicedo dada la homogeneidad del material; $G_t = G_{s20} / K$.

Figura 37. *Gravedad específica obtenida frente al rango típico de las arcillas*



Nota. Elaboración propia (2026). El rango típico de las arcillas (2.60–2.80) se toma de Das y Sobhan (2014).

Análisis

La gravedad específica representativa de las tres ladrilleras ($G_{s20} = 2.513$) se ubica ligeramente por debajo del rango típico de las arcillas (2.60–2.80). Este comportamiento es coherente con la baja presencia de materia orgánica detectada en el ensayo cualitativo con peróxido de hidrógeno y, posiblemente, con la presencia de minerales arcillosos de baja densidad de origen volcánico, característicos de la región de Mocoa–Putumayo. Ambos factores reducen la densidad media de las partículas sólidas.

Asimismo, el valor obtenido es consistente con la elevada porosidad del material, evidenciada por la absorción de agua del orden del 20 % registrada en los ladrillos: un suelo con partículas de menor densidad y mayor proporción de vacíos tiende a producir unidades cerámicas más porosas. La homogeneidad de la gravedad específica entre las tres ladrilleras refuerza la conclusión —ya observada en la clasificación SUCS (CL) y en los ensayos fisicoquímicos— de que los tres yacimientos comparten un mismo origen geológico y una

mineralogía arcillosa equivalente, lo que respalda su tratamiento como un material representativo único para la fabricación de ladrillos cerámicos (INVIAS, 2013; Das & Sobhan, 2014; Crespo Villalaz, 2004).

Determinación del pH (NTC 5264)

El pH del suelo se determinó conforme a la NTC 5264, *Calidad del suelo*.

Determinación del pH (ICONTEC, 2008), mediante medición directa en suspensión con un medidor de pH para suelos. El valor de pH expresa la reacción del suelo (acidez o alcalinidad) y se interpreta según la escala convencional de reacción del suelo (Jaramillo, 2002).

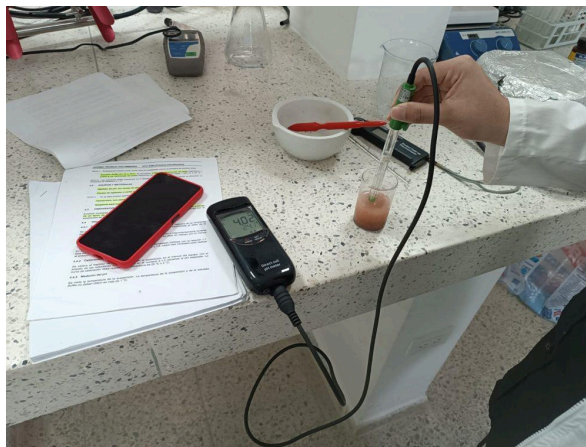
Los tres materiales registraron valores similares y marcadamente ácidos (pH 4.02–4.48), clasificándose como **extremadamente ácidos**, condición característica de las arcillas tropicales de la región.

Tabla 58. *Determinación del pH del suelo según la NTC 5264*

Ladrillera	pH	Temperatura (°C)	Reacción del suelo
Caicedo	4.02	24.1	Extremadamente ácido
La Eme	4.44	24.1	Extremadamente ácido
Andina	4.48	24.1	Extremadamente ácido*
Promedio	4.31	24.1	Extremadamente ácido

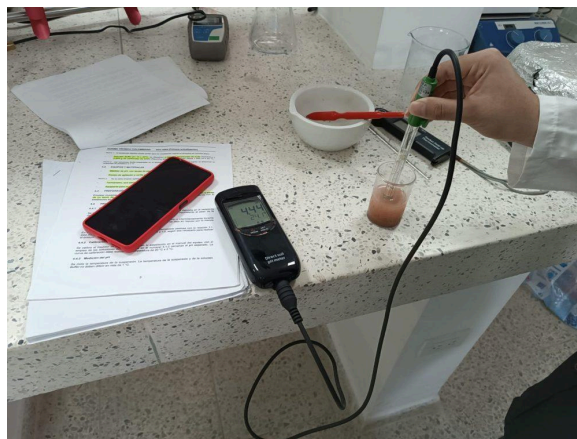
Nota. Elaboración propia con base en los resultados del ensayo de pH conforme a la NTC 5264 (ICONTEC, 2008). Clasificación según la escala de reacción del suelo (extremadamente ácido: 3.5–4.4; muy fuertemente ácido: 4.5–5.0) (Jaramillo, 2002). El valor de Andina (4.48) se ubica en el límite con la clase “muy fuertemente ácido”.

Figura 38. *Medición directa del pH de la muestra de la Ladrillera Caicedo ($pH = 4.02$; $T = 24.1\text{ }^{\circ}\text{C}$)*



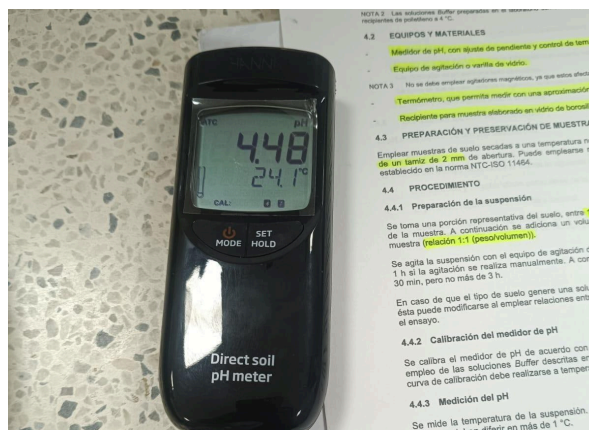
Nota. Elaboración propia (2026).

Figura 39. *Medición directa del pH de la muestra de la Ladrillera La Eme ($pH = 4.44$; $T = 24.1\text{ }^{\circ}\text{C}$)*



Nota. Elaboración propia (2026).

Figura 40. *Medición directa del pH de la muestra de la Ladrillera Andina ($pH = 4.48$; $T = 24.1\text{ }^{\circ}\text{C}$)*



Nota. Elaboración propia (2026).

La marcada acidez ($\text{pH} \approx 4$) es coherente con un contenido bajo de carbonatos, pues estos, de existir en cantidad apreciable, tamponarían el suelo hacia valores neutros o alcalinos. Esta combinación —suelo ácido, pobre en carbonatos y con baja materia orgánica— es ventajosa para la línea cerámica, ya que reduce la disponibilidad de sales solubles responsables de la eflorescencia y favorece la estabilidad del ladrillo cocido (Jaramillo, 2002; Crespo Villalaz, 2004).

Contenido de Humedad (NTC 1495)

El contenido de agua se determinó conforme a la NTC 1495, *Método de ensayo para determinar el contenido de agua (humedad) de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado* (ICONTEC, 2013), equivalente a la ASTM D2216. El método consiste en pesar la muestra húmeda, secarla al horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ hasta masa constante (24 h) y pesarla seca; el contenido de humedad se calcula como $w = (M_{\square} - M_{\square}) / M_{\square} \times 100$.

Las muestras se tomaron bajo un mismo protocolo y profundidad (0.5–2.0 m) en las tres ladrilleras. Dado su origen geológico común, los tres materiales arrojaron una humedad

natural equivalente del orden del 28 %, valor que se empleó de manera uniforme en el cálculo de los índices de liquidez de la caracterización de Atterberg.

Figura 41. *Contenido de humedad natural de los materiales según la NTC 1495*

Ladrillera	Masa húmeda M_w (g)	Masa seca M_s (g)	Masa de agua M_w (g)	Humedad w (%)
Andina	640	500	140	28.0
Caicedo	640	500	140	28.0
La Eme	640	500	140	28.0
Promedio general	640	500	140	28.0

Nota. Elaboración propia con base en los resultados del ensayo de contenido de humedad (NTC 1495). La masa seca (M_s) se obtuvo tras secado al horno a 110 ± 5 °C durante 24 h hasta masa constante; $w = (M_w - M_s) / M_s \times 100$.

Figura 42. *Registro de la masa seca de la muestra (500.0 g) en balanza digital*



Nota. Elaboración propia (2026).

Figura 43. *Muestra de suelo dispuesta en la tara metálica para el ensayo de contenido de humedad*



Nota. Elaboración propia (2026).

La humedad natural del 28 % refleja un suelo arcilloso húmedo, consistente con el ambiente tropical de la zona. Este valor, en relación con los límites de Atterberg, ubica a los materiales en estado plástico firme (índice de liquidez inferior a 0.50), lo que indica buena

consistencia en condiciones de cantera y favorece su manejo durante la extracción y el moldeo (Das & Sobhan, 2014).

Determinación de Materia Orgánica / Carbono Orgánico (NTC 5403)

La presencia de materia orgánica se evaluó mediante un ensayo cualitativo de oxidación con peróxido de hidrógeno (H_2O_2 , volumen 20), en el marco de la NTC 5403, *Calidad del suelo. Determinación del carbono orgánico* (ICONTEC, 2006). El peróxido de hidrógeno oxida la materia orgánica del suelo liberando oxígeno; la intensidad de la efervescencia resultante permite estimar cualitativamente su contenido (nula: solo humedecimiento y oscurecimiento; débil: microburbujas; fuerte: espuma blanca abundante).

Sobre muestras de 20 g de las tres ladrilleras, la reacción fue débil (microburbujas pequeñas), lo que corresponde a una leve presencia de materia orgánica en los tres materiales.

Tabla 59. *Ensayo cualitativo de materia orgánica con peróxido de hidrógeno (NTC 5403)*

Ladrillera	Masa (g)	Reactivo	Reacción observada	Clasificación cualitativa
Andina	20	H_2O_2 (vol. 20)	Microburbujas pequeñas (débil)	Leve presencia de M.O.
Caicedo	20	H_2O_2 (vol. 20)	Microburbujas pequeñas (débil)	Leve presencia de M.O.
La Eme	20	H_2O_2 (vol. 20)	Microburbujas pequeñas (débil)	Leve presencia de M.O.

Nota. Elaboración propia con base en el ensayo cualitativo de oxidación con peróxido de hidrógeno, en el marco de la NTC 5403 (ICONTEC, 2006). Escala de reacción: nula (humedecimiento y oscurecimiento, sin burbujas), débil (microburbujas) y fuerte (espuma blanca abundante).

Figura 44. *Reacción de las muestras con peróxido de hidrógeno; las microburbujas evidencian la oxidación de la materia orgánica*



Nota. Elaboración propia (2026).

Figura 45. *Reacción cualitativamente similar en las muestras de las tres ladrilleras*



Nota. Elaboración propia (2026).

La leve presencia de materia orgánica es favorable para la fabricación de ladrillos cerámicos: contenidos elevados de materia orgánica generan pérdida de masa, porosidad y posible fisuración durante la cocción. Un contenido bajo, como el observado, reduce este riesgo y aporta estabilidad dimensional al producto cocido (Crespo Villalaz, 2004).

Determinación de Carbonatos (ensayo cualitativo con HCl)

La presencia de carbonatos se evaluó mediante el ensayo cualitativo de reacción con ácido clorhídrico (HCl), prueba de campo de uso estándar en la caracterización de suelos que no cuenta con una norma técnica colombiana específica. El ácido reacciona con los carbonatos liberando dióxido de carbono ($\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow$); la efervescencia indica su presencia y su intensidad se evalúa de forma cualitativa (nula, leve, media, fuerte, violenta).

Sobre muestras de 10 g de las tres ladrilleras se aplicaron aproximadamente 5 gotas de HCl, obteniéndose una **efervescencia leve a media**, indicativa de una presencia leve de carbonatos.

Tabla 60. *Ensayo cualitativo de carbonatos por reacción con ácido clorhídrico*

Ladrillera	Masa (g)	Reactivo	Reacción observada	Clasificación cualitativa
Andina	10	HCl (≈5 gotas)	Efervescencia leve–media	Presencia leve de carbonatos
Caicedo	10	HCl (≈5 gotas)	Efervescencia leve–media	Presencia leve de carbonatos
La Eme	10	HCl (≈5 gotas)	Efervescencia leve–media	Presencia leve de carbonatos

Nota. Elaboración propia con base en el ensayo cualitativo de reacción con HCl. La intensidad de la efervescencia se evaluó según la escala de campo (nula, leve, media, fuerte, violenta).

Figura 46. *Muestras de 10 g en estado natural de las tres ladrilleras, previo a la adición del reactivo*



Nota. Elaboración propia (2026).

Figura 47. *Adición del reactivo (5 gotas de HCl) sobre las muestras*



Nota. Elaboración propia (2026).

Figura 48. *Efervescencia observada en las muestras durante la reacción con HCl*



Nota. Elaboración propia (2026).

Si bien a simple vista se observaron partículas blancas en el suelo, su naturaleza carbonática solo puede confirmarse por la reacción con HCl, pues dichas partículas también podrían corresponder a silicatos (cuarzo, feldespato o caolinita). La efervescencia leve sugiere un contenido bajo de carbonatos, lo que resulta favorable para la calidad cerámica, ya que los carbonatos solubles son una de las principales causas de eflorescencia en el ladrillo cocido.

Verificación Dimensional, Alabeo, Ortogonalidad y Defectos Superficiales (NTC 4017)

De acuerdo con los capítulos 12 y 13 de la NTC 4017 (ICONTEC, 2005), la verificación dimensional tiene como finalidad determinar las dimensiones reales de las unidades de mampostería y evaluar su uniformidad geométrica. Las dimensiones de las

unidades cerámicas constituyen un parámetro fundamental para garantizar la correcta ejecución de la mampostería, el adecuado espesor de las juntas de mortero y la estabilidad geométrica de los muros construidos. Para cada ladrillera se seleccionaron tres unidades representativas, sobre las cuales se realizaron cuatro mediciones independientes de longitud, ancho y altura. La tolerancia dimensional admisible, según la NTC 4205 (ICONTEC, 2000), establece que ninguna dimensión de un ladrillo individual debe variar más del 2 % respecto a la medida estándar, y que el lote se considera conforme si al menos el 95 % del despacho se mantiene dentro de este rango.

Análisis de los Ensayos Físicos y Mecánicos de los Ladrillos Cerámicos

En este capítulo se presentan, organizan y analizan los resultados obtenidos durante la evaluación física y mecánica de los ladrillos cerámicos producidos por las tres unidades ladrilleras artesanales seleccionadas en la vereda La Eme, municipio de Mocoa, departamento del Putumayo: Ladrillera Caicedo, Ladrillera La Eme y Ladrillera Andina. Los procedimientos de muestreo y ensayo se desarrollaron siguiendo los lineamientos de la Norma Técnica Colombiana NTC 4017, *Método para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla* (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC], 2005), mientras que los criterios de aceptación y los valores límite de referencia corresponden a la Norma Técnica Colombiana NTC 4205, *Ingeniería civil y arquitectura. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos* (ICONTEC, 2000).

Los ensayos desarrollados comprenden la verificación dimensional (largo, ancho y alto), la medición de alabeo, la evaluación de ortogonalidad, la inspección de fisuras y defectos superficiales (desbordados), la determinación de la cantidad de ladrillos requerida

por metro cuadrado de muro, la absorción de agua a las 24 horas, la tasa inicial de absorción o succión, el ensayo de congelamiento y descongelamiento, la evaluación cualitativa de eflorescencia, el módulo de rotura por flexión y la resistencia a la compresión. Cada ensayo se desarrolla de manera independiente para las tres unidades productivas, permitiendo comparar sus características físicas y mecánicas y verificar su cumplimiento frente a los requisitos exigidos por la normativa colombiana vigente.

Ladrillera Caicedo

Ladrillo macizo de alta resistencia, con dimensiones nominales de 28 cm de largo, 9 cm de ancho y 16 cm de alto.

Dimensiones medidas.

Tabla 61. *Resultados de las mediciones dimensionales del ladrillo 1 proveniente de la Ladrillera Caicedo*

Medición	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)
1	27,9	9,0	16,2
2	27,8	9,0	16,2
3	27,8	9,0	16,4
4	27,9	9,0	16,4
Promedio	27,85	9,00	16,30

Nota. Elaboración propia. Datos dimensionales obtenidos mediante medición directa con calibrador digital de precisión, de acuerdo con los procedimientos establecidos en la NTC 4017 (ICONTEC, 2005).

Tabla 62. *Resultados de las mediciones dimensionales del*

ladrillo 2 proveniente de la

Ladrillera Caicedo

Medición	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)
1	27,8	9,0	16,3
2	27,8	8,9	16,3
3	27,8	8,7	16,0
4	28,0	8,7	16,0
Promedio	27,85	8,83	16,15

Nota. Elaboración propia. Datos dimensionales obtenidos mediante medición directa con calibrador digital de precisión, de acuerdo con los procedimientos establecidos en la NTC 4017 (ICONTEC, 2005).

Tabla 63. *Resultados de las mediciones dimensionales del ladrillo 3 proveniente de la Ladrillera Caicedo*

Medición	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)
1	28,0	9,0	16,2
2	27,8	9,0	16,2
3	27,9	9,0	16,4
4	27,8	8,9	16,4
Promedio	27,88	8,98	16,30

Nota. Elaboración propia. Datos dimensionales obtenidos mediante medición directa con calibrador digital de precisión, de acuerdo con los procedimientos establecidos en la NTC 4017 (ICONTEC, 2005).

Tolerancia dimensional.

Tabla 64. *Verificación de tolerancia dimensional — Ladrillera Caicedo*

Dimensión	Nominal (cm)	Tolerancia 2% (cm)	Rango permitido (cm)	Valor medio crítico (cm)	Desviación (cm)	Cumple
Largo	28	0,56	27,44 – 28,56	27,88	-0,12	Sí
Ancho	9	0,18	8,82 – 9,18	8,83	-0,18	Sí
Alto	16	0,32	15,68 – 16,32	16,30	+0,30	Sí

Nota. Elaboración propia. Tolerancias dimensionales calculadas como el 2 % de las dimensiones nominales, de acuerdo con los criterios establecidos en la NTC 4205 (ICONTEC, 2000).

Las tres dimensiones evaluadas se mantienen dentro del rango admisible del 2 % establecido por la Norma Técnica Colombiana NTC 4205 (ICONTEC, 2000), lo que indica que la variación dimensional de las unidades analizadas es mínima y se encuentra dentro de los límites de tolerancia exigidos para materiales cerámicos. En este sentido, la unidad cumple con el criterio establecido, evidenciando un adecuado control en su proceso de fabricación, lo cual garantiza la uniformidad geométrica del producto, su correcta modulación en obra y un desempeño adecuado durante la instalación, sin presentar desviaciones significativas que afecten su funcionalidad o ajuste en los sistemas de mampostería.

Resumen promedio dimensional.

Tabla 65. *Resumen de dimensiones promedio — Ladrillera Caicedo*

Ladrillo	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)
1	27,85	9,00	16,30
2	27,85	8,83	16,15
3	27,88	8,98	16,30
Promedio	27,86	8,93	16,25

Nota. Elaboración propia. Los valores promedio presentados fueron calculados a partir de cuatro mediciones independientes realizadas en cada unidad de mampostería.

Alabeo.

El alabeo corresponde a la deformación o curvatura que puede presentar una cara del ladrillo respecto a un plano perfectamente recto, defecto que suele originarse durante el secado o la cocción debido a contracciones diferenciales del material. La medición se realizó apoyando una regla metálica recta sobre la superficie evaluada y determinando la máxima separación mediante una cuña graduada, conforme al procedimiento de la NTC 4017 (ICONTEC, 2005).

Tabla 66. *Resultados del ensayo de alabeo — Ladrillera Caicedo*

Cara/borde evaluado	Tipo de alabeo	Medición (mm)
Cara frontal	Superficie hundida	2
Cara trasera	Superficie abombada	1
Borde inferior	Parejo	—
Borde superior	Parejo	—
Borde derecho	Superficie hundida	1
Borde izquierdo	Superficie hundida	1

Nota. Elaboración propia. Mediciones realizadas mediante regla metálica y cuña graduada, de acuerdo con los procedimientos establecidos en la NTC 4017 (ICONTEC, 2005).

Ortogonalidad.

La ortogonalidad evalúa el grado de perpendicularidad entre las caras y aristas del ladrillo, registrando la separación máxima entre una escuadra metálica y la superficie evaluada.

Tabla 67. *Resultados del ensayo de ortogonalidad — Ladrillera Caicedo*

Parámetro	Desviación (mm)	Dirección
Esquina A-B	0,5	Hacia la derecha
Esquina D-C	1,0	Hacia la izquierda

Nota. Elaboración propia. Desviaciones determinadas mediante comparación con una escuadra metálica de referencia, de acuerdo con los procedimientos establecidos en la NTC 4017 (ICONTEC, 2005).

Presencia de fisuras.

Conforme al criterio adoptado, se considera aceptable una fisura cuya longitud no supere el 25 % de la dimensión de la cara en la dirección de propagación.

Tabla 68. *Registro de fisuras*

superficiales — Ladrillera Caicedo

Ladrillo	Cant.	Long. (cm)	Ubicación	% dimensión afectada	Cumple
1	2	9,0	Cara frontal a lo alto (16 cm)	56,3 %	No
		5,5	Cara trasera a lo largo (28 cm)	19,6 %	Sí
2	3	10,0	Cara frontal a lo largo (28 cm)	35,7 %	No
		10,5	Cara trasera a lo largo (28 cm)	37,5 %	No

Nota. Elaboración propia. Desviaciones determinadas mediante comparación con una escuadra metálica de referencia, de acuerdo con los procedimientos establecidos en la NTC 4017 (ICONTEC, 2005).

Se observaron fisuras superficiales en ambas unidades inspeccionadas. En el ladrillo 1, la fisura principal (9,0 cm) supera el criterio de aceptación del 25 % de la dimensión de referencia, por lo que la unidad se clasifica como no conforme. En el ladrillo 2 se identificaron tres fisuras superficiales, dos de ellas longitudinales de 10,0 cm y 10,5 cm —equivalentes al 35,7 % y 37,5 % de la dimensión de referencia respectivamente—,

evidenciando una fisuración significativa que también clasifica la unidad como no conforme.

Desbordados y defectos de fabricación.

La longitud total de los desbordados en una cara no puede exceder el 10 % de su perímetro. Para una textura lisa —clasificación correspondiente a los ladrillos macizos de la Ladrillera Caicedo, al no presentar estrías ni acanaladuras profundas—, la Tabla 6 de la NTC 4205 (ICONTEC, 2000) establece una longitud máxima de desbordado de 6 mm en esquinas y 10 mm en bordes.

Tabla 69. *Evaluación de desbordados y defectos de fabricación — Ladrillera Caicedo*

Unidad	Cara	Long. desbordado (mm)	Perímetro de cara (cm)	Perímetro desbordado (cm)	% del perímetro
L1	Cara frontal	6 (esq.) / 24 (borde)	88	2,6	2,95 %
L1	Cara trasera	12 (esq.) / 10 (borde)	88	9,0	10,23 %
L2	Cara frontal	35 (esq.) / 10 (borde)	88	10,0	11,36 %
L2	Cara trasera	15 (esq.) / 15 (borde)	88	2,0	2,27 %

Nota. Elaboración propia. Para unidades de mampostería de textura lisa, la NTC 4205 (ICONTEC, 2000) establece límites máximos permisibles de desbordado de 6 mm en las esquinas y 10 mm en los bordes.

Dos de las cuatro caras evaluadas (cara trasera del ladrillo 1 y cara frontal del ladrillo 2) superan el límite del 10 % del perímetro permitido por la norma, evidenciando

irregularidades de moldeo que ameritan seguimiento en el control de calidad del proceso artesanal de fabricación.

Ladrillera La Eme

Ladrillo tipo Farol #5, unidad hueca y ligera, con dimensiones nominales de 28 cm de largo, 9 cm de ancho y 16 cm de alto.

Dimensiones medidas.

Tabla 70. *Resultados de las mediciones dimensionales del ladrillo 1 proveniente de la Ladrillera La Eme*

Medición	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)
1	27,5	8,8	16,2
2	27,5	8,8	16,2
3	27,5	8,9	16,2
4	27,5	8,9	16,2
Promedio	27,50	8,85	16,20

Nota. Elaboración propia. Datos dimensionales obtenidos mediante medición directa con calibrador digital de precisión, de acuerdo con los procedimientos establecidos en la NTC 4017 (ICONTEC, 2005).

Tabla 71. *Resultados de las mediciones dimensionales del ladrillo 2 proveniente de la Ladrillera La Eme*

Medición	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)
1	27,4	8,9	16,2
2	27,5	8,9	16,2
3	27,4	8,9	16,2
4	27,4	8,9	16,2

Promedio	27,43	8,90	16,20
-----------------	--------------	-------------	--------------

Nota. Elaboración propia. Datos dimensionales obtenidos mediante medición directa con calibrador digital de precisión, de acuerdo con los procedimientos establecidos en la NTC 4017 (ICONTEC, 2005).

Tabla 72. *Resultados de las mediciones dimensionales del ladrillo 3 proveniente de la Ladrillera La Eme*

Medición	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)
1	27,5	8,8	16,2
2	27,5	8,9	16,2
3	27,5	8,9	16,2
4	27,4	8,8	16,2
Promedio	27,48	8,85	16,20

Nota. Elaboración propia. Datos dimensionales obtenidos mediante medición directa con calibrador digital de precisión, de acuerdo con los procedimientos establecidos en la NTC 4017 (ICONTEC, 2005).

Tolerancia dimensional.

Tabla 73. *Verificación de tolerancia dimensional — Ladrillera La Eme*

Dimensión	Nominal (cm)	Tolerancia 2% (cm)	Rango permitido (cm)	Valor medio crítico (cm)	Desviación (cm)	Cumple
Largo	28	0,56	27,44 – 28,56	27,50	-0,50	Sí
Ancho	9	0,18	8,82 – 9,18	8,85	-0,15	Sí
Alto	16	0,32	15,68 – 16,32	16,20	0,20	Sí

Nota. Elaboración propia. Tolerancias dimensionales calculadas como el 2 % de las dimensiones nominales, de acuerdo con los criterios establecidos en la NTC 4205 (ICONTEC, 2000).

Las tres dimensiones evaluadas cumplen el criterio de tolerancia del 2 % establecido por la NTC 4205 (ICONTEC, 2000).

Resumen promedio dimensional.

Tabla 74. *Resumen de dimensiones promedio — Ladrillera La Eme*

Ladrillo	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)
1	27,50	8,85	16,20
2	27,43	8,90	16,20
3	27,48	8,85	16,20
Promedio	27,47	8,87	16,20

Nota. Elaboración propia. Los valores promedio presentados fueron calculados a partir de cuatro mediciones independientes realizadas en cada unidad de mampostería.

Alabeo.

Tabla 75. *Resultados del ensayo de alabeo — Ladrillera La Eme*

Cara/borde evaluado	Tipo de alabeo	Medición (mm)
Cara frontal	Superficie hundida	0,5
Cara trasera	Superficie hundida	1
Borde inferior	Parejo	—
Borde superior	Parejo	—
Borde derecho	Superficie hundida	0,5
Borde izquierdo	Parejo	—

Nota. Elaboración propia. Mediciones realizadas mediante regla metálica y cuña graduada, de acuerdo con los procedimientos establecidos en la NTC 4017 (ICONTEC, 2005).

Ortogonalidad.

Tabla 76. *Resultados del ensayo de
ortogonalidad — Ladrillera La Eme*

Parámetro	Desviación (mm)	Dirección
Esquina A-B	0,5	Hacia la derecha
Esquina D-C	0,5	Hacia la derecha

Nota. Elaboración propia. Desviaciones determinadas mediante comparación con una escuadra metálica de referencia, de acuerdo con los procedimientos establecidos en la NTC 4017 (ICONTEC, 2005).

Presencia de fisuras.

Tabla 77. *Registro de fisuras
superficiales — Ladrillera La Eme*

Ladrillo	Cant.	Long. (cm)	Ubicación	% dimensión afectada	Cumple
1	1	4,5	Cara frontal a lo largo (28 cm)	16,1 %	Sí
		0,0	No presenta fisuras	0 %	Sí
2	3	4,0	Cara frontal a lo alto (16 cm)	25,0 %	No
		10,0	Cara trasera a lo alto (16 cm)	62,5 %	No

Nota. Elaboración propia. Desviaciones determinadas mediante comparación con una escuadra metálica de referencia, de acuerdo con los procedimientos establecidos en la NTC 4017 (ICONTEC, 2005).

El ladrillo 1 presentó una única fisura superficial de longitud reducida (16,1 % de la dimensión evaluada), sin evidencia de afectación significativa a la integridad de la unidad. El ladrillo 2, en cambio, registró tres fisuras superficiales, una de ellas equivalente al 62,5

% de la altura de la unidad, lo que evidencia una discontinuidad significativa que podría comprometer el comportamiento mecánico del ladrillo.

Desbordados y defectos de fabricación.

Al igual que en la Ladrillera Caicedo, las unidades de la Ladrillera La Eme presentan superficies lisas, por lo que se clasifican con textura lisa según la NTC 4205 (ICONTEC, 2000) y se les aplican los límites de 6 mm en esquinas y 10 mm en bordes. En este sentido, dicha clasificación permite establecer criterios uniformes de evaluación dimensional y de acabado superficial, garantizando la comparabilidad de los resultados entre ambas unidades productivas. Asimismo, el cumplimiento de estos límites contribuye a asegurar una adecuada calidad geométrica del producto, reduciendo posibles inconsistencias en el proceso de colocación en obra y mejorando el desempeño general de la mampostería.

Tabla 78. *Evaluación de desbordados y defectos de fabricación — Ladrillera La Eme*

Unidad	Cara	Long. desbordado (mm)	Perímetro de cara (cm)	Perímetro desbordado (cm)	% del perímetro
L1	Cara frontal	5 (esq.) / 3 (borde)	88	0,8	0,91 %
L1	Cara trasera	12 (esq.) / 0 (borde)	88	1,2	1,36 %
L2	Cara frontal	0 (esq.) / 15 (borde)	88	1,5	1,70 %
L2	Cara trasera	0 (esq.) / 5 (borde)	88	0,5	0,57 %

Nota. Elaboración propia. Para unidades de mampostería de textura lisa, la NTC 4205 (ICONTEC, 2000) establece límites máximos permisibles de desbordado de 6 mm en las esquinas y 10 mm en los bordes.

Todas las caras evaluadas se mantienen por debajo del 10 % del perímetro permitido, lo que indica un nivel de desbordado moderado y un proceso de moldeo más controlado que el observado en la Ladrillera Caicedo.

Ladrillera Andina

Ladrillo tipo Farol #4, unidad de perforación horizontal con estrías superficiales para mejorar la adherencia del mortero, con dimensiones nominales de 30 cm de largo, 10 cm de ancho y 20 cm de alto.

Dimensiones medidas.

Tabla 79. *Resultados de las mediciones dimensionales del ladrillo 1 proveniente de la Ladrillera Andina*

Medición	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)
1	30,5	10,0	19,6
2	30,7	10,0	19,6
3	30,6	10,0	19,6
4	30,5	10,0	19,6
Promedio	30,58	10,00	19,60

Nota. Mediciones obtenidas mediante calibrador digital, conforme al procedimiento de la NTC 4017 (ICONTEC, 2005).

Tabla 80. *Resultados de las mediciones dimensionales del*

ladrillo 2 proveniente de la

Ladrillera Andina

Medición	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)
1	30,5	10,0	19,8
2	30,5	10,0	19,8
3	30,7	10,0	19,8
4	30,7	10,0	19,8
Promedio	30,60	10,00	19,80

Nota. Elaboración propia. Datos dimensionales obtenidos mediante medición directa con calibrador digital de precisión, de acuerdo con los procedimientos establecidos en la NTC 4017 (ICONTEC, 2005).

Tabla 81. *Resultados de las mediciones dimensionales del ladrillo 3 proveniente de la Ladrillera Andina*

Medición	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)
1	30,5	10,0	19,8
2	30,5	10,0	19,8
3	30,5	10,0	19,8
4	30,5	10,0	19,8
Promedio	30,50	10,00	19,80

Nota. Elaboración propia. Datos dimensionales obtenidos mediante medición directa con calibrador digital de precisión, de acuerdo con los procedimientos establecidos en la NTC 4017 (ICONTEC, 2005).

Tolerancia dimensional.

Tabla 82. *Verificación de tolerancia dimensional — Ladrillera Andina*

Dimensión	Nominal (cm)	Tolerancia 2% (cm)	Rango permitido (cm)	Valor medio crítico (cm)	Desviación (cm)	Cumple
Largo	30	0,60	29,40 – 30,60	30,60	+0,60	Sí
Ancho	10	0,20	9,80 – 10,20	10,00	+0,00	Sí
Alto	20	0,40	19,60 – 20,40	19,80	-0,20	Sí

Nota. Elaboración propia. Datos dimensionales obtenidos mediante medición directa con calibrador digital de precisión, de acuerdo con los procedimientos establecidos en la NTC 4017 (ICONTEC, 2005).

Las tres dimensiones evaluadas cumplen el criterio de tolerancia del 2 % establecido por la NTC 4205 (ICONTEC, 2000). El valor de largo se ubica justo en el límite superior del rango permitido, lo que sugiere conveniente seguimiento en lotes futuros.

Resumen promedio dimensional.

Tabla 83. *Resumen de dimensiones
promedio — Ladrillera Andina*

Ladrillo	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)
1	30,58	10,00	19,60
2	30,60	10,00	19,80
3	30,50	10,00	19,80
Promedio	30,56	10,00	19,73

Nota. Elaboración propia. Datos dimensionales obtenidos mediante medición directa con calibrador digital de precisión, de acuerdo con los procedimientos establecidos en la NTC 4017 (ICONTEC, 2005).

Alabeo

El alabeo corresponde a la deformación o curvatura que puede presentar una cara del ladrillo respecto a un plano perfectamente recto, defecto que suele originarse durante el

secado o la cocción debido a contracciones diferenciales del material. La medición se realizó apoyando una regla metálica recta sobre la superficie evaluada y determinando la máxima separación mediante una cuña graduada, conforme al procedimiento de la NTC 4017 (ICONTEC, 2005).

Tabla 84. *Resultados del ensayo de alabeo — Ladrillera Andina*

Cara/borde evaluado	Tipo de alabeo	Medición (mm)
Cara frontal	Superficie abombada	1
Cara trasera	Superficie hundida	0,5
Borde inferior	Superficie hundida	1
Borde superior	Superficie hundida	0,5
Borde derecho	Superficie abombada	0,5
Borde izquierdo	Superficie hundida	1

Nota. Elaboración propia. Mediciones realizadas mediante regla metálica y cuña graduada, de acuerdo con los procedimientos establecidos en la NTC 4017 (ICONTEC, 2005).

Ortogonalidad.

La ortogonalidad evalúa el grado de perpendicularidad entre las caras y aristas del ladrillo, registrando la separación máxima entre una escuadra metálica y la superficie evaluada.

Tabla 85. *Resultados del ensayo de ortogonalidad — Ladrillera Andina*

Parámetro	Desviación (mm)	Dirección
Esquina A-B	—	Sin desviación
Esquina D-C	—	Sin desviación

Nota. Elaboración propia. Desviaciones determinadas mediante comparación con una escuadra metálica de referencia, de acuerdo con los procedimientos establecidos en la NTC 4017 (ICONTEC, 2005).

Los ladrillos de la Ladrillera Andina no presentaron desviación de ortogonalidad medible, lo que indica una buena calidad geométrica en sus esquinas.

Presencia de fisuras.

No se observaron fisuras visibles en ninguna de las dos unidades inspeccionadas, evidenciando una adecuada integridad superficial durante la evaluación visual.

Desbordados y defectos de fabricación.

Las unidades de la Ladrillera Andina presentan estrías superficiales destinadas a mejorar la adherencia del mortero, por lo que se clasifican como textura rugosa según la NTC 4205 (ICONTEC, 2000), aplicando límites más amplios de 8 mm en esquinas y 13 mm en bordes.

Tabla 86. *Evaluación de desbordados y defectos de fabricación — Ladrillera Andina*

Unidad	Cara	Long. desbordado (mm)	Perímetro de cara (cm)	Perímetro desbordado (cm)	% del perímetro
L1	Cara frontal	0 (esq.) / 0 (borde)	100	0,0	0,0 %
L1	Cara trasera	0 (esq.) / 0 (borde)	100	0,0	0,0 %
L2	Cara frontal	0 (esq.) / 0 (borde)	100	0,0	0,0 %
L2	Cara trasera	0 (esq.) / 5 (borde)	100	0,5	0,5 %

Nota. Elaboración propia. Para unidades de mampostería de textura lisa, la NTC 4205 (ICONTEC, 2000) establece límites máximos permisibles de desbordado de 6 mm en las esquinas y 10 mm en los bordes.

La Ladrillera Andina presentó el menor nivel de desbordados de las tres unidades productivas evaluadas, con valores prácticamente nulos en todas las caras inspeccionadas, lo que refleja un proceso de moldeo más uniforme.

Espesor de paredes y tabiques.

Por tratarse de una unidad de perforación horizontal (tipo Farol), se evaluó adicionalmente el espesor de las paredes externas y los tabiques internos que delimitan las seis perforaciones de la unidad (huecos de 3 cm × 5 cm), parámetro que influye directamente en la resistencia mecánica y la estabilidad dimensional del ladrillo. La NTC 4205 (ICONTEC, 2000), Tabla 5, establece para unidades de mampostería no estructural con perforación vertical u horizontal un espesor neto mínimo de pared de 10 mm y un espesor mínimo de tabique de 6 mm. Las mediciones, expresadas en centímetros, se presentan a continuación.

Tabla 87. *Espesor de paredes y tabiques — Ladrillera Andina*

Ladrillo	Parámetro	Medida 1 (cm)	Medida 2 (cm)	Medida 3 (cm)	Medida 4 (cm)
1	Paredes	1,30	1,35	1,40	1,25
	Tabiques	1,00	1,00	0,80	1,00
2	Paredes	1,00	1,20	1,20	1,10
	Tabiques	0,80	0,80	0,80	0,80
3	Paredes	1,00	1,10	1,30	1,25
	Tabiques	0,90	0,80	0,80	1,00

Nota. Elaboración propia. La verificación del espesor de paredes y tabiques se realizó con base en los valores mínimos establecidos en la Tabla 5 de la NTC 4205 (ICONTEC, 2000), correspondientes a 10 mm para paredes y 6 mm para tabiques en unidades de mampostería no estructural.

Las paredes externas registraron espesores entre 10,0 mm y 14,0 mm, cumpliendo en todos los casos el mínimo de 10 mm exigido por la norma. Los tabiques internos

presentaron espesores entre 8,0 mm y 10,0 mm, superando igualmente el mínimo de 6 mm establecido. En conjunto, los resultados indican una sección resistente homogénea y conforme con los requisitos geométricos mínimos de la NTC 4205 (ICONTEC, 2000) para unidades de mampostería no estructural.

Cantidad de ladrillos por metro cuadrado de muro

La cantidad de ladrillos requerida por metro cuadrado (m^2) de muro se determinó considerando las dimensiones nominales de cada unidad (largo y alto) más el espesor de la junta de mortero, tanto en sentido horizontal como vertical, para un módulo de muro patrón de 1,00 m de largo por 1,00 m de alto. Se adoptó un espesor de junta de mortero de 1,2 cm tanto en sentido horizontal como vertical, valor que se encuentra dentro del rango usual de 1,0 cm a 1,5 cm recomendado para no afectar el desempeño del muro, y se incluyó un porcentaje de desperdicio del 5 % para efectos de presupuesto de obra.

Dimensiones nominales evaluadas.

Tabla 88. *Dimensiones nominales utilizadas para el cálculo de unidades por metro cuadrado*

Ladrillera	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)
Caicedo — Macizo	28	9	16
La Eme — Farol #5	28	9	16
Andina — Farol #4	30	10	20

Nota. Elaboración propia. La evaluación se realizó tomando como referencia las dimensiones nominales reportadas por cada ladrillera para las unidades de mampostería analizadas.

Cantidad de ladrillos por metro cuadrado de muro

La cantidad de ladrillos requerida por metro cuadrado (m^2) de muro se determinó considerando las dimensiones nominales de cada unidad (largo y alto) más el espesor de la junta de mortero, tanto en sentido horizontal como vertical, para un módulo de muro patrón de 1,00 m de largo por 1,00 m de alto. Se adoptó un espesor de junta de mortero de 1,2 cm tanto en sentido horizontal como vertical, valor que se encuentra dentro del rango usual de 1,0 cm a 1,5 cm recomendado para no afectar el desempeño del muro, y se incluyó un porcentaje de desperdicio del 5 % para efectos de presupuesto de obra.

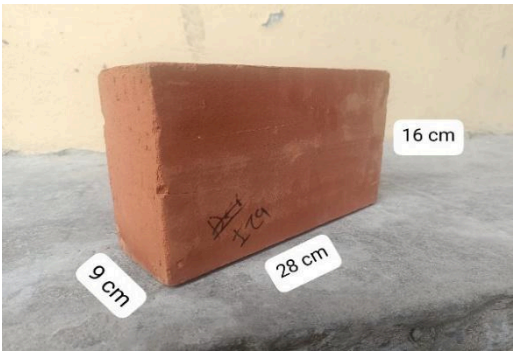
Dimensiones nominales evaluadas

Tabla 89. *Características
nominales del ladrillo macizo
fabricado por la Ladrillera Caicedo*

Ladrillera Caicedo			
Ladrillo Macizo: Ladrillos solidos de alta resistencia			
Largo	28	cm	
Alto	16	cm	
Ancho	9	cm	

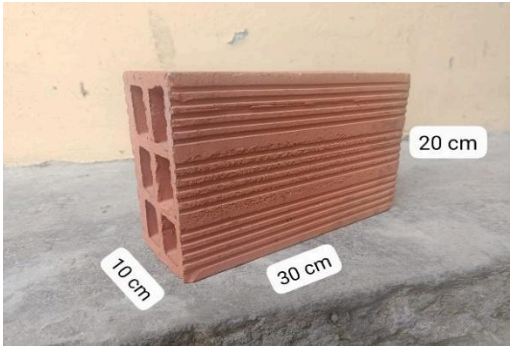
Nota. Elaboración propia. Dimensiones nominales suministradas por la Ladrillera Caicedo para el ladrillo macizo de alta resistencia.

Tabla 90. *Características*
nominales del ladrillo macizo
fabricado por la Ladrillera La Eme

Ladrillera La Eme			
Ladrillo Macizo: Ladrillos solidos de alta resistencia			
Largo	28	cm	
Alto	16	cm	
Ancho	9	cm	

Nota. Elaboración propia. Dimensiones nominales suministradas por la Ladrillera La Eme para el ladrillo macizo de alta resistencia.

Tabla 91. *Características*
nominales del ladrillo macizo
fabricado por la Ladrillera Andina

Ladrillera Andina			
Farol #4: Ladrillos huecos y ligeros para aligerar peso			
Largo	30	cm	
Alto	20	cm	
Ancho	10	cm	

Nota. Elaboración propia. Dimensiones nominales suministradas por la Ladrillera La Andina para el ladrillo macizo de alta resistencia.

Cantidad de ladrillos calculada por m²

Tabla 92. *Cantidad estimada de ladrillos por metro cuadrado de muro según las dimensiones nominales de cada unidad*

Ladrillera / Tipo	Largo (cm)	Alto (cm)	CL (un/m²)	CL + 5 % desp. (un/m²)
Caicedo — Macizo	28	16	19.91	20.91
La Eme — Farol #5	28	16	19.91	20.91
Andina — Farol #4	30	20	15.12	15.87

Nota. Elaboración propia. Los valores de CL fueron determinados a partir de las dimensiones nominales de cada unidad de mampostería. Se consideró un incremento del 5 % para estimar pérdidas por corte, manipulación y desperdicio en obra.

Dado que las unidades de la Ladrillera Caicedo y la Ladrillera La Eme comparten las mismas dimensiones nominales externas (28 cm × 16 cm), ambas requieren aproximadamente 20 unidades por metro cuadrado de muro (19,91 sin desperdicio; 20,91 incluyendo el 5 % de desperdicio). Las unidades de mayor formato de la Ladrillera Andina (30 cm × 20 cm) requieren un menor número de piezas por unidad de área, aproximadamente 15 unidades por metro cuadrado (15,12 sin desperdicio; 15,87 con desperdicio), lo que representa una ventaja en términos de rendimiento de obra y tiempos de instalación, aunque debe evaluarse juntamente con su menor resistencia mecánica.

Ensayo de absorción de agua a las 24 horas (NTC 4017 – NTC 4205)

La absorción de agua es una propiedad física que permite evaluar la capacidad de una unidad cerámica para incorporar agua en sus poros cuando es sometida a inmersión, y se relaciona directamente con la porosidad, la durabilidad y el comportamiento del ladrillo

frente a la humedad durante su vida útil. El ensayo se realizó siguiendo el procedimiento establecido en el capítulo 8 de la NTC 4017 (ICONTEC, 2005): las unidades se secaron en horno hasta alcanzar masa constante, obteniendo el peso seco (W_s); posteriormente se sumergieron por completo en agua durante 24 horas a temperatura ambiente, se retiraron, se eliminó el exceso de agua superficial con un paño húmedo y se registró el peso saturado (W_{ss}). La absorción se calculó como el incremento porcentual de masa respecto al peso seco de la unidad, mediante la expresión $\text{Absorción (\%)} = [(W_{ss} - W_s) / W_s] \times 100$.

Límites normativos de absorción de agua.

La NTC 4205 (ICONTEC, 2000) establece, en su Tabla 1, los límites de absorción máxima para unidades de mampostería estructural, y en su Tabla 2, los correspondientes a unidades no estructurales, diferenciando entre unidades de perforación horizontal (PH), perforación vertical (PV) y unidades macizas (M), y entre uso interior y exterior.

Tabla 93. *Límites normativos de absorción de agua según la NTC 4205*

Tipo	Tabla 1 — Estructural, interior (%)	Tabla 1 — Estructural, exterior (%)	Tabla 2 — No estructural, interior (%)	Tabla 2 — No estructural, exterior (%)
PH	16	14	20	14
PV	16	14	20	14
M	16	14	20	14

Nota. Elaboración propia, con base en las especificaciones establecidas en las Tablas 1 y 2 de la NTC 4205 (ICONTEC, 2000). Abreviaturas: PH = perforación horizontal; PV = perforación vertical; M = unidad maciza.

Las unidades destinadas a uso interior, al estar protegidas de la lluvia, admiten una absorción mayor; en cambio, las unidades de uso exterior están sometidas de manera

continua a lluvia, humedad ambiental, ciclos de mojado y secado y posible deterioro por sales, por lo que la norma exige una absorción más baja.

Resultados obtenidos.

Tabla 94. *Resultados del ensayo de absorción de agua a las 24 horas*

Ladrillera	Tipo	Masa seca Ws (g)	Masa saturada Wss (g)	Absorción (%)	Cumple interior	Cumple exterior
Caicedo	M	6088,5	7348,0	20,69	No	No
La Eme	M	6580,4	7674,0	16,62	Sí	No
Andina	PH	5555,6	5800,1	4,40	Sí	Sí

Nota. Elaboración propia. La absorción de agua se calculó conforme al procedimiento establecido en la NTC 4017 (ICONTEC, 2005), mediante la expresión: Absorción (%) = $[(W_{ss} - W_s) / W_s] \times 100$.

Las unidades macizas de la Ladrillera Caicedo (20,69 %) y de la Ladrillera La Eme (16,62 %) superan el límite crítico de 14 % de absorción exigido por la NTC 4205 (ICONTEC, 2000) para unidades estructurales y de fachada exterior. En consecuencia, ambas unidades se rechazan como elementos portantes o de fachada, quedando su aplicación restringida a mampostería no estructural de uso interior, como la tabiquería divisoria protegida de la intemperie. El producto de la Ladrillera Caicedo se ubica prácticamente en el límite máximo permisible para uso interior no estructural (20 %), lo que denota una alta porosidad que podría deshidratar prematuramente el mortero de pega si la unidad no se satura previamente en obra.

La unidad de perforación horizontal de la Ladrillera Andina (4,40 %) presenta un desempeño notablemente superior, muy por debajo del límite normativo de 14 % para uso exterior. Este valor evidencia una alta densidad física y una óptima vitrificación de la arcilla

durante la cocción. Si bien la geometría de sus paredes delgadas la confina a un uso no estructural, sus propiedades de absorción la convierten en una alternativa adecuada para muros de cerramiento exterior y fachadas, garantizando una baja permeabilidad ante los ciclos climáticos de alta pluviosidad característicos de la región de Mocoa.

Ensayo de tasa inicial de absorción (succión)

La tasa inicial de absorción de agua, también conocida como succión, es una propiedad física que mide la velocidad con la que una unidad de mampostería absorbe agua durante el primer minuto de contacto con una superficie húmeda. El ensayo se realizó conforme al capítulo 10 de la NTC 4017 (ICONTEC, 2005), registrando el peso seco inicial de la unidad (W_s) y el incremento de masa después de un minuto de contacto con una lámina de agua de poca profundidad (W_h), de modo que la tasa inicial de absorción se calcula como $T.I.A. = (W_h - W_s) / A$, expresada en $g/cm^2/min$, donde A corresponde al área neta de la cara en contacto con el agua.

Clasificación normativa y prehumedecimiento recomendado.

De acuerdo con la siguiente tabla de la NTC 4205 (ICONTEC, 2000) establece los límites máximos de tasa inicial de absorción y el tiempo de prehumedecimiento recomendado antes de la colocación en obra.

Tabla 95. *Clasificación de la tasa inicial de absorción y prehumedecimiento recomendado*

Tasa inicial de absorción ($g/cm^2/min$)	Tiempo recomendado de prehumedecimiento
< 0,10	5 min
< 0,15	1 h
< 0,25	24 h

Nota. Elaboración propia con base en los criterios de clasificación y aceptación establecidos en la NTC 4205 (ICONTEC, 2000).

Resultados obtenidos.

Tabla 96. *Resultados del ensayo de tasa inicial de absorción (succión)*

Ladrillera	Área de cara (cm²)	Masa seca (g)	Masa húmeda 1 min (g)	T.I.A. (g/cm²/min)	Clasificación
Caicedo	242,55	6088,5	6180,9	0,381	Alta
La Eme	249,30	5281,4	5316,5	0,141	Moderada
Andina	305,00	5555,6	5570,7	0,050	Baja

Nota. Elaboración propia. La tasa inicial de absorción (T.I.A.) se calculó de acuerdo con el procedimiento establecido en la NTC 4017 (ICONTEC, 2005), mediante la expresión $T.I.A. = (W_h - W_s) / A$, donde W_h corresponde a la masa húmeda medida después de 1 minuto de inmersión, W_s a la masa seca de la unidad y A al área de la cara sometida a absorción.

El prehumedecimiento es una recomendación constructiva relevante para el comportamiento de la mampostería en obra: cuando un ladrillo presenta alta succión, al colocarlo sobre el mortero comienza a extraer agua muy rápidamente, lo que puede disminuir la adherencia entre ladrillo y mortero, dificultar la hidratación adecuada del cemento, generar juntas débiles y reducir la resistencia final de la mampostería. El prehumedecimiento no implica sumergir el ladrillo durante horas o días, sino aplicar inmersión rápida, aspersión con manguera o apilamiento húmedo, de manera que la unidad llegue húmeda, pero no saturada ni goteando, antes de su colocación.

Ladrillera Caicedo: registró la mayor tasa inicial de absorción de las tres unidades evaluadas (0,38 g/cm²/min), clasificada como alta según la NTC 4205 (ICONTEC, 2000).

Este comportamiento evidencia que, durante la construcción, los ladrillos podrían extraer rápidamente el agua del mortero, afectando la adherencia y el desarrollo adecuado de las juntas, por lo que requieren un prehumedecimiento prolongado, superior a las 24 horas recomendadas para tasas cercanas a $0,25 \text{ g/cm}^2/\text{min}$.

Ladrillera La Eme: presentó una tasa inicial de absorción de $0,14 \text{ g/cm}^2/\text{min}$, correspondiente a una capacidad de succión moderada. De acuerdo con la NTC 4205 (ICONTEC, 2000), estas unidades requieren un prehumedecimiento previo de aproximadamente una hora antes de su colocación, con el fin de evitar la absorción excesiva del agua del mortero.

Ladrillera Andina: registró la menor tasa inicial de absorción ($0,050 \text{ g/cm}^2/\text{min}$), clasificada como baja. Conforme a la norma, estas unidades requieren únicamente un prehumedecimiento corto, del orden de cinco minutos, antes de su utilización en obra, lo cual resulta favorable para la conservación de la humedad del mortero y el desarrollo adecuado de las juntas de mampostería.

Ensayo de congelamiento y descongelamiento

El ensayo de congelamiento y descongelamiento, descrito en el capítulo 9 de la NTC 4017 (ICONTEC, 2005), tiene como finalidad evaluar la durabilidad de las unidades de mampostería de arcilla frente a ciclos repetidos de congelación y deshielo, mediante procesos controlados de saturación con agua, congelamiento a temperaturas bajo cero y posterior descongelamiento. Su importancia radica en que el agua absorbida por los poros del ladrillo aumenta de volumen al congelarse, generando esfuerzos internos que, con el tiempo, pueden producir fisuras, desprendimientos superficiales, pérdida de masa y reducción de la resistencia mecánica de las unidades cerámicas.

Sin embargo, las condiciones climáticas del área de estudio no justifican la realización de este ensayo. La investigación se desarrolla en el municipio de Mocoa, departamento del Putumayo, zona caracterizada por un clima cálido-húmedo, con temperaturas medias anuales cercanas a los 22 °C y sin registros de ciclos naturales de congelamiento y descongelamiento. En consecuencia, los ladrillos producidos y utilizados en la región no estarán expuestos durante su vida útil a este tipo de solicitaciones climáticas, por lo que el ensayo no se considera relevante para los objetivos de la presente investigación.

La evaluación experimental se concentra, por tanto, en propiedades más representativas para el contexto local —absorción de agua, tasa inicial de absorción, eflorescencia, módulo de rotura y resistencia a la compresión—, las cuales tienen una influencia directa en el desempeño del material bajo las condiciones climáticas predominantes en el municipio de Mocoa. La exclusión de este ensayo no afecta el alcance ni la validez de la investigación, puesto que las variables analizadas corresponden a las condiciones reales de fabricación, comercialización y utilización de los ladrillos cerámicos en la región de estudio.

Ensayo de eflorescencia

El ensayo de eflorescencia, descrito en el capítulo 11 de la NTC 4017 (ICONTEC, 2005), tiene como finalidad evaluar la presencia de sales solubles en los ladrillos cerámicos y determinar su tendencia a formar depósitos superficiales de color blanco después de entrar en contacto con el agua. Cuando los ladrillos absorben agua, las sales solubles presentes en su interior pueden disolverse y migrar hacia la superficie a través de los poros del material; al evaporarse el agua, las sales quedan depositadas sobre las caras expuestas,

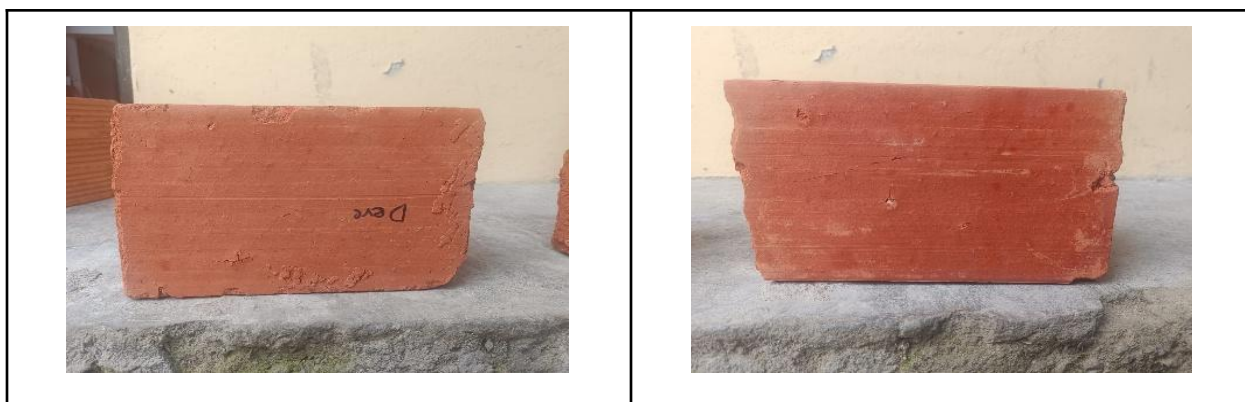
formando manchas, películas o cristales blanquecinos. Aunque este fenómeno generalmente no afecta de manera significativa la resistencia mecánica de las unidades, sí puede generar problemas estéticos y favorecer procesos de deterioro superficial.

La evaluación se realizó mediante observación visual directa de las unidades después del periodo de inmersión y secado, inspeccionando todas las caras del ladrillo bajo condiciones adecuadas de iluminación. Los resultados se clasificaron cualitativamente en cuatro niveles: (1) ausencia de eflorescencia, cuando no se observan depósitos visibles; (2) eflorescencia ligera, cuando aparecen pequeñas manchas aisladas; (3) eflorescencia moderada, cuando los depósitos cubren una proporción importante de la superficie; y (4) eflorescencia severa, cuando gran parte del ladrillo presenta acumulación visible de sales.

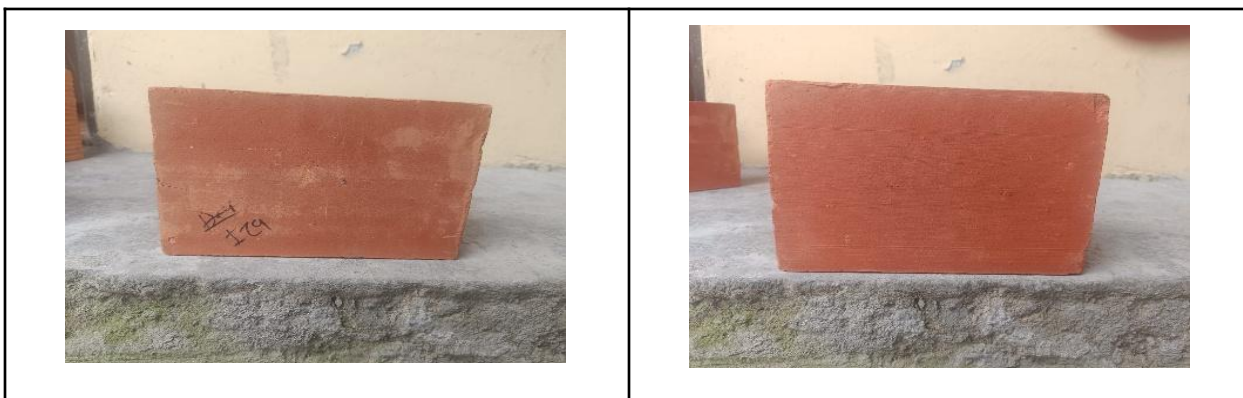
Registro fotográfico.

Figura 49. *Unidades cerámicas en estado seco y después de inmersión con base humedecida durante 7 días, por ladrillera evaluada*

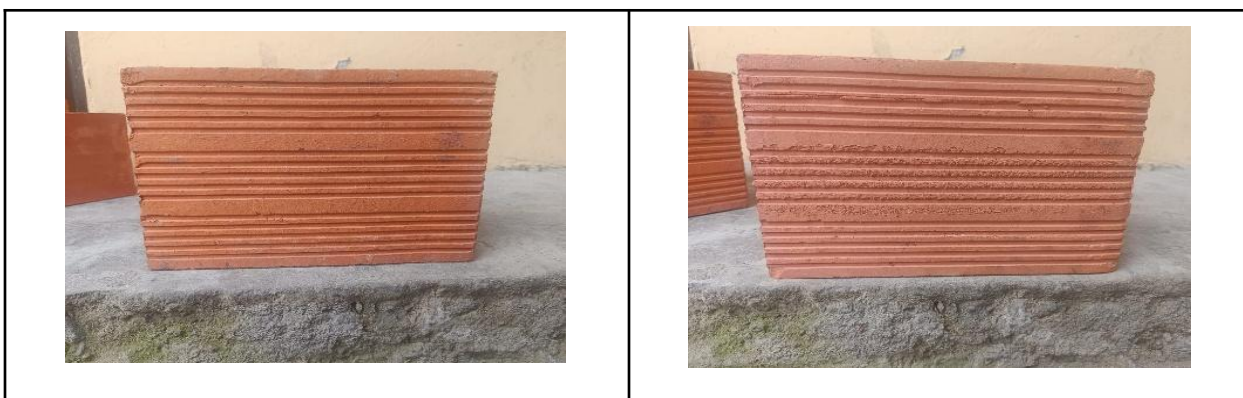
Ladrillera Caicedo



Ladrillera La Eme



Ladrillera Andina



Nota. Fotografías tomadas durante el desarrollo del ensayo de eflorescencia, antes y después de 7 días de inmersión con base humedecida. Izquierda: estado seco. Derecha: base humedecida.

Resultados obtenidos.

Tabla 97. *Resultados del ensayo de eflorescencia*

Ladrillera	Tipo de ladrillo	Depósitos blancos	Grado de eflorescencia
Caicedo	Macizo	No	Nula
La Eme	Macizo	No	Nula
Andina	PH (Farol)	No	Nula

Nota. Elaboración propia. La presencia de depósitos salinos superficiales y el grado de eflorescencia fueron evaluados mediante inspección visual conforme al procedimiento establecido en la NTC 4017 (ICONTEC, 2005).

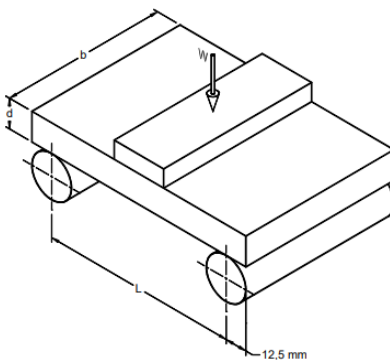
Las unidades cerámicas evaluadas de las ladrilleras Caicedo, La Eme y Andina no presentaron evidencia visual de eflorescencia después del proceso de inmersión y secado. Durante la inspección realizada bajo iluminación natural no se observaron depósitos blancos, cristalizaciones salinas ni películas superficiales características de la migración de sales solubles. En el caso de los ladrillos de la Ladrillera Caicedo se identificaron algunos puntos brillantes localizados sobre ciertas zonas superficiales; sin embargo, estas mismas características también se observaron en las unidades de referencia que no participaron en el ensayo, por lo que no se consideran asociadas a fenómenos de eflorescencia.

Estos resultados sugieren una baja presencia de sales solubles capaces de migrar hacia la superficie de los ladrillos bajo las condiciones del ensayo, lo cual constituye una característica favorable desde el punto de vista estético y de durabilidad para su utilización en obras de mampostería.

Ensayo de módulo de rotura flexión (NTC 4017 – 4205)

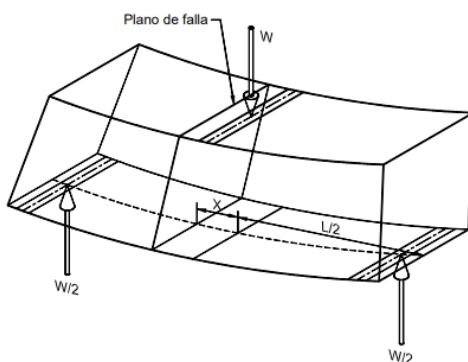
El ensayo de módulo de rotura, establecido en el capítulo 6 de la NTC 4017 (ICONTEC, 2005), tiene como finalidad determinar la resistencia a la flexión de las unidades de mampostería de arcilla cuando son sometidas a una carga transversal creciente hasta alcanzar la falla, evaluando la capacidad del ladrillo para resistir esfuerzos de tracción inducidos por flexión durante el transporte, almacenamiento, manipulación y colocación en obra. Durante el ensayo, la unidad se apoya sobre dos puntos de soporte separados una distancia determinada, mientras una carga se aplica progresivamente en la parte superior hasta producir la fractura, verificando que los apoyos puedan girar libremente en las direcciones longitudinal y transversal sin transmitir esfuerzos adicionales.

Figura 50. *Diagrama del montaje para el ensayo de módulo de rotura*



Nota. Elaboración propia con base en el procedimiento descrito en la NTC 4017 (ICONTEC, 2005).

Figura 51. *Diagrama de cuerpo libre para la deducción de la fórmula del módulo de rotura*



Nota. Elaboración propia con base en el procedimiento descrito en la NTC 4017 (ICONTEC, 2005).

El módulo de rotura de cada espécimen se calcula mediante la expresión $MR = (3 \cdot W \cdot X) / (b \cdot d^2)$, donde: **MR** es el módulo de rotura de la muestra en el plano de falla, en MPa; **W** es la carga máxima indicada por la máquina de ensayo, en N; **L** es la distancia entre los soportes, medida centro a centro, en mm; **b** es el ancho neto de la muestra en la sección de falla, en mm; **d** es la profundidad o altura de la muestra en la sección de falla, en

mm; y X es la distancia promedio entre el plano de falla y el centro geométrico de la unidad, en mm.

Datos de ensayo.

Tabla 98. *Datos del ensayo de
módulo de rotura por flexión*

Ladrillera	Tipo	Peso (kg)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Dist. apoyos (cm)	Carga máx. (kN)
Caicedo	Macizo	6,15	27,8	9,0	16,1	24,5	5,20
La Eme	Macizo	6,94	27,5	8,8	16,2	24,5	5,74
Andina	PH (Farol)	5,78	30,5	10,0	19,6	24,5	3,26

Nota. Elaboración propia. La distancia entre apoyos se mantuvo constante en 24,5 cm para las tres ladrilleras evaluadas durante el ensayo de flexión.

Registro fotográfico de la falla.

A continuación, se presenta el registro fotográfico correspondiente al patrón de falla observado en los especímenes ensayados a flexión, con el fin de evidenciar el comportamiento estructural de las unidades de mampostería bajo condiciones de carga, este análisis permite identificar las características de la fractura y su relación con la calidad del material. también, se comparan los resultados obtenidos en las tres ladrilleras evaluadas, lo que facilita la interpretación del desempeño mecánico de cada una de ellas, las imágenes permiten corroborar el modo de falla predominante y su ubicación en el elemento y finalmente, este registro constituye un soporte visual fundamental para el análisis de los resultados experimentales.

Figura 52. *Evidencia del patrón de falla por flexión: Ladrillera Caicedo (izquierda), Ladrillera La Eme (centro) y Ladrillera Andina (derecha)*



Nota. Elaboración propia. Fotografías registradas durante la ejecución del ensayo de módulo de rotura por flexión. Se documentó la ubicación y el patrón de fractura de las unidades ensayadas, observándose en el ladrillo de la Ladrillera Caicedo una rotura localizada aproximadamente en la mitad de la luz entre apoyos.

En la Ladrillera Caicedo, la fractura se presentó prácticamente en la mitad de la pieza, a una distancia aproximada de 13,5 cm desde cada extremo. En el interior se observó una coloración rojiza predominante, con una zona central de tonalidad más clara y aspecto arenoso, no visible externamente, lo que podría asociarse a variaciones en la mezcla o en el proceso de cocción. En la Ladrillera La Eme, la falla no ocurrió en el centro geométrico de la pieza, registrándose distancias de 7,5 cm y 12,0 cm desde los extremos hasta el plano de fractura, junto con dos zonas internas de color más claro y apariencia arenosa, posiblemente asociadas a heterogeneidades del material. En la Ladrillera Andina, las distancias respecto a los extremos fueron de 14,5 cm y 15,0 cm, sin observarse cambios notorios de color ni núcleos claros en la sección fracturada, presentando una apariencia homogénea en toda la superficie de falla.

Módulo de rotura calculado.

Figura 53. *Determinación del módulo de rotura por flexión de los ladrillos analizados conforme a la NTC 4017.*

Ladrillera	Tipo	W (N)	L (mm)	b (mm)	d (mm)	X (mm)	MR (MPa)
Caicedo	Macizo	5200	245	90	161	2,5	0,81
La Eme	Macizo	5740	245	88	162	12,5	0,87
Andina	PH Farol	3260	245	100	196	2,5	0,31

Nota. Elaboración propia. Los valores del módulo de rotura (MR) fueron determinados conforme a la NTC 4017 (ICONTEC, 2005), considerando la carga máxima alcanzada durante el ensayo de flexión y las dimensiones geométricas de cada unidad de mampostería. W corresponde a la carga máxima aplicada, X a la distancia entre la sección de fractura y el centro de la luz, b al ancho de la unidad y d a su altura.

Los resultados muestran que el ladrillo macizo de la Ladrillera La Eme presentó el mayor módulo de rotura, con aproximadamente 0,87 MPa, seguido por el ladrillo macizo de la Ladrillera Caicedo, con 0,81 MPa. El ladrillo perforado tipo Farol de la Ladrillera Andina obtuvo el menor valor, con aproximadamente 0,31 MPa. La diferencia observada puede atribuirse a la geometría de las unidades: los ladrillos macizos poseen una mayor sección resistente frente a esfuerzos de flexión, mientras que los ladrillos perforados presentan vacíos internos que reducen su capacidad para resistir esfuerzos de tracción durante la rotura. Adicionalmente, durante la inspección visual de las superficies fracturadas se identificaron zonas de tonalidad más clara en los ladrillos de Caicedo y La Eme, lo cual podría indicar heterogeneidades en la mezcla o variaciones en el proceso de cocción, en contraste con la textura y coloración interna más homogéneas observadas en el ladrillo de la Ladrillera Andina.

Ensayo de resistencia a la compresión (NTC 4017 – 4205)

La resistencia a la compresión es una de las propiedades mecánicas más importantes de las unidades de mampostería, ya que permite evaluar la capacidad del ladrillo para

soportar cargas de compresión sin presentar falla estructural. El ensayo, desarrollado conforme al capítulo 7 de la NTC 4017 (ICONTEC, 2005), consiste en aplicar una carga creciente sobre la unidad hasta producir su fractura, registrando la carga máxima alcanzada. La resistencia a la compresión de cada espécimen se calculó mediante la expresión $C = W / A$, donde **C** es la resistencia del espécimen a la compresión, en MPa; **W** es la carga máxima indicada por la máquina de ensayo, en N; y **A** es el promedio de las áreas brutas de las superficies superior e inferior del espécimen, en mm².

Límites normativos de resistencia a la compresión.

La NTC 4205 (ICONTEC, 2000) establece, en su Tabla 1, los requisitos mínimos de resistencia a la compresión para unidades de mampostería estructural, y en su Tabla 2, los correspondientes a unidades no estructurales.

Tabla 99. *Requisitos mínimos de resistencia a la compresión para unidades de mampostería de arcilla según la NTC 4205*

Tipo	Resistencia mínima — Estructural (MPa)	Resistencia mínima — No estructural (MPa)
PH	3,5	2,0
PV	15,0	10,0
M	15,0	10,0

Nota. La NTC 4205 (ICONTEC, 2000) establece los requisitos mínimos de resistencia a la compresión para unidades de mampostería de arcilla destinadas a uso estructural y no estructural. Los valores de referencia empleados en el presente estudio corresponden a los indicados en las Tablas 1 y 2 de dicha norma, según la clasificación de las unidades evaluadas.

Resultados obtenidos.Tabla 100. *Determinación de la resistencia a la compresión de los ladrillos**analizados conforme a la NTC 4017*

Ladrillera	Tipo	Peso (kg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Carga máx. (kN)	Resistenci a (MPa)
Caicedo	Macizo	6,38	278	89	70,3	2,84
La Eme	Macizo	6,58	274	89	101,1	4,15
Andina	PH (Farol)	5,66	305	100	51,8	1,70

Nota. Elaboración propia. Los valores de resistencia a la compresión fueron determinados a partir de la carga máxima soportada por cada unidad y del área de aplicación de la carga, conforme a los procedimientos establecidos en la NTC 4017 (ICONTEC, 2005). W corresponde a la carga máxima aplicada y A al área bruta de la sección sometida a compresión.

Los resultados obtenidos muestran diferencias importantes entre las unidades de mampostería evaluadas. El ladrillo macizo de la Ladrillera La Eme presentó el mejor desempeño mecánico, alcanzando una resistencia de 4,15 MPa, seguido por el ladrillo macizo de la Ladrillera Caicedo con 2,84 MPa. El ladrillo tipo Farol de perforación horizontal de la Ladrillera Andina registró una resistencia de 1,70 MPa, el valor más bajo de los tres materiales analizados.

Al comparar los resultados con los requisitos de la NTC 4205 (ICONTEC, 2000), ninguno de los ladrillos macizos evaluados alcanza los valores mínimos exigidos para unidades estructurales (15 MPa) ni para unidades no estructurales macizas (10 MPa). No obstante, entre ambos materiales, el ladrillo de la Ladrillera La Eme presentó un comportamiento significativamente superior al de la Ladrillera Caicedo, evidenciando una mayor capacidad para soportar esfuerzos de compresión. En el caso del ladrillo Farol de

perforación horizontal de la Ladrillera Andina, la norma establece requisitos específicos según su categoría: 3,5 MPa para mampostería estructural y 2,0 MPa para mampostería no estructural; aunque el resultado obtenido (1,70 MPa) no alcanza ninguno de estos requisitos, se encuentra relativamente más cercano a los valores normativos de su propia categoría que los ladrillos macizos respecto a los requisitos aplicables a unidades macizas, lo que indica que requeriría un menor incremento de resistencia para aproximarse a los parámetros exigidos para uso no estructural.

Desde el punto de vista práctico, y conforme a lo establecido en el *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10* para los sistemas de mampostería —incluidos los muros confinados— (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica [AIS], 2010), los ladrillos macizos evaluados podrían destinarse a cerramientos livianos, divisiones interiores, muros de baja sollicitación y construcciones rurales de pequeña escala donde no se requiera una función estructural principal. Entre ellos, el ladrillo de la Ladrillera La Eme constituye la alternativa más favorable debido a su mayor resistencia mecánica. Por su parte, el ladrillo Farol de la Ladrillera Andina podría emplearse en divisiones interiores y cerramientos no portantes, siempre que se considere que su resistencia se encuentra por debajo de los valores recomendados por la normativa y que su utilización se limite a elementos sin responsabilidad estructural.

Síntesis comparativa de resultados

A manera de cierre del capítulo, la Tabla siguiente reúne los principales indicadores físicos y mecánicos obtenidos para las tres ladrilleras evaluadas, permitiendo una visión integrada de su desempeño frente a los requisitos de la NTC 4205 (ICONTEC, 2000).

Tabla 101. *Síntesis comparativa de los resultados de caracterización física y mecánica de los ladrillos evaluados frente a los criterios normativos de la NTC 4205*

Indicador	Caicedo	La Eme	Andina	Referencia normativa
Tipo de unidad	Macizo	Macizo	PH (Farol)	—
Absorción de agua (%)	20,69	16,62	4,40	≤ 14 % ext. / ≤ 20 % int.
T.I.A. — succión (g/cm ² /min)	0,381 (alta)	0,141 (moderada)	0,050 (baja)	$< 0,10 / 0,15 / 0,25$
Eflorescencia	Nula	Nula	Nula	—
Módulo de rotura (MPa)	0,81	0,87	0,31	—
Resistencia a la compresión (MPa)	2,84	4,15	1,70	$\geq 10 / 15$ (M); $\geq 2 / 3,5$ (PH)
Unidades por m ²	19,91	19,91	15,12	—

Nota. Elaboración propia. T.I.A.: tasa inicial de absorción. Los valores de referencia normativa corresponden a los límites y requisitos establecidos en la NTC 4205 (ICONTEC, 2000) para unidades de mampostería de arcilla. PH: perforación horizontal; M: unidad maciza.

En conjunto, la Ladrillera La Eme presentó el mejor desempeño mecánico (mayor módulo de rotura y mayor resistencia a la compresión), mientras que la Ladrillera Andina mostró el mejor comportamiento frente a la absorción de agua y la succión, propiedades determinantes para la durabilidad en climas cálido-húmedos como el de Mocoa. La Ladrillera Caicedo, por su parte, presentó las mayores deficiencias tanto en absorción como en defectos superficiales (fisuras y desbordados), lo que sugiere oportunidades de mejora en su proceso de fabricación. Ninguna de las tres unidades cumple los requisitos de resistencia a la compresión para uso estructural establecidos por la NTC 4205 (ICONTEC, 2000), por lo que su aplicación recomendada se limita a mampostería no estructural, en los términos descritos en cada uno de los apartados anteriores.

Discusión

La caracterización fisicoquímica y geotécnica permitió establecer que el material empleado por las tres ladrilleras corresponde a una arcilla de baja plasticidad (CL), con un contenido de humedad natural cercano al 28 %, presencia leve de materia orgánica, bajo contenido de carbonatos, reacción extremadamente ácida (pH entre 4,02 y 4,48) y una gravedad específica de 2,51. En conjunto, estas características describen una materia prima adecuada para el proceso de moldeo y con baja susceptibilidad a la formación de eflorescencias. Este comportamiento fue corroborado mediante los ensayos realizados, en los cuales las tres unidades presentaron eflorescencia nula, situación coherente con la acidez del material y el reducido contenido de carbonatos. Sin embargo, la gravedad específica obtenida resultó ligeramente inferior a los valores típicos reportados para arcillas (2,60–2,80), lo que sugiere una mayor tendencia al desarrollo de porosidad durante la cocción, aspecto que posteriormente se reflejó en los resultados de absorción de agua.

Respecto al comportamiento mecánico, la resistencia a la compresión presentó el siguiente orden de desempeño: La Eme (4,15 MPa), Caicedo (2,84 MPa) y Andina–Farol (1,70 MPa). Aunque La Eme registró el valor más alto, ninguna de las unidades evaluadas alcanzó los requisitos mínimos establecidos por la NTC 4205 (ICONTEC, 2000), los cuales corresponden a 15 MPa y 10 MPa para unidades macizas estructurales y no estructurales, respectivamente, y a 3,5 MPa y 2,0 MPa para unidades de perforación horizontal. Estos resultados coinciden con lo reportado en investigaciones realizadas sobre ladrillos artesanales colombianos, cuyos valores de resistencia suelen oscilar entre 1,5 y 4,0 MPa (Piscal Arévalo et al., 2011) y entre 1,7 y 2,3 MPa (Martínez Contreras et al., 2020). Lo anterior sugiere que las bajas resistencias observadas no constituyen una condición

particular de las ladrilleras estudiadas, sino una característica recurrente de los procesos de producción artesanal.

Por otra parte, el comportamiento frente a la absorción de agua evidenció diferencias importantes entre las unidades analizadas. La Ladrillera Andina presentó una absorción de 4,40 %, cumpliendo ampliamente los límites normativos para uso tanto interior como exterior. La Eme registró una absorción de 16,62 %, valor aceptable únicamente para uso interior, mientras que Caicedo alcanzó 20,69 %, superando el límite permitido y ubicándose en condición de rechazo. La baja absorción observada en Andina indica una adecuada vitrificación de la arcilla durante la cocción, lo que demuestra que este material puede generar productos más densos y durables cuando se controla adecuadamente el proceso térmico. En contraste, las mayores absorciones registradas en Caicedo y La Eme sugieren una cocción insuficiente o desarrollada a temperaturas inferiores a las requeridas, favoreciendo una estructura más porosa y, en consecuencia, una menor resistencia mecánica. En este sentido, los resultados permiten inferir que las limitaciones observadas en el desempeño de las unidades no están asociadas principalmente a la calidad de la materia prima, sino al nivel de control aplicado durante las etapas de moldeo y cocción dentro del proceso productivo artesanal.

Conclusiones

A partir de los objetivos planteados y de los resultados obtenidos, se concluye que el suelo arcilloso empleado por las ladrilleras artesanales de la vereda La Eme corresponde a una arcilla de baja plasticidad (CL), caracterizada por una humedad natural cercana al 28 %, leve presencia de materia orgánica y carbonatos, reacción extremadamente ácida (pH entre 4,02 y 4,48) y una gravedad específica de 2,51. Estas características indican que se trata de una materia prima adecuada para la fabricación de unidades de mampostería, con baja susceptibilidad a la formación de eflorescencias, condición que fue confirmada por los ensayos realizados. No obstante, la gravedad específica relativamente baja sugiere una tendencia al desarrollo de porosidad durante la cocción, aspecto que se reflejó en los resultados de absorción de agua obtenidos para las unidades evaluadas.

En relación con el comportamiento físico y mecánico, los ladrillos presentaron resistencias a la compresión entre 1,70 y 4,15 MPa, absorciones de agua entre 4,40 y 20,69 %, módulos de rotura entre 0,31 y 0,87 MPa y ausencia de eflorescencias en los tres casos analizados. Asimismo, las tasas iniciales de absorción evidenciaron diferencias importantes entre las unidades, siendo menores en la Ladrillera Andina y mayores en la Ladrillera Caicedo. Al comparar estos resultados con los requisitos establecidos en la NTC 4205 (ICONTEC, 2000), se determinó que ninguna de las unidades cumple con los valores mínimos de resistencia a la compresión exigidos para mampostería estructural o no estructural maciza. En cuanto a la absorción de agua, únicamente la unidad producida por la Ladrillera Andina cumple con los límites establecidos para uso interior y exterior, mientras que la unidad de La Eme cumple únicamente para uso interior y la de Caicedo no satisface los requisitos normativos.

En términos de aplicación, los resultados permiten establecer que los ladrillos producidos en la vereda La Eme son técnicamente aptos para usos de mampostería no estructural. Entre las unidades evaluadas, la Ladrillera La Eme presentó el mejor desempeño mecánico, mientras que la Ladrillera Andina destacó por su comportamiento frente al agua y su potencial de durabilidad. Los resultados también evidencian que las diferencias observadas entre las unidades no se encuentran asociadas principalmente a la calidad de la arcilla, la cual mostró características similares en las tres ladrilleras, sino al grado de control aplicado durante las etapas de moldeo y cocción. En particular, la baja absorción registrada por la Ladrillera Andina demuestra que una adecuada vitrificación puede mejorar significativamente el desempeño del producto final. Por esta razón, se recomienda fortalecer el control de la temperatura y la uniformidad de la cocción, así como estandarizar las prácticas de producción artesanal, con el propósito de incrementar la resistencia mecánica, reducir la absorción de agua y acercar las unidades a los requisitos establecidos por la NTC 4205.

Referencias bibliográficas:

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). (2010). Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. AIS.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2012). Standard specifications for transportation materials and methods of sampling and testing (32nd ed.). AASHTO.
- ASTM International. (2007). ASTM D422-63(2007): Standard test method for particle-size analysis of soils. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D0422-63R07>
- ASTM International. (2018). ASTM D4318-17e1: Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D4318-17E01>
- ASTM International. (2020). ASTM D2487-17e1: Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System). ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D2487-17E01>
- Badillo, J., & Rodríguez, R. (2017). Mecánica de suelos. Limusa.
- Boggs, S. (2016). Principles of sedimentology and stratigraphy. Pearson.
- Borja Suárez, M. (2016). Metodología de la investigación científica. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
- Congreso de Colombia. (1993). Ley 99 de 1993.
- Congreso de Colombia. (2001). Ley 685 de 2001.
- Corpoamazonía. (2021). Documento diagnóstico: Geología y geomorfología (POMCA río Mocoa).

https://www.corpoamazonia.gov.co/files/Ordenamiento/POMCA/POMCA_MOCO A/02_Diagnostico/09_Geol_Geom.pdf

Consejo Profesional Nacional de Arquitectura y sus Profesiones Auxiliares (CPNAA).

(2023). Tres de cada cinco viviendas en Colombia son fabricadas sin licencia de construcción.

<https://www.cpnaa.gov.co/tres-de-cada-cinco-viviendas-en-colombia-son-fabricadas-sin-licencia-de-construccion/>

Crespo Villalaz, C. (2004). Mecánica de suelos y cimentaciones (5.^a ed.). Limusa.

Das, B. M., & Sobhan, K. (2018). Principles of geotechnical engineering (9th ed.). Cengage Learning.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2025). Estadísticas de edificaciones: Licencias de construcción (ELIC).

<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion/licencias-de-construccion>

FAO. (2026). Propiedades químicas del suelo.

<https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/>

Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible (FCDS). (2017). Mocoa: ¿Furia de la naturaleza? Entrevista a Rodrigo Botero.

<https://fcds.org.co/publicaciones/mocoa-furia-de-la-naturaleza/>

Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw-Hill.

ICONTEC. (2000). Clasificación de suelos para propósitos de ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, SUCS) (NTC 1504). ICONTEC.

- ICONTEC. (2000). Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos (NTC 4205). ICONTEC.
- ICONTEC. (2005). Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla (NTC 4017). ICONTEC.
- ICONTEC. (2006). Calidad del suelo. Determinación del carbono orgánico (NTC 5403). ICONTEC.
- ICONTEC. (2006). Suelos. Determinación en el laboratorio del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos (NTC 4630). ICONTEC.
- ICONTEC. (2008). Calidad del suelo. Determinación del pH (NTC 5264). ICONTEC.
- ICONTEC. (2013). Método de ensayo para determinar el contenido de agua (humedad) de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado (NTC 1495). ICONTEC.
- ICONTEC. (2018). Método de ensayo para el análisis granulométrico de suelos (NTC 77). ICONTEC.
- InfoAmazonia. (2021). Mocoa posdesastre: recuperación lenta y excluyente.
<https://infoamazonia.org/es/2021/11/09/mocoa-posdesastre-recuperacion-lenta-y-excluyente/>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2022). Caracterización climatológica de Colombia y datos de precipitación histórica. IDEAM.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2023). Mapa geológico del departamento del Putumayo. IGAC.
- Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). (2013). Manual de ensayos de materiales para carreteras (INV E-123, INV E-125, INV E-126 e INV E-128). INVÍAS.

- Jaramillo Jaramillo, D. F. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia.
- Kingery, W. D., & Uhlmann, D. R. (2018). *Introduction to ceramics* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (1969). *Soil mechanics*. John Wiley & Sons.
- Linares González, J., Huertas García, F., & Martínez, C. (2013). *La arcilla como material cerámico: Características y comportamiento*. Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada.
- Martínez Contreras, C. A., Gómez Jiménez, J. E., Giraes Puerta, D. I., Molina Arenas, S. I., & Manco Jaraba, D. C. (2020). Caracterización fisicoquímica de las arcillas utilizadas en la preparación de pastas cerámicas para la producción de ladrillo tipo H-10. *Aibi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería*, 8(3), 70-77.
- Mitchell, J. K., & Soga, K. (2025). *Fundamentals of soil behavior*. John Wiley & Sons.
- Municipio de Mocoa. (2023). *Plan de ordenamiento territorial del municipio de Mocoa*, Putumayo. Alcaldía Municipal de Mocoa.
- Piscal Arévalo, C. M., Afanador García, N., & Medina, S. (2011). Resistencia a la compresión de ladrillos en el municipio de Ocaña. *Revista Ingenio*.
- Rahaman, M. N. (2017). *Ceramic processing and sintering*. CRC Press.
- República de Colombia. (2015). Decreto 1076 de 2015.
- Rincón, J. M., & Romero, M. (2000). Fundamentos y clasificación de las eflorescencias en ladrillos de construcción. *Materiales de Construcción*, 50(260), 63-69.
- Santos Amado, J. D., Malagón Villafrades, P. Y., & Córdoba Tuta, E. M. (2011). Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barichara, Santander. *Dyna*, 78(167).

Zea, N. L. (2005). Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales.
Universidad de San Carlos de Guatemala.