



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN DESARROLLO RURAL



TESIS

ESTUDIO DE LA CH'AMPA COMO TECNOLOGÍA TRADICIONAL Y MEDIOAMBIENTAL EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS RURALES TIPO PUTUCOS, REGIÓN PUNO

PRESENTADA POR:

YASMANI TEOFILO VITULAS QUILLE

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAGÍSTER SCIENTIAE EN DESARROLLO RURAL
MENCIÓN EN ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y MEDIO AMBIENTE

PUNO - PERÚ

2021



DEDICATORIA

Para Karina, que es la luz de mi vida.

Para Thayra y Gael, que son la luz de mis ojos.



AGRADECIMIENTOS

A Dios por darnos vida e iluminarnos en nuestra senda.

Deseo brindar un reconocimiento por el apoyo de técnicos, profesionales e investigadores que se sumaron al presente trabajo, no solo aportando con sus conocimientos y asesoramiento, sino con lo más importante, que es compartir conocimientos que de otra forma no hubieran podido salir a la luz.

Agradezco la confianza brindada por la Dra. Andrea Gamio de la Universidad Politécnica de Madrid, que me brindo la posibilidad de realizar una investigación en forma conjunta y al Dr. Iván Barrionuevo de la Universidad de Chile por brindarme información científica muy valiosa para el presente trabajo.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Marco Teórico	6
1.1.1. Sistemas constructivos tradicionales mundiales	6
1.1.2. Sistemas constructivos tradicionales en el Perú	7
1.1.3. Técnicas constructivas con tierra	8
1.1.4. Adobe	10
1.1.5. Tapial o tierra apisonada	13
1.1.6. Quincha	13
1.1.7. <i>Ch'ampa</i> como unidad de construcción	14
1.1.8. El <i>Ch'iji</i> y el <i>Quemello</i>	15
1.1.9. Propiedades de los materiales tradicionales	16
1.2. Antecedentes	18
1.2.1. Materiales tradicionales	18
1.2.2. Construcciones con materiales tradicionales en el Perú	22
1.2.3. Propiedades de los materiales constructivos tradicionales	28
1.2.4. Pérdida de la tradición ancestral	36
1.2.5. Material de construcción denominado <i>Ch'ampa</i>	37

CAPÍTULO II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Identificación del Problema	41
2.2 Enunciados del Problema	42
2.2.1. Pregunta general	42



2.2.2. Preguntas específicas	42
2.3 Justificación	43
2.4 Objetivos	45
2.4.1. Objetivo general	45
2.4.2. Objetivos específicos	45
2.5 Hipótesis	46
2.5.1. Hipótesis general	46
2.5.2. Hipótesis específicas	46

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de Estudio	47
3.2. Población	49
3.3. Muestra	51
3.3.1. Selección de muestras	52
3.4. Método de Investigación	60
3.4.1. Tipo de investigación	60
3.4.2. Nivel de investigación	60
3.4.3. Diseño de la investigación	61
3.4.4. Etapas para el desarrollo del estudio	61
3.5. Descripción Detallada de Métodos por Objetivos Específicos	63
3.5.1. Técnicas, estrategias, instrumentos y materiales	64
3.5.2. Recolección de datos por objetivos específicos	65
3.5.3. Operacionalización de variables	66
3.5.4. Mediciones controladas	67

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de Datos	69
4.1.1. Normativa relativa a sistemas constructivos de tierra	69
4.1.2. Muestreo para ensayos de laboratorio	72
4.1.3. Características de la <i>Ch'ampa</i>	73
4.1.3.1. Zonas de extracción	73
4.1.3.2. Forma de extracción	74
4.1.3.3. Características de la materia orgánica	76
4.1.3.4. Contenido de raíces	81
4.1.3.5. Resistencia al impacto	82
4.1.4. Contenido de humedad	84



4.1.4.1.	Normativa de los ensayos	84
4.1.4.2.	Fundamento matemático	84
4.1.4.3.	Ensayo de laboratorio	85
4.1.5.	Peso Específico de Sólidos	86
4.1.5.1.	Normativa de los ensayos	86
4.1.5.2.	Fundamento matemático	86
4.1.5.3.	Ensayo de laboratorio	87
4.1.6.	Peso Unitario Volumétrico	88
4.1.6.1.	Normativa de los ensayos	88
4.1.6.2.	Fundamento matemático	88
4.1.6.3.	Ensayo de laboratorio	89
4.1.7.	Límites de Consistencia	89
4.1.7.1.	Normativa de los ensayos	89
4.1.7.2.	Fundamento matemático	90
4.1.7.3.	Ensayo de laboratorio	91
4.1.8.	Análisis Granulométrico por Tamizado	92
4.1.8.1.	Normativa de los ensayos	92
4.1.8.2.	Fundamento	92
4.1.8.3.	Ensayo de laboratorio	92
4.1.9.	Permeabilidad con Carga Constante	95
4.1.9.1.	Normativa de los ensayos	95
4.1.9.2.	Fundamento matemático	95
4.1.9.3.	Ensayo de laboratorio	96
4.1.10.	Conductividad Térmica	97
4.1.10.1.	Normativa de los ensayos	97
4.1.10.2.	Fundamento matemático	98
4.1.10.3.	Ensayo de laboratorio	99
4.1.11.	Ensayos de Compresión	101
4.1.11.1.	Normativa de los ensayos	101
4.1.11.2.	Fundamento matemático	102
4.1.11.3.	Ensayos de laboratorio	103
4.1.12.	Ensayos de Flexión	111
4.1.12.1.	Normativa de los ensayos	112
4.1.12.2.	Fundamento matemático	112
4.1.12.3.	Ensayos de laboratorio	116
4.2.	Discusión de Resultados	128



4.2.1. Estudio Poblacional	129
4.2.2. Zonificación Bioclimática	131
4.2.3. Energía necesaria para fabricar materiales	135
4.2.4. Contenido de Raíces	136
4.2.5. Compacidad y Contenido de Humedad	139
4.2.6. Límites de Consistencia	140
4.2.7. Clasificación de Suelos SUCS-ASTM	142
4.2.8. Consideraciones del Suelo Según NRCS	145
4.2.9. Permeabilidad	149
4.2.10. Conductividad Térmica	152
4.2.11. Resistencia a la Compresión	158
4.2.12. Resistencia a la Flexión	162
4.3. Cumplimiento de Objetivos y Prueba de Hipótesis	166
4.3.1. Cumplimiento de objetivos	166
4.3.1.1. Objetivos Específicos	166
4.3.1.2. Objetivo General	172
4.3.2. Pruebas de hipótesis	174
4.3.2.1. Hipótesis Específicas	174
4.3.2.2. Hipótesis General	179
4.3.3. Mitos y ritos en la construcción	179
CONCLUSIONES	180
RECOMENDACIONES	182
BIBLIOGRAFÍA	183
ANEXOS	201

Puno, 19 de noviembre de 2021

ÁREA: Socioeconomía y medioambiente.

TEMA: Estudio de la *Ch'ampa*.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Economía de los Recursos Naturales.

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Selección y detalle de muestras para ensayo en laboratorio PUCP.	54
2. Selección y detalle de muestras para ensayo en laboratorio UNAP.	56
3. Técnicas, estrategias y procedimientos.	64
4. Instrumentos, Materiales de verificación y recursos.	64
5. Recolección de datos por objetivo específico.	65
6. Cuadro de operacionalización de variables.	66
7. Consideraciones para evitar sesgos de medición.	68
8. Normas y reglamentos encontrados en base a sistemas constructivos de tierra.	70
9. Programación de ensayos por realizar y sus plazos en días.	72
10. Medición del diámetro de las raíces horizontales – <i>Ch'iji</i> .	78
11. Medición del diámetro de las raíces verticales – <i>Ch'iji</i> .	79
12. Medición del diámetro de las raíces horizontales – <i>Quemello</i> .	80
13. Medición del diámetro de las raíces verticales – <i>Quemello</i> .	80
14. Contenido de raíces en % dentro del bloque natural <i>Ch'ampa</i> .	81
15. Ensayos de resistencia al impacto in situ de <i>Ch'ampas</i> .	83
16. Normativa para ensayos de contenido de humedad.	84
17. Resultados de los ensayos del contenido de humedad.	85
18. Normativa para ensayos del peso específico de sólidos.	86
19. Resultados de los ensayos del peso específico.	88
20. Normativa para ensayos del peso unitario volumétrico.	88
21. Resultados de los ensayos de densidad seca y húmeda.	89
22. Normativa para ensayos de los límites de consistencia.	90
23. Resultados de los ensayos de LL, LP e IP.	91
24. Normativa para ensayos del análisis granulométrico.	92
25. Resumen y comparación del análisis granulométrico Tamiz ASTM.	93
26. Resumen y comparación del análisis granulométrico para tamices pequeños.	94
27. Normativa para ensayos de permeabilidad.	95
28. Resultados del ensayo de permeabilidad.	97
29. Normativa para ensayos de conductividad y resistencia térmica.	98
30. Resultado de los ensayos de conductividad y resistencia térmica.	101
31. Normativa para ensayos mecánicos de compresión.	101
32. Valores en puntos representativos para el ensayo de compresión.	106
33. Valores de tensión, deformación, módulo y energía absorbida.	107
34. Resultados del ensayo por compresión en muestras de <i>Ch'ampa</i> .	109



35. Resultados del ensayo por compresión en muestras de adobe artesanal.	111
36. Normativa para ensayos mecánicos de flexión.	112
37. Valores más representativos para el ensayo de tracción.	119
38. Determinación de esfuerzos flexionantes para un sistema simple de carga.	120
39. Consideraciones dimensionales de las probetas de <i>Ch'ampa</i> para ensayo.	123
40. Determinación de esfuerzos flexionantes para un sistema doble de carga.	123
41. Ensayos in situ de <i>Ch'ampas</i> con dimensiones 50x35x12cm.	125
42. Ensayos in situ de <i>Ch'ampas</i> con dimensiones 70x35x12cm.	126
43. Consideraciones dimensionales de las probetas de adobe para ensayo.	128
44. Determinación de los esfuerzos flexionantes para un sistema doble de carga.	128
45. Distribución de viviendas en áreas urbanas y rurales del Perú.	129
46. Viviendas con material predominante en paredes exteriores 2009-2019.	129
47. Viviendas con material predominante en los techos 2009-2019.	131
48. Ubicación de provincias por zona bioclimática.	132
49. Características climáticas de la zona bioclimática.	132
50. Consumos de energía en la fabricación de bloques de albañilería.	136
51. Comparación de LL, LP e IP en diferentes materiales de tierra cruda.	141
52. Clasificación modificada de Casa Grande.	142
53. Clasificación de suelo desagregado según SUCS.	143
54. Propiedades del suelo tipo ML según SUCS.	144
55. Clasificación de suelo por permeabilidad ASTM.	145
56. Contenido de finos en diferentes materiales de tierra cruda.	146
57. Coeficiente de permeabilidad "k".	149
58. Conductividad hidráulica según normativa internacional.	150
59. Propiedades térmicas de la <i>Ch'ampa</i> comparado con otros materiales.	154
60. Contraste de resultados a compresión de la <i>Ch'ampa</i> con otros materiales.	160
61. Contraste de resultados a flexión de la <i>Ch'ampa</i> con otros materiales.	163
62. Consideraciones para el cumplimiento del objetivo O _{E-1} .	167
63. Consideraciones para el cumplimiento del objetivo O _{E-2} .	168
64. Consideraciones para el cumplimiento del objetivo O _{E-3} .	169
65. Consideraciones para el cumplimiento del objetivo O _{E-4} .	171
66. Consideraciones para el cumplimiento del objetivo general.	173
67. Comprobación de hipótesis H _{E-1} (coeficiente de permeabilidad).	175
68. Comprobación de hipótesis H _{E-1} (conductividad térmica).	175
69. Comprobación de hipótesis H _{E-2} (contenido de raíces).	176
70. Comprobación de hipótesis H _{E-2} (límites de consistencia).	177
71. Comprobación de hipótesis H _{E-2} (esfuerzo a compresión).	177



72. Comprobación de hipótesis H_{E-2} (esfuerzo a tracción).	177
73. Comprobación de hipótesis H_{E-3} (mejores características).	178
74. Distribución de viviendas urbanas y rurales a nivel nacional.	208
75. Selección y clasificación de muestras para ensayos en laboratorio PUCP.	212
76. Clasificación de muestras de <i>Ch'ampa</i> para ensayos en laboratorio UNAP.	214
77. Clasificación de muestras de adobe para ensayos en laboratorio UNAP.	217

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Mapa de distribución mundial de construcciones ejecutadas en Tierra.	7
2. Rueda de las técnicas constructivas.	9
3. Grabado de la casa de césped desarrollado por George Squier.	10
4. Evolución hipotética de las formas del adobe.	11
5. Pasos intermedios en la elaboración del adobe.	12
6. Dibujo y partes de la construcción de una pared con tapial.	13
7. Composición del suelo o tierra para extracción y construcción.	17
8. Tecnología constructiva de tierra en la costa norte del Perú.	23
9. Ciudadela de Chan Chan en Trujillo, Perú.	24
10. Normas que consideran las técnicas de construcción con tierra.	44
11. Material predominante en paredes exteriores 2007-2017, Perú.	48
12. Ubicación de la zona de estudio, tramo Taraco-Samán, Región Puno.	49
13. Forma arquitectónica de un <i>Putuco</i> .	50
14. Extracción del bloque natural denominado <i>Ch'ampa</i> .	51
15. Relación entre tiempo de secado e incremento de resistencia del suelo-arena.	52
16. Almacenamiento y secado de la unidad de Construcción <i>Ch'ampa</i> .	53
17. Utilización de las <i>Ch'ampas</i> para construir un <i>Putuco</i> .	53
18. Equipo de trabajo en compañía de los pobladores CC Jasana Grande.	55
19. Extracción, selección y embalaje para envío de muestras.	55
20. Recepción, desembalaje y verificación de muestras en la PUCP.	56
21. Equipo de trabajo en compañía de los pobladores CC Jasana Grande.	58
22. Selección y traslado de muestras <i>Ch'ampa</i> y Adobe para el laboratorio.	59
23. Recepción y verificación de muestras, encargado del laboratorio UNAP.	59
24. Identificación de etapas para el desarrollo del estudio.	62
25. Normas que consideran la construcción con tierra y <i>Ch'ampa</i> .	71
26. Zona de extracción y apilado para el proceso de secado.	74
27. Cuadrilla y herramientas de trabajo para la extracción de <i>Ch'ampa</i> .	75
28. Extracción de <i>Ch'ampas</i> con ayuda de dos palas.	75
29. Extracción de <i>Ch'ampas</i> con ayuda de tres palas.	76
30. Características del <i>Muhlenbergia fastigiata</i> .	77
31. Extracción de la raíz subterránea del <i>Ch'iji</i> encontrado en el suelo.	78
32. Ensayo empírico usado para verificar la resistencia al impacto.	82
33. Prueba de plasticidad in situ para verificar calidad de <i>Ch'ampa</i> .	83
34. Ensayos para determinar el contenido de humedad.	85



35. Ensayos para determinar peso específico con Picnómetro.	87
36. Ensayos para determinar límites líquido y plástico.	91
37. Ensayos para determinar la curva granulométrica.	93
38. Curva del análisis granulométrico por tamizado Máximo y Mínimo.	94
39. Moldeado de las muestras P-1 y P-2 para ensayo de permeabilidad.	96
40. Representación del flujo de calor según Fourier.	99
41. Ensayo de placa caliente para conductividad y resistencia térmica.	100
42. Dimensiones de la probeta y deformaciones por compresión.	102
43. Diagrama teórico de Esfuerzo-Deformación Unitaria.	103
44. Identificación de las muestras para el ensayo de compresión PUCP.	104
45. Ensayos a compresión de las probetas seleccionadas en la PUCP.	104
46. Diagrama esfuerzo-deformación unitaria para los ensayos de compresión.	105
47. Identificación y extracción de muestras para ensayo de compresión UNAP.	108
48. Ensayos a compresión de muestras de <i>Ch'ampa</i> UNAP.	109
49. Ensayos a compresión de muestras de adobe artesanal UNAP.	110
50. Dimensiones de la probeta y deformaciones por flexión con una carga.	112
51. Dimensiones de la probeta y deformaciones por flexión con dos cargas.	113
52. Características del ensayo por flexión in situ para la <i>Ch'ampa</i> .	115
53. Identificación de las muestras para el ensayo de flexión PUCP.	116
54. Ensayos a flexión de las probetas seleccionadas PUCP.	117
55. Diagrama carga-desplazamiento para ensayos de flexión.	118
56. Corte y extracción de las muestras de <i>Ch'ampa</i> para el ensayo de flexión.	121
58. Ensayo de cargas para determinar resistencia a la flexión in situ.	125
59. Corte y extracción de muestras de adobe para el ensayo de flexión.	127
60. Ensayos a flexión de muestras de adobe artesanal UNAP.	127
61. Paleta de colores para la presentación del contraste de resultados.	129
62. Uso de Adobe o Tapial como material en paredes exteriores 2009-2019.	130
63. Uso de piedra con barro como material en paredes exteriores 2009-2019.	130
64. Uso de otros materiales para techo de viviendas 2009-2019.	131
65. Distribución del clima para la zona de estudio según Critchfield.	133
66. Zonas con características climáticas Cwb y Dwb según Köppen – Geiger.	134
67. Zonas de américa del sur con características climáticas Cwb y Dwb.	135
68. Relación entre el contenido de raíces, valores en %.	137
69. Vista del entrelazado de las raíces entre bloques de <i>Ch'ampa</i> .	138
70. Vista de las raíces dentro de un muro construido con <i>Ch'ampa</i> .	138
71. Áreas recomendadas para el comportamiento ideal del bloque de tierra.	139
72. Áreas recomendadas para selección ideal LL-IP del bloque de tierra.	142



73. Carta de plasticidad según límites de Atterberg, SUCS (USCS)-ASTM.	144
74. Detalles de las características del suelo en la gráfica de Winkler.	147
75. Contraste en las gráficas de Winkler o Triángulo de Suelos NRCS.	148
76. Estabilidad de los <i>Putucos</i> expuestos a inundaciones.	150
77. <i>Putucos</i> expuestos a la inundación del año 2003.	151
78. Estabilidad de viviendas de Adobe expuestos a inundaciones.	151
79. Comparación gráfica de la eficiencia térmica entre diferentes materiales.	156
80. Confort térmico de cuatro soluciones constructivas, según Wieser.	157
81. Comparación gráfica del esfuerzo de compresión entre materiales.	161
82. Metrado de cargas para un <i>Putuco</i> de 5m x 5m.	161
83. Comparación gráfica del esfuerzo de flexión entre diferentes materiales.	164
84. Promedio de esfuerzos según la posición del testigo a flexión.	165
85. Disposición constructiva empírica de viviendas tipo <i>Putuco</i> .	165
86. Comparación de la resistencia de viviendas rurales con <i>Ch'ampa</i> y Adobe.	166
87. Territorios de los señoríos Aymaras.	203
88. Regiones geográficas del Perú.	204
89. Temperatura máxima y mínima promedio anual, Taraco, Puno-2021.	206
90. Temperatura promedio por hora en junio, Taraco, Puno-2021.	206
91. Mapa de heladas en el Perú.	207
92. Probabilidad diaria de precipitación, Taraco, Puno-2021.	207
93. Mapa de viviendas particulares con paredes exteriores de adobe, Perú.	209
94. Viviendas particulares por área de residencia, 2007 y 2017, Perú.	209
95. Ubicación geográfica de la zona de estudio en el mapa del Perú.	210
96. Manejo y optimización de muestras para ensayos de laboratorio PUCP.	213
97. Manejo y optimización de muestras para ensayos de <i>Ch'ampa</i> en la UNAP-1.	215
98. Manejo y optimización de muestras para ensayos de <i>Ch'ampa</i> en la UNAP-2.	216
99. Manejo y optimización de muestras para ensayos de <i>Ch'ampa</i> en la UNAP-3.	217
100. Manejo y optimización de muestras para ensayos de Adobe en la UNAP.	218
101. Mapa de clasificación climática según Köppen – Geiger (1980 – 2016).	226
102. Mapa de clasificación climática en América del Sur.	226



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Identificación de la zona de estudio	202
2. Consideraciones y detalles para extraer testigos para los ensayos	211
3. Curva granulométrica gruesos y finos de los ensayos realizados	219
4. Clasificación climática de Köppen	223
5. Control estadístico y pruebas de hipótesis	227

RESUMEN

En la actualidad se vienen desarrollando investigaciones sobre materiales como adobe y tapial, pero en el altiplano puneño existe una tipología constructiva denominada “*Putuco*”, que usa la *Ch’ampa* como bloque de construcción tradicional aplicando conocimientos empíricos; aunque en su medio es muy conocido; no existen investigaciones que profundicen su estudio, pese a perdurar en el tiempo como tecnología tradicional y medioambiental del altiplano Peruano. Por tanto, nacen las siguientes preguntas de investigación: ¿Cuáles son sus propiedades físicas y mecánicas? y ¿Qué diferencia existe en comparación a otros materiales de tierra cruda?. El objetivo que se plantea es asociar las características físicas y mecánicas con el uso en la construcción de *Putucos* en *Taraco* y *Samán* (Puno), y contrastar sus resultados con otros materiales tradicionales como el adobe y tapial. La metodología es experimental de nivel descriptivo-relacional, muestreo no probabilístico y diseño de incidencia cuantitativo, observacional, prospectivo y transversal. Según los hallazgos, el coeficiente de permeabilidad cercano a 8×10^{-7} cm/s lo hace prácticamente impermeable, su coeficiente de conductividad térmica de 0.25 W/m·K lo hace ideal para mantener el calor y soportar variaciones de climas extremos, el esfuerzo de compresión $\sigma_c = 5.28 \text{ kg/cm}^2$ está por debajo del 50% de la norma E-080, pero el esfuerzo de flexión $\sigma_f = 6.25 \text{ kg/cm}^2$, sumado al 10% de contenido de raíces que se entrelazan entre bloque y bloque a modo de mortero natural, además de sus propiedades plásticas, le dan una mayor estabilidad a las viviendas, a diferencia de otros materiales como el adobe, tapial, BTC, quincha e incluso ladrillo y concreto.

Palabras clave: *Ch’ampa*, bloque de construcción ancestral, propiedades físicas, propiedades mecánicas, *Putuco*, tecnología medioambiental, tecnología tradicional, vernacular.

ABSTRACT

At present, research is being developed on materials such as adobe and tapial, but in the Puno highlands there is a constructive typology called "*Putuco*", which uses the *Ch'ampa* as a traditional construction block applying empirical knowledge; although it is well known in its environment, there is no research that deepens its study, despite enduring in time as a traditional and environmental technology of the Peruvian highlands. Therefore, the following research questions arise: What is its physical and mechanical properties? and What is the difference in comparison to other raw earth materials? The objective is to associate the physical and mechanical characteristics with the use in the construction of *Putucos* in *Taraco* and *Samán* (Puno) and to contrast its results with other traditional materials such as adobe and tapial. The methodology is experimental at a descriptive-relational level, non-probabilistic sampling, and quantitative, observational, prospective, and transversal incidence design. According to the findings, the permeability coefficient close to 8×10^{-7} cm/s makes it practically impermeable, its thermal conductivity coefficient of 0.25 W/m·K makes it ideal to maintain heat and withstand extreme climate variations, the compressive stress $\sigma_c = 5.28 \text{ kg/cm}^2$ is below 50% of the E-080 standard, but the bending stress $\sigma_f = 6.25 \text{ kg/cm}^2$, added to the 10% root content that intertwines between block and block as a natural mortar, in addition to its plastic properties, gives the houses greater stability, unlike other materials such as adobe, tapial, BTC, quincha, and even brick and concrete.

Keywords: *Ch'ampa*, ancestral construction block, physical properties, mechanical properties, *Putuco*, environmental technology, traditional technology, vernacular.

INTRODUCCIÓN

Actualmente en muchas de las zonas urbanas se utiliza el concreto armado o también denominado material noble, por las características de resistencia y componentes que posee para la construcción de viviendas, tales como el acero, cemento, piedra, agregados como arena-grava y complementado con bloques de albañilería, entre otros. Esto debido a la industrialización del cemento en el Perú que inicia en el año 1864 como «Cemento romano». “Debemos tomar en cuenta que a principios del siglo XX empezó la fabricación de cemento en el Perú, proveniente de los yacimientos calizos de Atocongo, en 1957 con Cementos Pacasmayo S.A., y Cemento Andino S.A., en 1963 en Juliaca se fundó Cemento Sur S.A., mientras que en Arequipa nacía Cemento Yura S.A.” (Canales, 2018, p. 42; Inka, 2016).

Pero mucho antes de la llegada el cemento aproximadamente el año 1900, el material más usado en la construcción de viviendas fue la tierra cruda, esto debido principalmente por su costo y fácil acceso, además en algunos casos se puede alcanzar resistencias adecuadas a cargas gravitacionales y efectos externos como las cargas de servicio, e incluso sismos, pero con la limitante de no poder ganar altura en las construcciones, también tiene la característica de ser moldeable y trabajable en conjunción con otros materiales naturales como la piedra, madera, corteza y materiales vegetales, entre otros.

Esto lo dice también Campana (2000) en su publicación “*Tecnologías constructivas de tierra en la costa norte prehispánica*”:

Entre los milenios 3° y 2° a.C., el clima de la costa fue más cálido y con muchos humedales, (...). Los restos encontrados en el valle de Moche como «Huaca de los Reyes», «Herederos», o «Huabal» cerca de la antigua «Laguna de los Gentiles», (...). Esto se relaciona con un periodo ligeramente posterior a los Templos de Caral en el Valle de Supe, de Cardal en el valle de Lurín, Garagay y el Paraíso en el Rímac (...). Estas grandes construcciones inicialmente fueron hechas con piedra y barro (lo más abundante en zonas húmedas) o, también el inicio de construcciones con *Champas*[sic] y después con quincha. Es decir, barro y raíces, o barro y caña, también eran materiales abundantes en los humedales. (Campana, 2000, pp. 35-36; Montoya, 2017, p. 3)

Una tarea primordial del conocimiento científico es que esta se expanda cada día, muchas veces esta tarea es ardua ya que no solo implica profundizar y difundir conocimientos sino también revalorarlos, por lo que el presente trabajo contempla un primer estudio profundo sobre el material constructivo utilizado desde la época preinca, y que actualmente se sigue usando, aunque con menor frecuencia, ya que se ha venido perdiendo la tradición constructiva en muchas zonas del altiplano tanto peruano como boliviano —y por qué no latinoamericano—, aspectos constructivos que hacen frente a las inclemencias climáticas en forma eficiente, gracias a la construcción de sistemas estructurales simples, pero con una connotación arquitectónica y mística única, incluso a nivel mundial, conocido en estas regiones como viviendas tradicionales, a las que se denominan “*Putucos*”, que representa una evidencia indiscutible del ingenio de antiguos pobladores, los cuales encontraron una solución equilibrada entre el entorno, la naturaleza, el material y la mística, plasmadas en construcciones de apariencia sencilla, pero extremadamente eficientes y perdurables en el tiempo, aspectos que son necesarios rescatar y revalorar para futuras generaciones.

El *Putuco*, como tipología de vivienda rural y su rol en el desarrollo de las poblaciones del altiplano, ha sido declarado Patrimonio Cultural de la Nación por el gobierno peruano. Este reconocimiento fue otorgado mediante la Resolución Viceministerial 116-2014-VMPCIC-MC, debido a que estas edificaciones históricas permitieron a las poblaciones ancestrales asentarse en la zona y desarrollarse como sociedad. Actualmente esta técnica forma parte de la herencia tradicional de los pobladores que habitan en las riberas del *Lago Sagrado de los Incas*, quienes la practican y transmiten de generación en generación. Fundamentalmente, se encuentran entre las riberas del río *Ramis*, principal afluente del *Lago Titicaca*, en los distritos de Taraco (Huancané), Samán y Arapa (Azángaro), y algunas poblaciones aledañas (RV, 2014), aunque su existencia no es ajena a las poblaciones de la meseta del altiplano, ya que se pueden encontrar dichas tracciones constructivas tanto en Bolivia, Chile e incluso en Argentina.

Dado que la tierra, como material, tiene un comportamiento heterogéneo, no puede ser utilizado para lograr una respuesta homogénea, como es el caso del hormigón. Para el estudio del suelo o tierra, los resultados dependerán de sus componentes, dependiendo del lugar y procedencia de la muestra (Minke, 2005, p. 16); debido a esto, el procedimiento constructivo con la utilización del suelo como material, puede brindar

adecuadas respuestas tanto térmicas como mecánicas, ya que las mismas dependerán de la zona en la que se utilice, además de las tradiciones y técnicas existentes para su manipulación, las que varían entre un lugar y otro.

El estudio de las propiedades de los materiales hace indispensable al presente estudio, debido a que nos brindará una visión integral de las características poco o nada estudiadas de la *Ch'ampa*, la cual a la fecha se viene usando en forma empírica, y como parte del fundamento del término “*Etnoingeniería*”, es necesario entender y proponer nuevas líneas de investigación para generar conocimientos antes desconocidos, no solo por la comunidad académica, sino también por los propios pobladores o usuarios que no cuentan con conocimientos técnicos y científicos para manipular y optimizar el uso de este material de construcción y las ventajas en comparación a otros materiales tradicionales como el adobe, el tapial, el BTC (Bloque de tierra comprimida), la quincha, e incluso el ladrillo cocido y concreto armado; rescatando a la par; las características arquitectónicas tradiciones tan particulares en la construcción de viviendas denominadas *Putucos*.

Adicionalmente, como parte del trabajo de investigación planteado, se han considerado las recomendaciones de la norma y algunos trabajos de investigación similares, que aunque son de menor categoría, aportan consideraciones importantes sobre el estudio físico y mecánico en laboratorio, estudios que además realizaron mejoras a la calidad de los materiales, modificando sus variables, intentando obtener comportamientos mecánicos y térmicos superiores, en aras de mejorar la calidad de los mismos, —que aunque no es parte del objetivo del presente estudio—, aportan información valiosa para contrastar los resultados, tal es el caso del adobe, BTC, tapial, entre otros. En la actualidad, todos estos materiales fueron reemplazados por bloques de albañilería mecanizada o arcilla cocida, bloques de concreto y estructuras de concreto armado, que son un enemigo latente en la pérdida de conocimientos constructivos tradicionales, además de ser agentes contaminantes de la naturaleza.

El área de estudio de la presente investigación esta referido al “Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente”, la línea de investigación del programa de la Escuela de Postgrado es de “Infraestructura y Construcciones”, enmarcado dentro de la sub línea de investigación “Propiedades Físicas y Estructurales”, el propósito de investigación es asociar las características físico-mecánicas de la unidad constructiva denominada

Ch'ampa como Tecnología Tradicional y Medioambiental, en la construcción de viviendas rurales denominadas *Putucos*, que son tradicionales de las zonas altiplánicas. Los métodos utilizados son experimentales con estudios de laboratorio, enmarcados dentro de una investigación pura o básica, de nivel descriptivo-relacional, con muestreo no probabilístico y diseño de incidencia cuantitativo, observacional, prospectivo, transversal y analítico.

La estructura del presente informe de investigación está dividida en cinco capítulos, según el siguiente detalle:

Capítulo I. *Revisión de literatura*, en la cual se muestran referentes nacionales e internacionales que fundamentan el trabajo de investigación y sus implicancias, dando pie al estado del arte.

Capítulo II. *Planteamiento del problema*, donde se identifica, sustenta y justifica las motivaciones de la investigación realizada, identificado el enunciado del problema y los objetivos e hipótesis del estudio.

Capítulo III. *Materiales y métodos*, que delimitan los alcances del estudio, presentando la metodología, el método, las estrategias y criterios para la interpretación usada en el estudio, además de la identificación y operacionalización de las variables.

Capítulo IV. *Análisis de datos, resultados y discusión*, la misma que se subdivide en dos secciones, primero en el *Análisis de datos* de los valores obtenidos tanto en campo como en diferentes laboratorios, identificando las características e implicancias más considerables en el estudio de las muestras analizadas y la normatividad vigente. Luego en la *Discusión de resultados*, en base a diversos autores que han trabajado en estudios de materiales de tierra cruda, se identifica las ventajas y desventajas en base al contraste de resultados, discusión, cumplimiento de objetivos y pruebas de hipótesis.

En la parte final se consideran las *conclusiones* y *recomendaciones*, en base a los hallazgos más importantes obtenidos, considerando también una propuesta de futuras líneas de investigación y las *referencias bibliográficas*, además de información complementaria mostrada en los *Anexos* del estudio.

Esperando que la presente investigación sea de utilidad para llenar un vacío en la ciencia de los materiales, y en especial de los materiales tradicionales que son poco



estudiados y se encuentra en pleno nacimiento como línea de investigación, además, es necesario que sea complementada por futuros estudios que compartan el objetivo común de revalorar y transmitir conocimientos en base al método científico y fundamento técnico ingenieril, que nos ayuden a desvelar un conocimiento tradicional casi extinto, para que perdure por muchas generaciones en el futuro.

CAPÍTULO I REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Marco Teórico

Se presentan algunas consideraciones más importantes sobre el tema de investigación desarrollado, con fines de identificar en forma clara las variables a estudiar, y sus implicancias nacionales e internacionales.

1.1.1. Sistemas constructivos tradicionales mundiales

Podríamos dar muchos ejemplos de las diversas manifestaciones constructivas de tierra a lo largo del mundo, desde los *Trullis* en Italia, hasta los *Obos* en Camerún, pero es necesario identificar los sistemas constructivos donde se usa a la tierra como materia prima, muchas de ellas herencia de conocimientos tradicionales, adaptando a la naturaleza como un recurso indispensable en la construcción de viviendas. Aproximadamente un tercio de las viviendas en pie, que hay en nuestro planeta, son construidas con tierra (Gaviorno, 2016), tal como se puede apreciar en la *Figura 1*. Aunque en la era moderna se han perdido dichas tradiciones constructivas, siendo reemplazadas por el ladrillo, hormigón, acero y vidrio, en zonas con bajos recursos económicos aún se sigue usando la tierra cruda, por ser un recurso de bajo costo, fácil manejo como para posibilitar la autoconstrucción, extendiendo esta tradición en muchas de las culturas a lo largo del planeta tierra.

Si partimos de que las construcciones tradicionales podrían ser consideradas como alternativas viables y sostenibles, que no dañan el medio ambiente ya que

aprovechan recursos renovables ecológicos generando conceptos de diseño funcional acorde a cada realidad y tradición local, siendo funcionales, estéticos, íconos de su propia cultura y entorno, además de perdurables en el tiempo. A este entender Vega (2019) los concibe como ecotecnias, considerando que son acciones que se efectúan sin crear dependencias tecnológicas o económicas y las poblaciones puedan hacer un fácil uso de ellas.



Figura 1. Mapa de distribución mundial de construcciones ejecutadas en Tierra.

Nota. La arquitectura de tierra en el mundo se muestra en coloración naranja.

Fuente: Al-Sakkafl *et al.* (2021); Gatti (2012, p. 7); Neves *et al.* (2011)

Según Romero (2010, p. 7) las ecotecnias o sistemas constructivos tradicionales ecológicos y son “tecnologías constructivas amigables con el entorno” que fueron creadas para restablecer la relación armónica entre el ser humano y su hábitat. Las alternativas que presentan las ecotecnias son reconfortantes, pero también confrontativas ya que nos orientan a cuestionar la forma de vida tal y como la llevamos, al mismo tiempo que nos invitan a la aventura de vivir un nuevo paradigma. Ortiz *et al.* (2014) demostró que las ecotecnias son aquellas metodologías que propician una relación armónica con el medioambiente sin dejar de lado los valores sociales y económicos de los interesados.

1.1.2. Sistemas constructivos tradicionales en el Perú

“Los sistemas constructivos con tierra más comunes en la construcción de viviendas son: el adobe, la quincha, la tapia y el BTC. En dichos sistemas tradicionales, la mayor parte de la energía de producción proviene del sol, debido a su forma de secado o endurecido, sin necesidad de recurrir al secado en hornos,

como es el caso del ladrillo cocido. Esto permite reducir el consumo de energía no renovable y usar sistemas naturales, además de reducir las emisiones contaminantes” (Cuitiño *et al.*, 2020, p. 139).

La técnica constructiva matriz, que sigue vigente en Perú como sistema constructivo tradicional es el adobe, la quincha, el tapial o tierra apisonada. Por lo que la utilización de tierra cruda es una tradición antiquísima y parte de la historia en muchas de las construcciones a nivel mundial, además de ser las más popular en sociedades actuales (Gonzales, 2003).

La utilización tradicional de los sistemas constructivos con tierra es parte de una herencia cultural (Gamio, 2018, p. 21). En el Perú se cuenta con dos millones de viviendas con este sistema, alrededor del 40% de la población (Censo 2007), incluyendo las que son monumentos históricos. También se ha comprobado que las construcciones contemporáneas hechas en este material han perdido el nivel tecnológico a medida que ha ido transcurriendo el tiempo, algo así como una involución constructiva. (Blondet *et al.*, 2011)

Por lo tanto, podemos definir a un sistema constructivo tradicional como una conjunción entre tradición y ecología como ecotecnia constructiva, donde se usan materiales de tierra cruda como la *Ch'ampa*, el Adobe, el Tapial y la Quincha, que requieren de poco desgaste energético para su elaboración y revaloran la tradición arquitectónica, generando una relación entre el hombre y el medio ambiente, brindando estabilidad estructural y confort, en poblaciones de bajos recursos económicos.

1.1.3. Técnicas constructivas con tierra

Las técnicas de construcción en tierra son muy variadas, según Gatti (2012, p. 22), se clasifican en doce métodos de construcción, los cuales presenta en la “*rueda de las técnicas*”, clasificadas en función de su plasticidad del material mostrado en la *Figura 2*, tales como: sólido y seco (1, 2, 3 y 4), húmedo (5), plástico (6, 7, 8, y 9) y viscoso o líquido (10, 11 y 12). O también pueden clasificarse según su refuerzo estructural (2, 3, 11 y 12), según su procedimiento de formado o moldeado (1, 5, 6, 7 y 10) y según su forma de bloque o ladrillo (4, 5, 8 y 9), dentro

del cual se encuentra los bloques de césped o bloques cortados tales como la *Ch'ampa*. (Ver Figura 2)

Los materiales y las técnicas para utilizar la tierra en la construcción son muchos, usado en todos los continentes para una gran variedad de pequeñas construcciones populares y de edificios de gran envergadura, apoyados en la sabiduría ancestral para desarrollar su propia arquitectura, además a lo largo de los siglos, la humanidad ha ido mejorando las técnicas y ha reciclado el material de las antiguas construcciones para levantar nuevas obras, logrando evitar daños al ambiente y se ha valido de lo que ese ambiente le ofrecía en un intercambio mutuo hombre-naturaleza. (Viñuales, 2007, p. 230)

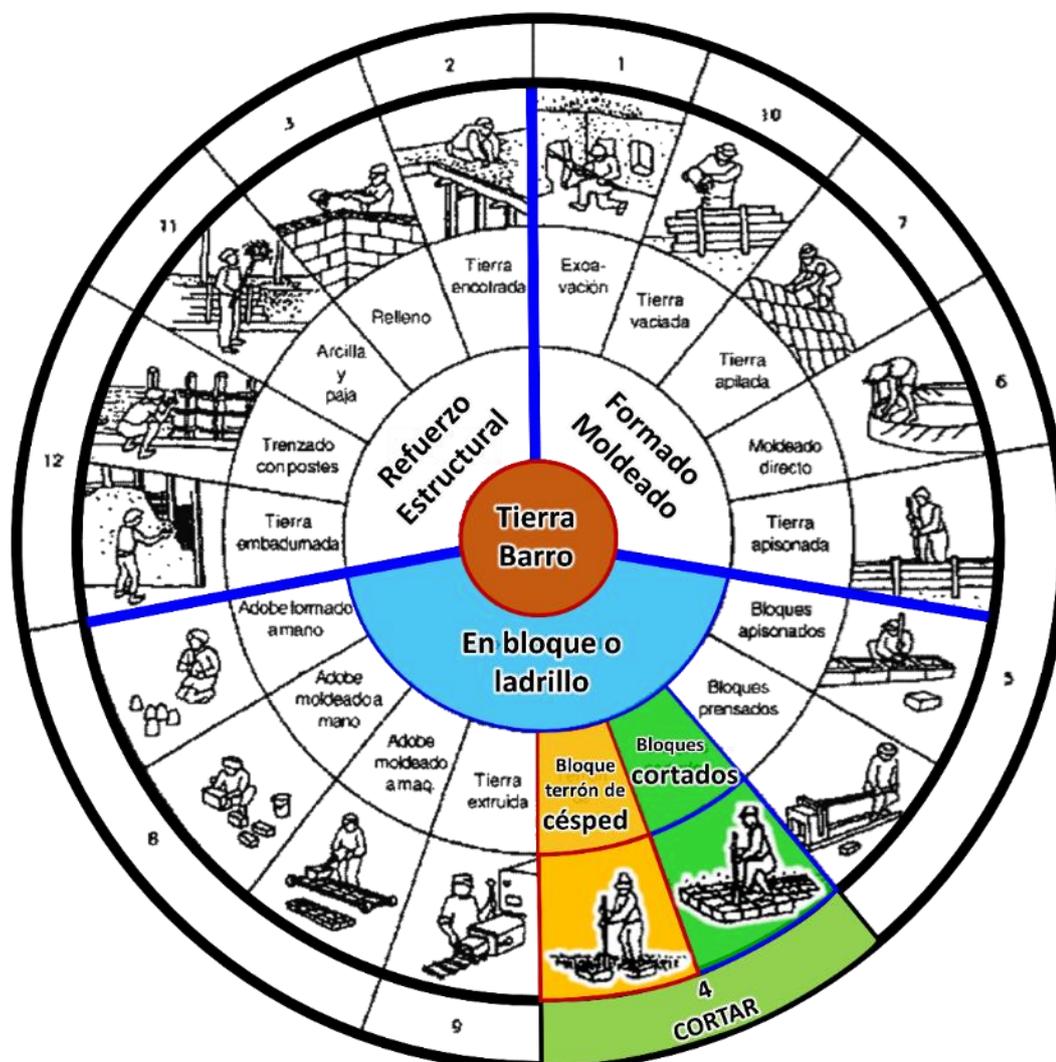


Figura 2. Rueda de las técnicas constructivas.

Nota. La tierra cruda extraída para construcción, tiene la ventaja de que puede ser conservada durante muchas semanas o incluso años. La calidad del material aumenta en base a su composición.

Fuente: Adaptado sobre la propuesta de Gatti (2012).

Aunque existen muy pocos estudios en el tiempo, es necesario considerar que viajeros y estudiosos relataron en sus escritos y observaciones, presentando fotografías y grabados, *George Squier* [1864] generó el primer grabado impreso de un *Putuco* que denominó *Casa de césped* como se puede ver en la *Figura 3*; *Arnold Heim* [1947] en *Indigenous Building Techniques of Peru and Their Potential for Improvement Better With Stand Earthquakes*, dedica un breve capítulo a la tecnología constructiva con *Ch'ampa* y hace mención a los *Putucos*. (Vitulas y Reynoso, 2020, pp. 66)

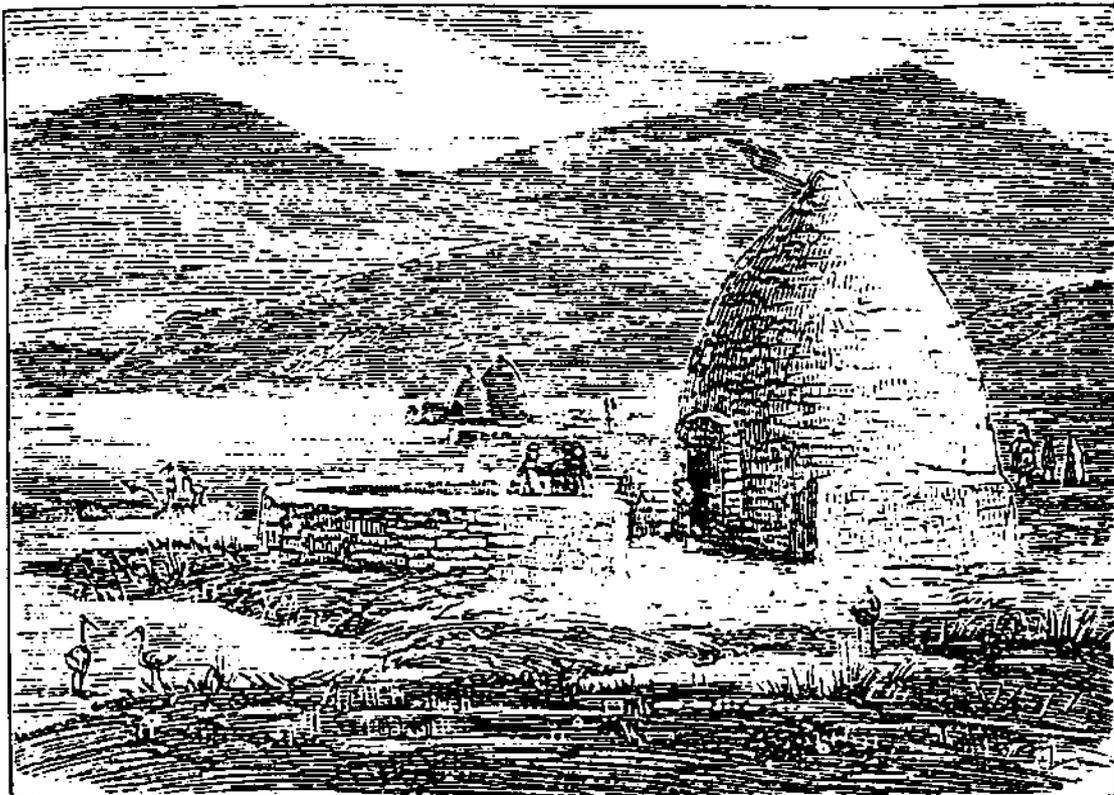


Figura 3. Grabado de la casa de césped desarrollado por *George Squier*.

Nota. Casa de césped cerca de la desembocadura del río *Rámis*. Grabado de *George Squier*.

Fuente: Vitulas y Reynoso (2020, Figura 7, p. 39), Marussi (1999, Grabado 11, p. 63)

1.1.4. Adobe

El adobe ha sido estudiado y catalogado como una manifestación tradicional más que como arquitectura contemporánea, esto ha producido su pérdida en la tradición, además esto fue alentado por la falta de normativas nacionales que permitan una dirección técnica que además recupere la tradición del uso de tierra cruda como material apto para la construcción de viviendas tanto urbanas como rurales (Rivera *et al.*, 2021, p. 75).

El adobe es un bloque constructivo usado en viviendas. Está compuesto por masas de barro secados al sol. Su composición en porcentaje de arcilla varía entre 20% y 30%, con presencia de filamentos orgánicos (Gamio, 2018, p. 21).

La calidad de las construcciones, depende mucho de la correcta elección de la arena. Uno de los materiales naturales que se le adhiere es la paja. En muchos casos se tiene una proporción de: cuatro partes arena y una de paja. Después de mezclar se coloca en moldes y es dejado reposar por lo menos un par de horas, antes de retirar los moldes. Posteriormente se deja secar por 3 o 4 días. (Eudomus, 2017). Esta ha ido evolucionando en el tiempo, desde su forma piramidal hasta llegar a una forma prismática mucho más fácil de apilar.

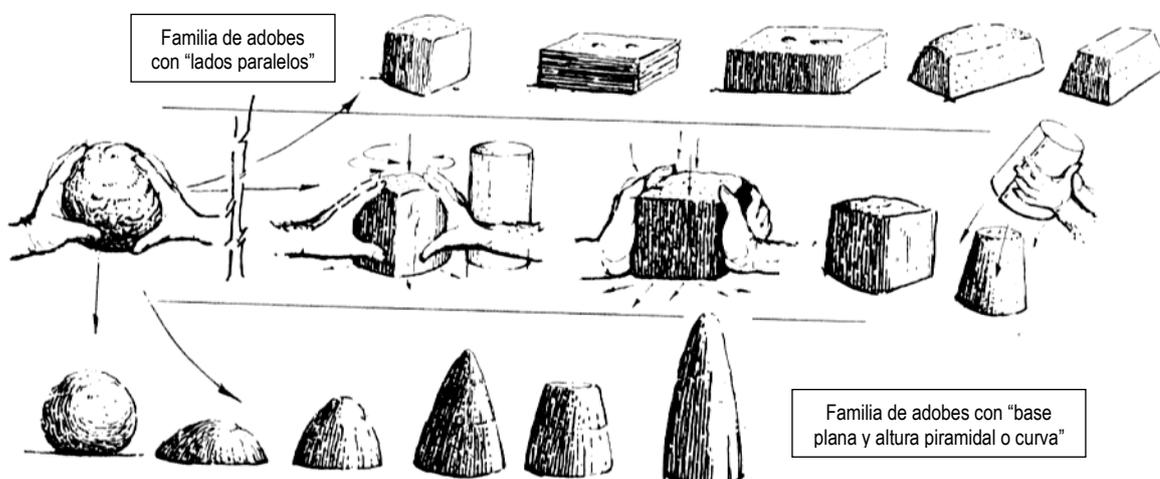


Figura 4. Evolución hipotética de las formas del adobe.

Nota. Dibujo de elaboración y evolución posibles de las dos familias de adobes. Se supone que partiendo de una bola se podían hacer los de altura curva con solo ir amontonando más barro en la parte superior y así llegar al «cono» y al «odontiforme»; en cambio, para el de lados paralelos bastaría ir golpeando sobre una superficie plana la bola, hasta convertirlo en un «cubo». Después se inventaría la gavera.

Fuente: Campana (2000, Lámina III, p. 58)

El adobe ha tenido variaciones en la forma y uso de la unidad de construcción, en las diferentes culturas, pasando por formas esféricas y semiesféricas, cilíndricas, cónicas y prismáticas tal como se puede ver en la *Figura 4*, estas últimas con dimensiones diferentes como los hechos a mano de 15cm x 15cm x 25cm, los hechos en moldes de 20cm x 20cm x 10cm, de 30cm x 30cm x 15cm y de 15cm x 20cm x 30cm, los adobes incaicos eran de tamaños superiores con dimensiones de 10cm x 50cm x 25cm. (Gonzales, 2003).

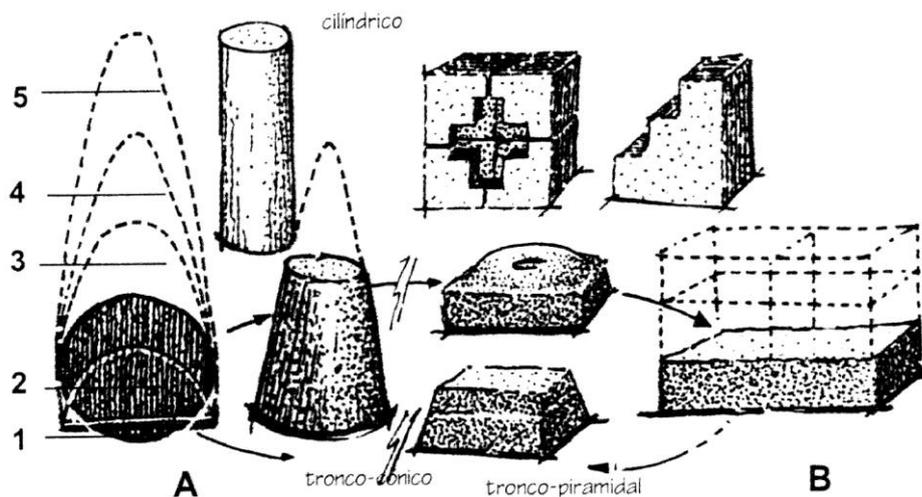


Figura 5. Pasos intermedios en la elaboración del adobe.

Nota. Relación entre adobes de las familias (A) «base plana-altura curva», y la de (B) «lados paralelos». La gradación se da, con el mayor uso de las líneas rectas, lo cual no implica necesariamente mayor desarrollo. (1) bola, (2) lenticular o plano convexo, (3) conoide, (4) cónico, (5) odontiforme.

Fuente: Campana Delgado (2000, p. 64)

Aún no se conoce cuáles fueron los procesos evolutivos de las formas de los diversos tipos de adobe. Probablemente existió relación entre sí en base a sus propias tradiciones como en la *Figura 5*, pero no se han encontrado las etapas evolutivas que interrelacionen sus formas, hasta llegar a las que conocemos en la actualidad (Campana, 2000, p. 59).

En la *Figura 5*, aparecen las dos familias de adobes, mostrando los posibles pasos intermedios y otras formas de elaboración eventual (*Ibid.*, p. 64), las mismas que fueron evolucionando hasta tener a la forma prismática como la predominante.

En la actualidad, el adobe ha sido estandarizado y dio origen a una norma bastante detallada sobre la correcta fabricación y uso del material, en donde se explica cómo debe ser el porcentaje adecuado de sus componentes: arena, de 50-70%. Para que llegue a su mayor efectividad es recomendable adicionar arcilla en un 15-18%. Y para darle un poco de flexibilidad se utiliza paja o fibra vegetal, entre un 10-28%. El agua a utilizar debe ser potable, sin indicios de materia orgánica y sales, ni tampoco encontrarse presencia de ningún tipo de aceites y ácidos. (Norma E.080, 2017)

1.1.5. Tapial o tierra apisonada

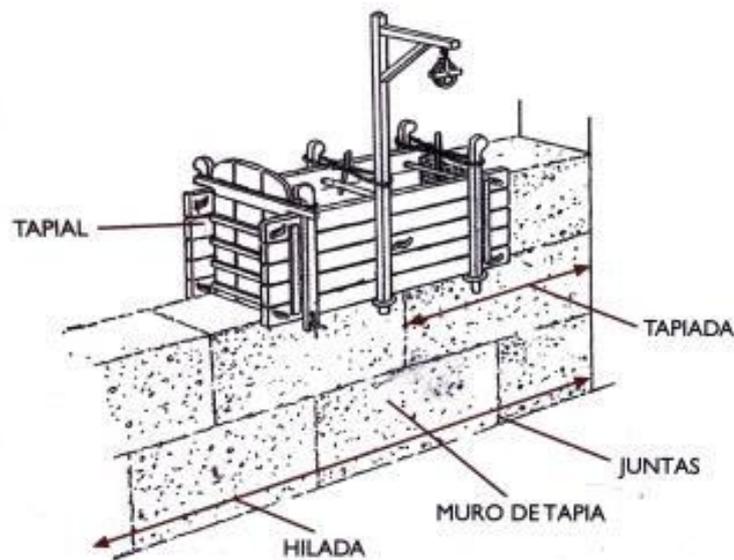


Figura 6. Dibujo y partes de la construcción de una pared con tapial.

Nota. **Tapia:** muro de tierra apisonada. **Tapiada:** cada uno de los bloques de pared de tapia hechos de una sola vez que, uno junto a otro, conforman una hilada. **Tapiador:** persona que ejecuta tapias. “Albañil que hace tapias”.

Fuente: Font *et al.* (2009, pp. 45-46), Ortiz (2014)

El uso de esta técnica constructiva es tan ancestral como el adobe. Utiliza una mezcla similar: *barro + arcilla + paja*, pero con un proceso constructivo algo diferente, muchas veces se incluyen pequeñas rocas en la base para brindarle mayor resistencia. Este sistema constructivo era llamado “Adobón”, y se va construyendo en forma de bloques continuos, en pie de obra (en el lugar) donde se requiere la construcción, generalmente viviendas.

Para su construcción se usa un molde tipo cajón a modo de encofrado (Figura 6), el cual es desmontable para poder trasladarlo a medida que se avanza, en el cual se vierte la mezcla de tierra, paja y agua. Después es apisonada o compactada a golpes con un pisón, se deja secar y se retira la cajonera o encofrado. Se tienen tres fases: armado de la cajonera o encofrado, vaciado o relleno y desarmado de cajonera o encofrado. (EBASL, 2017)

1.1.6. Quincha

Proviene del quechua y significa pared, muro, cerco, corral o cerramiento. Posiblemente su uso se remonta a los 10,000 años, llegando a su apogeo en la época colonial (siglo XVII), cambiando la configuración del uso de adobe en el primer

piso y quincha en el segundo nivel, con la intención de soportar los fenómenos geofísicos que presentan Perú.

Es un sistema constructivo netamente sudamericano y panameño, que se compone de una estructura interna de caña o madera a modo de armazón, rigidizado por parantes y vigas con al menos tres refuerzos horizontales. En la parte inferior lleva refuerzos diagonales y toda la estructura se rigidizaba con un enmallado de caña trenzada que le da rigidez, para posteriormente ser rellenado con una mezcla que contiene tierra, agua y paja. La quincha o entramado de madera relleno con tierra, es una tradición que sigue estando viva, es una técnica económica y de fácil construcción, además de un adecuado comportamiento sismorresistente, logrando una arquitectura sustentable (Jorquera, 2014) y un bajo costo monetario y energético además de la facilidad de construcción para el usuario. (Fernández *et al.*, 2005)

Este sistema constructivo tiene muy buenos resultados antisísmicos, porque es un elemento independiente y liviano. La caña le brinda elasticidad y el barro le brinda aislamiento térmico, por el índice elevado de inercia térmica, además de ser un sistema de fácil montaje. (Arquys, 2017)

1.1.7. *Ch'ampa* como unidad de construcción

La *Ch'ampa* o *T'epe* es la unidad de construcción usado en los *Putucos*, que viene siendo usado desde épocas preincas. No es un simple bloque de tierra, es un elemento extraído en forma rectangular del mismo suelo en zonas con raíces. Los especialistas, “maestros constructores”, son quienes identifican cuál es el mejor suelo para realizar la extracción. Ellos utilizan herramientas, tales como: chaquitacla, pala artesanal, hoz, vara para medición y sogas para medir. (Vitulas y Reynoso, 2013).

Este material se ha usado extensivamente en áreas propensas a inundaciones del distrito de Taraco, parte del distrito de Huancané y provincia de Azángaro, región Puno-Perú. Tales como: en la Comunidad de *Yanohoco* (Huancané), comunidades cercanías a lago Arapa, ubicado en el distrito de Samán, Centro poblado de Chucaripo, comunidad de *Collana*, *Sacasco Chacamarca* y *Careyta*. Donde la humedad, por capilaridad afecta a las cimentaciones de las viviendas. En

estas áreas no se permite construcciones con adobe, sencillamente por no tener resistencia a la humedad, y derretirse en agua al ser sumergidos (Suaña, 2004, p. 37; Peralta *et al.*, 2010).

Esta unidad de construcción es económica, porque proviene directamente del suelo, además su comportamiento estructural es eficiente durante el paso del tiempo, como se ha comprobado por la durabilidad de los *Putucos*.

La extracción se realiza en suelos donde crece el pasto silvestre llamado *Ch'iji* o *Quemello*, este tipo de fibra forma un tejido vegetal interno, tal cual se usa la paja en la construcción de adobes, pero la *Ch'ampa*, al ser un elemento extraído y no fabricado, tiene a las raíces como fibra vegetal, diferenciándola de otros sistemas constructivos. (*Ibít.*, 2014)

1.1.8.El *Ch'iji* y el *Quemello*

Son plantas silvestres, que crecen y se desarrollan, en regiones inundables, manantiales y áreas húmedas que en algún momento estuvieron sumergidas en agua, ya sea por inundación y crecida del nivel del lago Titicaca, o el desborde del río *Ramis*, también formado por las intensas precipitaciones pluviales. Estas plantas silvestres se adaptaron a esta región, ya que la capa superficial es rica en arcillas y materia orgánica que se incrementan por la descomposición y reciclaje de vegetación y otras especies silvestres.

El *Ch'iji* se conoce con el nombre científico *Muhlenbergia fastigiata*, y progresan en zonas secas altoandinas entre los 3,300 a 4,300 m s.n.m., y pueden ser encontrados en Bolivia, Argentina, Perú, Chile y Argentina, poseen la capacidad de soportar humedad extrema (entre 3 a 4 meses) y descomposición biológica, manteniendo sus propiedades físicas, por lo que es usado en zonas inundables. Suele ser usada por los oriundos de esa zona de la siguiente manera: los tallos subterráneos y las raíces son parte de la *Ch'ampas* y el *césped* o pasto silvestre es para alimentar al ganado. (Peterson *et al.* 2011)

Según Peralta *et al.* (2010), el proceso de extracción de la *Ch'ampa*, se da del suelo limoso arcilloso y se realiza de la siguiente forma:

- Paso 1. Trazado de unidad (bloque) en el suelo e inicio de corte del terreno con herramientas tradicionales y artesanales.
- Paso 2. Corte del terreno con herramientas para extracción de *Ch'ampa* dependiendo de las dimensiones del mismo.
- Paso 3. Extracción de las unidades de *Ch'ampa* con apoyo de un ayudante y herramientas.
- Paso 4. Apilamientos de *Ch'ampas* extraídas en las que se podrá observar que se extraen conservando unas dimensiones marcadas antes de la extracción.

1.1.9. Propiedades de los materiales tradicionales

El material constructivo con componentes de tierra cruda, proviene del intemperismo o meteorización, además de la erosión mecánica y química de la roca madre, también cuenta con materia orgánica, siendo las partículas que la componen desde los guijarros hasta los polvos finos y arcillosos. Estos componentes pueden variar entre una mezcla de arcilla, limos y arena, en ocasiones, también puede contener pequeñas cantidades de grava y piedras como se puede ver en la *Figura 7*, dándole al material resultante, propiedades como resistencia, flexibilidad, capacidad térmica, trabajabilidad, entre otros.

Para ser usado en la construcción de viviendas, es necesario identificar en forma adecuada este material, que en la gran mayoría ha sido transmitido como parte de una tradición constructiva tradicional empírica y que con el tiempo ha pasado a desarrollar criterios técnicos, pero muy pocos estudios detallados y consideraciones normativas, por lo que su uso se limita a la construcción empírica en muchos de los casos, las cuales van desarrollándose en base a la experiencia y los ensayos de prueba y error, habiendo logrado magníficos avances en arquitectura tradicional, que en la actualidad no es revalorado.

Dentro de las propiedades más importantes de este material se encuentra la resistencia a la compresión σ_c [kg/cm²] y la tracción σ_y [kg/cm²], la cual brinda estabilidad a las estructuras, la permeabilidad k [cm/s] y “la conductividad térmica λ [W/mK] que es la cantidad de calor transmitida en una dirección” (Cuitiño *et al.*, 2020, p. 140). Aunque existen muchas otras como densidad, peso específico,

módulo de elasticidad, etc., estas cuatro son las que nos brindan la mejor información para decidirnos por un material.

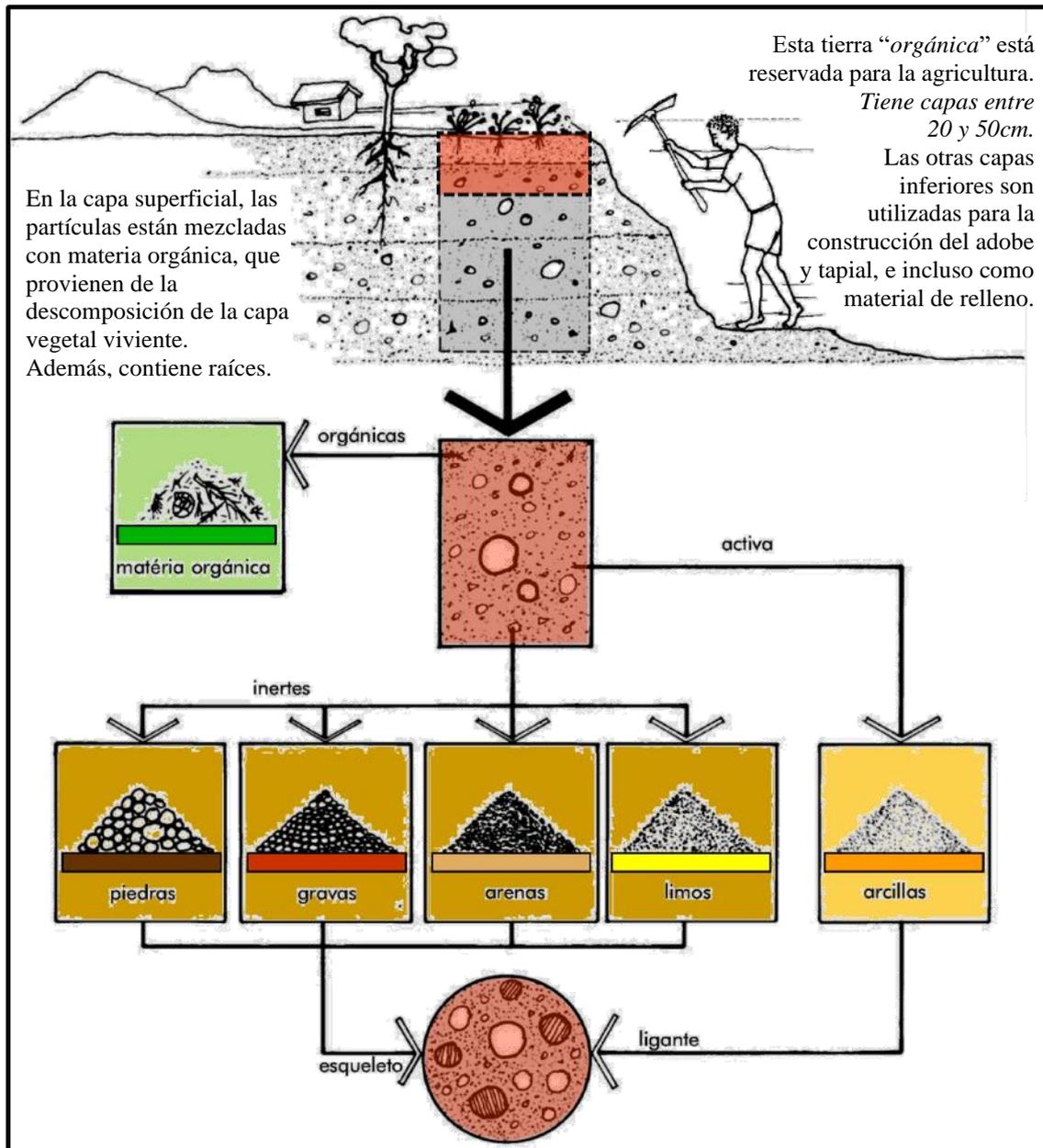


Figura 7. Composición del suelo o tierra para extracción y construcción.

Nota. La tierra cruda extraída para construcción, tiene la ventaja de que puede ser conservada durante muchas semanas o incluso años, su calidad aumenta en base a su composición.

Fuente: Gatti (2012, p. 11).

En base a estas consideraciones, podríamos proponer que las propiedades más importantes, en los materiales constructivos tradicionales, que se deberían estudiar a profundidad, para conocer a ciencia cierta sus propiedades y características que nos den una idea clara al momento de compararlos con otros materiales de construcción y sistemas constructivos, son las siguientes:

- Características del material como la zona de extracción y las características del contenido de materia orgánica.
- Propiedades físicas como la humedad natural, el peso específico y el peso volumétrico.
- Los límites de consistencia, granulometría y contenido de finos.
- La conductividad tanto térmica como hidráulica o permeabilidad del material, y
- Las propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión y tracción.

1.2. Antecedentes

En esta sección se presentan estudios previos, que dan cuenta de los principales hallazgos y contribuciones a la investigación, aunque algunos son de nivel inferior, solo los resultados obtenidos en laboratorio brindan una información vital para contrastar los resultados obtenidos. A partir de la cual se plantea el problema de estudio.

1.2.1. Materiales tradicionales

Rivera *et al.* (2021), en su investigación: “*Adobe como saber ancestral usado en construcciones autóctonas de Pore y Nunchía, Casanare (Colombia)*”, ha estudiado la implicancia de materiales tradicionales, su objetivo se centra en el adobe, el cual es un material de construcción fundamentado en el saber ancestral del acervo popular y usado principalmente en la población de los sectores rurales colombianos y latinoamericanos, generada por la desconexión y el distanciamiento de las zonas urbanas y las dificultades económicas, sin embargo algunas poblaciones han optado por mantener la tradición del uso de este tipo de materiales no convencionales salvaguardando las tradiciones que esto implica. La metodología aplicada abarca etapas como: observación directa a construcciones en adobe, estudio de sus propiedades mecánicas y aplicación de encuestas semiestructuradas y de entrevistas a personas con experticia en su elaboración. Los hallazgos principales indican que se debe valorar y salvaguardar el conocimiento ancestral como una manifestación patrimonial bajo amenaza de disipación debido al uso de materiales convencionales.

Al-Sakkafl *et al.* (2021), en su investigación: “*Soil Properties for Earthen Building Construction in Najran City, Saudi Arabia*”, indica que la tierra es el

material de construcción más común e importante utilizado en la industria de la construcción, ya que se encuentra en casi todos los países del mundo. La construcción moderna con tierra está muy viva y se extiende por una enorme área geográfica. Esta técnica utiliza varios materiales de tierra y numerosos métodos, y presenta muchas ventajas tanto para la construcción en general como para los edificios en particular. *Najran*, una ciudad situada en el sur de Arabia Saudí, se distingue por su patrimonio de tierra. Arabia Saudí, se distingue por su patrimonio de arquitectura de tierra, que presenta muchas ventajas y una maravillosa variedad de tipos y diseños exteriores. Sin embargo, los puntos débiles del material, junto con la falta de conocimiento y el rápido desarrollo han provocado el levantamiento y la destrucción de muchos de los edificios de barro y del patrimonio de *Najran* durante los últimos años. No todos los tipos de suelo son adecuados para todas las necesidades de construcción. La especificación del suelo es, por tanto, muy importante para garantizar que los materiales utilizados en la construcción cumplan todos los requisitos. El objetivo principal de este estudio era investigar la idoneidad de los suelos locales para la construcción de edificios de tierra. Por lo tanto, los materiales locales disponibles de calidad común en los lugares de *Najran*. La metodología de experimentación y las pruebas de laboratorio se llevaron a cabo pruebas de laboratorio para determinar las propiedades de estos materiales. Los hallazgos mostraron que las propiedades del suelo local son adecuadas para su uso en la de bloques de tierra, ya que cumplían las especificaciones. Los resultados se registraron para su uso en estudios posteriores, así como para explorar el patrimonio y la rehabilitación, así como para mejorar los materiales y las técnicas modernas de construcción con tierra y las técnicas de construcción modernas.

Villacampa *et al.* (2018), en su investigación: “*Constructive techniques of the past for a sustainable future. the case of traditional earthen architecture in aragon (Spain)*”, el objetivo del estudio es la relación entre las características de la arquitectura y las características del entorno, está orientado a recuperar lecciones de arquitectura tradicional que se han ido formando a lo largo de siglos de ensayo y error y que han ido desapareciendo cada vez más en las últimas décadas. La población de estudio indica que la arquitectura tradicional en general y la arquitectura de tierra en particular, son altamente vulnerables a la globalización y

la adaptación a los usos modernos, en parte debido a la falta de información. De ahí que la metodología implica la importancia del conocimiento sobre los valores de esta arquitectura, ligados a la cultura constructiva de localizaciones o regiones concretas que han optimizado el uso de recursos y técnicas constructivas durante siglos. El hallazgo más importante son las lecciones sobre intervenciones en edificios existentes, en combinación con el diseño de nuevos edificios, se consideran el punto de partida para la construcción sostenible vinculada a su ubicación.

Duarte Carlos *et al.* (2018), en su investigación: “*Arquitectura tradicional de tierra en Europa: un patrimonio de entramado y encestado, adobe, tapia y pared de mano*”, tiene como objetivo presentar un estado del arte sobre el patrimonio arquitectónico de tierra en el territorio europeo. En su metodología considera las misiones llevadas a cabo en diversas regiones y países como la población que permitieron entrevistar a especialistas regionales y encuestar a expertos internacionales, se determinaron las principales culturas constructivas tradicionales de tierra en la Unión Europea, presentando los grandes grupos constructivos que constituyen el patrimonio de tierra dentro del territorio europeo: las "técnicas mixtas", constituidas por un entramado con relleno de encestado en su interior; el "adobe", unidades moldeadas de tierra y secadas al sol; la "tapia", hecha por compresión de tierra entre tapias; y la "pared de mano", compuesta por capas superpuestas de tierra plástica. La investigación pretende mostrar los hallazgos de las cuatro grandes familias de culturas constructivas de tierra y sus variantes en el continente europeo, así como reflexionar sobre el futuro de este vulnerable patrimonio en vías de desaparición.

Gamio (2017), en su investigación: “*Comparación del sistema constructivo de Putucos con otros sistemas constructivos en tierra*”, desarrolla uno de los pocos estudios; por no decir el único; donde su objetivo es comparar las diferentes propiedades mecánicas y físicas de tres sistemas constructivos en tierra tales como el adobe, quincha y *Ch'ampa*, con el propósito de lograr una nueva línea de investigación para la *Ch'ampa* y que, puedan ser parte de la población de las viviendas rurales en el altiplano peruano. La metodología del trabajo consiste en la comparación de resultados obtenidos de investigaciones previas que muestren que dicho material tiene una resistencia en el tiempo superior al adobe y la quincha.

Como sus hallazgos ha identificado que no se puede determinar en totalidad su eficiencia por la carencia de algunos ensayos, pero sí podemos determinar una nueva línea de investigación. Trabajo de investigación en el cual he participado como asesor externo.

Sturm *et al.* (2015), en su investigación: “*Characterization of dry-stack interlocking compressed earth blocks*”, indica que la tierra ha sido un material de construcción tradicional para construir casas en África. Una de las técnicas más comunes es el uso de ladrillos de adobe secados al sol o secados al horno, con mortero de barro. Los ladrillos cocidos son la principal causa de deforestación en países como Malawi. Aunque esta técnica es de bajo coste, los ladrillos varían mucho en forma, resistencia y durabilidad. Esto da lugar a casas débiles que sufren considerables daños durante las inundaciones y los eventos sísmicos. Como objetivo se tiene que una solución es el uso de mampostería en seco con bloques de tierra comprimida entrelazados (ICEB). Esta tecnología tiene el potencial de sustituir los actuales ladrillos por un tipo de bloque más sostenible. Este estudio se realizó en el contexto metodológico del proyecto HiLoTec, que se centra en las casas de las zonas rurales de los países en desarrollo. Para este estudio, se eligió Malawi como estudio de caso. Este documento presenta los resultados de las pruebas realizadas con ICEBs de pila seca. Se tomaron y estudiaron muestras de suelo de Malawi, se realizó un proceso de homogeneización del suelo portugués para producir ICEBs en la Universidad de Minho, Portugal. A continuación, se determinó la resistencia a la compresión y a la tracción de los materiales a través de pequeñas muestras cilíndricas. Posteriormente, se determinó la resistencia a la compresión y resistencia a la flexión de las unidades. Por último, ensayos para determinar la resistencia a la compresión de los prismas y mampostería para determinar la resistencia inicial al cizallamiento de las interfaces secas. Este trabajo proporciona datos valiosos para las viviendas ecoeficientes de bajo coste.

Cid *et al.* (2011), en su investigación: “*Las normativas de construcción con tierra en el mundo*”, su objetivo es el estudio referenciado sobre las normas y reglamentos vigentes desarrollados por los organismos nacionales de normalización o autoridades correspondientes. Dentro de su población estudia el panorama normativo para las construcciones con tierra cruda a nivel internacional, analizando cincuenta y cinco normas y reglamentos de países repartidos por los cinco

continentes, que representan el estado del arte de la normalización de la tierra cruda como material de construcción. Se presentan las normativas y los organismos que las emiten como parte de la metodología, analizando la estructura y contenido de cada una. Se estudian y analizan los aspectos más relevantes, como la estabilización, selección de los suelos, requisitos de los productos y ensayos existentes, comparando las diferentes normativas. Sus hallazgos indican que la tierra ha sido utilizada como material de construcción desde hace siglos, no obstante, la normativa al respecto está muy dispersa y en la mayoría de países desarrollados surgen numerosos problemas técnicos y legales para llevar a cabo una construcción con este material.

Kuroda (2004), en su investigación: “*Educación en Materiales y Sistemas de Acreditación de Ingeniería en Japón*”, como parte de sus objetivos hace referencia a los Eco materiales, como materiales de conciencia ecológica que pueden armonizar la naturaleza minimizando la carga ambiental. Dentro de su población y metodología, la humanidad debe ser consciente de los materiales que producen, pues estos son primordiales para una futura sociedad sustentable, deben regresar a su lugar de procedencia, y no ser visto solo por la visión de un hombre sino de todo su entorno. Como parte de sus hallazgos se deduce que existen infinitudes de materiales, pero si se debe apostar por alguno de ellos para desarrollar proyectos en comunidades rurales, deben ser los materiales más cercanos al lugar o locales, como la tierra, cal, bambú, caña y madera, en miras de promover nuevas tecnologías, métodos y normativas de auto construcción enfocados en la revalorización de su entorno. Logrando así espacios sencillos, pero con significado y una trascendencia importante para su comunidad.

1.2.2. Construcciones con materiales tradicionales en el Perú

En el Perú la construcción con tierra cruda viene desde épocas muy remotas, ya que es un material accesible, moldeable y fácil de manejar.

Campana (2000, pp. 35-36) en su publicación: “*Tecnologías constructivas de tierra en la costa norte prehispánica*”, analiza las tradiciones constructivas de la costa como parte de sus objetivos. Su población de estudio incluye las construcciones de los milenios 3° y 2° a.C., el clima de la costa fue más cálido y con muchos humedales. Su metodología incluye el estudio de los restos encontrados

en el valle de Moche como «Huaca de los Reyes», «Herederos», o «Huabal» cerca de la antigua «Laguna de los Gentiles». Esto se relaciona con un periodo ligeramente posterior a los Templos de Caral en el Valle de Supe, de Cardal en el valle de Lurín, Garagay y El Paraíso en el Rimac mostrados en la *Figura 8*. Como parte de sus hallazgos identificó que estas grandes construcciones inicialmente fueron hechas con piedra y barro que era el material más abundante en estas zonas húmedas, o también el inicio de construcciones con *Champas*[sic] y después con quincha. Es decir, barro y raíces o barro y caña, también eran materiales abundantes en los humedales.

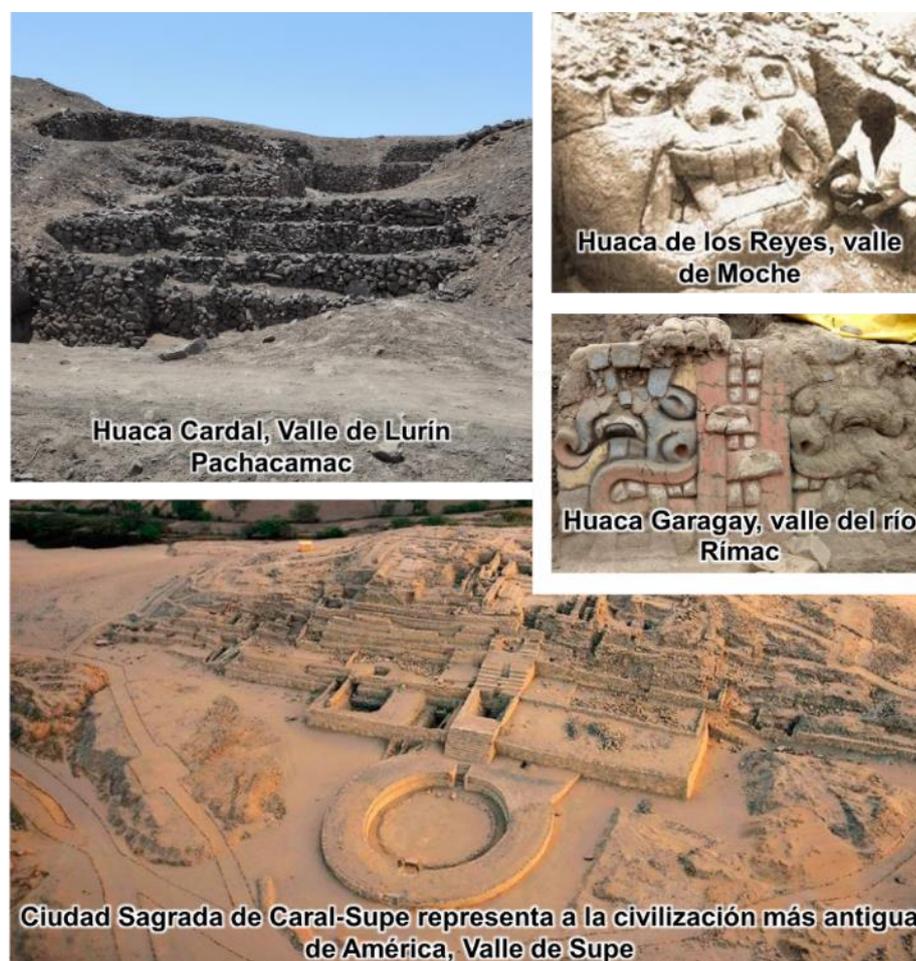


Figura 8. Tecnología constructiva de tierra en la costa norte del Perú.

Nota. Las técnicas especializadas de construcción siempre inician en la élite y grupos de poder y luego pasan a tener difusión general, formando parte del bagaje cultural de un pueblo.

Fuente: Consolidación de las referencias de Campana (2000, p. 38)

Chirinos (2010) en su publicación: “*La aplicación de reconstrucciones digitales para la conservación de patrimonio: Aportes preliminares sobre el caso de Chan Chan*” indica que *Chan Chan* es un complejo monumental de adobe

ubicado en la costa norte peruana, fue construido y utilizado por los gobernantes de la cultura Chimú entre los años 900 y 1470 d.C., esta población se encuentra ubicado en la boca del valle de Moche, departamento de La Libertad, Perú, y es considerado como la aglomeración urbana más extensa del área andina. Su metodología considera una reconstrucción digital considerando un perímetro actual es de 15 km²; el núcleo monumental tiene una extensión de 6 km². Como su hallazgo más importante concluye que desde el momento mismo de su construcción y hasta la actualidad, Chan Chan (*Figura 9*) es indudablemente uno de los sitios más importantes y más conocidos de la arqueología peruana, y es conocida como la “ciudad de barro más grande de América.



Figura 9. Ciudadela de Chan Chan en Trujillo, Perú.

Nota. Es la ciudad de adobe más grande de América, Se asentó en la costa norte del país entre los años 1000 y 1470 y en su apogeo llegó a expandirse desde Lima hasta la frontera con Ecuador.

Fuente: Disponible en: <https://www.denomades.com/blog/ciudadela-de-chan-chan/> [Acceso Junio 2021]

Vildoso *et al.* (2005), en su investigación: “*Seguir construyendo con Tierra*” citaron al cronista sacerdote Bernabé Cobo [1653] donde afirmaba:

No hacían antiguamente los indios estas tapias como nosotros, de tierra suelta un poco húmeda, sino de barro bien amasado y blando, como hacemos nosotros los adobes. Sacaban las muy derechas y lisas porque arrimaban a los lados en lugar de mantas de madera, mantas y cañizos, y luego las enlucían con el mismo barro. Desde linaje de tapias son los muchos paredones antiguos

de que está lleno todo este valle de Lima, por donde sacamos su forma y hechura [padre Bernabé Cobo, 1956 (1653), Lib 14 Cap. III p 241].

Montoya (2017), en su investigación: “*Construcción con tierra revisión y sustento de los ensayos de campo: Presencia de arcilla o resistencia seca, Control de fisuración con arena gruesa*”, como parte de sus objetivos revisa y sustenta construcciones en tierra usando un método de laboratorio. En base a las reseñas del cronista español concluye que los antiguos peruanos tenían técnicas propias y diferentes para la elaboración del “adobón”, así mismo se infiere que la técnica del “tapial” fue traída al Perú desde Europa. Por tanto, el Perú es un país con mucha historia y tradición constructiva en tierra cruda; puesto que en la época prehispánica se construían huacas utilizando varias técnicas, entre ellas: adobes, grandes masas y shicras. Con la llegada de los españoles se implementaron técnicas nuevas (tapial); varias de las cuales han prevalecido en el tiempo y actualmente se sigue construyendo con ellas. Existen ventajas al construir con tierra cruda: (p. 14)

- El material se encuentra en el mismo sitio, no es necesario comprarlo ni transportarlo; siempre y cuando la calidad de la tierra sea aceptable.
- Reconocer una buena tierra y la técnica de construcción han sido y son aprendidas de generación en generación.
- Existe apoyo entre los comuneros para construir sus viviendas rurales que conlleva a la reciprocidad.

Gabril (2014), en su investigación: “*Thermal Comfort and Building Design Strategies for Low Energy Houses in Libya*”, como parte de su objetivo llena parte de la brecha en los estándares de confort térmico para *Libia*, y su metodología demuestra la posibilidad de reducir el uso de energía en la futura casa en comparación con la casa contemporánea en las tres regiones climáticas de *Libia*, con casi 80% en invierno y 60% en verano. El estudio también proporciona directrices para el uso en la construcción de estándares en *Libia*. También concluye que la cantidad de líneas de investigación se debe llevar a cabo para obtener una respuesta integral a la cuestión del confort térmico y las estrategias de diseño de edificios para una casa de bajo consumo de energía en *Libia*.

Las construcciones autóctonas reflejan las características del medio ambiente, según los recursos naturales disponibles, el clima, la ubicación, así como la cultura

de sus usuarios, sus hábitos y su tradición constructiva. Estas construcciones generalmente son adecuadas para un modo de vida específico. Según Michelet (1858), citado por Bachelard (1989, reed. 2008), en su investigación: “*A Poética do Espaço*”, trae el ejemplo del pájaro que moldea su nido con su propio cuerpo hasta alcanzar la forma ideal, ayudando en la comprensión de que la arquitectura autóctona también pasa por un proceso, el proceso de adecuación al modo de vida de sus usuarios. Entonces se puede entender que la casa se ajusta al cuerpo como una vestimenta, cuyo tamaño es específico, adecuado a la cultura, a los hábitos ya las experiencias personales (Zanin, 2005). De ello se desprende la necesidad de valorización de la diversidad cultural expresada por medio de las construcciones. Rummenhoeller (2004, p.13) destaca que, para un desarrollo sostenible, se debe considerar la riqueza cultural, pues la diversidad “*no es únicamente de sapos y orquídeas, pero también de hombres (...), que piensan, actúan y perciben el mundo de manera diferente*”.

En el estudio del habitad, Hernández (2011), en su investigación: “*El Habitar como Patrimonio Cultural Intangible*”, llega a una pequeña, pero muy importante curiosidad de saber cómo llega a vivir el hombre dentro de los espacios, como él se apropia y los adapta a su forma de vida, y como el mismo hombre se lo permite; hasta dónde puede llegar el ser humano a ser adaptable para poder vivir y sobrevivir dentro de una nueva arquitectura o como este hombre modifica la arquitectura para poder aprovecharla y hacer uso de ella. Se estudia a partir de la preocupación por malos entendimientos de los conceptos antes mencionados, la progresiva degradación funcional arquitectónica de la vivienda tradicional mexicana.

Según Dias *et al.* (2015), en su investigación: “*Sobre as casas tradicionais de pau-a-pique do grupo étnico Nyaneka-nkhumbi do Sudoeste de Angola*”, tiene como objetivo la recuperación, valorización y exploración de las prácticas culturales del grupo étnico *Nyaneka-nkhumbi* del Sudoeste de Angola con una visión metodológica de etnomatemática evidenciadas en un proceso de construcción de casas de *pau-a-pique* (palo a pique), teniendo en cuenta la multiculturalidad social escolar que se verifica casi un poco en todas partes, y en particular *Portugal*, con un número considerable y creciente de migrantes africanos y otras partes del mundo. Cada vez más se vuelve pertinente preservar la memoria cultural de estos pueblos. El artículo presenta una introducción inherente a los

estudios *etnomáticos* realizados en *África* por varios autores; una metodología basada en la conversación informal con elementos del grupo, la observación participante y las entrevistas, apoyada por el registro fotográfico y las notas de campo; los resultados de la investigación se desarrollaron en *Huíla (Angola)* donde se registraron varios conocimientos matemáticos impregnados con la construcción de casas tradicionales de los *Nyaneka-nkhumbi* que pueden ser aprovechados en la creación de tareas en el contexto de formación.

Por otro lado Arias *et al.* (2010), en su investigación: “*Etnomatemática y la Construcción Civil*”, como parte de sus objetos y metodología considera varios aspectos teóricos que involucran temáticas de las matemáticas como de la *Etnomatemática*, las cuales al ser abordadas dentro del análisis de las prácticas de un albañil, permitieron desplegar una serie de acciones que posibilitaron una pequeña investigación en torno a evidenciar los procesos matemáticos referentes a la conversión de medidas como parte de sus hallazgos, la construcción de circunferencias y la medición de ángulos que se dan de manera implícita en las prácticas laborales de un grupo social determinado (albañiles).

La UNESCO (2018), en la publicación: “*Koutammakou, the Land of the Batammariba*”, considera a la *Takienta* o *Tatas* o *Katammariba*, que está ubicada en la región *Koutammakou*, al nordeste de Togo, y se extiende también al vecino Benín. Es el territorio de los *Batammariba* (también llamados *Katammariba* o *Temberma*, nombres de tribus). Las viviendas llamadas *Takienta* (o *tatas*), son hechas de barro o adobe, de forma cilíndrica y son únicas en África. Representan un símbolo de expresión cultural. Los *Batammariba*, son una comunidad que está muy unida a sus costumbres, rituales, creencias y utiliza sus recursos armoniosamente. Este conocimiento ancestral fue reconocido por la UNESCO como patrimonio de la humanidad en el año 2004.

Rice (1952) en su investigación: “*Medieval Harrān: Studies on its Topography and Monuments*”, considera a la casa tipo colmena de tierra, en Harán sureste de Turquía, la antigüedad de estas viviendas es de 2,000 años. En este grupo de viviendas se encuentra “La gran mezquita de Harran”, que es la mezquita más antigua construida en Anatolia, como parte de la arquitectura islámica”. También conocida como la mezquita de paraíso, este monumento fue construido por el último

califa, Omeya Mervan II, entre los años 744 – 750 a.C. (Mundo, 2018). En la actualidad se conservan aún un complejo de 50 viviendas de barro o adobe. que son un hito turístico, cuyos tejados son del mismo material, en forma cónica y parecen termiteras. La altura de estas viviendas es de 4.0m a 5.0m.

Tectónica (2018) considera a la vivienda de adobe de los indios Navajos, EEUU, este tipo de vivienda tradicional de los Navajos es llamada “*Hogan*”. Está construida con troncos y recubierta con arenisca colorada. Hay dos tipos de vivienda: el *hogan* masculino y el *hogan* femenino. Cada uno de ellos tenía diferentes funciones: el masculino es más ceremonial y alberga ritos, su forma es más piramidal, con cinco caras, es llamado como “el *hogan* tipo tridente”; el *hogan* de la mujer es de planta circular y el techo es una cúpula, además en el centro tiene un agujero para la salida del humo. Su función se considera para más de una generación usuarios, siendo usado por los hijos y posteriormente por los nietos de la familia, los cuales lo valoran cada vez con mayor devoción ya que es parte de su identidad cultural.

1.2.3. Propiedades de los materiales constructivos tradicionales

Cuitiño *et al.* (2020), en su investigación: “*Análisis comparativo de aspectos térmicos y resistencias mecánicas de los materiales y los elementos de la construcción con tierra*”, como su objetivo analiza las características térmicas y de resistencias mecánicas de materiales y elementos constructivos elaborados con suelos naturales estabilizados. La metodología parte de la recopilación bibliográfica de fuentes primarias, secundarias e información de ensayos propios, sobre la densidad, la conductividad térmica y las resistencias a la compresión, a la flexión y al corte correspondientes al adobe, los bloques de tierra comprimida (BTC), la tapia y la quincha, según diferentes autores. Además, se consideraron los valores establecidos por normas argentinas IRAM referidas al acondicionamiento térmico de edificios. Se elaboraron comparaciones entre sí y con algunos materiales industrializados, tales como los bloques de hormigón, los ladrillos cerámicos huecos y los ladrillos cocidos macizos. A partir de este análisis, su hallazgo es que la revisión bibliográfica no es suficiente para obtener una estandarización de los valores de conductividad y transmitancia térmica de los materiales y los elementos constructivos naturales. Así mismo, a partir de las comparaciones de valores se

pudo observar cómo se relacionan la densidad de los materiales y la de los morteros, según las distintas técnicas, con el comportamiento térmico y las resistencias mecánicas.

Wieser *et al.* (2020), en su investigación: “*Desempeño térmico de cerramientos de tierra alivianada. Posibilidades de aplicación en el territorio peruano*”. Las soluciones constructivas tradicionales y contemporáneas han demostrado tener serias limitaciones en cuanto a la solución del déficit cualitativo y cuantitativo de la vivienda y el equipamiento; las evidencias del desempeño térmico son igualmente desalentadoras. Por tal razón su objetivo es indagar sobre la capacidad de la tierra alivianada para brindar confort térmico en los edificios, considerando los diferentes climas del territorio peruano y comparándola con poblaciones de los sistemas constructivos más comunes en el medio: el adobe y la albañilería de ladrillo. Como parte de su metodología caracteriza las cualidades térmicas de los componentes, de la realización de simulaciones térmicas dinámicas, y comparando el desempeño de diferentes prototipos digitales, se identificaron las ventajas de la tierra alivianada para brindar confort térmico en las edificaciones; el buen desempeño del material se atribuye a su marcado equilibrio entre una masa térmica media y una conductividad térmica relativamente baja. Sus hallazgos destacan las ventajas ecológicas debido a la utilización de materiales naturales, renovables y biodegradables en la composición del sistema constructivo propuesto.

Serrano *et al.* (2020), en su libro de investigación: “*El adobe. Su tradición simbólica y arquitectónica en el Estado de México*”, su objetivo es dar a conocer las bondades sustentables del adobe, así como su tradición simbólica y particularmente, en el Estado de México, que es parte de la identidad cultural. Su metodología muestra un análisis de la innovación con la incorporación en su composición de residuos de agave, es decir, la sustitución de la paja por estas fibras, y conocer las ventajas o desventajas en su utilización. Para ello, se exponen dos conceptos fundamentales: el adobe y la casa. Someramente, el adobe tradicional es un material de construcción compuesto por una masa de barro (arcilla y arena) y mezclado a veces con paja u otra fibra vegetal (material biocompuesto); se deja secar en moldes de madera rectangulares para conformar bloques que podrán ser utilizados como muros, ya sea para edificaciones públicas o, en el caso que nos ocupa, viviendas. Como parte de sus hallazgos muestra la connotación como

aspecto simbólico, el cual se centra en que la casa no solamente satisface necesidades físicas y corporales, sino que también es espacio de sueños, recuerdos, identidad y demás construcciones sociales y culturales. El adobe forma parte de la identidad nacional, pues se ha usado desde épocas prehispánicas hasta la actualidad, siendo un material representativo en la arquitectura mexicana, tanto en la tradicional o vernácula como en las nuevas tendencias de diseño arquitectónico.

Cuitiño *et al.* (2018), en su investigación: “*Wattle and Daub Experimental Workshop: Durability Testing after 14 years of Uninterrupted Use*”, Un factor importante a analizar cuando se estudia la vida útil de las construcciones de tierra es la detección de las patologías constructivas que puedan ocurrir; una consideración importante a la hora de construir una vivienda; sin embargo, en Argentina información sobre la construcción con bahareque es escasa. El objetivo del trabajo es describir un ensayo de durabilidad realizado en un taller experimental construido con tecnología de madera y barro en 2004, en la ciudad de Mendoza, Argentina. La metodología es un estudio de un edificio tiene una superficie de 33.63 m² (5.70 m x 5.90 m), y alberga un taller experimental para la investigación de la energía térmica y la construcción de equipos solares. Durante los 14 años que el taller ha estado en uso, las paredes de madera y barro han estado expuestas a diversas fuerzas ambientales, como la lluvia, el viento y los terremotos. Según los hallazgos, el comportamiento térmico ha permanecido constante a lo largo del tiempo, manteniendo una diferencia de temperatura de 5.8 °C entre el interior y el exterior sin necesidad de calefacción auxiliar. En general, la construcción se ha conservado bien y sirve para la que fue construida, demostrando así que las construcciones de madera y barro se mantienen en óptimas condiciones durante 14 años, con un mantenimiento mínimo para evitar el deterioro de los materiales de su superficie se deterioren.

Castillo *et al.* (2018), en su investigación: “*Comportamiento físico mecánico de la tapia por pandeo y conexión de esquina. Caso Teatro Imperial de Pasto*”, estudia como objetivo a la tapia o tapial, usando la metodología del laboratorio, y como parte de sus conclusiones indica que la tapia es un muro ancestral fabricado artesanalmente en tierra apisonada, con la que se construyeron edificaciones patrimoniales en la ciudad de Pasto, (zona de amenaza sísmica alta), entre ellas el teatro Imperial el cual es considerado como un patrimonio invaluable (1922)

conocido como el “Decano de los Teatros del Sur”, declarado como de uno de los bienes inmuebles de interés cultural de la nación y protegido por las leyes que regula el Ministerio de Cultura.

Torres (2018), e su investigación: “*Reflexiones acerca de la Arquitectura Precolombina en el Perú*”, con ayuda de la PUCP, inició ensayos de tapial mejorado, estos avances de investigación son alentadores para el campo la arquitectura de tierra en el Perú. No obstante, a la fecha, los aportes de conocimientos adquiridos no han sido encauzados adecuadamente y se carece de políticas nacionales que promuevan el uso de la tierra como material de construcción. Por el contrario, las grandes corporaciones productoras de acero y cemento promueven las edificaciones de viviendas de ladrillo, aún en zonas donde la tierra fue durante siglos el material tradicional.

Tejada *et al.* (2016), indica que hace aproximadamente tres siglos una catástrofe conmovió al Perú, ya que, en mayo de 1970, la ciudad de Lima fue destruida por un poderoso terremoto, estimado con grado X de intensidad en la escala de Mercalli modificada, este evento es considerado como el punto de partida en muchas investigaciones realizadas a construcciones de tierra. Por lo que; durante casi cincuenta años; muchos investigadores e instituciones, desarrollaron como objetivo prioritario, numerosos estudios en construcciones de tierra, podemos mencionar por ejemplo a la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO), el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), el Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS) y el Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda (ININVI) (Torres, 2018).

Muchas de las investigaciones realizadas a los sistemas constructivos con tierra están relacionados con el refuerzo y mejora de la calidad del material, tanto adobe como tapial, y generalmente en la construcción de viviendas y sus respuestas estructurales a eventos sísmicos. Se debe referenciar que, en el año de 1995, se formuló la primera Norma Técnica de Adobe desarrollada por el ININVI, la que actualmente lleva el nombre de Norma E. 080 que nos brinda referencias y criterios

globales para la construcción con tierra, teniendo a su última actualización en el año 2017.

Marchiori (2015), en su investigación: “*Arquitectura en tierra de la prehistoria y protohistoria en el Próximo Oriente. Estudio arqueométrico del adobe en los yacimientos de Tell Halula, Yumuktepe y Tell Tuqan*”, centra el estudio en la arquitectura de tierra en contextos de prehistoria reciente (neolítico y edad del Bronce-Hierro) del Próximo Oriente. La necesidad de trabajar con un de los restos materiales más abundantes en el registro arqueológico como es la tierra mediante el adobe, *tauf* o *pisé*, entre otros, ha llevado a desarrollar un programa analítico complejo que se ha aplicado a tres yacimientos, dos de ellos situados en Siria (Tell Halula y Tell Tuqan) y otro en Turquía (Yumuktepe). Su objetivo es analizar estos tres sitios, ya que presentan una cronología distinta que permite caracterizar y comprender la técnica de la construcción del adobe y de los procesos de adquisición de la materia primera, los materiales y los saberes tecnológicos asociados a las construcciones de contextos centrados tanto en el ámbito doméstico como en el público. Como metodología aplica la arqueometría como una línea de investigación nueva dónde la ausencia de una metodología común no ha permitido la realización de estudios comparativos entre datos de excavaciones distintas y cronología diversa. Por eso en este estudio se ha comparado los tres yacimientos siguiendo una misma propuesta metodológica que se centra en la realización de análisis química-física como DRX, FRX, petrografía, granulometría. Estas técnicas que son las más usadas para caracterizar los materiales y se acompañan de otras pruebas de tipo físico-mecánica como la determinación de porosidad y la determinación de resistencia a través de la prueba de compresión. La naturaleza estructural del material ha llevado a validar el análisis en este sentido. Las muestras procedentes de distintas estructuras domésticas en el caso de Tell Halula (21 muestras) asociadas a grill plan, silos construidos, hornos, hornacinas, canalizaciones, adobes y enlucidos. En el caso de Yumuktepe (17 muestras) y de Tell Tuqan (5 muestra) se han estudiado los adobes asociados a las distintas fases de ocupación con el objetivo de caracterizar los adobes, los suelos de ocupación y los enlucidos de cada periodo. Los resultados han permitido evaluar la hipótesis de un aprovisionamiento local de la tierra que permitirá identificar áreas de captación y zonas de aprovisionamiento asociadas a la gestión y uso del territorio por parte de las comunidades estudiadas.

Las pruebas físicas han determinado la diferencia en contenido de agua presente en muestra durante el proceso de elaboración de los adobes. Todas las muestras presentan calcita y cuarzo como mineral mayoritario y otros como feldespatos y mica como minerales secundarios. Esta diversidad de resultados permite identificar estrategias diferenciales en función del elemento construido. A nivel cronológico también se observa que cada solución arquitectónica proviene de una profunda tradición local y difícilmente procede de un saber de nueva adquisición hasta el surgimiento del artesano especialista. Este trabajo ha permitido conocer y profundizar las técnicas de construcción siguiendo un protocolo experimental que tiene como objetivo complementario incidir en los procesos constructivos e inferir en las prácticas de conservación y restauración de los elementos elaborados en tierra cruda.

Donkor *et al.* (2015), en su investigación: “*Earthen construction materials: Assessing the feasibility of improving strength and deformability of compressed earth blocks using polypropylene fibers*”, indica que los materiales de construcción de tierra suelen ser respetuosos con el medio ambiente y están disponibles a nivel local. Sin embargo, son más débiles y poco resistentes a los daños en comparación con los materiales de construcción convencionales, como los ladrillos cocidos y las unidades de mampostería de hormigón (CMU). Los bloques de tierra comprimida (CEB), está ganando popularidad como material de construcción en todo el mundo porque son más fuertes y más estables dimensionalmente que otros métodos y técnicas de construcción con tierra. Su objetivo es comparar con los ladrillos de adobe, y los resultados indican que siguen siendo más frágiles y débiles a la flexión y a la compresión en comparación con el CMU y los ladrillos cocidos. Como parte de la metodología, en esta investigación se estudió la posibilidad de subsanar algunas de las deficiencias de los materiales de construcción de tierra, evaluando la influencia de las fibras de polipropileno en la resistencia, ductilidad y deformabilidad de los CEBs. Se produjeron CEBs utilizando diferentes fracciones de peso de fibra y se ensayaron tanto en compresión como en flexión. Los resultados presentados como parte de los hallazgos sugieren que las fibras de polipropileno son una opción de fibra factible para la producción de CEB para la producción de CEB.

Parisi *et al.* (2015), en su investigación: “*Experimental characterization of Italian composite adobe bricks reinforced with straw fibers*”, indica que los edificios de adobe se encuentran en muchos países y suelen estar contruidos con ladrillos reforzados con fibra, que son materiales compuestos de tierra, agua y fibras naturales o artificiales. El objetivo del estudio es presentar resultados experimentales de los ladrillos de adobe reforzados con fibra de paja, típicamente utilizados en la población de Cerdeña (Italia) y producidos según los procedimientos tradicionales de fabricación artesanal en todo el mundo. Según la metodología, en gran número de ensayos de compresión y de flexión en tres puntos se llevaron a cabo en especímenes cúbicos y prismáticos respectivamente. La identificación de una dispersión significativa en los conjuntos de datos experimentales debido a la fabricación artesanal motivó la estimación de los parámetros mecánicos en diferentes niveles percentiles, con el fin de proporcionar sus valores característicos y la mediana. La geometría de las fibras de paja se caracterizó estadísticamente en términos de media, desviación estándar y distribución de probabilidad de su diámetro y longitud. Según los hallazgos, la caracterización mecánica en compresión incluyó la estimación de la energía de fractura. Los datos del ensayo de flexión se procesaron para estimar el módulo de Young en tensión, destacando la bimodularidad del material compuesto de tierra. Por último, se proponen modelos de tensión-deformación elásticos-perfectamente plásticos y no lineales se proponen para fines de diseño/evaluación.

Adorni *et al.* (2013), en su investigación: “*In situ characterization of archaeological adobe bricks*”, trata como parte del objetivo, la caracterización mecánica in situ de ladrillos de adobe de 2000 años de antigüedad procedentes del yacimiento arqueológico de *Nisa Partica* en Turkmenistán. Para ello, como parte de la metodología, diseñó un instrumento portátil para realizar ensayos de compresión, flexión en base a tres puntos. Este sencillo instrumento permitió medir in situ la resistencia a la compresión y a la tracción del material, proporcionando curvas de tensión-deformación que se han utilizado para calibrar relaciones constitutivas sencillas. Finalmente, los ladrillos fueron caracterizados mineralógica y petrográficamente. En los hallazgos, el trabajo demuestra que con herramientas sencillas es posible medir las principales propiedades mecánicas de los ladrillos de adobe, incluso en condiciones críticas in situ.

Referente a los análisis de la capacidad resistente a compresión y flexión, en el caso del adobe podemos resaltar los trabajos de Rivera *et al.* (2021), Catalán *et al.* (2019), García G. (2017), Quispe (2017), Tejada *et al.* (2016), Carhuanambo (2016), García (2017), Carhuanambo (2016), Ramírez (2016), Adorni *et al.* (2013) y Silveira *et al.* (2013), los cuales tuvieron un objetivo común para obtener las propiedades de los materiales tradicionales y obtuvieron mediante la metodología común del análisis de laboratorio, un valor promedio de $f_b = 16.47 \text{ kg-f/cm}^2$ y $R_f = 6.54 \text{ kg-f/cm}^2$. En el caso del tapial podemos resaltar los trabajos desarrollados por Quispe (2019), Tantaleán (2018), Castillo *et al.* (2018), Nardez (2018), Tejada *et al.* (2016) y Afanador *et al.* (2013), los cuales obtuvieron un valor promedio de $f_b = 8.14 \text{ kg-f/cm}^2$ y $R_f = 1.36 \text{ kg-f/cm}^2$.

Referente a la conductividad y resistencia térmica, en el caso del adobe podemos resaltar los trabajos de Cuitiño *et al.* (2020, 2015), Daudon *et al.* (2014), Arancibia (2013), Evans *et al.* (2012), Bestraten *et al.* (2011) y Heathcote (2011), los cuales tuvieron un objetivo común para obtener las propiedades de los materiales tradicionales y obtuvieron mediante la metodología común del análisis de laboratorio, los cuales obtuvieron un valor promedio de $K = \lambda = 0.72 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. En el caso del tapial podemos resaltar los trabajos desarrollados por Castellarnau (2020), CTE (2006), Walker *et al.* (2005) y Arnold (1969), los cuales obtuvieron un valor promedio de $K = \lambda = 1.10 \text{ W/m}\cdot\text{K}$.

Pero referente a estudios de la *Ch'ampa* no existen estudios detallados de sus propiedades, siendo uno de los pocos, el trabajo desarrollado por Gamio (2017, 2018); —*en el cual he participado como asesor externo*—, aportando y compatibilizando criterios y desarrollando estudios en la PUCP, consideraciones que también se ha usado para el presente estudio, el cual además desarrolla un avance en la presentación de resultados.

Jaramillo *et al.* (2019) en su investigación: “*Durabilidad de los materiales naturales de construcción: Percepciones de proyectistas, constructores y usuarios en Florianópolis, Brasil*”. A partir de una investigación de enfoque cualitativo, se buscó como objetivo comprender la percepción de proyectistas, constructores y usuarios sobre la durabilidad de edificaciones construidas con materiales naturales. Participaron en el estudio una población de profesionales y usuarios residentes en

la ciudad de Florianópolis, Brasil. Como parte de la metodología se colectaron los datos por medio de entrevistas a profundidad y se analizaron con la técnica de análisis de contenido. Los hallazgos muestran el interés de las personas en un estilo de vida más sostenible, la relación de la durabilidad de esas construcciones con las necesidades de los usuarios, la calidad del proyecto arquitectónico y la dificultad para garantizarla por causa de las cadenas productivas poco desarrolladas y el desconocimiento de la población sobre técnicas adecuadas de construcción y mantenimiento. En este estudio se evidenció que, si bien muchas veces la parte estética y ambiental de una construcción con materiales naturales es atractiva para los usuarios, la incertidumbre sobre la durabilidad, entre otros asuntos relacionados con la parte tecnológica y de desempeño, es determinante para que desistan de usar esta opción.

Yetgin *et al.* (2008), en su investigación: “*The effects of the fiber contents on the mechanic properties of the adobes*”, en este estudio, como objetivo se realizaron ensayos de compresión y tracción para cinco mezclas de adobe diferentes. La metodología y parte importante de este estudio consistió en ensayos de compresión uniaxial realizados con mezclas de fibras naturales. Así, los resultados obtenidos de los ensayos mecánicos se presentaron en forma de gráficos de tensión-deformación. Además, se relacionaron las propiedades mecánicas con el contenido de agua para la trabajabilidad, el peso unitario y el contenido de fibra, y se han presentado discusiones al respecto. Los resultados muestran que, a medida que aumenta el contenido de fibra, disminuyen las resistencias a la compresión y a la tracción, y las tasas de contracción disminuyen.

1.2.4. Pérdida de la tradición ancestral

Hablando de la pérdida de tradiciones ancestrales, Rivera (2019), indica lo siguiente:

En la medida en que se pierden estas prácticas, se olvidan (...) las costumbres que hacen parte de su idiosincrasia e historia que identifica a estas regiones (Orinoquia, colombo-venezolana). Se percibe un sentimiento de desconsuelo en los ganaderos antiguos que dan cuenta de esta pérdida, añoran (...) esa algarabía que hacía parte de la alegría y creatividad durante el trabajo (...). Hoy, llegar a los llanos orientales colombianos y escuchar cantos de ordeño

en las jornadas y en el trabajo cotidiano, produce un sentimiento de nostalgia indescriptible. (p. 139)

Lárraga *et al.* (2014), en su investigación: “*La sostenibilidad de la vivienda tradicional: una revisión del estado de la cuestión en el mundo*”. En la búsqueda de los componentes de la sostenibilidad de la vivienda tradicional, como parte de su objetivo se indagó sobre los conceptos y la evidencia empírica de la utilidad, lo que permitió tener un panorama organizado y crítico del conocimiento acumulado, a fin de contribuir con la comprobación de la hipótesis y adecuación de métodos a las diferentes ramas del saber. En este ejercicio de investigación se encontró un camino muy mencionado, pero poco explorado; al estudiar los conceptos en sus discursos originales se halló una interesante gama de enfoques, críticas y debates, los cuales se clasificaron con base en los enfoques asociados de sostenibilidad ambiental, económica, social, cultural e institucional. Tal diversidad permitió definir criterios para cada uno de los enfoques y reconocer técnicas a fin de medir la sostenibilidad de la vivienda tradicional. Al mismo tiempo, se detectó una infinidad de discursos vacíos que utilizan el concepto como una moda, sin ninguna aportación significativa.

Consideramos por tanto a la pérdida de tradición como el eje fundamental para que una sociedad permanezca en el tiempo, y que además se puedan sentir orgullosos de sus manifestaciones culturales que incluso podrían ser replicados en otras realidades donde se requiere mantener y solucionar los mismos problemas neurálgicos con los que fueron concebidos.

1.2.5. Material de construcción denominado *Ch'ampa*

En lo referente al uso como técnica tradicional de la *Ch'ampa*, no se tiene estudios detallados de las propiedades físicas y mecánicas, ya que la mayoría de estudios existentes se limitan a una investigación descriptiva, por lo cual considero que la presente investigación es importante para llenar un vacío en el conocimiento.

Uno de los primeros en escribir formalmente sobre este tema fue el arquitecto y arqueólogo Escalante (1994), en su libro: “*Arquitectura prehispánica en los andes bolivianos*”, el objetivo según el contexto arqueológico-arquitectónico valoran las culturas de Wankarani, Chiripa, Tiwanaku, Mollo y los Señoríos Aymaras,

considerando una metodología descriptiva evolución de la arquitectura y materiales constructivos tradicionales como adobe, piedra y tierra en viviendas circulares centrando su atención en las viviendas “uru” o “chipa” de la cultura Urus Chipaya denominados *Putukus* existente en Oruro. Como parte de sus conclusiones establece una relación entre el estudio arquitectónico orientado a brindar respuestas de carácter arqueológico, y que su resultado constituya un aporte en la incansable búsqueda de “leer los mensajes” dejados por nuestros antepasados.

Escalante (1996), en su libro: “*De la caverna a la metrópoli, 5,000 años de arquitectura*”, donde su objetivo es presentar el proceso evolutivo de la arquitectura mundial y en especial de los antes latinoamericanos, su metodología de estudio contempla una sección de antecedentes arquitectónicos de América, donde el uso de material tradicional de la cultura Wankarani, en viviendas denominadas “Uspa Uspa”, en cultura Tiwanaku en silos como depósitos o Kollka, a los que denomina también Putuku o Qullqa como identificación de habitación, depósito o silo circular. Como parte de sus hallazgos propone revalorar la arquitectura prehispánica en el área andina.

En investigaciones bolivianas escriben sobre la cultura *Chiripa*, ubicada en la península de *Taraco* en Bolivia al sur del lago Titicaca. Se recalca esto último porque también hay otro centro poblado llamado igual al norte del lago, en el territorio peruano, y que es uno de los lugares con más presencia de *Putucos*. (Lima *et al.*, 2005)

El Dr. Arquitecto Ferruccio Marussi (1999), en su libro: “*Arquitectura Vernacular. Los Putucos de Puno*”, como objetivo plantea un estudio detallado de la tradición constructiva denominada Putuco, quien las considera como edificaciones más antiguas, dentro de su metodología realiza un levantamiento in situ de estas manifestaciones constructivas en la zona de Arpa, Samán y Taraco, identificando su forma, material de construcción tales como el adobe y la *Ch'ampa*, además de aspectos culturales, ya que no es muy común ver edificaciones construidas completamente en tierra y que además soporten inclemencias climáticas, desarrollando en forma muy detallada los aspectos arquitectónicos, concluyendo que estas manifestaciones son tradicionalmente una expresión de arquitectura vernacular que debe ser rescatado y revalorado, además de las

existentes en la zona sur del lago *Titicaca* y al norte del lago *Popo* (Bolivia), entre los departamentos de la *Paz* y *Oruro* en la cultura *Urus Chipaya* (Vitulas y Reynoso, 2013).

Burga (2010), en su libro: “*Arquitectura vernácula peruana, un análisis tipológico*”, tiene como objetivo describir y caracterizar las diferentes tipologías constructivas en el Perú, utilizando una metodología descriptiva de las características arquitectónicas y gráficas hechas a mano de sus propias observaciones, resaltando dentro de ellas el Putuco, la forma y material de construcción, concluyendo al respecto como una inusual arquitectura y técnica constructiva, pero que viene desapareciendo, usando el término “de polvo eres y en polvo te convertidas” del Génesis, refiriéndose a que el material constructivo sale del suelo y con el pasar del tiempo retorna a él fundiéndose con el paisaje.

Vitulas y Reynoso (2013), en su libro: “*Etnoingeniería de los Putucos: El predominio de la Sabiduría Colla*”, como parte de su objetivo plantean la revaloración cultural de las construcciones tipo *Putucos* como *Etnoingeniería* tradicional constructiva, la población estudiada abarca la zona de *Taraco* y *Samán*, además de otras manifestaciones a nivel mundial con la finalidad de identificar un ancestro común. La metodología utilizada considera un estudio de los antecedentes históricos, planteando su inicio en la tradición de los “*Gintiles*”, nombre nativo aymara que se les da a los habitantes de la niebla antes que apareciera el Sol. También considera una descripción de la arquitectura tradicional, los primeros estudios detallados sobre las propiedades mecánicas de la *Ch’ampa*, así como un estudio de la durabilidad a las influencias climáticas y el paso del tiempo en las edificaciones denominadas *Putucos*, además de explica sobre los procedimientos constructivos y forma de extracción del material directamente del suelo, aunque su análisis de este material no es muy detallado, muestra las pautas para el desarrollo de la línea de investigación. También identifica la cosmovisión andina y los mitos y ritos durante la construcción de viviendas. Dentro de sus principales hallazgos considera las propiedades mecánicas de la *Ch’ampa*, criterios estructurales y consideraciones para revalorar las tradiciones vernaculares y místicas desde el punto de vista de la cosmovisión andina.

Gamio (2018), en su investigación: “*Comparación del sistema constructivo de Putucos con otros sistemas constructivos en tierra*”, tiene como objetivo comparar las diferentes propiedades mecánicas y físicas de tres sistemas constructivos en tierra tales como el adobe, quincha y *champa*[sic] (Putucos), con el propósito de lograr una nueva línea de investigación para las *champas*[sic] y que, puedan ser parte de la implementación de las viviendas rurales que se realizan constantemente en el altiplano peruano. La metodología del trabajo consiste en la comparación de resultados obtenidos de investigaciones previas que muestren que dicho material tiene una resistencia en el tiempo superior al adobe y la quincha, sin embargo, existe ausencia de algunos datos de las *champas*[sic] ya que en la actualidad solo se ha realizado un análisis científico con ensayos sobre este material. Como sus hallazgos indica que no se puede determinar en totalidad su eficiencia por la carencia de algunos ensayos, pero si podemos determinar una nueva línea de investigación, la misma que comparte con Vitulas *et al.* (2013).

Las respuestas encontradas para solucionar la cuestión de la vivienda según Zanardo (2007), en su investigación: “*Construções Autóctones no Altiplano Andino*”, su objetivo es estudiar construcciones autóctonas, las que pueden variar de acuerdo con la región, el clima, la disponibilidad de materiales y la cultura local, entre otros factores. Las construcciones autóctonas son capaces de corresponder a las necesidades culturales, siendo adecuadas al medio ambiente en que se ubicada. Según la metodología usada, se observa que en la región del Altiplano Andino estas soluciones todavía corresponden a las técnicas tradicionalmente utilizadas por la población local. Las diferentes tipologías observadas desde las cercanías de La Paz (Bolivia), pasando por el Lago *Titicaca*, hasta las cercanías de Cusco, muestran construcciones semejantes. Según sus hallazgos, a partir de las construcciones autóctonas es posible aportar contribuciones a la comprensión de cómo la sostenibilidad se relaciona con el ambiente construido, desde el proceso constructivo, abarcando diferentes aspectos como la cuestión cultural, ecológica, económica, social, etc.

Dentro de todas estas investigaciones realizadas a la *Ch'ampa*, se debe destacar los trabajos de Vitulas y Reynoso (2013) y Gamio Felipa (2017), en los cuales se hace un primer avance sobre los estudios de las propiedades físicas y mecánicas, las cuales además se han usado y compartido para la presente investigación.

CAPÍTULO II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Identificación del Problema

América Latina es un lugar donde existen migraciones y sueños, además de mestizaje cultural y muchas esperanzas, esto genera una complejidad en su cultura, reflejo de los procesos históricos llenos de tropiezos enrumados por el camino de la evolución.

En estas regiones se ha notado una *fusión cultural* occidental en lo referente a costumbres y creencias, aunque también se ha dado una conjunción de tradicionales, generando la *pérdida de tradición* y distorsión de modelos propios, siendo estos como las viviendas tradicionales, que a la fecha viene desapareciendo e incluso se viene fusionando a sistemas arquitectónicos modernos, perdiendo la naturaleza inicial con la que fueron concebidos.

Esta falta de *transmisión de conocimientos* ha hecho que este tipo de tipología constructiva venga desapareciendo hasta llegar a una posible extinción de esta manifestación cultural y tradicional, aspecto que pretendo destacar con este trabajo, el cual es identificar las ventajas y desventajas del material de construcción tradicional denominado *Ch'ampa*.

Además, esta fusión y la falta de estudios referentes a la calidad de *nuevos materiales* y tipologías constructivas han hecho que las nuevas generaciones no tomen en cuenta la revaloración de las mismas, por lo que han ido desapareciendo, por dos posibles hechos:

- Primero la falta de estudio y entendimiento de los beneficios que tiene el material de construcción tradicional como son las *Ch'ampas*.
- Y en segundo lugar por la falta de mano de obra calificada o con conocimientos técnicos que puedan replicar y/o construir los *Putucos* (motivo del presente estudio) por lo que esta técnica tradicional se está perdiendo.

Además, los trabajos relacionados al tema, a la fecha únicamente se han limitado a hacer descripción y limitados análisis descriptivos sobre este material (*Ch'ampa*), por lo que es necesario ampliar este enfoque brindando las herramientas científicas necesarias para que se pueda revalorar un material muy usado y poco estudiado, y por qué no proponer su reutilización bajo ciertas características implícitas a las hipótesis planteadas.

2.2 Enunciados del Problema

Para el desarrollo del enunciado se ha considerado cinco elementos importantes, el propósito de estudio que es asociar el estudio de la *Ch'ampa*, las variables de estudio que son la tecnología tradicional y medioambiental, como son las propiedades físicas y mecánicas y su contraste con otros materiales tradicionales de tierra cruda, el objeto de estudio es la *Ch'ampa* como material de construcción en viviendas rurales tipo *Putucos*, la ubicación espacial se emplaza en las viviendas de *Samán* y *Taraco*, y la ubicación temporal considera el período de estudio 2019-2021.

2.2.1. Pregunta general

La pregunta general o en su forma de redacción científica correcta: pregunta específica del estudio; es la siguiente:

¿Qué relación existe entre las características físico mecánicas con el uso en construcción de la unidad constructiva denominada *Ch'ampa* como Tecnología Tradicional y Medioambiental de viviendas rurales tipo *Putucos* en zonas altiplánicas de la Región Puno, 2019-2021?.

2.2.2. Preguntas específicas

Las interrogantes específicas o en su forma de redacción científica correcta: preguntas operacionales del estudio; son las siguientes:

1. ¿Cuáles son las propiedades físico mecánicas de la *Ch'ampa* como material de construcción para viviendas rurales?
2. ¿Cuáles son las propiedades de permeabilidad y conductividad térmica con carga constante, de la unidad constructiva denominada *Ch'ampa* con otros materiales tradicionales de tierra?
3. ¿Qué diferencia existe entre las características físicas y mecánicas de la *Ch'ampa* con otras unidades constructivas de características similares, en la construcción de viviendas rurales tipo *Putucos*?
4. ¿Qué relación existe entre las características físico mecánicas de la *Ch'ampa* con el uso tradicional en la construcción de viviendas rurales tipo *Putucos* en zonas alto andinas?

2.3 Justificación

El punto de partida para la elección del tema fue la escasa o nula información existente y actualizada sobre las características del material *Ch'ampa*, además las tipologías de vivienda y sistemas constructivos, que han demostrado su resistencia a condiciones geofísicas y climatológicas extremas, las cuales deberían contar con un sustento técnico.

El *Putuco* como tipología de vivienda y la *Ch'ampa* como unidad de material constructivo, posee características singulares que son el resultado de la capacidad de observación y adaptación de los antiguos pobladores de la zona alto andina de Puno – Perú y Bolivia. Su existencia en la actualidad se debe no sólo a la tradición constructiva, sino a su resistencia en el tiempo, encontrándose *Putucos* con más de 100 años de antigüedad.

Por otro lado, las manifestaciones climatológicas extremas de los últimos años, producto del uso y abuso de materiales contaminantes y distribuciones espaciales poco eficientes en términos de habitabilidad, hacen que la existencia y aprovechamiento de estos conocimientos ancestrales se vuelvan materia actual y de vital importancia para la supervivencia de una población que está entre los más pobres a nivel del país. Resulta evidente que la implementación de tecnologías y materiales actuales en combinación con este sistema constructivo dará lugar a un

sistema de alta efectividad y con un impacto ambiental mucho menor que las técnicas y materiales modernos utilizadas en las zonas urbanas de la región altiplánica.

Los *Putucos* son oriundos de Puno, pero su concepción se expande en las zonas altiplánicas peruano-bolivianas, la construcción de vivienda usa a la *Ch'ampa* que es extraída directamente de un suelo limoso-arcilloso, donde crece un pasto silvestre, que con sus raíces le brinda unas propiedades tan particulares. Es una unidad constructiva que podría ser introducida en diferentes departamentos de país, pero que cumplan con las características tan particulares de la zona de estudio, donde son frecuentes los cambios de temperatura muy bruscos, además de precipitaciones pluviales e inundaciones durante todo el año.

Se podría considerar a la *Ch'ampa* como una estrategia que podría ser replicada y con ello ayudar a mejorar la calidad de vida de pobladores en zonas rurales inaccesibles, como parte de su derecho a tener una vivienda que los proteja de las inclemencias climáticas.

Una gran parte de las normativas en varios países analizados (88%) centran su contenido en el estudio de una única técnica constructiva, ya sea adobe (8%), BTC (74%) o tapial (6%), los documentos restantes (12%) examinan varias técnicas en forma conjunta, tal como se puede apreciar en la *Figura 10*. Pero ninguna analiza adecuadamente el estudio de bloques naturales.

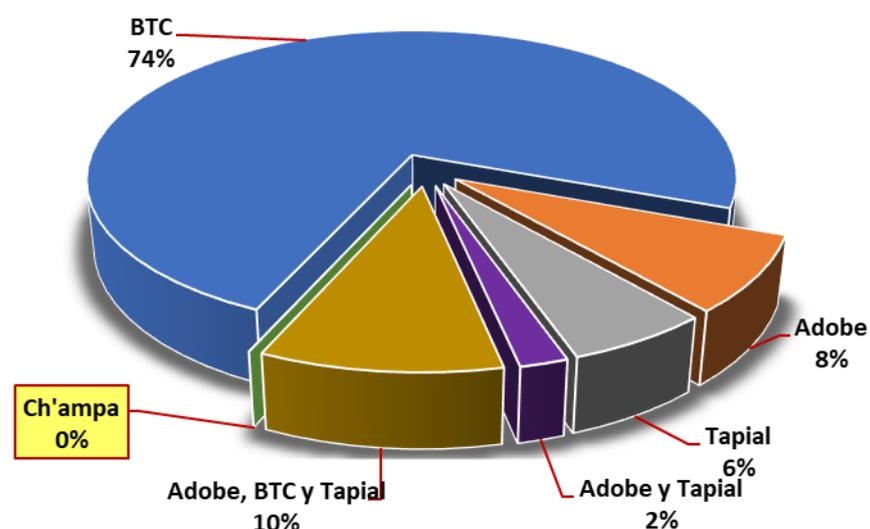


Figura 10. Normas que consideran las técnicas de construcción con tierra.

Fuente: Adaptado sobre los datos de estudio desarrollados por Cid (2012, pp. 36)

Por lo que se hace imprescindible el desarrollo del presente estudio, ya que sus resultados nos brindarán muchos aportes en la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas, que puedan servir para el desarrollo, tanto de mejores técnicas constructivas, selección del material, así como su posible inclusión en futuras normativas nacionales y por qué no, internacionales.

2.4 Objetivos

Para el desarrollo de la presente investigación, se plantean colectivamente los propósitos descritos y sistematizados en los siguientes objetivos:

2.4.1. Objetivo general

El objetivo general o en su forma de redacción científica correcta: objetivo específico de estudio; es la siguiente:

Asociar las características físico mecánicas con el uso en construcción, de la unidad constructiva denominada *Ch'ampa*, como Tecnología Tradicional y Medioambiental en la construcción de viviendas rurales tipo *Putucos*, en zonas altiplánicas de la región Puno, 2019-2021.

2.4.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos o en su forma de redacción científica correcta: objetivos operacionales de estudio; son las siguientes:

1. Determinar las propiedades físico mecánicas de la *Ch'ampa* como material de construcción para viviendas rurales.
2. Comparar las propiedades de permeabilidad y conductividad térmica con carga constante, de la unidad constructiva denominada *Ch'ampa* con otros materiales tradicionales de tierra.
3. Comparar las características físicas y mecánicas de la *Ch'ampa* con otras unidades constructivas de características similares, en la construcción de viviendas rurales tipo *Putucos*.
4. Asociar las características físico mecánicas de la *Ch'ampa* con el uso tradicional en la construcción de viviendas rurales tipo *Putucos* en zonas alto andinas.

2.5 Hipótesis

Para el desarrollo de la presente investigación, se plantean las siguientes hipótesis:

2.5.1. Hipótesis general

La unidad constructiva conocida como *Ch'ampa* usada como Tecnología Tradicional y Medioambiental en la Construcción de Viviendas Rurales tipo *Putucos* en zonas altiplánicas tiene unas mejores propiedades de confort que otros materiales tradicionales en la Región Puno, 2019-2021.

2.5.2. Hipótesis específicas

1. Las propiedades de permeabilidad y conductividad térmica con carga constante hacen que la *Ch'ampa* sea muy eficiente a las inclemencias climáticas alto andinas a diferencia de otros materiales constructivos.
2. Las características físicas y mecánicas de la *Ch'ampa* son mejores a las de otras unidades constructivas de características similares en la construcción de viviendas rurales tipo *Putucos*.
3. Existe asociación entre las características físico mecánicas de la *Ch'ampa* con el uso en la construcción de viviendas rurales tipo *Putucos* en zonas alto andinas.

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de Estudio

La caracterización del lugar de estudio depende de muchos factores, tales como aspectos históricos, morfológicos, climatológicos, zonas con tipologías constructivas específicas y otros que ayuden, no solo a brindar información sobre las características del material, sino también la posibilidad de replicar estos resultados a otros escenarios similares siempre que sea posible extraer la *Ch'ampa* para construir viviendas.

La zona de estudio se encuentra inmerso en los Señoríos Aymaras y las poblaciones de la cultura Colla (Ver *Anexo 1*, ítem A.1.), que cuenta con características muy semejantes a lo largo del altiplano peruano-boliviano, geográficamente está ubicado en la región Suni o Jalca (Ver *Anexo 1*, ítem A.2.), que son las más afectadas por el fenómeno de *friaje* que ocurre durante la temporada de invierno.

El uso de viviendas tradicionales denominados *Putucos*, se encuentran inmersos en frecuencias climatológicas entre el 90 al 100%, la temperatura generalmente varía de -4 °C a 17 °C y rara vez baja a menos de -6 °C o sube a más de 19 °C, los climas más fríos a lo largo del año se presentan entre las 8:00 pm y 8:00 am, siendo la temporada de heladas entre los meses de mayo y agosto entre las 4:00 am y 7:00 am en promedio. El tipo más común de precipitación durante el año es *solo lluvia*, con una probabilidad máxima del 38 %. (Ver *Anexo 1*, ítem A.3.)

Según los datos del INEI, uno de los materiales predominantes es el adobe y la tapia, las cuales son más frecuentes en Huancavelica y Apurímac, donde Puno ocupa el

sexto lugar, en el 2007 se tenía un total de 64.9% y en el 2017 se disminuyó a 58.6%, reduciendo en un -6.4% el cual es muy semejante a la media de reducción nacional que es de -6.9% tal como se puede ver en la *Figura 11*, esto implica que más del 50% de viviendas continúan usando tierra cruda en sus paredes exteriores, siendo imprescindible continuar brindando información referente a esta tecnología constructiva. (Ver *Anexo I*, ítem A.4.)

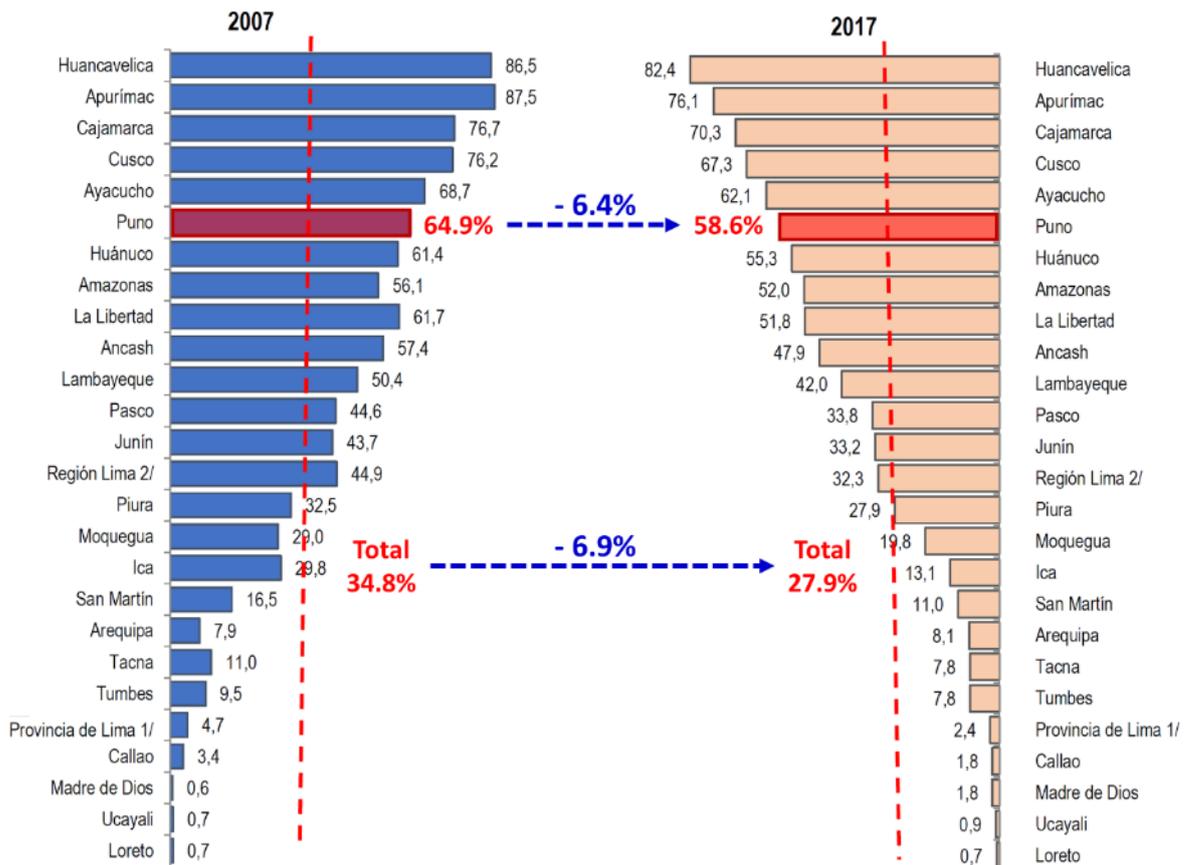


Figura 11. Material predominante en paredes exteriores 2007-2017, Perú.

Nota. Viviendas particulares con adobe o tapia predominante en las paredes exteriores, según departamento, 2007 y 2017.

Fuente: INEI-Censos Nacionales de Población y Vivienda, 2007 y 2017.

En la publicación “*Arquitectura del Altiplano Peruano*” de Gutiérrez (1979, 2015), y corroborado con la presencia de dichas construcciones en los distritos de *Taraco*, *Samán* y *Arapa*, que circundan la laguna de *Arapa* y el *Lago Titicaca*, esencialmente en la vía *Taraco-Huancané*; pudiendo ser este un punto de referencia para la identificación de las zonas de emplazamiento. Es curioso y quizás podríamos llamar interesante a este emplazamiento, ya que se encuentra en la conjunción de dos provincias (*Azángaro* y *Huancané*), unas de las razones podría ser el tipo de material disponible para la construcción denominado *Ch’ampa*, ya que en esta especie de llanura altiplánica

colindante con el Lago *Titicaca*, es abundante, debido a la gran cantidad de manantiales existentes, haciendo que su extracción sea sencilla a diferencia de otras zonas periféricas del lago, además en dicha zona no existe otro material de construcción, como es la piedra o madera. Y he ahí, justamente la importancia de la zona a estudiar, ya que, para el estudio de un material nuevo, primero se debe ubicar la zona donde se utiliza con mayor preponderancia. (Ver *Anexo 1*, ítem A.5.)

Bajo estas consideraciones, se ha estudiado la zona de *Taraco* y *Samán*, ya que la tradición constructiva de los *Putucos*, se presenta en un área geográfica ribereña del *Titicaca* puneño. Entre las siguientes coordenadas: 69°57' - 70°02' Oeste, y 15°15' - 15°21' Sur, a una elevación de 3,827 a 3,830 m s.n.m., zona norte del lago, a 76.5 km de la ciudad de *Puno* tal como se aprecia en la *Figura 13*, este tramo parte en el distrito de *Samán*, y termina en la bifurcación de *Huancané* y *Putina*.



Figura 12. Ubicación de la zona de estudio, tramo Taraco-Samán, Región Puno.

Nota. Según la referencia mostrada, el tramo vial Samán – Taraco - Huancané, presenta una gran diversidad de manifestaciones constructivas denominadas *Putucos*, zona en la cual se extrajeron las muestras correspondientes para el estudio.

Fuente: Disponible en:

https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/Mapas%20Departamentales/21-PUNO.pdf [Acceso Marzo 2021].

3.2. Población

La población como grupo de objetos con características definitorias diversas tienen diferentes valores según las características necesarias establecidas en las normas usadas.

La población a estudiar se genera en las zonas estipuladas dentro de la Resolución Viceministerial 116-2014-VMPCIC-MC (RV, 2014), con la cual se considera como *Patrimonio Cultural de la Nación*, y pese a ello, existen muy pocos estudios; por no decir ninguno; que abordan el estudio de los materiales tradicionales utilizados en la construcción de viviendas denominadas *Putucos*, o según el cronista Felipe Huamán Poma de Ayala en su obra “*El Primer Nueva Crónica y buen Gobierno*”, denomina *Pucullo* a pequeñas edificaciones funerarias del altiplano y el término *Putuco*, es utilizado por Vicente Guerra Carreño en su obra “*Kanchi, la Provincia de los Canchis a Través de su Historia*”, empleándolo para designar construcciones abovedadas de carácter funerario construidas con piedra y barro (Vitulas y Reynoso, 2020, p. 66). Una variante del término es *Putuku* o *Qullqa* como identificación de habitación, depósito o silo circular en la tradición boliviana (Escalante, 1994, 1996).

La construcción de las viviendas tipo *Putuco*, tiene en su contexto el uso de bloques naturales extraídos del terreno, de forma rectangular piramidal en su primer tramo y tronco cónico en su tramo final (*Figura 14*), dándole una característica muy particular a este tipo de construcciones altoandinas, los que forman parte de la población de estudio.



Figura 13. Forma arquitectónica de un *Putuco*.

Fuente: Etapa de recolección de datos en la zona de Taraco, archivo del investigador.

Esta unidad de construcción es económica porque proviene directamente del suelo. El comportamiento de la misma, como unidad, es eficiente al paso del tiempo, como se ha comprobado por la permanencia de los *Putucos* (Gamio, 2018, p. 46).

Las *Ch'ampas*, son porciones de tierra a modo de bloques naturales al que George Squier (1864) (citado por Vitulas y Reynoso, 2013) denominaba “césped natural”, que son directamente extraídos del terreno seleccionado en zonas de humedales o manantiales donde crece pasto silvestre denominado *Quémello* y *Ch'iji* (quechua). Las dimensiones de estos bloques pueden variar entre 50cm y 70cm de longitud, entre 40cm y 50cm el ancho, y entre 10cm y 12cm de altura.



Figura 14. Extracción del bloque natural denominado *Ch'ampa*.

Nota. Proceso de extracción de una *Ch'ampa* para construcción de viviendas tradicionales.

Fuente: Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=jfl3-rXZvvA> [Acceso Noviembre 2020]. Dirección de Patrimonio Inmaterial MC.

3.3. Muestra

Para la muestra se ha optado por una investigación de tipo transversal y prospectivo observacional y se obtendrán muestreos no probabilísticos y por conveniencia y/o bola de nieve sistemático, desechando las muestras inadecuadas para el fin del estudio en laboratorio y en consideración a los estudios requeridos además de los propósitos de la presente investigación.

A partir de la muestra seleccionada se obtuvo información relevante del conocimiento tradicional que ha sido transmitido de generación en generación, básicamente para poder identificar al material y su zona de extracción, el cual se ha impartido como herencia cultural en la tradición andina. Se estudiaron especímenes de bloques regulares denominados *Ch'ampa*, cada uno de ellos con una edad diferente, ya que fueron extraídos y almacenados o apilados para su secado y uso futuro, Según Montoya (2017, p. 41) el tiempo mínimo de secado debería de ser superior a 18 días

como se muestra en la *Figura 16*, momento en el que se puede obtener muestras que serán adecuadas para el desarrollo de los ensayos de laboratorio, ya que la muestra debería alcanzar las resistencias y características mínimas para su estudio.

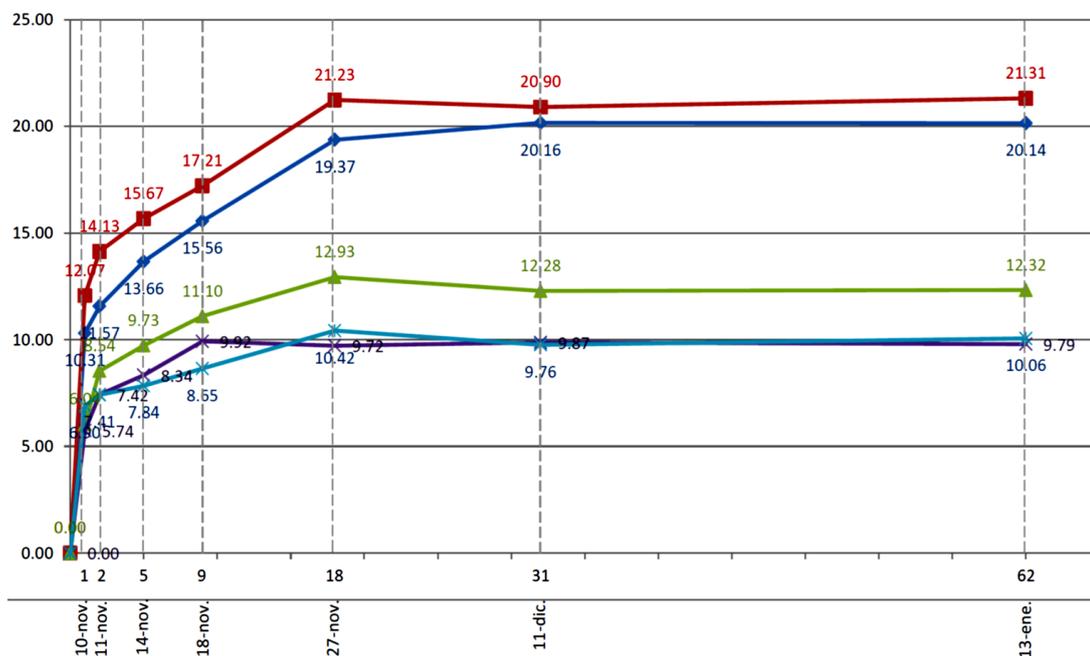


Figura 15. Relación entre tiempo de secado e incremento de resistencia del suelo-arena.

Nota. Mezclas de suelo con arena en diferentes proporciones, como probetas esféricas hasta llegar a los dos (02) meses de secado, del 09 de noviembre al 13 de enero haciendo un total de 62 días.

Fuente: Montoya (2017).

3.3.1. Selección de muestras

Gracias a los pobladores de la zona de estudio, que son portadores del saber ancestral sobre el uso del material y antigüedad de las construcciones tradicionales, se pudo obtener las muestras bajo un criterio no probabilístico y por conveniencia.

Para la selección de muestras, estas fueron realizadas gracias a pobladores que tenían bloques de *Ch'ampa* apilada con el fin de construir sus propios *Putucos* (*Figura 17*), estas ya habían pasado el proceso de extracción y secado según las recomendaciones y obtención de resistencia, considerando como un tiempo óptimo de secado un plazo entre 18 a 20 días. Ya que según las recomendaciones de Montoya (2017, p. 41), se observa que la resistencia que alcanza una probeta esférica de tierra de 20 mm de diámetro se estabiliza aproximadamente a los 18

días, por lo cual se han utilizado bloques de *Ch'ampa* que se encontraban apiladas para su secado (*Figura 16*), encontrado en la zona de estudio.



Figura 16. Almacenamiento y secado de la unidad de Construcción *Ch'ampa*.

Nota. Para el almacenado de los bloques, estos se apilan entre 4 a 5 filas inclinadas, las cuales han sido secadas al sol previamente por 15 a 20 días.

Según las tradiciones constructivas de la zona de estudio, se debe recalcar que la construcción de *Putucos* se encuentra a cargo de un maestro constructor experto, que usa sus conocimientos empíricos aprendidos mediante la transmisión oral y mejorados continuamente en un proceso de prueba y error (*Figura 17*), los mismos que garantizan la estabilidad estructural, conocimientos que deberían ser rescatados además de transmitidos, pero se ha notado que las nuevas generaciones no permiten dicha transmisión debido a la irrupción de nuevas tecnologías foráneas a las que se consideran erróneamente mejores.



Figura 17. Utilización de las *Ch'ampas* para construir un *Putuco*.

Nota. Proceso de construcción de la vivienda, 01 de setiembre de 2015 - 12:00 a. m.

Fuente: Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/cultura/noticias/47771> [Acceso Noviembre 2020].

Bajo este criterio se realizaron dos (02) tomas de muestras: El primer grupo con diez (10) unidades para ser ensayados y analizados en los laboratorios de la PUCP (Lima), con un peso de 172.75 kg (muestras aceptadas para ensayos) y un total de 200.25 kg, tal como se aprecia en la *Tabla 1*, las muestras seleccionadas cuentan con diferentes dimensiones para su tratamiento y moldeo según el requerimiento de los ensayos a realizar.

Tabla 1.
Selección y detalle de muestras para ensayo en laboratorio PUCP.

Código de Muestra	N° Muestra en Laboratorio	Dimensiones (mm)	Estado	Tipo de Ensayo	Peso (kg)	Observaciones
Muestra 01	M-01	400 x 300 x 120	A1 - Óptimo	Flexión	27.42	Traslado con embalaje
Muestra 02	M-02	400 x 300 x 120	A1 - Óptimo	Compresión	27.13	Traslado con embalaje
Muestra 03	M-03	250 x 220 x 120	A1 - Óptimo	Cond. Térmica	12.57	Traslado con embalaje
Muestra 04	M-04	250 x 220 x 120	A1 - Óptimo	Cond. Térmica	12.48	Traslado con embalaje
Muestra 05	M-05	250 x 220 x 120	A1 - Óptimo	Cond. Térmica	12.66	Traslado con embalaje
Muestra 06	M-06	250 x 220 x 120	A1 - Óptimo	Otros	12.75	Traslado con embalaje
Muestra 07	M-07	400 x 300 x 120	A2 - Bueno	Flexión	27.72	Traslado con embalaje
Muestra 08	M-08	400 x 300 x 120	A2 - Bueno	Compresión	27.50	Traslado con embalaje
Muestra 09	M-09	250 x 220 x 120	A4 - Malo	Descartado	12.52	Se dañó durante el traslado
Muestra 10	DAÑADO	250 x 220 x 120	A4 - Malo	Descartado	27.50	Muestra inadmisibile
Peso Total					200.25 kg	

Nota. Del total de muestras extraídas para su análisis en los laboratorios de estructuras de la PUCP, se ha desechado la Muestra 10, ya que en el traslado resultó dañado. El sistema de embalaje fue con armadura de madera y sellado para evitar la pérdida de humedad.

Fuente: Algunos datos de estudio realizado conjuntamente en laboratorio de la PUCP, cortesía de M.Sc. Andrea Lissy Gamio Felipa.

Referente a los detalles de las muestras, estas fueron extraídas, trasladadas y tratadas según el siguiente detalle:

- a. Primero se identificó la zona de estudio, con ayuda de estudiantes del curso de metodología de la investigación de la UPEU, como parte de un trabajo académico donde se participó en calidad de docente tutor.
- b. Muestras del 01 al 06 fueron adquiridas del Sr. Lucas Mamani, que vive en la comunidad campesina de Jasana Grande.

- c. Muestras del 07 al 10 fueron adquiridas del Sr. Elmer Suca Mamani, que vive en la comunidad campesina de Jasana Grande.
- d. Estas muestras fueron embaladas y protegidas con el uso de jasa de madera, para que pudieran soportar el viaje de traslado a los laboratorios.
- e. El tiempo de viaje fue de 19 horas aproximadamente con un recorrido de 1,290 km. Las muestras fueron expuestas a cambios de temperatura y humedad, ya que en el mes de septiembre la ciudad de Puno tenía una temperatura media de 8.2 °C, con una humedad relativa (HR) del 53%, y la ciudad de Lima, tenía una temperatura media de 26°C y HR de 85%.
- f. Las muestras fueron trasladadas y custodiadas hasta el mes de octubre mientras la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) autorizó el ingreso de las mismas, recorriendo 14 km al distrito de La marina- Lima.



Figura 18. Equipo de trabajo en compañía de los pobladores CC Jasana Grande.

Nota. Familia del Sr. Lucas Mamani (izquierda) y el Sr. Elmer Suca (derecha) en compañía del equipo de trabajo, los cuales facilitaron las muestras tipo *Ch'ampa*, además de brindar información relevante sobre las construcciones denominadas Putucos.



Figura 19. Extracción, selección y embalaje para envío de muestras.

- g. Se contó con el apoyo del Ing. Xavier Brioso, que sirvió de nexo para la aprobación de los ensayos en la PUCP, cortesía de M.Sc. Andrea Lissy Gamio Felipa.

- h. Se procedió al desembalado de las mismas, se verificaron los datos de llegada e ingresaron a los almacenes de custodia de la Facultad de Ingeniería Civil.
- i. En la quincena de noviembre, teniendo la aprobación de cada laboratorio, se inició la distribución de muestras a los diferentes laboratorios para iniciar con los ensayos.



Figura 20. Recepción, desembalaje y verificación de muestras en la PUCP.

Nota: Cortesía de M.Sc. Andrea Lissy Gamio Felipa.

Un segundo grupo de treinta y cinco (35) muestras de *Ch'ampa* y siete (07) muestras de adobe con fines de contraste para ser ensayados en los laboratorios de la EPIC-UNA Puno con un peso de 1,115.28 kg (solo muestras para ensayo en laboratorio, no se incluyen las muestras ensayadas in situ que son aproximadamente 461.62 kg), haciendo un peso total de 1,576.90 kg, tal como se aprecia en la *Tabla 2*, las muestras seleccionadas cuentan con diferentes dimensiones para su tratamiento y moldeo según el requerimiento de los ensayos a realizar.

Tabla 2.

Selección y detalle de muestras para ensayo en laboratorio UNAP.

Código de Muestra	N° Muestra en Laboratorio	Dimensiones (mm)	Estado	Tipo de Ensayo	Peso (kg)	Observ.
Ch'ampa						
Muestra 11	CHAMPA 1-A	500 x 350 x 150	A1 - Óptimo	Flexión	41.85	
Muestra 12	CHAMPA 1-B	500 x 350 x 150	A1 - Óptimo	Flexión	42.12	
Muestra 13	CHAMPA 1-C	450 x 300 x 150	A1 - Óptimo	Compresión	32.50	
Muestra 14	CHAMPA 1-D	450 x 300 x 150	A3 - Aceptable	Compresión	31.95	
Muestra 15	CHAMPA 2-A	400 x 300 x 120	A3 - Aceptable	Descartado	23.05	Muestra inadmisible
Muestra 16	CHAMPA 2-B	400 x 300 x 120	A1 - Óptimo	Flexión	22.95	
Muestra 17	CHAMPA 2-C	450 x 350 x 120	A1 - Óptimo	Flexión	30.24	
Muestra 18	CHAMPA 2-D	400 x 300 x 120	A3 - Aceptable	Compresión	23.04	
Muestra 19	CHAMPA 2-E	400 x 300 x 120	A1 - Óptimo	Compresión	23.15	
Muestra 20	Mr-01	500 x 450 x 150	A3 - Aceptable	Ø de raíz	53.70	Muest. Ch'iji
Muestra 21	Mr-02	500 x 450 x 150	A3 - Aceptable	Peso de raíz	54.24	Muest. Ch'iji

Código de Muestra	N° Muestra en Laboratorio	Dimensiones (mm)	Estado	Tipo de Ensayo	Peso (kg)	Observ.
Muestra 22	Mr-03	500 x 450 x 150	A3 - Aceptable	Peso de raíz	54.97	Muest. Ch'iji
Muestra 23	Mr-04	500 x 450 x 150	A4 - Malo	Ø de raíz	54.61	Muest. Ch'iji
Muestra 24	Mr-05	500 x 450 x 150	A4 - Malo	Ø de raíz	54.79	Muest. Ch'iji
Muestra 25	Mr-06	500 x 450 x 150	A4 - Malo	Ø de raíz	53.80	Muest. Ch'iji
Muestra 26	Mr-07	500 x 450 x 150	A3 - Aceptable	Ø de raíz	54.80	Muest. Ch'iji
Muestra 27	Mr-08	500 x 450 x 150	A4 - Malo	Ø de raíz	53.20	Muest. Ch'iji
Muestra 28	Mr-09	500 x 400 x 125	A3 - Aceptable	Ø de raíz	41.20	M. Quemello
Muestra 29	Mr-10	500 x 400 x 125	A3 - Aceptable	Peso de raíz	40.80	M. Quemello
Muestra 30	Mr-11	500 x 400 x 125	A3 - Aceptable	Ø de raíz	40.30	M. Quemello
Muestra 31	Mr-12	500 x 400 x 125	A3 - Aceptable	Peso de raíz	40.60	M. Quemello
Muestra 32	Mr-13	500 x 400 x 125	A4 - Malo	Ø de raíz	38.50	M. Quemello
Muestra 33	Mr-14	500 x 400 x 125	A4 - Malo	Ø de raíz	38.00	M. Quemello
Muestra 34	Campo 1	500 x 350 x 110	A1 - Óptimo	Flexión - campo	34.20	Muestra perfilada
Muestra 35	Campo 2	500 x 350 x 110	A1 - Óptimo	Flexión - campo	33.90	Muestra perfilada
Muestra 36	Campo 3	500 x 350 x 110	A1 - Óptimo	Flexión - campo	33.65	Muestra perfilada
Muestra 37	Campo 4	500 x 350 x 110	A1 - Óptimo	Flexión - campo	33.95	Muestra perfilada
Muestra 38	Campo 5	500 x 350 x 110	A1 - Óptimo	Flexión - campo	34.02	Muestra perfilada
Muestra 39	Campo 6	500 x 400 x 125	A1 - Óptimo	Impacto - campo	40.25	
Muestra 40	Campo 7	500 x 400 x 125	A1 - Óptimo	Impacto - campo	40.95	
Muestra 41	Campo 9	700 x 350 x 120	A1 - Óptimo	Flexión - campo	41.95	Muestra perfilada
Muestra 42	Campo 10	700 x 350 x 120	A1 - Óptimo	Flexión - campo	42.25	Muestra perfilada
Muestra 43	Campo 11	700 x 350 x 120	A1 - Óptimo	Flexión - campo	42.05	Muestra perfilada
Muestra 44	Campo 12	700 x 350 x 120	A1 - Óptimo	Flexión - campo	42.15	Muestra perfilada
Muestra 45	Campo 13	700 x 350 x 120	A1 - Óptimo	Flexión - campo	42.30	Muestra perfilada
Adobe artesanal						
Muestra 46	ADOBE 3-A	450 x 250 x 150	A1 - Óptimo	Compresión	24.45	
Muestra 47	ADOBE 3-B	450 x 250 x 150	A2 - Aceptable	Compresión	24.56	
Muestra 48	ADOBE 3-C	450 x 250 x 150	A2 - Aceptable	Compresión	24.56	
Muestra 49	ADOBE 4-A	450 x 250 x 150	A1 - Óptimo	Flexión	24.43	
Muestra 50	ADOBE 4-B	450 x 250 x 150	A1 - Óptimo	Flexión	24.46	
Muestra 51	ADOBE 4-C	450 x 250 x 150	A4 - Malo	Descartado	24.28	Muestra inadmisibile
Muestra 52	ADOBE 4-D	450 x 250 x 150	A4 - Malo	Descartado	24.19	Muestra inadmisibile
Peso Total					1,576.90 kg	

Cabe recalcar que, con fines de contraste, se ha tomado muestras de adobe artesanal que también es usado para la construcción de viviendas tipo *Putuco*

(Muestras del 46 al 52, con aproximadamente 170.93 kg) y en base a sus resultados se contrastaron los resultados de las muestras de *Ch'ampa*, con la finalidad de validar las hipótesis planteadas.

Referente a los detalles de las muestras, estas fueron extraídas, tratadas y trasladadas según el siguiente detalle:

- a. Muestras del 11 al 19 fueron adquiridas del Sr. G. Huaca. También facilitó las muestras de adobe artesanal (Muestras 46 al 52), que eran de una obra anterior.
- b. Muestras del 20 al 33 fueron adquiridas del Sr. Félix Yucra Yucra, que vive en la comunidad campesina de Tuni Grande, bloques grandes de 50x45x15cm.
- c. Las muestras se encontraron en proceso de extracción, por lo cual se procedió a aprovechar la movilidad existente para su traslado, ya que se estaba proyectando la construcción de un *Putuco* en la zona de estudio.
- d. Muestras del 34 al 45 fueron ensayadas en la zona de extracción, las mismas estaban en proceso de secado y se realizaron ensayos in situ, con criterios empíricos, realizando un trabajo de perfilado para los ensayos de flexión e impacto.
- e. Las muestras fueron trasladadas y custodiadas en el laboratorio de materiales en el mes de mayo, para realizar los ensayos en el mes de abril de 2019 en el Laboratorio de Construcciones de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.
- f. Se contó con el apoyo del Ing. Guillermo Isidro Perca, que sirvió de nexo para la aprobación de los ensayos en la UNAP, además de un equipo de trabajo conformado por estudiantes de Ingeniería Civil tanto de la UNA Puno, como de la UPeU Juliaca.



Figura 21. Equipo de trabajo en compañía de los pobladores CC Jasana Grande.

Nota. Familia del Sr. Gabriel Suaña (izquierda) que se encuentra en faenas de trabajo para extracción de *Ch'ampas* y el Sr. Félix Yucra (derecha) en compañía del equipo de trabajo, brindó información relevante sobre las construcciones denominadas *Putucos*.

- g. Se procedió al desembarque de las mismas, se verificaron los datos de llegada e ingresaron a los almacenes de custodia de la Facultad de Ingeniería Civil.

- h. En el mes de abril, teniendo la aprobación del laboratorio y los trabajos de adaptación de muestras, se inició los ensayos con fines de investigación.



Figura 22. Selección y traslado de muestras *Ch'ampa* y Adobe para el laboratorio.

Nota. Las muestras ya estaban en proceso de secado de 20 días después de su extracción, tanto para las *Ch'ampas* apiladas en la zona de extracción, como de los adobes.

Fuente: Suaña (2004).



Figura 23. Recepción y verificación de muestras, encargado del laboratorio UNAP.

Nota. Etapa de ensayo de materiales realizado por el Ing. Guillermo Isidro Perca, en los laboratorios de la UNA Puno.

3.4. Método de Investigación

3.4.1. Tipo de investigación

El tipo o clasificación es operativa, cuando los criterios utilizados para la segregación, entregan categorías plenamente exhaustivas y mutuamente excluyentes. A ello se agrega el principio de parsimonia, el mismo que indica que la clasificación ideal es aquella que entrega únicamente dos categorías. (Supo, 2020, p. 1)

Bajo este criterio, la presente investigación se enmarca en un *Estudio Observacional* sin intervención según la intervención del investigador ya que los datos analizados reflejan la evolución natural de los eventos. *Estudio Prospectivo* según la planificación de las mediciones con datos primarios y mediciones precisas y exactas. *Estudio Transversal* según el período temporal y el número de mediciones de la variable de estudio con muestras independientes correspondiendo a una investigación pura o básica. *Estudio Analítico* según el número de variables analíticas que serán relacionadas.

3.4.2. Nivel de investigación

La clasificación de estudios en niveles de investigación, surge por la necesidad de entender mejor los momentos por los que atraviesa el desarrollo de la línea de investigación. (*Ibíd.*, p. 13)

La línea de investigación considerada es el “Estudio de la *Ch’ampa* como Tecnología Tradicional y Medioambiental”, que está considerado dentro del problema de estudio, aspecto para el que se desea plantear su solución, por lo que se ha optado por desarrollar un estudio de nivel descriptivo – relacional.

Es *descriptivo*, ya que se busca conocer y determinar las propiedades de la *Ch’ampa* como una unidad de construcción tradicional, considerando una circunstancia temporal y geográficas determinadas, ya que los resultados solo se podrán extrapolar a la misma población de estudio.

Es *relacional*, ya que se desea conocer las condiciones que incrementan la probabilidad del uso de la *Ch’ampa* como sustituto de otros materiales tradicionales de tierra cruda, por lo que consideramos la relación de variables,

independientemente de la naturaleza de las mismas, no se pretende demostrar relaciones de causalidad, sino solamente el descubrimiento de la relación misma entre los grupos de estudio.

3.4.3. Diseño de la investigación

Un diseño es una estrategia metodológica y estadística particular para el desarrollo de un estudio. De manera que, habrá tantos diseños como ideas de investigación se nos ocurran; es posible agruparlos según el campo del conocimiento donde se originaron. (Supo, *Op. cit.*, p. 23)

Por tanto, el presente estudio se enmarca en un diseño experimental, agrupado dentro del grupo de experimento verdadero, ya que existe manipulación como intervención a propósito de la investigación y control estadístico, para conocer el beneficio de la *Ch'ampa* en contraste a los grupos de estudio tales como el adobe, el tapial y otros que usan tierra cruda, considerando análisis estadístico multivariado y el análisis de varianza de las propiedades físicas y mecánicas.

Además, la investigación es cuantitativa según la naturaleza de la información y el tipo de datos a emplear, deductiva según el tipo de inferencia de cómo funciona la realidad, sincrónica según el tiempo en que se efectúa, y de laboratorio según el lugar donde se desarrolla la Investigación.

Según el diseño de incidencia, el estudio es observacional, prospectivo, transversal y analítico.

3.4.4. Etapas para el desarrollo del estudio

El método científico, como parte de su rigurosidad, requiere que un estudio sea replicable, en este caso las características más importantes de la *Ch'ampa* como material para la construcción de viviendas tradicionales denominados Putucos, siempre en relación con las implicaciones climáticas y de resistencia que caracterizan a estas viviendas alto andinas, para que pudieran ser replicables en realidades y/o espacios que cumplan con los mismos requisitos estudiados.

Referente a las etapas del desarrollo de estudio (*Figura 24*), en una Primera Etapa se identificó el problema y la necesidad de su estudio, para luego pasar a la Segunda Etapa donde se hizo el planteamiento de la investigación donde se

identifica el problema, los objetivos y las hipótesis de estudio, verificando el estado de arte que sea el soporte metodológico en base a los antecedentes del estudio. En una Tercera Etapa se procede al levantamiento de información normativa y selección de las muestras para poder considerar un adecuado procedimiento para la recolección de datos, generando el marco de referencia teórica que delimitará al estudio. En la Cuarta Etapa se recogen y analizan los resultados obtenidos mediante experimentación en laboratorio, además de contrastarlos con los resultados de otras investigaciones.

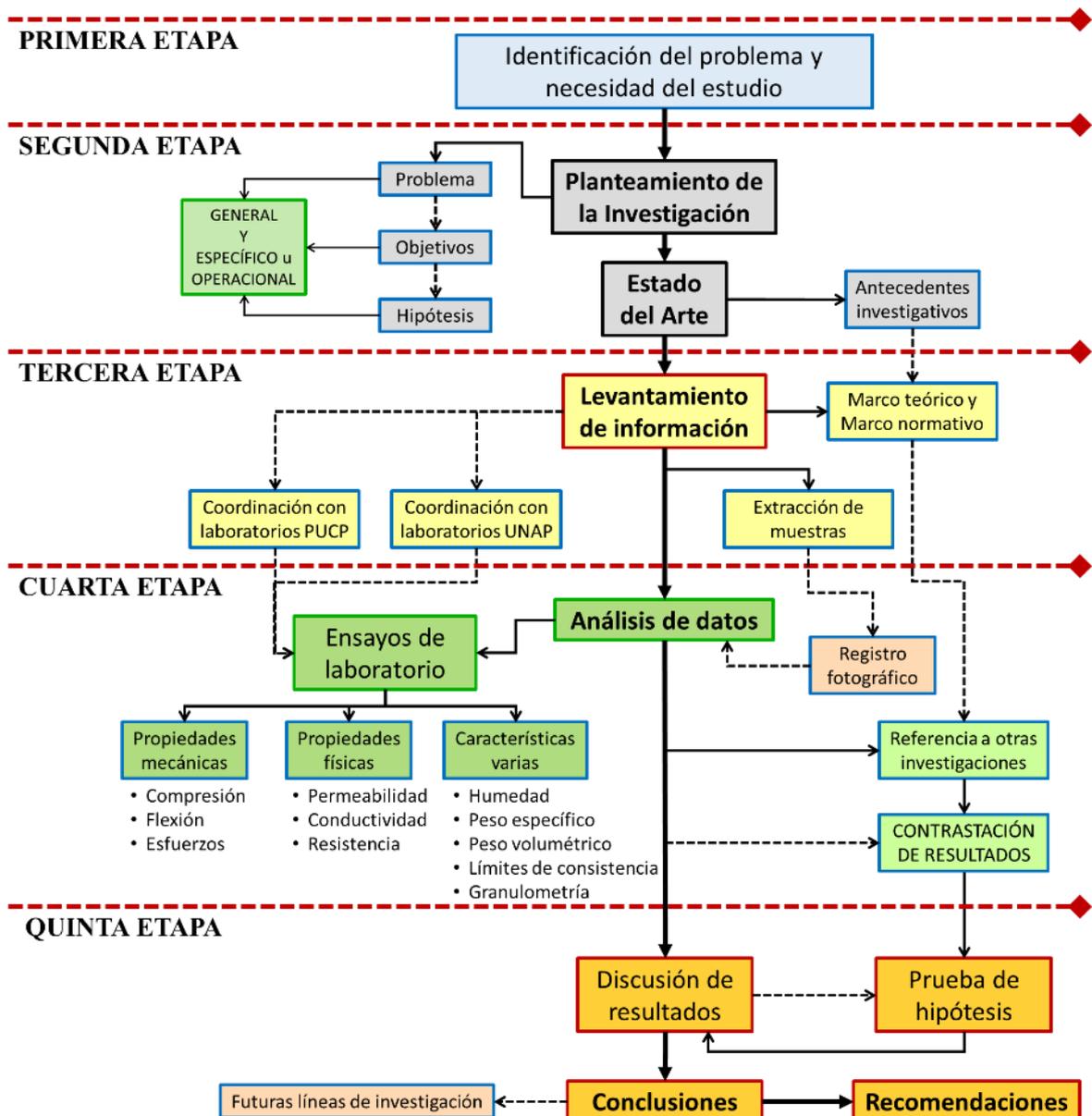


Figura 24. Identificación de etapas para el desarrollo del estudio.

Fuente: Elaboración propia para las consideraciones necesarias del estudio, con la finalidad de replicar y desarrollar el proyecto de investigación.

En la Quinta Etapa se identifican las características más relevantes que demuestran la superioridad de la *Ch'ampa* en comparación a otros materiales tradicionales, considerando una discusión de resultados y las pruebas de hipótesis estadística, para lograr conclusiones que aporten a la línea de investigación, considerando además recomendaciones y futuras líneas de investigación. Todas estas consideraciones fueron plasmadas en la *Figura 24*.

Para el análisis del cumplimiento de objetivos y planteamiento de las conclusiones, se utilizó un método de análisis comparativo de los contenidos de humedad, límites de consistencia, clasificación de suelos SUCS, ASTM y NRCS, permeabilidad, conductividad térmica y propiedades mecánicas como esfuerzos de compresión y tracción, para lo cual se recopiló antecedentes bibliográficos y publicaciones de diversos investigadores, además de las recomendaciones normativas tanto nacionales como internacionales, contrastando con los resultados obtenidos en los laboratorios de la PUCP y UNAP, dando una idea clara de las ventajas y desventajas que tiene la *Ch'ampa* en comparación a otros materiales tradicionales.

3.5. Descripción Detallada de Métodos por Objetivos Específicos

- OE-1:** Para determinar las propiedades físico mecánicas de la *Ch'ampa*, se utilizaron las normativas vigentes y sus correspondientes ensayos de laboratorio, ya que estas nos dan una idea clara del material de construcción usado en viviendas rurales tipo *Putucos*.
- OE-2:** En base a los datos recopilados sobre las propiedades de permeabilidad y conductividad térmica de la unidad constructiva denominada *Ch'ampa*, se comparan con otros estudios realizados al adobe, tapial, BTC y quincha.
- OE-3:** En base a los datos recopilados sobre las características físicas y mecánicas de la *Ch'ampa*, se comparan con otros estudios realizados al adobe, tapial, BTC y quincha, los cuales son usados en la construcción de viviendas rurales.
- OE-4:** Para asociar las características físico mecánicas de la *Ch'ampa* con el uso en la construcción de viviendas rurales tipo *Putucos*, es

necesario identificar las ventajas y desventajas del material de construcción usado en zonas alto andinas, estas nos dan una idea clara del motivo por el cual podemos considerarlo como el ideal, la que además deberá ser corroborado con el uso empírico que se hace del material en la zona de estudio, pero es necesario continuar con la presente línea de investigación.

3.5.1. Técnicas, estrategias, instrumentos y materiales

En la recolección de datos se aplica el TEIM, nos da una idea clara para replicar el estudio, estas deben identificarse, ya que por separado nos ayudaron a formular el proyecto en primer lugar, tanto la elaboración del cronograma de ejecución del proyecto, en base a: las técnicas, las estrategias y los procedimientos (*Tabla 6*); como el Presupuesto del proyecto está basado en: los instrumentos, los materiales y los recursos (*Tabla 7*).

Tabla 3.
Técnicas, estrategias y procedimientos.

VARIABLES	TÉCNICAS	ESTRATEGIAS	PROCEDIMIENTOS
Característica de la <i>Ch'ampa</i> como unidad constructiva	Documentación	Contraste de resultados	Los resultados obtenidos por la <i>Ch'ampa</i> son comparados con otros estudios referentes al adobe, tapial, BTC, e incluso ladrillo y C°.
Propiedades físicas	Observación	Ensayos de laboratorio	Identificar normativa, determinar fundamentos matemáticos y proceder con los ensayos de laboratorio en base a protocolos, para su reporte final de datos.
Propiedades mecánicas	Observación	Ensayos de laboratorio	

Tabla 4.
Instrumentos, Materiales de verificación y recursos.

VARIABLES	INSTRUMENTOS	MATERIALES DE VERIFICACIÓN	RECURSOS
Característica de la <i>Ch'ampa</i> como unidad constructiva	---x---	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Revisión del reglamento ▪ Correlación de variables ▪ Ficha de cotejo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Laptop ▪ Útiles de escritorio
Propiedades físicas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conductividad térmica ▪ Resistencia Térmica 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resultados de laboratorio ▪ Análisis de datos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Normativa ▪ Libreta de notas
Propiedades mecánicas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ensayo de compresión ▪ Ensayo de tracción ▪ Otros ensayos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resultados de laboratorio ▪ Análisis de datos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Normativa ▪ Libreta de notas

3.5.2. Recolección de datos por objetivos específicos

En base a la taxonomía de las variables, se ha identificado una clasificación según relación, y ya que la presente investigación es de nivel descriptivo-relacional, tenemos las siguientes consideraciones para las variables de estudio:

Para los objetivos del nivel de investigación descriptivo, la variable de interés es el estudio de la *Ch'ampa* ya que se debe cuidar la presión y exactitud de las mediciones y descripción, las variables de caracterización son la tipología constructiva, construcción de viviendas, zona geográfica y confort, ya que nos ayudarán a presentar y conocer mejor al grupo estudiado.

Para los objetivos del nivel de investigación relacional, la variable de interés o de supervisión son las propiedades de la *Ch'ampa* como tecnología tradicional y medioambiental ya que se deriva de la línea de investigación, y las variables asociadas son las características físicas, mecánicas, permeabilidad, conductividad térmica y su relación con otros materiales, ya que nos brinda información necesaria que permita lograr los objetivos de la investigación y su forma de análisis y obtención se presenta a continuación:

Tabla 5.
Recolección de datos por objetivo específico.

Objetivo Específico	Frecuencia temporal	Materiales y equipos	Variables
1. Determinar las propiedades físico mecánicas de la <i>Ch'ampa</i> como material de construcción para viviendas rurales.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Variable laboratorio 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Características de la <i>Ch'ampa</i>. ▪ Ensayos de laboratorio ▪ Propiedades del material 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contenido de humedad y límites de consistencia (%) ▪ Peso específico (kg/m³) y peso unitario volumétrico (gr/cm³) ▪ Granulometría (%) ▪ Esfuerzos internos (kg/cm²)
2. Comparar las propiedades de permeabilidad y conductividad térmica con carga constante, de la unidad constructiva denominada <i>Ch'ampa</i> con otros materiales tradicionales de tierra	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Variable laboratorio ▪ Varianza ▪ Correlación 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ensayos de laboratorio ▪ Fichas de cotejo ▪ Bloque de <i>Ch'ampa</i> y otros 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Permeabilidad (cm/s) ▪ Conductividad térmica (W/m·K) ▪ Resistencia térmica (K·m/W) ▪ Estudios de otros materiales similares

Objetivo Específico	Frecuencia temporal	Materiales y equipos	Variables
3. Comparar las características físicas y mecánicas de la <i>Ch'ampa</i> con otras unidades constructivas de características similares, en la construcción de viviendas rurales tipo <i>Putucos</i> .	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Variable laboratorio ▪ Varianza ▪ Correlación 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ensayos de laboratorio ▪ Fichas de cotejo ▪ Bloque de <i>Ch'ampa</i> y otros 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Esfuerzo de compresión (kg/cm²) ▪ Esfuerzo de flexión (kg/cm²) ▪ Estudios de otros materiales similares
4. Asociar las características físico mecánicas de la <i>Ch'ampa</i> con el uso tradicional en la construcción de viviendas rurales tipo <i>Putucos</i> en zonas alto andinas.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Varianza ▪ Variable de correlación 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fichas de cotejo ▪ Datos de laboratorio ▪ Datos de campo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Características físico mecánicas ▪ Confort ▪ Tipología ▪ Experiencias y criterios constructivos ▪ Tipología constructiva

Nota. Consideraciones establecidas para el desarrollo del proyecto de investigación.

3.5.3. Operacionalización de variables

Para el desarrollo de la investigación, es necesario identificar la forma en la cual se analizarán las variables, además del tipo de variable, ya que en base a estos datos se desarrollarán las pruebas de hipótesis estadísticas para poder responder a los objetivos e hipótesis de estudio y generar las conclusiones correspondientes, aspectos que se analizan en la *Tabla 4*.

Debe considerarse que las dimensiones de las variables serán tanto objetivas ya que las mismas son físicas, como subjetivas ya que algunas dimensiones son lógicas. En base a las cuales se realizarán las mediciones como valor final.

Tabla 6.
Cuadro de operacionalización de variables.

VARIABLES (VI)	INDICADOR	VALOR FINAL	TIPO DE VARIABLE	DIMENSIÓN	TÉCNICA
Calidad del material	Escala visual análoga	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Excelente ▪ Bueno ▪ Regular ▪ Malo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nominal ▪ politémica ▪ ordinal 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Subjetivas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Documentación
Propiedad del material					
Confort	Raíces horizontales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ mm 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Numérica ▪ continua 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Objetivas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Observación
Diámetro de raíces					
Contenido de raíces	Peso de la muestra	<ul style="list-style-type: none"> ▪ % 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Numérica ▪ continua 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Objetivas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Observación
Resistencia al impacto	Ensayo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Si pasa ▪ No pasa 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nominal ▪ dicotómica 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Subjetivas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Observación

Variab<u>l</u>es (VI)	Indicador	Valor final	Tipo de variable	Dimensión	Técnica
<i>Contenido de humedad</i>	Ensayo de laboratorio	▪ % humedad	▪ Numérica continua	▪ Objetivas	▪ Observación
<i>Peso específico de sólidos</i>	Ensayo de laboratorio	▪ gr/cm ³	▪ Numérica continua	▪ Objetivas	▪ Observación
<i>Peso unitario volumétrico</i>	Ensayo de laboratorio	▪ gr/cm ³	▪ Numérica continua	▪ Objetivas	▪ Observación
<i>Límites de consistencia</i>	LL	▪ % humedad	▪ Numérica continua	▪ Objetivas	▪ Observación
	LP	▪ % humedad	▪ Numérica continua	▪ Objetivas	▪ Observación
	IP = LL - LP	▪ %			
<i>Análisis granulométrico</i>	Por tamizado	▪ % que pasa	▪ Numérica continua	▪ Objetivas	▪ Observación
	Tamices (<.001mm)	▪ % que pasa	▪ Numérica continua	▪ Objetivas	▪ Observación
<i>Permeabilidad con carga constante</i>	Ensayo de permeabilidad	▪ K ₂₀ (cm/s)	▪ Numérica continua	▪ Objetivas	▪ Observación
<i>Conductividad térmica</i>	Conductividad	▪ W/m.K	▪ Numérica continua	▪ Objetivas	▪ Observación
<i>Ensayos de compresión</i>	Resistencia	▪ K.m/W	▪ Numérica continua	▪ Objetivas	▪ Observación
	Térmica				
	Ensayo de laboratorio	▪ kg-f/cm ² ▪ MPa ▪ mm	▪ Numérica continua	▪ Objetivas	▪ Observación
<i>Ensayos de flexión</i>	Módulo de elasticidad				
	Deformación				
	Ensayo de laboratorio	▪ kg-f/cm ² ▪ MPa ▪ mm	▪ Numérica continua	▪ Objetivas	▪ Documentación
	Módulo de rotura				
	Deformación				
Variable de Investigación (VD)					
<i>Característica de la Ch'ampa como unidad constructiva</i>	Características físicas	▪ Excelente ▪ Bueno	▪ Nominal politómica	▪ Subjetivas	▪ Documentación
	Características mecánicas	▪ Regular ▪ Malo	▪ ordinal		

Fuente: Consideraciones establecidas en el proyecto de investigación.

3.5.4. Mediciones controladas

Al ser un proceso sistemático, requiere de control del proceso investigativo, tales como el control del proceso investigativo, y se da en dos momentos: el Primero es el control de las variaciones aleatorias o “error aleatorio”, para lo cual es necesario incrementar la cantidad de las muestras, pero debe considerarse que para el presente estudio no se ha considerado este aspecto, ya que era inviable el traslado de muestras al laboratorio por haberse presentado una etapa de aislamiento social por Covid-19.

El Segundo es el control del error humano al diseñar un método defectuoso o “error sistemático”, el cual fue controlado mediante el uso de normativas y protocolos durante la obtención de datos en laboratorio.

Uno de los aspectos involucrado en la medición de variables, es el sesgo que se produce en la selección de unidades de estudio, estos se pueden controlar sin embargo es posible que muchos pasen desapercibidos, por lo cual se identifican y propongo como evitarlos en la *Tabla 5*, tanto para el observador, el instrumento y el rendimiento.

Tabla 7.
Consideraciones para evitar sesgos de medición.

Sesgos de medición	Objetos	Sujetos	Forma de evitarlos
Sesgo del observador	✓	✓	Estudio siego
Sesgo del instrumento	✓	✗	Instrumento patrón, normativa
Sesgo de rendimiento	✓	✗	Calibrar

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de Datos

Los resultados se presentarán iniciando por la normativa, fundamentación matemática, resultados de los ensayos, presentando los cuadros de datos encontrados en cada ensayo, para que en base a los mismos y en un capítulo siguiente, puedan ser analizados.

4.1.1. Normativa relativa a sistemas constructivos de tierra

Los sistemas constructivos en tierra siempre han estado ligados a la historia durante miles de años. En la actualidad se siguen usando estos sistemas constructivos alrededor del mundo. Es una de las razones por las que se han elaborado normativas y reglamentos para el correcto proceso constructivo. Claro está, que estas normas han sido realizadas en relación al medio, en el que se ejecutarán los sistemas constructivos de tierra. Esto se debe a que cada país tiene características únicas en base a su geografía, geomorfología y clima (Gamio, 2018, p. 61).

En el artículo “*las normativas de construcción con tierra en el mundo*” se realizó un recopilatorio de todas las normas vigentes en el mundo hasta el 2010, en el que se han encontrado 51 documentos de referencia a construcciones de adobe, bloque de tierra estabilizado con cemento y tapial (Cid *et al.*, 2011, p. 162). Y en la tesis doctoral “*Durabilidad de los bloques de tierra comprimida. Evaluación y recomendaciones para la normalización de erosión y absorción*” sustentada el año

2012, se encontraron 91 documentos relaciones con la normativa en diferentes países del mundo (Cid, 2012, pp. 28-29).

Tabla 8.

Normas y reglamentos encontrados en base a sistemas constructivos de tierra.

País	Norma o Reglamento	Organismo	Ref.	Estabiliz.	Técnica		
					Adobe	BTC	Tapial
Perú	NTE E 0.80:2017 (última actualización), E 0.80:2000, NTP-1979: 331.202, 331.203, 331.203	SENCICO INDECOPI	05	X	X		X
Brasil	NBR 1986: 8491,8492, NBR 1989: 10832,10833, NBR 1990: 12025, NBR 1992: 12023,12024, NBR 1994: 10834,10835, 10836, NBR 1996: 13555,135553	ABNT	13	X		X	
Burkina Faso	NBF-2009: 0.2-001 al 008	FASANORM	08			X	
Camerún	NC -2002: 102 al 114	ANOR	14			X	
Colombia	NTC 5324	ICONTEC	01	X		X	
EEUU	ASTM E2392 M-10, NMAC,14.7.4:2009	ASTM, CID	02				
España	UNE 41410:2008	AENOR	01			X	
Francia	XP P13-901,2001	AFNOR	01			X	
India	IS 2110:1980, IS 1725:1982, IS 13827:1993	BIS	03		X		X
Italia	Ley n°378:2004; LR 2/06 2 Ag.2006		02		X	X	X
Kenia	KS 02-1070:1999	KEBS	01	X		X	
Nigeria	NIS 369:1997	SON	01	X		X	
N. Zelandia	NZS-1998: 4297,4298 Y NSZ-199:4299	SNZ	03		X	X	X
Regional África	ARS-1996: 670 al 683	ARSO	14			X	
Senegal	NS-1999: 02-43 al 02-56	ASN	14				
Sri Lanka	SLS-2009:1382-1,1382-2,1382-3	SLSI	03	X		X	
Túnez	NT-1996: 21.33,21.35	INNORPI	02			X	
Turquía	TS -1985: 537,2514,2515	TSI	03	X	X		

País	Norma o Reglamento	Organismo	Ref.	Estabiliz.	Técnica		
					Adobe	BTC	Tapial
Zimbabue	SAZS 724:2001	SAZ	01				X

Nota. Las referencias muestran la cantidad de normas en cada país, la estabilización contempla el uso de tierra estabilizadora. El BTC representa a la Técnica de Bloques de Tierra Comprimidos, estabilizado con Cemento o Comprimido con prensa manual/hidráulica, en Brasil o Argentina se denomina Bloques Suelo-cemento.

Fuente: Cid *et al.* (2011) y Cid (2012).

En los 18 países donde se han realizado normas y/o reglamentos, en referencia a las construcciones, han puesto énfasis en los sistemas que más utilizan y los que consideran más necesarios según su ámbito: ya sea por el campo de aplicación, la selección del suelo, requisitos del producto, ensayos, proceso de fabricación, proceso constructivo y diseño. Si bien es cierto que no todos los países han mencionado en sus normas todas las consideraciones necesarias, se puede observar que tienen una iniciativa bastante amplia en cuanto a la conservación de estas tecnologías (Cid *et al.*, 2011).

Una gran parte de los documentos analizados (88%) centran su contenido en el estudio de una única técnica constructiva, ya sea adobe (8%), bloques de tierra comprimidos BTC (74%) o tapial (6%), los documentos restantes (12%) examinan varias técnicas tal como se pudo apreciar en la *Figura Anterior* (Cid, 2012, pp. 36), pero ninguna analiza adecuadamente el estudio de bloques naturales, por lo que se hace imprescindible el desarrollo del presente estudio, debiendo iniciar en la evaluación de sus propiedades físicas que puedan servir para el desarrollo tanto de técnicas constructivas como la inclusión en futuras normativas.

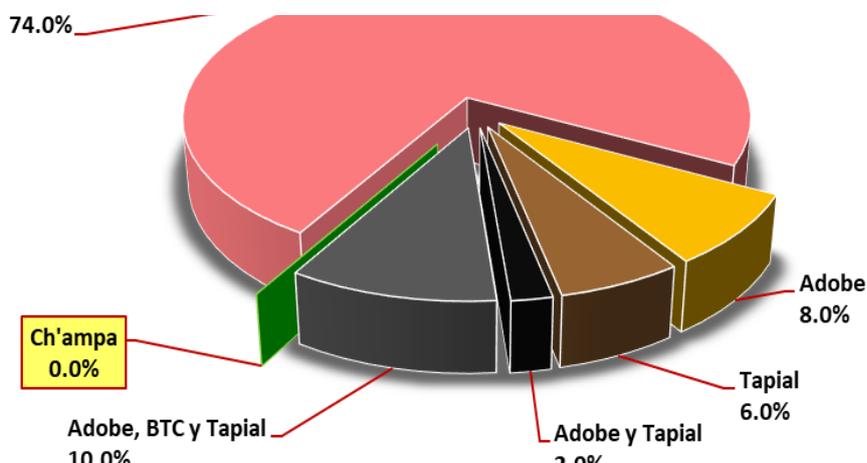


Figura 25. Normas que consideran la construcción con tierra y *Ch'ampa*.

Fuente: Adaptado sobre el estudio de Cid (2012)

Perú cuenta con la Norma NTE E-80 (SENCICO, 2017) que es actualizada constantemente por estudios y aportes realizados tanto por el Servicio Nacional de Capacitación en la Industria de la Construcción, como por el CISMID. Una de las últimas actualizaciones fue presentada en abril del 2017, incluyendo la rehabilitación de monumentos históricos.

La Norma E-80 incluye la correcta selección de suelos, en la que explica cómo se debe determinar utilizando una serie de ensayos in situ. Además, tiene especificado los requisitos en referencia a dimensiones del material, la correcta fabricación y las pruebas del material para saber que las mezclas han sido correctas y conforme a las indicaciones propuestas. Además de tener considerada las dimensiones máximas que deben tener las edificaciones, para su correcto comportamiento frente a sismos (Norma E.080, 2017; Gamio, 2018).

4.1.2. Muestreo para ensayos de laboratorio

En base a las muestras seleccionadas en laboratorio y su respectiva verificación y aprobación, a los quince días del mes de noviembre, se inició la clasificación de muestras para ser distribuidas en los diferentes laboratorios e iniciar con los ensayos, según el siguiente detalle:

Tabla 9.
Programación de ensayos por realizar y sus plazos en días.

Laboratorio	Ensayo programado	N° de días	
		PUCP	UNAP
Mecánica de suelos	Ensayos para determinar propiedades	11	02
	* Contenido de humedad	02	-
	* Peso específico de sólidos	03	-
	* Peso unitario volumétrico (densidad natural)	02	-
	* Límite líquido, Límite plástico	04	02
	* Análisis granulométrico	03	--x--
	Permeabilidad con carga constante (mx.6kg/cm ²)	--x--	01
	Diámetro de raíces	--x--	02
Física	Conductividad y resistencia térmica	07	--x--
Ingeniería	Flexión	03	04
Sísmica	Compresión	02	04

Fuente: Consideraciones para el ensayo en laboratorio.

Referente a las consideraciones necesarias para el ensayo de materiales, se identificó y procedió a extraer las muestras en base a las dimensiones necesarias

para dicho fin y los requerimientos de cada laboratorio, teniendo cuidado en dimensionarlas adecuadamente en base al criterio lógico y conocimiento de los técnicos de laboratorio, ya que debe tomarse en cuenta; —*tal como se mencionó en la introducción y justificación*—; que no existen normas en las cuales se pueda referenciar los estudios de este tipo de material. Aspecto que también es parte del objetivo del presente estudio y de esta forma sembrar las bases normativas y técnicas para el estudio de la *Ch'ampa* como material. (Ver *Anexo 2*, ítem B.1. y B.2.) y ensayos de contraste del adobe tradicional (Ver *Anexo 2*, ítem B.3.)

4.1.3. Características de la *Ch'ampa*

Antes de presentar los resultados realizado en los laboratorios, es necesario presentar algunas características particulares que tiene este bloque de construcción tradicional denominado *Ch'ampa*, que no es compartido con ningún otro material constructivo, lo cual lo hace diferente y completamente tradicional.

4.1.3.1. Zonas de extracción

El bloque u unidad de construcción tradicional denominado *Ch'ampa* o *T'epe*, es usado para construir obras de ingeniería tradicional, entre ellas las viviendas prehispánicas denominados *Putucos*, ya que este material ofrece un comportamiento eficiente, adaptable y sin consecuencias o fallas estructurales importantes en zonas propensas a las inclemencias climáticas como el frío y las inundaciones o precipitaciones pluviales. Las viviendas construidas con este material pueden llegar fácilmente a los 50 años de duración e incluso superar los 80 años sin presentar colapso, siendo resistentes a la erosión.

Para su extracción, la zona seleccionada debe ser identificada con mucha anticipación, y además se debe tener un cuidado peculiar evitando labrar el suelo y usarlo como zona agrícola por un espacio de al menos cinco (5) años como mínimo, como se puede ver en la *Figura 26* el suelo solo tiene tres (3) años, para lograr que los pastos naturales y/o silvestres proporcionen el refuerzo *radicular*, los mismos que deben crecer, madurar y proyectar sus raíces y tallos subterráneos en forma horizontal y vertical.

Una vez extraídos, se perfilan para darle la forma prismática más adecuada, para luego apilarlos en la misma zona e iniciar el proceso de secado, para que

finalmente se pueda usar como material de construcción. Este procedimiento de extracción puede variar entre 600 a 650 und/día para *Ch'ampas* de 50cm x 40cm x 12.5cm completando la tarea de extracción en dos días de trabajo para viviendas pequeñas tipo *Putuco*, también pueden extraer entre 350 a 400 und/día para *Ch'ampas* de 70cm x 50cm x 15.0cm completando la tarea en tres a cuatro días de trabajo para viviendas más grandes tipo *Putucos* y muros de contención o perimetrales.



Figura 26. Zona de extracción y apilado para el proceso de secado.

Nota: Se aprecia la diferencia entre un terreno de extracción actual y una zona antigua de extracción (3 años), la cual se encuentra en proceso de restauración y crecimiento. Además, el apilado de los bloques de *Ch'ampa* para el secado respectivo.

Fuente: Etapa de recolección de datos en zona de estudio.

4.1.3.2. Forma de extracción

Para su extracción, se hace uso de herramientas tradicionales a modo de palas semi curvas, y las dimensiones de la unidad a extraer depende de estas, por

ejemplo: para extraer unidades de 40cm x 50cm x 12.5cm se usan dos palas (Figura 28), y para extraer unidades de 50cm x 70cm x 15cm son necesarias tres palas (Figura 29).



Figura 27. Cuadrilla y herramientas de trabajo para la extracción de Ch'ampa.

Nota. Se aprecia una cuadrilla de trabajo, además de las herramientas e insumos para realizar un pago a la tierra para pedir autorización a la Pachamama.

Fuente: Suaña (2004).



Figura 28. Extracción de Ch'ampas con ayuda de dos palas.

Fuente: Trabajo de extracción de bloques de Ch'ampa de 40x50x12.5cm para construir coberturas.



Figura 29. Extracción de *Ch'ampas* con ayuda de tres palas.

Fuente: Trabajo de extracción de bloques de *Ch'ampa* de 50x70x15cm para construir muros.

4.1.3.3. Características de la materia orgánica

El refuerzo natural de la *Ch'ampa* se logra gracias a las raíces de pastos silvestres, los mismos que brindan una propiedad pocas veces vista, siendo un material adaptable a las deformaciones diferenciales naturales que ocurren al transcurrir el tiempo.

Los suelos en el que crecen los pastos silvestres pertenecen al tipo limo arcilloso orgánico de mediana plasticidad (clasificación mostrada en ítems posteriores), y sus características son:

- Color gris oscuro a negro, color rojo (en este caso la materia orgánica se encuentra en una capa entre 5 a 7 cm).
- Olor a chocolate.
- Posee fibras de raíces finas de pastos silvestres.

Los pastos silvestres, denominados en quechua “*Quemello*” y “*Ch'iji*” (*Muhlenbergia fastigiata*, *Muhlenbergia ligularis*)¹ hace que sea resistente a efectos de erosión, por el enmallado natural por el tejido de las raíces y tallos subterráneos. Son plantas silvestres que crecen y se desarrollan en zonas

¹ En una inundación que puede durar entre cuatro (4) a cinco (5) meses, esta planta silvestre no sufre mucha descomposición ni daños que la destruyan, dándole propiedades de resistencia superiores.

inundadas o manantiales, áreas húmedas que en conjunción a la materia orgánica brindan de características ideales para el desarrollo de raíces, las mismas se encuentran siempre en niveles cercanos al lago *Titicaca*, riveras inundables de ríos como el *Ramis* y zonas con humedades permanentes cercanos a manantiales, Según Vitulas y Reynoso (2013) esta especie se distribuye en Colombia, Perú, Bolivia, Argentina y Chile, entre los 3,300 m s.n.m. y los 4,300 m s.n.m.

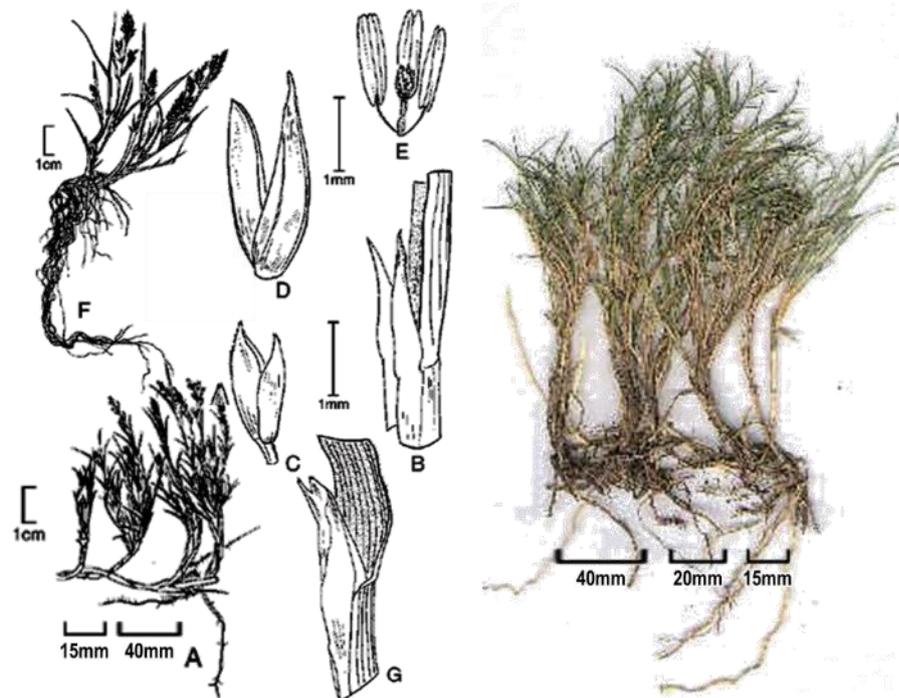


Figura 30. Características del *Muhlenbergia fastigiata*.

Nota. Dimensiones y características de la *Muhlenbergia fastigiata* (J. Presl) Henrard (P. M. Peterson, C. R. Annable, S. Lægaard & R. J. Soreng 12709, US). **A.** Hábito, **B.** Lígula, **C.** Glumas, **D.** Antecio, **E.** Lodículas, pistilo y estambres. *Muhlenbergia ligularis* (Hack.) Hitchc. (P. M. Peterson, C. R. Annable, S. Lægaard & R. J. Soreng 12684, US). **F.** Hábito, **G.** Lígula.

Fuente: Giraldo *et al.* (2009, Fig. 4, p. 286), Vitulas y Reynoso (2013, p. 162).

Los tallos avanzan echando raíces cada 15mm a 20 mm de distancia promedio, la separación de estos tramos son unidos por nudos o nudillos, las distancias alcanzadas de nudo a nudo; según las diversas mediciones; varían entre 15mm, 20mm hasta 40mm de distancia (*Figura 30*).

El césped formado por el tallo y hojas en conjunto, puede llegar a medir 0.25m de altura. Así mismo se ha encontrado en algunos lugares, el césped se arrastra por la superficie exterior del suelo, este fenómeno es debido a que

cuando logran crecer más de 0.25m de altura, sus tallos no pueden resistir al peso propio por ser delgadas y débiles, por lo que no pueden elevarse verticalmente, generalmente se arrastran por el suelo y continúan formado numerosas raíces adventicias al que se le da el nombre de estolones, a estos brotes de los tallos rastreros, pudiendo independizarse del tallo principal formando nuevas matas independientes al destruirse los entrenudos.



Figura 31. Extracción de la raíz subterránea del *Ch'iji* encontrado en el suelo.

Fuente: Recolección de datos para ensayo en campo y laboratorio.

El pasto silvestre denominado “*Ch'iji*” (quechua), presenta las siguientes características:

- Color del tallo/raíz subterráneo Blanco o amarillo con tendencia a blanco.
- Dirección de las raíces Dirección lineal.
- Al encontrar un obstáculo Las raíces se entrelazan y continúan.
- Resistencia a la humedad No son muy resistentes.
- Forma de las hojas Crecen hasta 10 cm.
- Forma del tallo Crecen hasta 20 cm.

Tabla 10.

Medición del diámetro de las raíces horizontales – Ch'iji.

Muestra	5 mediciones más representativas - Raíz/Tallo Horizontal					Diámetro (mm)
	1	2	3	4	5	
Muestra 20 Mr-01	7.70	6.50	6.20	7.10	6.74	6.85
Muestra 21 Mr-02	4.50	5.60	5.80	4.50	5.50	5.18
Muestra 22 Mr-03	3.70	6.20	5.10	3.50	5.00	4.70
Muestra 23 Mr-04	5.50	7.00	6.90	6.00	6.20	6.32

Muestra	5 mediciones más representativas - Raíz/Tallo Horizontal					Diámetro (mm)
	1	2	3	4	5	
Muestra 24 Mr-05	6.70	5.60	4.80	5.40	5.85	5.67
Muestra 25 Mr-06	5.80	5.90	6.30	6.10	6.50	6.12
Muestra 26 Mr-07	6.70	6.90	7.00	7.00	6.15	6.75
Muestra 27 Mr-08	6.50	6.10	6.50	6.00	5.10	6.04
Promedio						5.95 mm
Desviación estándar (muestra)						0.742 mm
Coeficiente de variación						12.463%

Nota. Las muestras analizadas fueron extraídas de una zona donde se presenta raíces del *Ch'iji*, analizando los tallos y raíces horizontales que se extienden a lo largo de la *Ch'ampa*.

Fuente: Datos de los ensayos en campo y laboratorio.

Tabla 11.

Medición del diámetro de las raíces verticales – Ch'iji.

Muestra	5 mediciones más representativas - Raíz Vertical					Diámetro (mm)
	1	2	3	4	5	
Muestra 20 Mr-01	1.90	1.10	1.40	1.80	1.21	1.48
Muestra 21 Mr-02	1.10	1.10	1.50	1.20	1.05	1.19
Muestra 22 Mr-03	0.80	0.70	1.00	1.10	1.50	1.02
Muestra 23 Mr-04	1.10	1.80	1.00	1.80	1.30	1.40
Muestra 24 Mr-05	1.20	1.30	1.50	1.30	1.20	1.30
Muestra 25 Mr-06	1.40	1.40	1.00	1.10	1.20	1.22
Muestra 26 Mr-07	1.30	1.40	1.60	1.80	1.70	1.56
Muestra 27 Mr-08	1.60	1.20	0.80	0.90	0.75	1.05
Promedio						1.28 mm
Desviación estándar (muestra)						0.195 mm
Coeficiente de variación						15.261%

Nota. Las muestras analizadas fueron extraídas de una zona donde se presenta raíces del *Ch'iji*, analizando las raíces verticales que se adentran en la *Ch'ampa*.

Fuente: Datos de los ensayos en campo y laboratorio.

El pasto silvestre denominado “*Quemello*” (quechua), como parte del componente del bloque de construcción, presenta las siguientes características:

- Color del tallo/raíz subterráneo Café claro.
- Dirección de las raíces Dirección curva.
- Al encontrar un obstáculo Las raíces continúan en forma diagonal.
- Resistencia a la humedad Son muy resistentes, y que son acuáticas.

- Forma de las hojas Sirve de alimento para ganado vacuno.
- Forma del tallo Sirve de alimento para cerdos, hasta 30cm dentro del agua.

Tabla 12.

Medición del diámetro de las raíces horizontales – Quemello.

Muestra	5 mediciones más representativas - Raíz/Tallo Horizontal					Diámetro (mm)
	1	2	3	4	5	
Muestra 28 Mr-09	4.30	4.00	3.80	4.10	4.30	4.10
Muestra 29 Mr-10	4.90	5.00	4.90	4.70	4.40	4.78
Muestra 30 Mr-11	4.00	4.00	4.30	4.10	4.30	4.14
Muestra 31 Mr-12	4.70	4.50	4.90	4.50	4.30	4.58
Muestra 32 Mr-13	5.10	5.40	5.20	5.00	4.20	4.98
Muestra 33 Mr-14	3.80	3.80	3.60	3.70	4.30	3.84
Promedio						4.40 mm
Desviación estándar (muestra)						0.444 mm
Coeficiente de variación						10.076%

Nota. Las muestras analizadas fueron extraídas de una zona donde se presenta raíces del *Quemello*, analizando los tallos y raíces horizontales que se extienden a lo largo de la *Ch'ampa*.

Fuente: Datos de los ensayos en campo y laboratorio.

Tabla 13.

Medición del diámetro de las raíces verticales – Quemello.

Muestra	5 mediciones más representativas - Raíz Vertical					Diámetro (mm)
	1	2	3	4	5	
Muestra 28 Mr-09	1.30	1.40	1.10	0.90	1.10	1.16
Muestra 29 Mr-10	0.90	1.20	1.10	1.10	0.80	1.02
Muestra 30 Mr-11	1.00	1.20	0.80	1.10	1.10	1.04
Muestra 31 Mr-12	0.90	1.00	0.90	0.80	1.10	0.94
Muestra 32 Mr-13	0.70	0.80	0.70	0.90	1.00	0.82
Muestra 33 Mr-14	0.80	0.70	0.70	1.10	0.90	0.84
Promedio						0.97 mm
Desviación estándar (muestra)						0.129 mm
Coeficiente de variación						13.346%

Nota. Las muestras analizadas fueron extraídas de una zona donde se presenta raíces del *Quemello*, analizando las raíces verticales que se adentran en la *Ch'ampa*.

Fuente: Datos de los ensayos en campo y laboratorio.

Como se puede ver en los resultados, en caso del *Ch'iji* el diámetro promedio de las raíces horizontales que también son parte del tallo es de 5.95mm y las raíces verticales tiene un diámetro promedio de 1.28mm. Mientras que en el *Quemello* el diámetro promedio de los tallos horizontales es de 4.40mm y las

raíces verticales de 0.97mm, siendo algo menores, pero de mayor resistencia ya que pueden soportar largos períodos sumergidos en el agua, dándole una propiedad única a la *Ch'ampa*, la misma que no existe en ningún otro tipo material de tierra.

4.1.3.4. Contenido de raíces

Para tener una idea clara sobre el contenido natural de los tallos y raíces en un bloque de *Ch'ampa* y su relación con el peso de la muestra, se ha seguido los mismos pasos especificados para ensayos de granulometría por el método lavado, con la diferencia adicional de que a medida que se va lavando, se selecciona los residuos (tallos y raíces), separándolos en una bandeja, los residuos lavados que quedan se secan en forma separada en un horno, para finalmente determinar su peso (W_r) y se calcular el porcentaje (%) de contenido de raíces y tallos en relación al peso total de la muestra seca (W_m) antes del lavado. Es necesario considerar que los residuos vegetales (tallos y raíces) son secados por separado, evitando considerar su humedad natural. Identificando que el contenido de residuos vegetales representa aproximadamente el 10% del total del peso de la *Ch'ampa*.

Tabla 14.
Contenido de raíces en % dentro del bloque natural Ch'ampa.

Muestra		W_m (gr)	W_r (gr)	%	Promedio	Desv. Estándar	
<i>Ch'iji</i>	W1	1,378.00	110.40	8.012%	9.746%	1.362%	
	Muestra 21	W2	1,449.50	152.45			10.517%
	W3	2,421.50	254.50	10.510%			
	W4	1,309.50	105.20	8.034%			
	Muestra 22	W5	2,525.50	280.50			11.107%
	W6	2,772.50	285.50	10.298%			
<i>Quemello</i>	Muestra 29	W7	3,674.00	385.55	10.494%	10.050%	0.548%
	W8	3,723.50	380.50	10.219%			
	Muestra 31	W9	2,969.50	280.25	9.438%		
Promedio				9.847%			
Desviación estándar (muestra)				1.121%			

Fuente: Datos de los ensayos en laboratorio.

Se debe recordar que estas mediciones podrían variar, ya que el contenido de raíces es natural y no artificial, lo cual genera una mayor dispersión de datos, siendo la constante de tiempo de preparación del terreno una variable a considerar en los datos.

4.1.3.5. Resistencia al impacto

Un ensayo empírico practicado por los maestros constructores, es la resistencia al impacto, en donde la *Ch'ampa* debería resistir a un impacto desde una altura de 1.50m, debiendo soportarlo sin presentar fracturas o fisuras, esta característica es importante para identificar las condiciones primigenias de humedad y densidad natural del terreno, haciendo que la zona de extracción sea la adecuada.

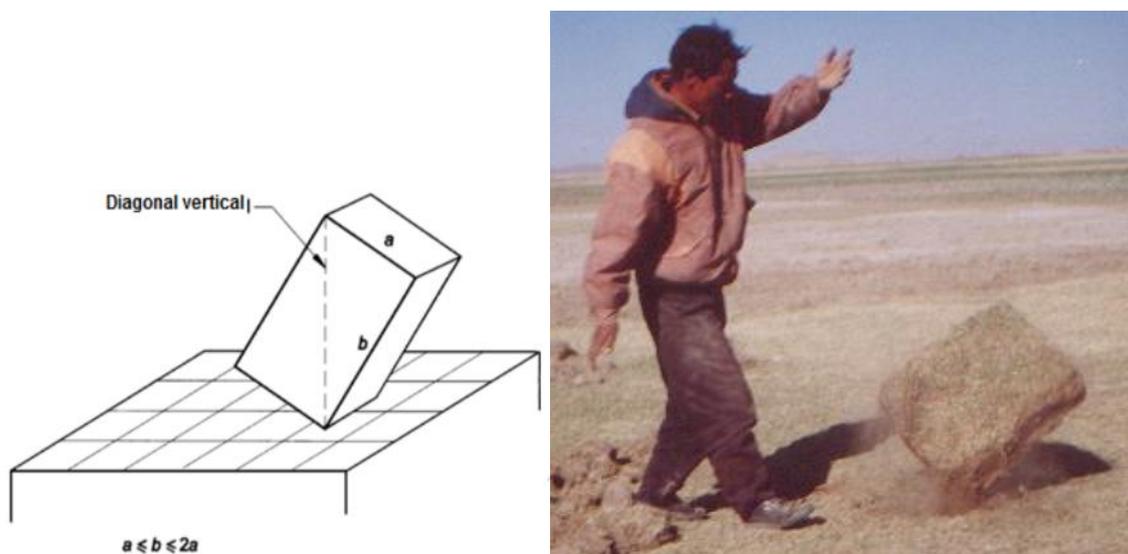


Figura 32. Ensayo empírico usado para verificar la resistencia al impacto.

Nota. Para la prueba de caída, se recomienda que si $b > 2a$ se debe cortar al bloque por la mitad antes de ensayar. Algunas consideraciones similares se encuentran en la Norma NZS 4298 de Nueva Zelanda.

Los únicos resultados posibles son: SI PASA / NO PASA. Si falla, se recomienda no extraer la *Ch'ampa* ya que no será adecuado al momento de la construcción del *Putuco*, en la *Tabla 15* se presentan los resultados in situ de esta prueba, la cual nos dio un primer indicio de que las muestras seleccionadas son adecuadas. Esta prueba se debe verificar con los ensayos de compresión y del módulo de rotura por flexión en laboratorio.

Tabla 15.
Ensayos de resistencia al impacto in situ de Ch'ampas.

Muestra	b (mm)	a (mm)	Control b>2a	Masa "m" (kg)	Altura de caída "h" (m)	Fuerza de Impacto m.g.h (kg-f)	Prueba de campo		Control de calidad
							Fisuras	Fallas	
Campo 6 (50x40x12.5cm)	500	400	Cumple	40.3	1.5	592.279	X	X	SI PASA
Campo 7 (50x40x12.5cm)	500	400	Cumple	41.0	1.5	602.579	X	X	SI PASA
Promedio total						597.429 kg-f			
Desviación estándar (muestra)						7.284 kg-f			
Coeficiente de variación						1.219%			

Fuente: Datos recopilados en ensayos de campo in situ (zona de extracción de muestras).

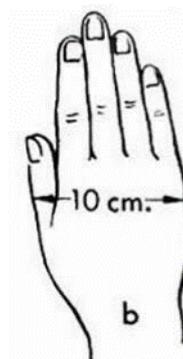
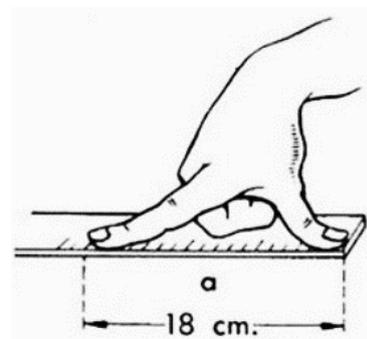


Figura 33. Prueba de plasticidad in situ para verificar calidad de Ch'ampa.

Nota. En los ensayos de campo, lo ideal es obtener una longitud de 18cm que es aproximadamente la distancia entre pulgar e índice figura (a), y se ha logrado obtener longitudes mayores a los 10cm o la distancia en la palma o puño de la mano figura (b).

Otra prueba empírica transmitida por los maestros constructores es la prueba de rollitos de arcilla, debiendo poder formar una longitud igual a la distancia entre dedos pulgar e índice que es aproximadamente 18cm y mayor a la palma o puño de la mano que es aproximadamente 10cm como se puede apreciar en

la *Figura 33*, usando un vidrio se formaron rollitos de aproximadamente 3mm de diámetro, obteniendo valores hasta de 20cm de longitud, mostrando que el contenido de finos es el ideal, ya que si tiene mucho contenido de arena el bloque de *Ch'ampa* se vuelve inestable, es curioso notar que este es justamente el principio del ensayo de límite plástico, aunque es una estrategia tradicional empírica.

4.1.4. Contenido de humedad

Estos ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, debiendo usar para su desarrollo diferentes equipos y técnicas establecidas por los protocolos, además de accesorios y otros, con la finalidad de determinar el contenido de humedad.

4.1.4.1. Normativa de los ensayos

Las normas estándares que se utilizaron para determinar las propiedades de índice en los ensayos de contenido de humedad del suelo, se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 16.
Normativa para ensayos de contenido de humedad.

TIPO DE ENSAYO	NORMAS	
	NTP	ASTM
Contenido de humedad	339.127 ²	D2216 ³ - 10

4.1.4.2. Fundamento matemático

El contenido de humedad (w) de una muestra, según los estándares en la norma NTP 339.127 (1999), requiere determinar el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta obtener un peso constante, por lo cual se utilizó una temperatura de 110 °C (horno), aunque este procedimiento se debe realizar inmediatamente después del muestreo y debiendo conservar las características físicas reales encontradas in situ, se procede a verificar la misma, considerando que las muestras cuentan con unos 20 días de secado

² INCAL-INDECOPI, NTP 339.127 “Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo”. Perú, 1999, p. 12.

³ ASTM American Society for Testing and Materials, D2216 - 10 *Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.*

previo en la intemperie. El cálculo utilizado según norma para el contenido de humedad es:

$$w = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

$$w = \frac{Mcws - Mcs}{Mcs - Mc} \times 100 = \frac{Mw}{Ms} \times 100$$

Donde:

- w : Contenido de humedad (valor en porcentaje).
- $Mcws$: Peso del contenedor más el suelo húmedo (en gramos).
- Mcs : Peso del contenedor más el suelo secado en horno (en gramos).
- Mc : Peso del contenedor o tara (en gramos).
- Mw : Peso del contenido de agua (en gramos).
- Ms : Peso de las partículas sólidas (en gramos).

4.1.4.3. Ensayo de laboratorio

En los ensayos y resultados de las muestras M1, M2 y M3, se obtuvieron porcentajes de humedad w entre 3.5% y 4.1%, lo cual nos indica que la muestra tiene un bajo contenido de humedad, esto estaría relacionado con el proceso de secado a la intemperie de unos 20 días aproximadamente.

Tabla 17.

Resultados de los ensayos del contenido de humedad.

Descripción	Resultados		
	Muestra M1	Muestra M2	Muestra M3
Humedad w	3.50%	4.10%	3.80%



Figura 34. Ensayos para determinar el contenido de humedad.

Nota. Para su desarrollo se ha utilizado un horno que garantice la eliminación del 100% de humedad en las muestras.

4.1.5. Peso Específico de Sólidos

Estos ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, debiendo usar para su desarrollo diferentes equipos y técnicas establecidas por los protocolos, además de accesorios y otros, con la finalidad de determinar el peso específico de sólidos.

4.1.5.1. Normativa de los ensayos

Las normas estándares para determinar las propiedades de índice en los ensayos de peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo o gravedad específica de sólidos del suelo mediante picnómetro, se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 18.

Normativa para ensayos del peso específico de sólidos.

TIPO DE ENSAYO	NORMAS	
	NTP	ASTM
Peso específico de solidos	339.131 ⁴	D854 ⁵ - 14

4.1.5.2. Fundamento matemático

Peso específico de sólidos (G_s) de una muestra, según la norma NTP 339.131 (1999), requiere determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de suelo y se obtiene por medio de un picnómetro, en referencia a la relación entre el peso en aire del volumen de un material, a una temperatura indicada, y el peso en aire de idéntico volumen de agua destilada a la misma temperatura. Inicialmente se procede a calibrar el picnómetro, limpiando y secando el mismo, pesando y anotando su masa; llenándolo de agua destilada a temperatura ambiente tras lo que se determina la masa (M_a). Se mide la temperatura del agua con la aproximación de 1°C (T_i). En base a los resultados obtenidos de la masa y la temperatura, se elabora un cuadro con una serie de valores, que son calculados de la siguiente manera según norma:

$$M_a (a. T_x) = \frac{\text{Densidad de agua a } T_x}{\text{Densidad de agua a } T_i} \times (M_a - M_f) + M_f$$

⁴ INCAL-INDECOPI, NTP 339.131 “Método de ensayo para determinar peso específico relativo de las partículas sólidas del suelo”. Perú, 1999, p. 10.

⁵ ASTM American Society for Testing and Materials, D854 - 14 *Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer*.

Donde:

- Ma : Masa de picnómetro con agua (en gramos).
- Mf : Masa del picnómetro (en gramos).
- Tx : Temperatura del agua observada (en °C).
- Ti : Cualquier otra temperatura observada (en °C).

De la resultante de la ecuación anterior se obtiene el valor del Ma de la ecuación, se procede a utilizar la siguiente ecuación para obtener el G_s :

$$G_s = \text{Peso específico} \left(\frac{T_x}{T_x} ^\circ C \right) = \frac{M_o}{M_o + (M_a - M_b)}$$

Donde:

- G_s : Peso específico relativo de las partículas sólidas.
- M_o : Masa de la muestra de suelo seco al horno (en gramos).
- M_a : Masa del picnómetro lleno de agua a la temperatura T_x (en gramos).
- M_b : Masa del picnómetro lleno con agua y suelo a la temperatura T_x (en gramos).
- T_x : Temperatura de los contenidos del picnómetro cuando se determinó la masa M_b (en grados centígrados).

4.1.5.3. Ensayo de laboratorio

En los ensayos y resultados de las muestras M1, M2 y M3, se obtuvieron valores del peso específico del suelo G_s que fluctúan entre 2,560 kg/m³ (2.56 gr/cm³) y 2,620 kg/m³ (2.62 gr/cm³), con un valor promedio de 2,586.67 kg/m³ (2.59 gr/cm³), con ayuda del Picnómetro.



Figura 35. Ensayos para determinar peso específico con Picnómetro.

Nota. Los aditamentos necesarios fueron: balanza, termómetro, pipeta, picnómetro, embudo y recipientes.

Tabla 19.
Resultados de los ensayos del peso específico.

Descripción	Resultados (gr/cm ³)		
	Muestra M1	Muestra M2	Muestra M3
Peso específico de sólidos G _s	2.56	2.62	2.58
Promedio total	2.587 gr/cm³		
Desviación estándar (muestra)	0.0306 gr/cm ³		
Coefficiente de variación	1.181%		

Fuente: Datos determinados en base a los ensayos de laboratorio.

4.1.6. Peso Unitario Volumétrico

Estos ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, debiendo usar para su desarrollo diferentes equipos y técnicas establecidas por los protocolos, además de accesorios y otros, con la finalidad de determinar el peso unitario volumétrico.

4.1.6.1. Normativa de los ensayos

Las normas estándares que se utilizaron para determinar las propiedades de índice en los ensayos de peso unitario volumétrico o densidad natural del suelo, se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 20.
Normativa para ensayos del peso unitario volumétrico.

TIPO DE ENSAYO	NORMAS	
	NTP	ASTM
Peso unitario volumétrico (densidad natural)	-	D7263 ⁶ - 9

4.1.6.2. Fundamento matemático

El peso unitario volumétrico PU, también conocida como densidad natural del suelo, requiere de la relación que hay entre el peso del material y el volumen que este ocupa, basado en la norma ASTM 7263-09, para lo cual se limpió el área donde se coloca parte de la muestra, con la intención de evitar agentes contaminantes. Luego se divide el material en partes, una de estas partes es colocada dentro de un recipiente, sin hacer presión y se procede a pesar (kg). Se debe tener en cuenta el peso del recipiente (kg) y el volumen

⁶ ASTM American Society for Testing and Materials, D7263 - 09 *Standard Test Methods for Laboratory Determination of Density (Unit Weight) of Soil Specimens.*

del mismo (lt). Para determinar el peso volumétrico se utilizan la siguiente ecuación según norma:

$$P_{ss} = \left(\frac{W_{mr} - W_r}{v} \right) \times 1000$$

Donde:

- P_{ss} : Peso específico del agregado seco y suelto (en kg/m³).
 W_{mr} : Peso del recipiente más el peso del material (en kg).
 W_r : Peso del recipiente (en kg).
 v : Volumen del material (en litros).

4.1.6.3. Ensayo de laboratorio

En los ensayos y resultados de las muestras M4, M5 y M6, con fines de clasificar el suelo, se observa una densidad húmeda que varía entre 1,360 kg/m³ y 1,410 kg/m³ con un valor promedio de 1,385 kg/m³, y la densidad seca varía entre 1,340 kg/m³ y 1,360 kg/m³, con un valor promedio de 1,350 kg/m³, presentando un contenido de humedad máximo del 4.0 %, y promedio de 3.03%.

Tabla 21.

Resultados de los ensayos de densidad seca y húmeda.

Descripción	Resultados			Prom.	Desv. Estándar (muestra)	Coeficiente de Variación
	Muestra M4	Muestra M5	Muestra M6			
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.41	1.36	1.39	1.385	0.025	1.81%
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.36	1.34	1.35	1.350	0.010	0.74%
Humedad (%)	4.0	1.3	3.8	3.033	1.504	49.60%

Fuente: Datos determinados en base los ensayos de laboratorio.

4.1.7. Límites de Consistencia

Estos ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, debiendo usar para su desarrollo diferentes equipos y técnicas establecidas por los protocolos, además de accesorios y otros, con la finalidad de determinar el LL y LP de la muestra.

4.1.7.1. Normativa de los ensayos

Las normas estándares que se utilizaron para determinar las propiedades de índice en los ensayos de Límite Líquido (LL) y Límite Plástico (LP), en base

a los cuales se procede a determinar el Índice de Plasticidad (IP), consideraciones que nos darán una idea clara de la capacidad que tiene el material de ser manipulado y/o moldeado, la normativa se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 22.
Normativa para ensayos de los límites de consistencia.

TIPO DE ENSAYO	NORMAS	
	NTP	ASTM
Límite líquido y Límite plástico	339.129 ⁷	D4318 ⁸ - 10

4.1.7.2. *Fundamento matemático*

Los límites, líquido (LL) y plástico (LP) fueron realizados en base a la norma NTP 339.129 (1999), obteniendo el porcentaje de humedad, justo en el momento en que la muestra de suelo se encuentra entre el estado líquido y plástico.

Podemos definir al LL como el porcentaje de agua en relación al peso seco del suelo o material, este se verifica mediante un surco practicado sobre una muestra cerrada por un tramo de 12.7 mm (1/2") después de una secuencia de 25 golpes en la cuchara de Casagrande, con 1.0 cm de caída libre a una frecuencia de dos (02) golpes por segundo, en al menos dos ensayos con ajustes de humedad en forma aproximada.

$$LL^n = W^n \times \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121}$$

$$LL^n = k \times W^n$$

Donde:

- LL^n : Valor del Límite Líquido de la muestra (en %).
- W^n : Contenido de agua de la muestra (en %).
- N : Número de golpes para cerrar la ranura.
- k : Factor de límite líquido.

⁷ INCAL-INDECOPI, NTP 339.129 "Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos". Perú, 1999, p. 27.

⁸ ASTM American Society for Testing and Materials, D4318 - 10 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.

El LP depende del contenido de humedad en la que el suelo o material se comporta plásticamente, preparando rollos de 3.00 mm de diámetro sobre una superficie lisa hasta que se presenten grietas, punto en el cual se hace la medición.

En base a estos dos datos se determina el IP, el cual está definido por la siguiente ecuación según norma:

$$IP = I_p = Wl - Wp$$

Donde:

Wl : Valor del LL de la muestra (en %).
 Wp : Valor del LP de la muestra (en %).

4.1.7.3. Ensayo de laboratorio

En los ensayos y resultados de las muestras M1, M2 y M3, se obtuvieron límites líquidos (LL) entre 41% y 45%, límites plásticos (LP) entre 31% y 35%, y referente a los índices de plasticidad (IP) se tiene un resultado de 10%.



Figura 36. Ensayos para determinar límites líquido y plástico.

Tabla 23.

Resultados de los ensayos de LL, LP e IP.

Descripción	Resultados (%)			Prom.	Desv estándar (muestra)	Coef. de variación
	Muestra M1	Muestra M2	Muestra M3			
Límites líquidos (LL)	45	41	41	42.333	2.3094	5.46%
Límites Plásticos (LP)	35	31	31	32.333	2.3094	7.14%
Índice plástico (IP)	10	10	10	10.000	0.000	0.00%

Fuente: Datos determinados en base los ensayos de laboratorio.

4.1.8. Análisis Granulométrico por Tamizado

Estos ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, debiendo usar para su desarrollo diferentes equipos y técnicas establecidas por los protocolos, además de accesorios y otros, tales como las mallas graduadas en escalas para identificar material granular y material fino, además del densímetro para materiales superiores a la malla N° 200, con la finalidad de clasificar el suelo.

4.1.8.1. Normativa de los ensayos

Las normas estándares que se utilizaron para desarrollar el análisis granulométrico por tamizado, se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 24.

Normativa para ensayos del análisis granulométrico.

TIPO DE ENSAYO	NORMAS	
	NTP	ASTM
Análisis granulométrico por tamizado	339.128 ⁹	D422 ¹⁰ - 63

4.1.8.2. Fundamento

El análisis granulométrico por tamizado GM, fue realizado por dos métodos, que son los que exige la norma NTP 339.128. (1999, revisado 2014), en primer lugar, se utilizó diferentes tamaños de tamiz para analizar el tamaño de sus partículas y en segundo lugar se utilizó el densímetro.

4.1.8.3. Ensayo de laboratorio

Los ensayos y resultados de las muestras M1, M2 y M3 fueron complementados con los residuos de la Muestra 09 (desechos) y Muestra 10 (desechos), que sirvieron para desarrollar los ensayos de granulometría.

Los ensayos se hicieron con 25 diferentes diámetros o tamices, en los que el tamiz de 3” al N° 4 dejan pasar un 100%, el tamiz N° 10 permite el paso entre 98.70% a 99.90%, finalmente el tamiz N° 200 deja pasar entre 90.60% a 96.20%, lo cual indica que es necesario un análisis más minucioso de la

⁹ INCAL-INDECOPI, NTP. 339.128 “Método de ensayo para el análisis granulométrico”. Perú, 1999, p. 10.

¹⁰ ASTM American Society for Testing and Materials, D422 - 63 *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*.

muestra, por tener una cantidad muy grande de finos, tal como podemos apreciar a continuación:



Figura 37. Ensayos para determinar la curva granulométrica.

Tabla 25.

Resumen y comparación del análisis granulométrico Tamiz ASTM.

Tamiz ASTM	Abertura (mm)	% Porcentaje que pasa				
		Muestra M1	Muestra M2	Muestra M3	Muestra 09(desecho)	Muestra 10(desecho)
3"	76.200	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
2"	50.600	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1 ½"	38.100	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.400	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
¾"	19.050	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
⅜"	9.525	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
#4	4.760	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
#10	2.000	99.7	99.8	99.7	99.9	98.7
#20	0.840	98.4	99.4	99.3	99.8	97.4
#40	0.420	97.1	98.8	98.8	99.7	96.1
#60	0.250	96.0	98.2	98.4	99.4	95.0
#140	0.149	93.6	96.5	97.2	98.2	92.6
#200	0.074	91.5	94.5	95.3	96.2	90.6

Fuente: Datos determinados en base los ensayos de laboratorio.

Para el caso de diámetros menores el ensayo de densímetro fue desarrollado como complemento, ya que normalmente estos diámetros no son analizados, terminado el control en la malla N° 200, en donde el tamiz de 0.038 mm permite el paso entre 73.04% a 78.06%, el tamiz de 0.011 mm permite el paso entre 44.82% a 55.24%, y el tamiz más pequeño de 0.001 mm, únicamente

deja pasar entre el 17.32% a 20.91%, los resultados se presentan a continuación:

Tabla 26.

Resumen y comparación del análisis granulométrico para tamices pequeños.

Diámetro en mm	% Porcentaje que pasa					Contenido de finos
	Muestra M1	Muestra M2	Muestra M3	Muestra 09(desecho)	Muestra 10(desecho)	
0.038	77.3	73.8	75.7	78.1	73.0	LIMO
0.028	70.0	65.1	68.9	70.7	64.4	61-63%
0.023	66.2	60.6	63.9	66.8	60.0	ARCILLA
0.021	62.4	58.9	60.7	63.0	58.3	17-21%
0.015	57.2	50.7	54.7	62.6	50.2	ARENA
0.011	50.4	45.3	49.4	55.2	44.8	5-9%
0.008	42.6	39.6	43.9	48.1	39.2	GRAVA
0.006	36.6	33.1	37.1	40.7	32.7	0%
0.004	31.3	28.9	32.4	35.5	28.6	
0.003	23.2	24.2	27.6	30.1	23.0	
0.002	19.5	18.5	22.1	24.1	18.3	
0.001	17.7	17.5	19.1	20.9	17.3	

Fuente: Datos determinados en base los ensayos de laboratorio.

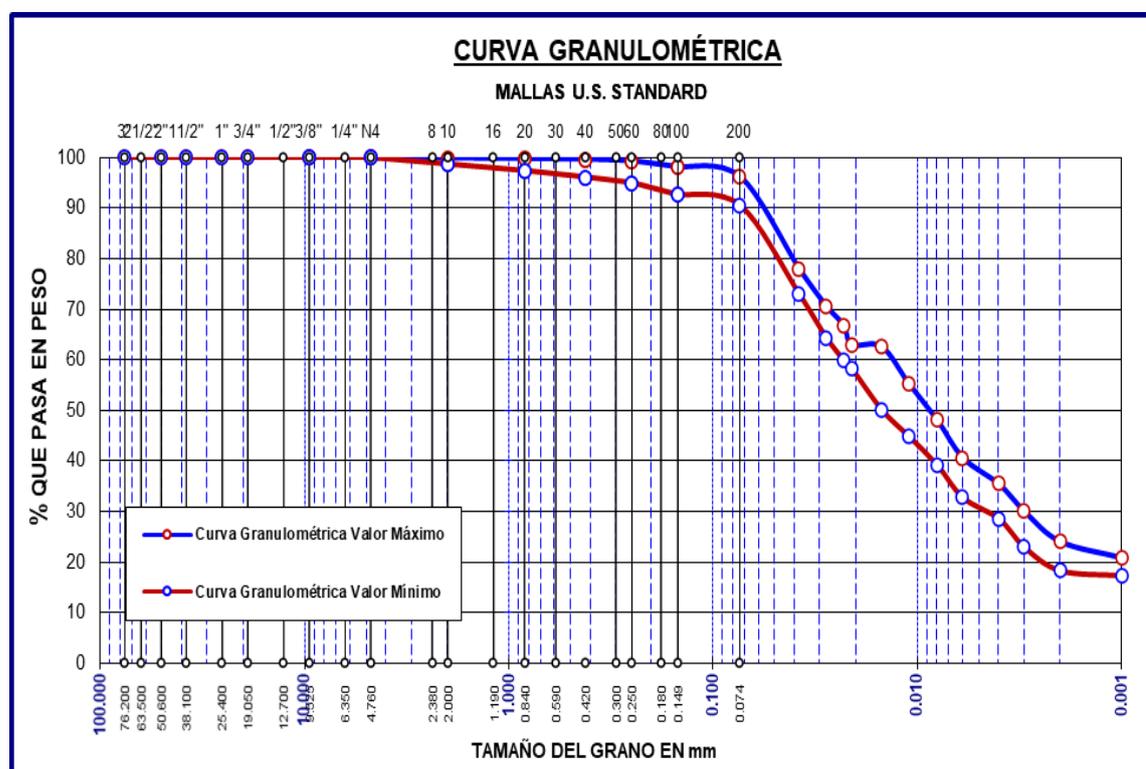


Figura 38. Curva del análisis granulométrico por tamizado Máximo y Mínimo.

Nota. Las dos curvas representan los valores máximos y mínimos de todos los ensayos, generando un límite superior e inferior para la variación de los resultados, los resultados de las curvas en forma individual se encuentran en el Anexo 3.

Los diagramas de las curvas granulométricas de todas las muestras se pueden apreciar en el *Anexo 3*, pero; a modo de resumen; en la *Figura 38* se muestra un comparativo entre los valores máximos y mínimos de la curva granulométrica obtenida, donde se tiene un porcentaje de arcilla que varía entre 17% a 21% aproximadamente.

4.1.9. Permeabilidad con Carga Constante

Estos ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, debiendo usar para su desarrollo diferentes equipos y técnicas establecidas por los protocolos, además de accesorios y otros, para determinar la permeabilidad de la muestra.

4.1.9.1. Normativa de los ensayos

Las normas estándares que se utilizaron para los ensayos de permeabilidad o también denominado ensayo de la medición de la conductividad hidráulica de materiales saturados porosos utilizando un permeámetro de pared flexible, se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 27.
Normativa para ensayos de permeabilidad.

TIPO DE ENSAYO	NORMAS	
	NTP	ASTM
Permeabilidad con carga constante (mx.6 kg/cm ²)	339.156 ¹¹	D5084 ¹² - 10

4.1.9.2. Fundamento matemático

Los ensayos de permeabilidad con carga constante (k) [máx. 6 kg/cm²], en base a la norma NTP 339.156 (2015), utilizando un permeámetro de pared flexible o de carga variable, mide la conductividad hidráulica para suelos finos. El uso de este tipo de equipo genera datos más exactos en un suelo tipo arcilloso. Este ensayo se realiza con la finalidad de determinar si el suelo es

¹¹ INCAL-INDECOPI, NTP 339.156 “Método de ensayo de la medición de la conductividad hidráulica de materiales saturados porosos utilizando un permeámetro de pared flexible”. vol. XXXIII. 2015, pp. 81–87.

¹² ASTM ASTM American Society for Testing and Materials, D5084 - 10 *Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter*.

permeable o impermeable. Se realiza la preparación del equipo, posterior a ello se prepara la muestra en estado suelto, vaciándola dentro del molde, en este caso es remoldeada, se realiza la presión del confinamiento y saturación de la muestra. Para finalmente determinar la permeabilidad, utilizando la ley de *Darcy*, con la siguiente ecuación, según norma:

$$Q = A \cdot k \cdot \frac{h_3 - h_4}{L} = A \cdot k \cdot i$$

Donde:

- Q : Gasto, descarga o caudal (en m³/s).
 L : Longitud de las muestras (en metros).
 k : Constante, actualmente conocida como coeficiente de permeabilidad de *Darcy*, variable en función del material de la muestra (en m/s).
 A : Área de la sección transversal de la muestra (en m²).
 h_3 : Altura, sobre el plano de referencia que alcanza el agua en un tubo colocado a la entrada de la capa filtrante.
 h_4 : Altura, sobre el plano de referencia que alcanza el agua en un tubo colocado a la salida de la capa filtrante.
 i : El gradiente hidráulico.

$$i = \left[\frac{h_3 - h_4}{L} \right]$$

4.1.9.3. *Ensayo de laboratorio*

El ensayo de permeabilidad fue realizado con la finalidad de verificar la resistencia al flujo (agua), que pasa por el suelo o la estructura componente de la *Ch'ampa*. Se realizaron los ensayos a las dos muestras P-1 y P-2 como se puede ver en la *Figura 39*.



Figura 39. Moldeado de las muestras P-1 y P-2 para ensayo de permeabilidad.

Fuente: Laboratorio de la PUCP, cortesía de M.Sc. Andrea Lissy Gamio Felipa.

En la *Tabla 28*, se puede observar los resultados ensayados a la probeta P-1 y P-2, en el caso de P-1 sus dimensiones fueron de: $h = 8.56$ cm, $\varnothing = 5$ cm, y para P-2 sus dimensiones fueron de: $h = 9.06$ cm, $\varnothing = 5$ cm, ambas expuestas a una temperatura $T = 20^{\circ}\text{C}$. Además, se tiene una variación del porcentaje de humedad, entre el inicio y final de 24.61% para P-1 y 28.86% para P-2. Se puede observar además que el porcentaje de porosidad se mantiene con un 47.80% para P-1 y 48.00% para P-2. Dando un coeficiente de permeabilidad de $K_{20} = 7.77 \times 10^{-7}$ cm/s para P-1 y $K_{20} = 3.80 \times 10^{-6}$ cm/s para P-2.

Tabla 28.
Resultados del ensayo de permeabilidad.

Características del Espécimen	Muestra P-1		Muestra P-2	
	Inicial	Final	Inicial	Final
Diámetro (cm)	5.00	5.00	5.00	5.00
Altura (cm)	8.56	8.56	9.06	9.06
Peso específico de sólidos G_s	2.63		2.63	
Humedad $\omega\%$	10.21%	34.82%	6.20%	35.06%
Saturación $S_r\%$	29.30%	100.00%	17.70%	100.00%
Relación de vacíos e	0.92	0.92	0.92	0.92
Porosidad $n\%$	47.80%	47.80%	48.00%	48.00%
Densidad γ g/cm ³	1.51	1.85	1.45	1.85
Densidad seca γ_d gr/cm ³	1.37	1.37	1.37	1.37
Tipo muestra	Inalterada		Inalterada	
Presión aplicada kg/cm ²	0.75		0.50	
Presión confinada σ_3 kg/cm ²	1.50		1.50	
Gradiente hidráulico i	87.62		55.19	
Coeficiente de permeabilidad K_{20}	7.77×10^{-7} cm/s		3.80×10^{-6} cm/s	

4.1.10. Conductividad Térmica

Estos ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Física de la PUCP, debiendo usar para su desarrollo un equipo de placa caliente, además de diferentes equipos y técnicas establecidas por los protocolos, accesorios y otros, con la finalidad de determinar la conductividad y resistencia térmica.

4.1.10.1. Normativa de los ensayos

Las normas estándares que se utilizaron para los ensayos de conductividad y resistencia térmica o también denominado medición de flujo de calor de

estado estacionario y propiedades de transmisión térmica por medio del aparato de placa caliente protegida, se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 29.
Normativa para ensayos de conductividad y resistencia térmica.

TIPO DE ENSAYO	NORMAS	
	NTP	ASTM
Conductividad térmica	-	C177 ¹³ - 85
Resistencia térmica	-	C177 - 85

Los ensayos fueron realizados en el laboratorio de Física, en base a la norma ASTM C177.85¹⁴. para la medición se utiliza el «*equipo de placa caliente*», que tiene una base que es la que transmite calor a través de la muestra, se coloca un material aislante, tiene una parte central y un anillo de guarda separado por una distancia no mayor a 3.0 mm. La fuente está ubicada en el centro del equipo, y se alimenta por cuatro (04) conductores eléctricos distribuidos: dos en la parte central y otros dos en la guarda. Estos conductos se conectan a variadores de tensión, que permite que haya un ingreso progresivo de corriente eléctrica, que hace que la placa se caliente paulatinamente.

4.1.10.2. Fundamento matemático

Los resultados se obtienen en base a la fórmula de la “Ley de Fourier” del flujo de transferencia de calor por conducción. Para determinar la permeabilidad utilizan la ley de *Darcy*, con la siguiente ecuación, según norma:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = KA \frac{T_c - T_f}{\varepsilon}$$

Donde:

- T_c : Temperatura de foco caliente.
- K : Constante de conductividad térmica de material λ (en W/m·K).
- A : Área transversal o superficie.

¹³ ASTM American Society for Testing and Materials, C177 - 85 *Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus.*

¹⁴ ASTM American Society for Testing and Materials, C177 - 85 *Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus.*

- T_f : Temperatura del foco frío.
 ε : Espesor del material.
 ΔQ : Calor transferido en los intervalos de ΔT .

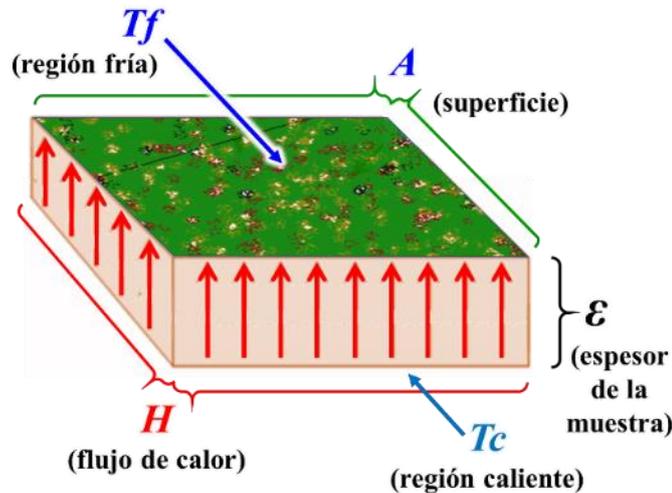


Figura 40. Representación del flujo de calor según Fourier.

Nota. Este es un esquema representativo del flujo de calor a través de una superficie, en nuestro caso un bloque de *Ch'ampa*.

Fuente: Esquema desarrollado en base a las consideraciones teóricas.

La resistencia térmica del material es la capacidad del material para oponerse al flujo de calor, en caso que el material no sea homogéneo, este valor se obtiene con la siguiente ecuación:

$$R = \frac{1}{C}$$

Donde:

- R : Resistencia térmica (en $K \cdot m/W$).
 C : Valor de la conductividad térmica K .

4.1.10.3. Ensayo de laboratorio

Para el desarrollo de este ensayo realizado en el Laboratorio de Física, se utilizaron las muestras Mc-1, Mc-2 y Mc-3, debiendo trabajar en dos etapas:

Primera etapa: Las muestras moldeadas se colocaron en el horno por un periodo de 48 horas, para luego dejarlas enfriar por otras 24 horas.

Segunda etapa: Se procedió a colocar cada muestra en el aparato de placa caliente, para poder analizar y determinar el valor de la conductividad térmica del material.

El ensayo con el aparato de placa caliente tiene una base que transmite el calor, en la que se colocó un material aislante, luego las muestras por separado, y sobre ellas se coloca además un material para uniformizar su superficie y un plato de aluminio como conductor en el que se vierte agua o hielo seco.



Figura 41. Ensayo de placa caliente para conductividad y resistencia térmica.

Fuente: Laboratorio de la PUCP, cortesía de M.Sc. Andrea Lissy Gamio Felipa.

Este ensayo fue realizado en un lapso de siete (07) días, en las cuales se analizaron las tres muestras de *Ch'ampa*, y además se desarrollaron también dos (02) ensayos de conductividad por cada muestra, con la finalidad de verificar los valores obtenidos.

Para iniciar con los ensayos de conductividad térmica, se consideraron las siguientes consideraciones preliminares:

- Temperatura utilizada $T = 21^{\circ}\text{C}$
- Estado de humedad 1.0%
- Humedad relativa HR 65.0%

Los resultados obtenidos para la muestra Mc-1 es de $0.24 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, y para las muestras Mc-2 y Mc-3 tiene un valor de $0.25 \text{ W/m}\cdot\text{K}$.

Tabla 30.
Resultado de los ensayos de conductividad y resistencia térmica.

Muestras con dimensiones 20x20x12cm	Resultados		
	Conductividad Térmica (W/m·K)	Conductividad Térmica (kcal/s·m·K)	Resistencia Térmica (K·m/W)
Mc-1	0.24	5.74×10^{-5}	4.17
Mc-2	0.25	5.98×10^{-5}	4.00
Mc-3	0.25	5.98×10^{-5}	4.00

Fuente: Datos obtenidos durante del ensayo en laboratorio.

Los resultados de los experimentos al bloque de *Ch'ampa*, nos dan valores relativamente bajos que varían entre 5.74×10^{-5} kcal/s·m·K hasta un valor de 5.98×10^{-5} kcal/s·m·K (de 0.24 a 0.25 vatios por metros kelvin), lo cual demuestra un comportamiento favorable del material como aislante térmico. Los valores que se obtuvieron para la resistencia térmica oscilan entre 4.00 hasta un valor de 4.17 kelvin metros por vatio (K·m/W).

4.1.11. Ensayos de Compresión

Los ensayos fueron realizados en el laboratorio de Estructuras Antisísmicas, la misma que cuenta con acreditación ISO/IEC 17025, desarrollando los ensayos mecánicos de compresión, para lo cual se utilizó la máquina universal MTS, que es un equipo servo-hidráulico controlado electrónicamente y cuenta con su propio hardware y según el tipo de ensayo que se vaya a realizar se cambia los cabezales para adaptarlo.

4.1.11.1. Normativa de los ensayos

Las normas para los ensayos mecánicos de compresión se realizaron en base a una referencia similar que son los bloques de albañilería estructural por su semejanza con las muestras, la misma se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 31.
Normativa para ensayos mecánicos de compresión.

TIPO DE ENSAYO	NORMAS	
	NTP	ASTM
Compresión	399.613 ¹⁵	-

¹⁵ INCAL-INDECOPI, NTP 399.613 “Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería” 2018, p. 81.

4.1.11.2. Fundamento matemático

El desarrollo del ensayo obedece al método estándar NTP 399.613, donde indica que se ensayarán como mínimo 10 unidades representativas de cada 1'000,000 o menos, por lo cual se decidió trabajar con un 50% de muestras en la PUCP y el resto en los laboratorios de la UNAP, para poder identificar el comportamiento y el desplazamiento diferencial del material con la aplicación de una fuerza transversal sobre una base de apoyo fijo, por lo que una de las características del ensayo es el control del desplazamiento por deformación al aplastamiento.

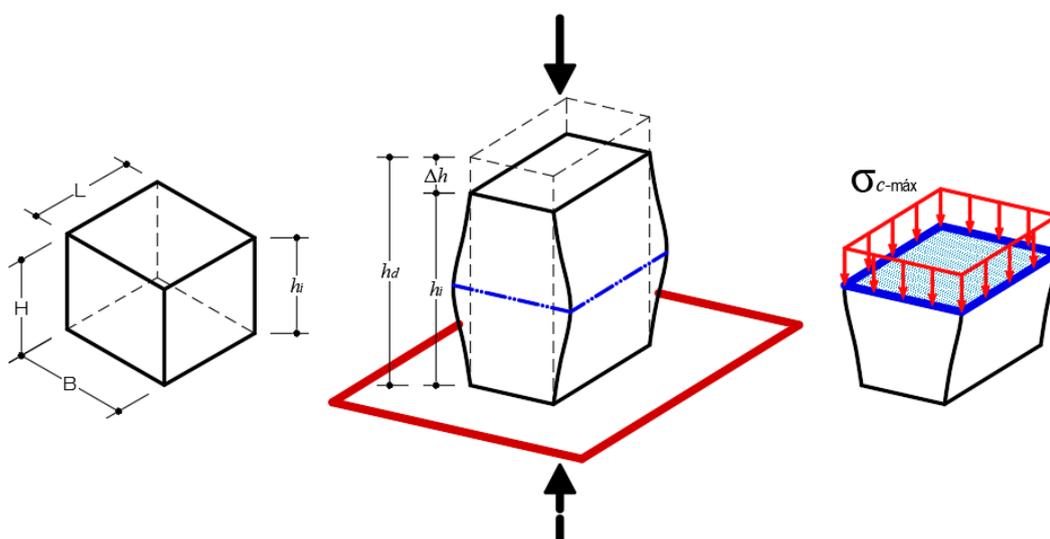


Figura 42. Dimensiones de la probeta y deformaciones por compresión.

$$\varepsilon = \frac{h_i - h_d}{h_i} = \frac{\Delta h}{h_i} \quad \sigma_c = \left[\frac{P}{A} \right]$$

Donde:

- ε : Deformación unitaria (en %).
- h_i : Altura inicial de probeta (en mm).
- h_d : Altura deformada final de probeta (en mm).
- Δh : Variación de deformación por compresión (en mm).
- P : Carga aplicada (en kg).
- A : Área de la sección (en cm^2).

Los resultados se analizan en base a la teoría de “Hooke”, en base a los esfuerzos y deformaciones unitarias, para determinar el módulo de Elasticidad o Módulo de Young (E), que caracteriza al material, usando la siguiente ecuación, según teoría:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\sigma_y}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

Donde:

- E : Módulo de elasticidad, Módulo de Young (en MPa).
 σ_1, σ_2 : Esfuerzos en los Puntos 1 y 2 (en MPa).
 $\varepsilon_1, \varepsilon_2$: Deformación unitaria para los Puntos 1 y 2 (en %, %).

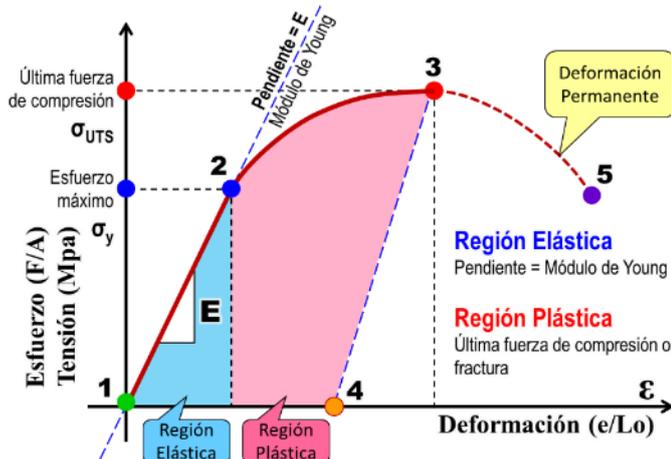


Figura 43. Diagrama teórico de Esfuerzo-Deformación Unitaria.

Otro ensayo in situ es el estudio de la resistencia al impacto por su propio peso considerando la gravedad y altura libre, logrando obtener resultados que identifiquen la dureza del material en la zona de extracción, aunque es un valor empírico, es necesario considerarlo, estos resultados se mostraron en el ítem 4.3.5. *Resistencia al impacto*.

4.1.11.3. Ensayos de laboratorio

Para los ensayos de laboratorio, por la disponibilidad del personal, se dividió en dos grupos de acuerdo a las recomendaciones del laboratorista y disponibilidad del equipo, según el siguiente detalle:

Primer Grupo: El día 1 se analizaron las muestras A, B y C, extraídas de la Muestra 02 (M-02).

Segundo Grupo: El día 2 se analizaron las muestras G y H, extraídas de la Muestra 08 (M-08).

Para su análisis se utilizó el equipo universal MTS, la cual cuenta con una velocidad de ensayo de 2mm/min (Figura 45). Los resultados de los ensayos

de compresión se presentan los diagramas de esfuerzo o tensión “ σ ” (MPa) y deformación unitaria “ ϵ ” de las probetas ensayadas, diagramas mostrados en la *Figura 46*.



Figura 44. Identificación de las muestras para el ensayo de compresión PUCP.

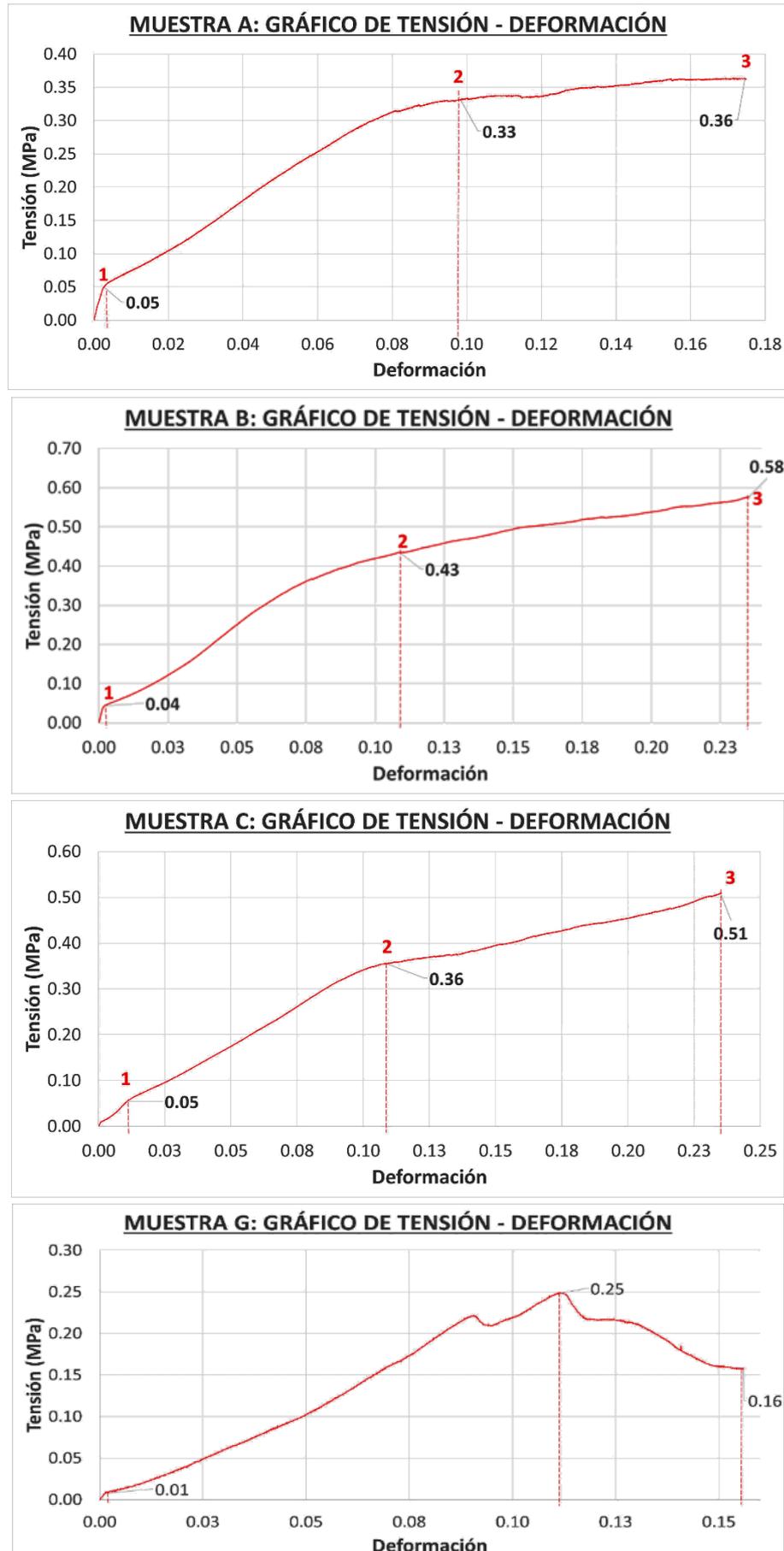
Fuente: Laboratorio de la PUCP, cortesía de M.Sc. Andrea Lissy Gamio Felipa.



Figura 45. Ensayos a compresión de las probetas seleccionadas en la PUCP.

Fuente: Laboratorio de la PUCP, cortesía de M.Sc. Andrea Lissy Gamio Felipa.

Figura 46. Diagrama esfuerzo-deformación unitaria para los ensayos de compresión.



Fuente: Laboratorio de la PUCP, cortesía de M.Sc. Andrea Lissy Gamio Felipa.



Los resultados con mayor representación en cada una de las probetas ensayadas a compresión, tanto la máxima deformación “ $\epsilon_{m\acute{a}x}$ ” y el máximo esfuerzo alcanzado por compresión “ $\sigma_{c-m\acute{a}x}$ ”, son relacionados con la energí de deformación absorbida “ A_u ”.

Tabla 32.

Valores en puntos representativos para el ensayo de compresión.

MUESTRA	$\epsilon_{m\acute{a}x}$ (%)	σ			$\sigma_{c-m\acute{a}x}$		A_u (MPa)	
		1 (MPa)	2 (MPa)	3 (MPa)	(MPa)	(kg-f/cm ²)		
Muestra 02 (M-02)	A	17.55	0.05	0.33	0.36	3.671	0.36	0.047
	B	23.53	0.04	0.43	0.58	5.914	0.58	0.092
	C	25.07	0.05	0.36	0.51	5.201	0.51	0.083
Muestra 08 (M-08)	G	11.21	0.01	0.25	0.16	2.549	0.25	0.023
	H	21.13	0.06	0.25	0.30	3.059	0.30	0.047

Nota. Los esfuerzos “ σ ” en los puntos 1, 2 y 3 sirven para identificar el máximo valor de “ $\sigma_{c-m\acute{a}x}$ ”.

El análisis de los diagramas de esfuerzo-deformación unitaria, presenta dos comportamientos diferentes fácilmente identificables, ya que las probetas A, B y C tienen un comportamiento que puede representarse mediante un diagrama tri-lineal continua, en la cual, la carga necesaria para seguir deformando la probeta siempre se va incrementando hasta alcanzar una carga máxima que coincide con la carga última del ensayo (Figura 46), y estas pendientes que representan al módulo de elasticidad “E”, van reduciendo su pendiente, que es una evidencia de la pérdida de rigidez de la muestra.

Al contrario, en las probetas G y H, se presenta una pérdida considerable de rigidez, representado por el diagrama errático en el tramo final, lo que haría que las muestras no están aportando información adecuada para determinar el

módulo de Elasticidad, podríamos presumir que los testigos del ensayo fueron dañados en el proceso de traslado o manipulación, tal como ocurrió con las Muestras 9 y 10. Por tanto se descartan para el análisis. En la *Tabla 33* se presentan los resultados tanto para valores de esfuerzo por compresión (σ), y deformación unitaria (ϵ), con los cuales se determinó el módulo de elasticidad (E) y la densidad de energía de deformación absorbida en el ensayo (A).

De los ensayos en laboratorio, y únicamente usando los resultados de las probetas A, B y C, se obtiene que la resistencia a la compresión promedio “ σ_c ” es de 4.929 kg-f/cm² y el Módulo de Elasticidad Inicial “ E ” es 20.58 MPa o 209.84 kg/cm², que es poco más de seis (6.38) veces superior al Módulo de Elasticidad Máximo Promedio $E_{m\acute{a}x}$ (tramo 1-2, Muestras A, B y C), siendo de 3.22 MPa o 32.868 kg-f/cm², y por encima de veinte (23.35) veces el Módulo de Elasticidad de Rotura Promedio E_{rot} (tramo 2-3, Muestras A, B y C) de 0.88 MPa o 8.98 kg-f/cm².

Tabla 33.

Valores de tensión, deformación, módulo y energía absorbida.

Muestra	Probeta	Pto.	σ (MPa)	ΔL (mm)	ϵ	E (MPa)	A (MPa)
Muestra 02 (M-02)	A	1	0.05	0.3120	0.0026	19.2310	0.000068
		2	0.33	11.6972	0.0975	2.9512	0.020000
		3	0.36	21.0592	0.1755	0.3845	0.026700
	B	1	0.04	0.2189	0.0018	21.9250	0.000050
		2	0.43	13.0623	0.1089	3.6439	0.027900
		3	0.58	28.2343	0.2353	1.1864	0.064500
	C	1	0.05	1.2144	0.0101	4.9409	0.000285
		2	0.36	13.3127	0.1109	3.0748	0.020600
		3	0.51	30.0834	0.2507	1.0733	0.061600
Muestra 08 (M-08)	G	1	0.01	0.5976	0.0050	2.0080	0.012400
		2	0.25	17.0400	0.1420	Descartado	
		3	0.16	19.0560	0.1588	Descartado	
	H	1	0.06	1.1400	0.0095	6.3158	0.032450
		2	0.25	13.0200	0.1085	Descartado	
		3	0.30	25.7400	0.2145	Descartado	
Promedio (máx.)			* 0.483 MPa			** 20.578 MPa	
			4.929 kg/cm²			209.837 kg/cm²	
Desviación estándar (muestra)			* 0.112 MPa			** 1.905 MPa	
Coeficiente de variación			23.25%			9.26%	

* Promedio del máximo valor en las probetas A, B y C (pto. 3), ya que G y H fueron descartados.

** Promedio del máximo valor inicial en las probetas A y B (pto. 1), ya que C, G y H tienen demasiada dispersión.

Fuente: Análisis solo de datos correctos, los valores descartados no fueron considerados.

Para los ensayos en el laboratorio de Construcciones y Materiales de la EPIC-UNA Puno, se desarrolló dos análisis semejantes, donde se obtuvieron las muestras de los bloques de *Ch'ampa*, las cuales fueron cortadas intentando mantener su estructura intacta y de acuerdo a las recomendaciones del laboratorista, tal como se puede ver en la *Figura 47*. Por tanto, se consideró un tercer grupo adicional, según el siguiente detalle:

Tercer Grupo: Se analizaron las muestras CHAMPA 1-C (M-01, M-02 y M-03), CHAMPA 1-D (M-04, M-05, M-06 y M-07), CHAMPA 2-D (M-08 y M-09), y CHAMPA 2-E (M-10, M-11 y M-12), extraídas de las Muestras 13, 14, 18 y 19, ya que las mismas tienen dimensiones ideales y se puede extraer hasta cuatro muestras de cada una. Los cortes fueron realizados para optimizar los testigos, ya que se tenía una limitante en la posibilidad de extraer mas muestras. Se usaron las consideraciones mostradas en el *Anexo 2*.



Figura 47. Identificación y extracción de muestras para ensayo de compresión UNAP.

Nota: Cortes realizados tanto para testigos por compresión y flexión, desarrollado en el laboratorio de construcciones de la EPIC.



Figura 48. Ensayos a compresión de muestras de Ch'ampa UNAP.
Fuente: Ensayos en el laboratorio de construcciones de la EPIC-UNAP.

Para los ensayos de carga, se utilizaron muestras con dimensiones en promedio de 12cm x 12cm (en planta), con alturas entre 12cm y 15cm, considerando que las muestras fueron perfiladas para tener una superficie lo más uniforme y simétrica posible (en sus caras y aristas), este procedimiento hizo que las dimensiones sean variables y se reduzcan un poco, y las mismas fueron consideradas en los resultados.

En la *Tabla 34* se presentan los resultados para valores de esfuerzo por compresión ($\sigma_{c-m\acute{a}x} = f'_b$), además de las dimensiones de los testigos y cargas de rotura ($P_{m\acute{a}x}$). De los ensayos en laboratorio, se obtiene que la resistencia a la compresión promedio “ $\sigma_{c-m\acute{a}x}$ ” es de 5.64 kg-f/cm².

Tabla 34.
Resultados del ensayo por compresión en muestras de Ch'ampa.

Muestra	Probeta	Ancho ap (mm)	Largo lp (mm)	Área A (cm ²)	Carga de rotura P _{máx} (kg-f)	Esfuerzo de compresión		
						$\sigma_{c-m\acute{a}x} = f'_b$ (MPa)	(kgf/cm ²)	
Muestra 13	CHAMPA 1-C	M-01	107.00	112.50	120.38	550.00	0.45	4.569
	M-02	108.50	98.50	106.87	620.00	0.57	5.801	
	M-03	107.50	125.00	134.38	770.00	0.56	5.730	

Muestra	Probeta	Ancho	Largo	Área	Carga de	Esfuerzo de compresión		
		ap (mm)	lp (mm)	A (cm ²)	rotura P _{máx} (kg-f)	$\sigma_{c-máx} = f'_b$ (MPa)	(kgf/cm ²)	
Muestra 14	CHAMPA 1-D	M-04	108.00	117.50	126.90	820.00	0.63	6.462
		M-05	115.00	125.00	143.75	695.00	0.47	4.835
		M-06	110.00	125.00	137.50	750.00	0.53	5.455
		M-07	108.00	110.50	119.34	745.00	0.61	6.243
Muestra 18	CHAMPA 2-D	M-08	115.00	125.00	143.75	835.00	0.57	5.809
		M-09	125.00	110.50	138.13	745.00	0.53	5.394
Muestra 19	CHAMPA 2-E	M-10	109.50	95.50	104.57	810.00	0.76	7.746
		M-11	128.00	128.00	163.84	745.00	0.45	4.547
		M-12	125.00	122.50	153.13	780.00	0.50	5.094
Promedio total							5.640 kg/cm²	
Desviación estándar (muestra)							0.900 kg/cm ²	
Coeficiente de variación							15.964%	

Finalmente, en los ensayos del laboratorio de Construcciones y Materiales de la EPIC-UNA Puno, se han analizado muestras de adobe artesanal o tradicional usado en la zona de estudio, con fines de verificar los resultados obtenidos, por lo que se desarrolló un cuarto grupo de análisis semejante, usando muestras de adobes tradicionales, según el siguiente detalle:

Cuarto Grupo: Se analizaron las muestras ADOBE 3-A (Ma-01, Ma-02, Ma-03 y Ma-04), ADOBE 3-B (Ma-05 y Ma-06) y ADOBE 3-C (Ma-07, Ma-08 y Ma-09), extraídas de las Muestras 46, 47 y 48, ya que las mismas tienen dimensiones ideales y se puede extraer hasta cuatro muestras de cada una.



Figura 49. Ensayos a compresión de muestras de adobe artesanal UNAP.

Tabla 35.

Resultados del ensayo por compresión en muestras de adobe artesanal.

Muestra	Probeta	Ancho	Largo	Área	Carga de	Esfuerzo de compresión		
		ap	lp	A	rotura	$\sigma_{c-m\acute{a}x} = f'_b$		
		(mm)	(mm)	(cm ²)	P _{máx}	(MPa)	(kgf/cm ²)	
Muestra 46	ADOBE 3-A	Ma-01	89.00	100.00	89.00	864.00	0.95	9.708
		Ma-02	107.50	105.00	112.88	1,008.00	0.88	8.930
		Ma-03	99.00	132.50	131.18	960.00	0.72	7.318
		Ma-04	92.50	112.50	104.06	1,032.00	0.97	9.917
Muestra 47	ADOBE 3-B	Ma-05	125.00	125.00	156.25	1,248.00	0.78	7.987
		Ma-06	128.00	130.00	166.40	1,320.00	0.78	7.933
		Ma-07	122.50	125.50	153.74	1,308.00	0.83	8.508
Muestra 48	ADOBE 3-C	Ma-08	115.50	128.00	147.84	1,488.00	0.99	10.065
		Ma-09	118.00	127.50	150.45	1,560.00	1.02	10.369
Promedio total						8.971 kg-f/cm²		
Desviación estándar (muestra)						1.094 kg/cm ²		
Coeficiente de variación						12.200%		

Para los ensayos de carga, se utilizaron muestras con dimensiones en promedio de 12cm x 12cm (en planta), con alturas de 15cm, considerando que las muestras fueron cortadas, debido a su alta solidez y dureza, para tener una superficie lo más uniforme y simétrica posible (en sus caras y aristas), este procedimiento hizo que las dimensiones sean variables y se reduzcan un poco.

En la *Tabla 35* se presentaron los resultados para valores de esfuerzo por compresión ($\sigma_{c-m\acute{a}x} = f'_b$), además de las dimensiones de los testigos y cargas de rotura ($P_{m\acute{a}x}$). De los ensayos en laboratorio, se obtiene que la resistencia a la compresión promedio “ $\sigma_{c-m\acute{a}x}$ ” es de 8.971 kg-f/cm², que es 1.8 veces mayor al valor medio obtenido en los ensayos de compresión de la *Ch'ampa* en los laboratorios de la PUCP, y 1.6 veces mayor al valor medio obtenido en los ensayos de compresión de la *Ch'ampa* en los laboratorios de la UNAP.

4.1.12. Ensayos de Flexión

Al igual que los ensayos de compresión, este fue realizado en el laboratorio de Estructuras Antisísmicas, la misma que cuenta con acreditación ISO/IEC 17025, desarrollando los ensayos mecánicos de flexión, para lo cual se utilizó la máquina universal MTS, que es un equipo servo hidráulico controlado electrónicamente y

cuenta con su propio hardware y según el tipo de ensayo que se vaya a realizar se cambia los cabezales para adaptarlo.

4.1.12.1. Normativa de los ensayos

Las normas estándares que se utilizaron para los ensayos mecánicos de flexión se realizaron en base a una referencia similar que son los bloques de albañilería estructural por su semejanza con las muestras, se considera la misma por su semejanza ya que no hay otra que sea estrictamente igual, la misma se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 36.
Normativa para ensayos mecánicos de flexión.

TIPO DE ENSAYO	NORMAS	
	NTP	ASTM
Flexión	-	C67 ¹⁶ - 01 C 42, C 31 o C 192

4.1.12.2. Fundamento matemático

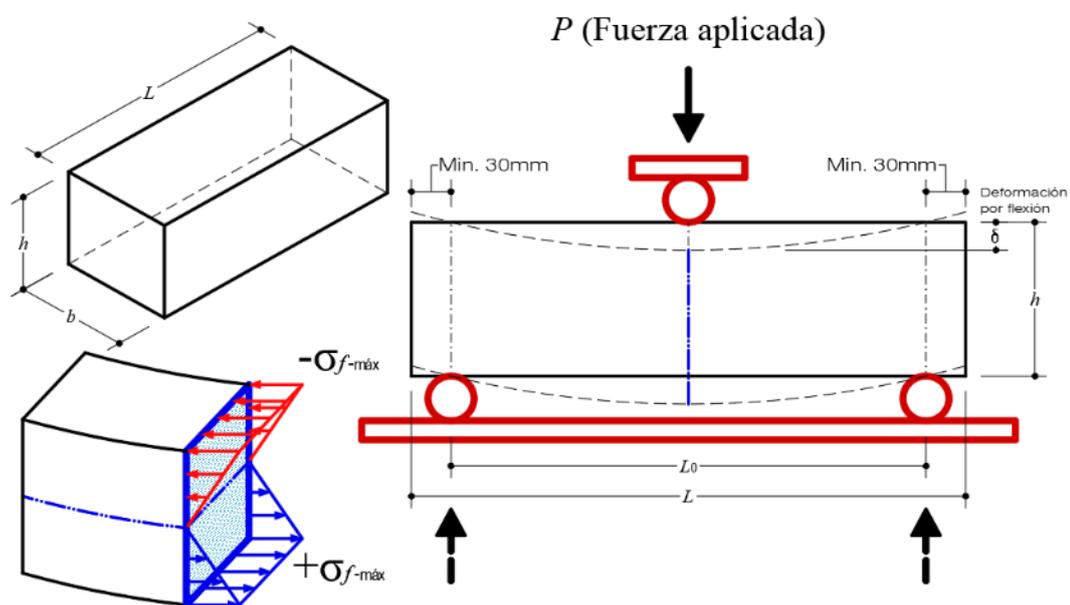


Figura 50. Dimensiones de la probeta y deformaciones por flexión con una carga.

El desarrollo del ensayo obedece al método estándar ASTM C67-01, además usaremos el criterio establecido para ensayos a compresión, donde se han

¹⁶ ASTM American Society for Testing and Materials, C67 - 01 *Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile*.

usado como mínimo 10 unidades representativas, por lo cual se decidió trabajar con un 50% de muestras en la PUCP y el resto en los laboratorios de la UNAP, para poder identificar el comportamiento y el desplazamiento diferencial del material con la aplicación de una fuerza transversal sobre un espacio vacío que fuerce al comportamiento flexionante, por lo que una de las características del ensayo es el control de cargas.

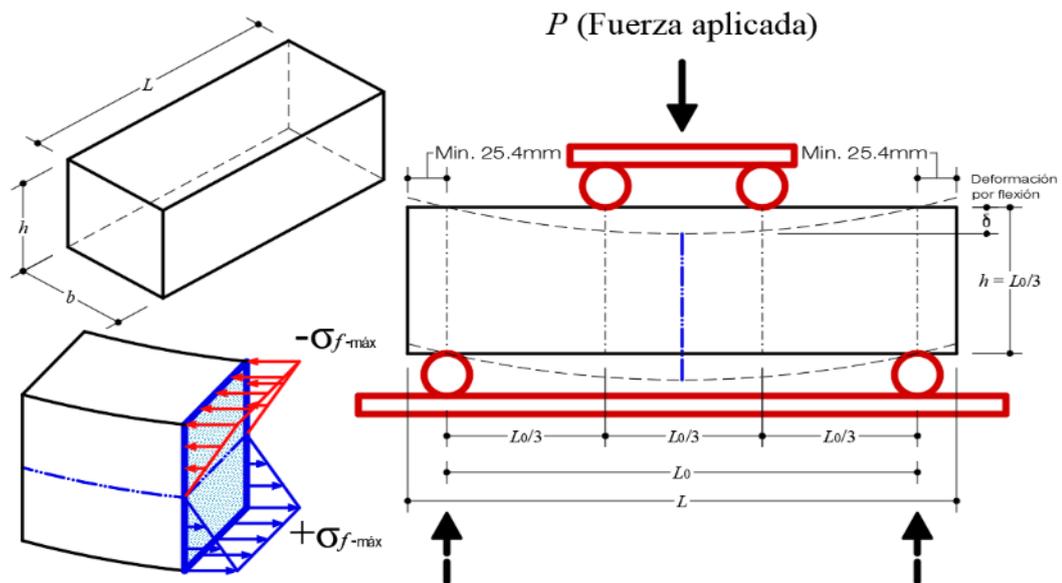
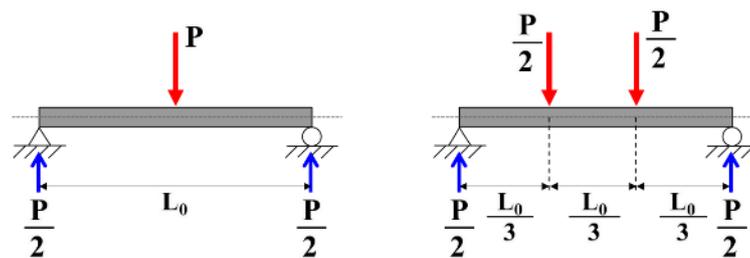


Figura 51. Dimensiones de la probeta y deformaciones por flexión con dos cargas.

Desarrollando un modelo matemático (equilibrio estático), se idealiza dos diagramas de cuerpo libre:



$$M_1 = \frac{P \cdot L_0}{4}$$

$$M_2 = \frac{P \cdot L_0}{6}$$

$$\sigma_f = R_f = \left[\frac{M \cdot c}{I} \right], \text{ considerando: } c = \frac{h}{2}, I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

En un sistema con una sola carga “P” aplicada (M_1), si la fractura se produce en la superficie de tracción cercano al centro de luz y por debajo de la carga aplicada, el módulo de rotura se calcula de la siguiente manera:

$$R_1 = \frac{3}{2} \left[\frac{P \cdot L_0}{b \cdot h^2} \right]$$

En un sistema con dos cargas “P/2” aplicadas (M_2) (ASTM C 42, ASTM C 31 o ASTM C 192), si la fractura se produce en la superficie de tracción dentro del tercio medio de la luz libre, el módulo de rotura se calcula de la siguiente manera:

$$R_2 = \left[\frac{P \cdot L_0}{b \cdot h^2} \right]$$

Si la fractura se produce en la superficie de tracción fuera del tercio medio de la luz libre, pero no más allá del 5% de la luz libre, se calcular el módulo de rotura de la siguiente manera:

$$R_3 = 3 \left[\frac{P \cdot a}{b \cdot h^2} \right]$$

Donde:

- R_1, R_2, R_3 : Módulo de rotura en diferentes condiciones (en MPa).
- P : Carga máxima aplicada, indicada por la máquina de ensayo (en N).
- L_0 : Luz libre entre apoyos (en mm).
- a : Distancia media entre la línea de fractura y el apoyo más cercano medido en la superficie de la tracción de la viga (en mm).
- b : Promedio del ancho del espécimen, en la fractura (en mm).
- h : Promedio de la altura del espécimen, en la fractura (en mm).

Si la fractura se produce en la superficie de tracción fuera del tercio medio de la luz libre, en más de un 5% de la luz libre, desechar los resultados del ensayo.

Otro ensayo in situ es el estudio de flexión por carga estática sobre una muestra apoyada en dos puntos (Vitulas y Reynoso, 2013), logrando obtener resultados que identifiquen la resistencia aproximada del material en la zona de extracción, aunque es un valor empírico, es necesario considerarlo, y que es un control de calidad que se realiza con mucha frecuencia en la zona de estudio y es considerado un adecuado sistema para controlar la calidad de los bloques de adobe, y que fácilmente pueden ser utilizados para el análisis de los bloques de *Ch'ampa*.

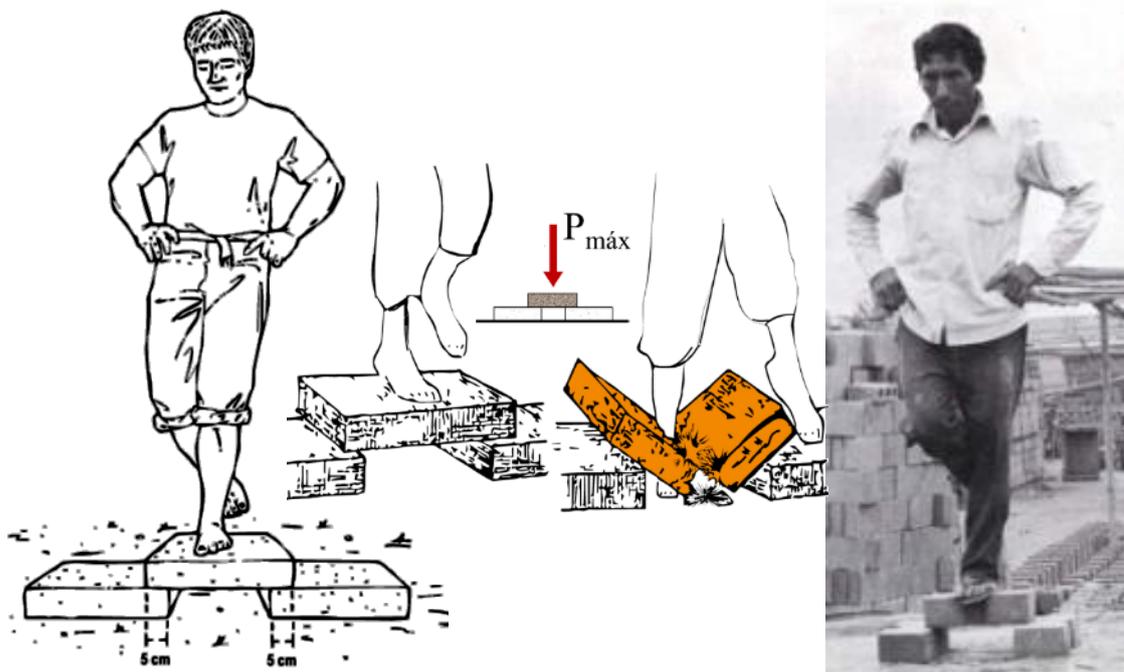


Figura 52. Características del ensayo por flexión in situ para la Ch'ampa.

Nota: Una persona de 65 a 70 kg de peso, parado a la mitad de un adobe seco, apoyado en otros dos, debe ser soportado un minuto como mínimo, en el caso de la Ch'ampa, también se cumplió dicha condición.

Fuente: Vitulas *et al.* (2013, Fig. 136, p. 172), Ponencia del Prof. Urbano Tejada Schmidt (Web: https://issuu.com/arqtierra/docs/clase_5_materiales_tradicionales_de_construccion_p).

$$\sigma_f = \frac{3}{2} \left[\frac{P \cdot L'}{b \cdot h^2} \right]$$

Donde:

- σ_f : Esfuerzo por flexión (en kg-f/cm²).
- P : Carga máxima aplicada in situ (en kg).
- L' : Distancia entre apoyos, con 5cm de margen para apoyo a ambos lados de la longitud total de la Ch'ampa (en cm).
- b : Promedio del ancho de la Ch'ampa (en cm).
- h : Promedio de la altura de la Ch'ampa (en cm).

Para cargas mayores a 150 kg, se debería utilizar un método de apilamiento de bloques hasta conseguir la falla, y obtener un nuevo σ_f según el requerimiento matemático que implica una carga distribuida o dos puntos de apoyo por encima del bloque a probar, la primera alineada sobre uno de los apoyos y la segunda en el centro de luz libre.

4.1.12.3. Ensayos de laboratorio

Para los ensayos de laboratorio, por la disponibilidad del personal, se dividió en dos grupos de acuerdo a las recomendaciones del laboratorista y disponibilidad del equipo, según el siguiente detalle:

Primer Grupo: El día 1 se analizaron las muestras D, E y F, extraídas de la Muestra 01 (M-01) y Muestra 02 (M-02).

Segundo Grupo: El día 2 se analizaron las muestras I, J y K, extraídas de la Muestra 07 (M-07) y Muestra 08 (M-08).

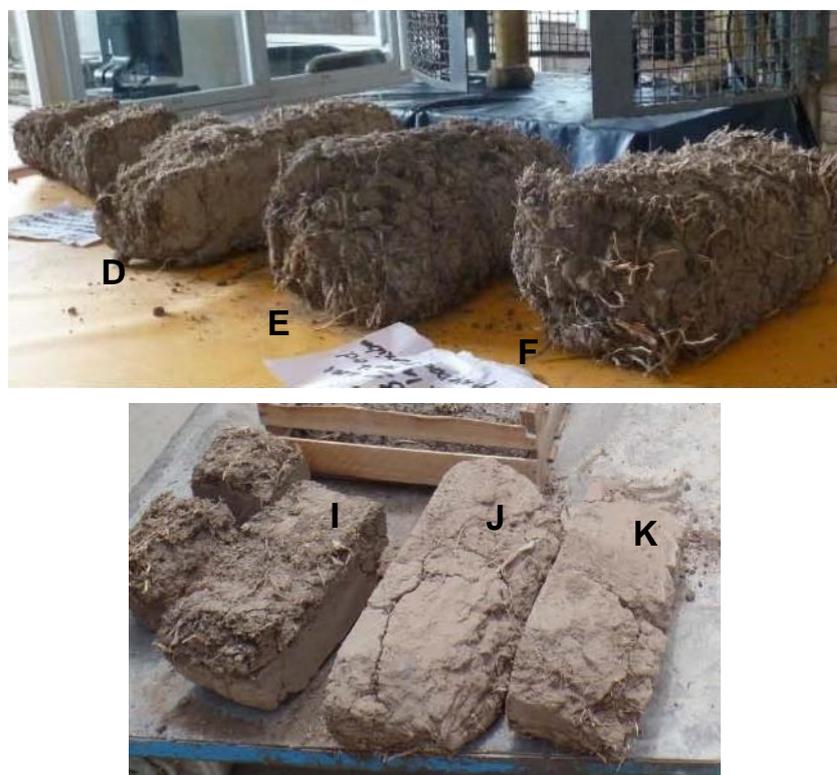


Figura 53. Identificación de las muestras para el ensayo de flexión PUCP.

Fuente: Laboratorio de la PUCP, cortesía de M.Sc. Andrea Lissy Gamio Felipa.

Para el desarrollo del ensayo, se utiliza el equipo denominado máquina universal MTS, que tiene una velocidad de ensayo de 1.0 mm/min, la cual genera una fuerza puntual superior que generará flexión en el testigo, hasta llegar al punto de falla.

Los ensayos de carga de las muestras seleccionadas en base a la geometría requerida y medida con detalle se muestran en la *Figura 54*, y los resultados de los ensayos por flexión se presentan en los diagramas de carga aplicada

“P” (kN) en relación al desplazamiento por deformación transversal “ δ ” (mm) de las probetas ensayadas mostrado en la *Figura 55*.

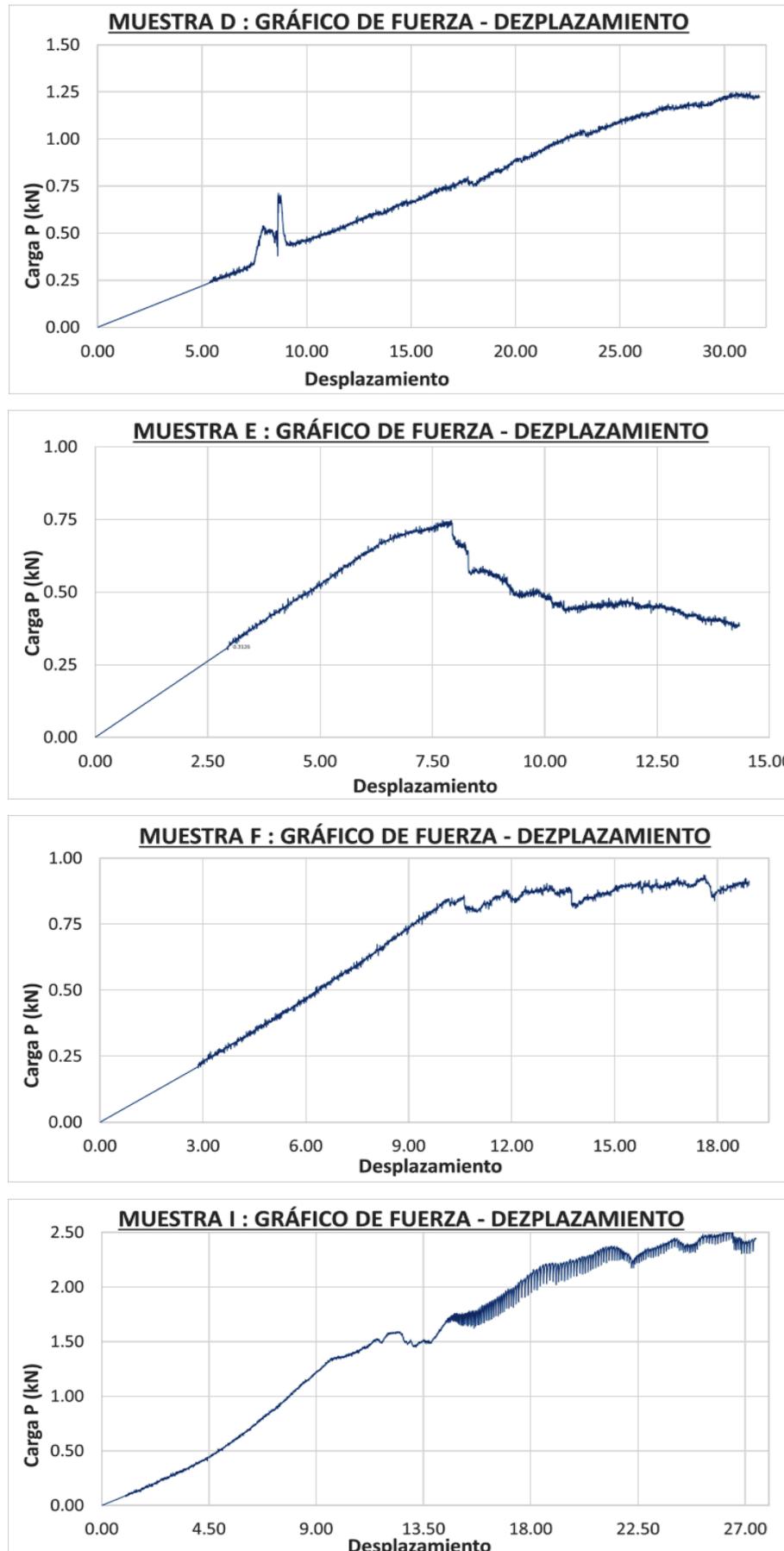


Figura 54. Ensayos a flexión de las probetas seleccionadas PUCP.

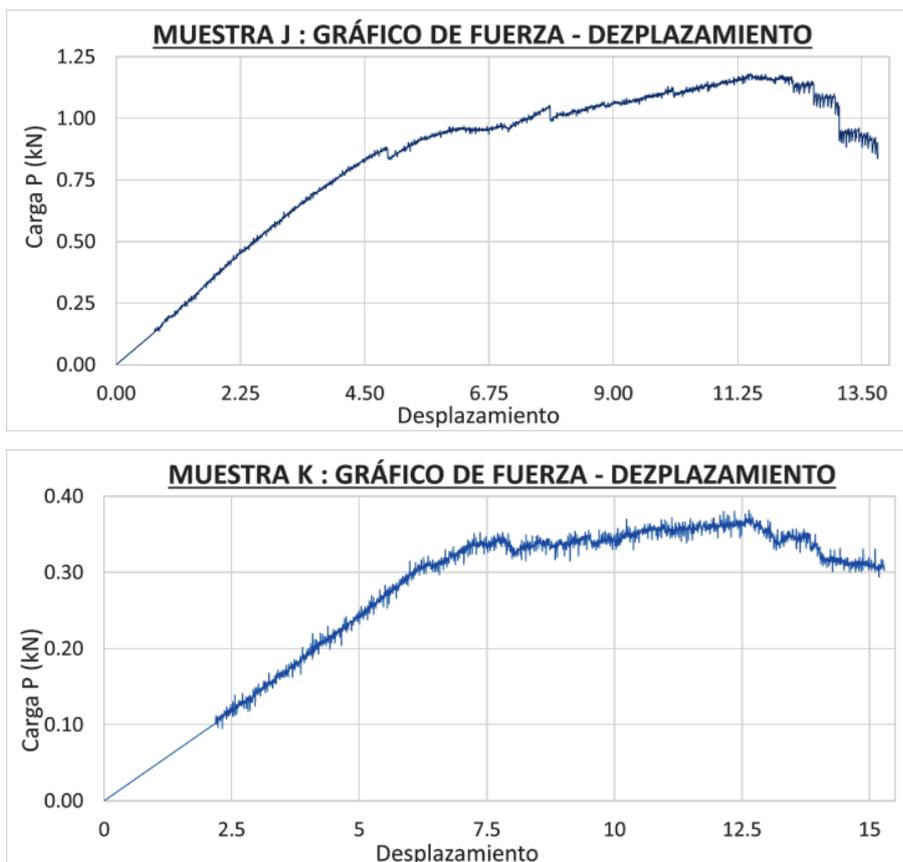
Fuente: Laboratorio de la PUCP, cortesía de M.Sc. Andrea Lissy Gamio Felipa.

Se ha evaluado y recogido data de este ensayo mediante un gráfico que muestra la cantidad de carga aplicada en kN, en contraste a la deformación por flexión del testigo, medido en desplazamiento, los mismos muestran que en el primer tramo esta relación es directa, y en un segundo tramo se puede ver esta variación que se va compensando hasta llegar al punto de falla la final del diagrama.

Figura 55. Diagrama carga-desplazamiento para ensayos de flexión.



Fuente: Laboratorio de la PUCP, cortesía de M.Sc. Andrea Lissy Gamio Felipa.



Los resultados con mayor representación en cada una de las probetas ensayadas a flexión, tanto la máxima carga alcanzada “ $P_{m\acute{a}x}$ ” a compresión y su relación con la deformación por flexión o desplazamiento vertical “ $\delta_{m\acute{a}x}$ ”, son relacionados con la energía de deformación absorbida “ A_u ”.

Tabla 37.
Valores más representativos para el ensayo de tracción.

Muestra	Probeta	$P_{m\acute{a}x}$ (kN)	$\delta_{m\acute{a}x}$ (mm)	A_u (MPa)
Muestra 01 (M-01)	D	1.2505	31.67	21.2829
	E	0.7471	14.33	5.8492
Muestra 02 (M-02)	F	0.9349	18.91	11.4179
Muestra 07 (M-07)	I	2.5235	27.44	40.9779
	J	1.1819	13.79	11.4738
Muestra 08 (M-08)	K	0.3810	20.12	5.2750

Según los resultados obtenidos, al momento de aplicar la carga, el diagrama de deformación se incrementa en forma constante y creciente hasta llegar al punto de rotura (Figura 55), esto evidencia la enorme ductilidad presente en este material al ser sometido a deformaciones por flexión, evidenciando un

elevado valor del desplazamiento vertical “ $\delta_{m\acute{a}x}$ ” al momento de la rotura, esto implica su estabilidad al ser sometido a deformaciones extremas en las viviendas construidas con este material, ya que presenta propiedades de adaptación superiores al adobe u otro material mucho más frágil.

Se puede apreciar que en los resultados de las probetas E y K, la curva sufre una reducción que muestra una falla anticipada de la misma, reflejado en la Energía de Deformación “ A_u ”, y aunque durante el ensayo se sigue incrementando la resistencia a la deformación, no pueden ser considerados para obtener el esfuerzo flexionante de la *Ch’ampa*.

Estos resultados sirvieron para obtener el Módulo de Rotura por Flexión “ R_1 ” en (MPa) y el máximo esfuerzo alcanzado por flexión o esfuerzo flexionante “ $\sigma_{f-m\acute{a}x}$ ”. Obteniendo un esfuerzo flexionante promedio “ σ_f ” de 3.06 kg-f/cm².

Tabla 38.

Determinación de esfuerzos flexionantes para un sistema simple de carga.

Muestra	Probeta	Dimensiones			$P_{m\acute{a}x}$		Distancia entre apoyos (mm)	Módulo de Rotura R_1 (MPa)	Esfuerzo Flexionante $\sigma_{f-m\acute{a}x}$ (kg-f/cm ²)
		L (mm)	b (mm)	h (mm)	(kg-f)	(N)			
Muestra 01 (M-01)	D	400	140	120	127.516	1,250.50	332.5	0.3094	3.1547
	E	400	130	120	Descartado				
(M-02)	F	400	130	120	95.333	934.90	329.5	0.2468	2.5170
Muestra 07 (M-07)	I	280	120	120	257.325	2,523.50	139.5	0.3056	3.1160
	J	400	120	120	120.520	1,181.90	330.0	0.3386	3.4524
(M-08)	K	400	120	120	Descartado				
Promedio total								3.060 kg/cm²	
Desviación estándar (muestra)								0.392 kg/cm ²	
Coeficiente de variación								12.809%	

Fuente: Análisis de resultados solo de datos correctos, los valores descartados no fueron considerados.

Para los ensayos en el laboratorio de Construcciones y Materiales de la EPIC-UNA Puno, se desarrolló dos análisis semejantes, donde se obtuvieron las muestras de los bloques de *Ch’ampa*, las cuales fueron cortadas intentando mantener su estructura intacta y de acuerdo a las recomendaciones del laboratorista, tal como se puede ver en la *Figura 56*. Por tanto, se consideró un tercer grupo adicional, según el siguiente detalle:

Tercer Grupo: Se analizaron las muestras CHAMPA 1-A (a, b y c), CHAMPA 1-B (a, b y c), CHAMPA 2-B (a y b), y CHAMPA 2-C (a y b), extraídas de las Muestras 11, 12, 16 y 17, ya que las mismas tienen mayores dimensiones y se puede extraer hasta tres muestras de cada una. Con fines de identificar las posibles variaciones en los datos, las muestras “b” fueron analizadas con la parte de la planta/vegetación hacia arriba, y el resto; tanto “a” y “c”; se analizaron con la zona de la raíz hacia arriba, tal como se hace en el proceso constructivo tradicional de viviendas tipo *Putucos*.

Este criterio fue accidental y desarrollado al momento del ensayo, ya que no se había planificado previamente, pero los resultados obtenidos hicieron que valiera la pena.



Figura 56. Corte y extracción de las muestras de Ch'ampa para el ensayo de flexión.

Nota: Cortes realizados tanto para testigos por compresión y flexión, desarrollado en el laboratorio de construcciones de la EPIC.

Los ensayos de carga realizados con un sistema de aplicación de carga a 1/3 de la luz libre, con dos puntos de aplicación superior y dos soportes, considerado debido al equipo usado, de donde se obtendrá un módulo de rotura R_2 , tal como se muestra en la *Figura 57*, donde se aprecian los criterios de posición de las muestras en base a la ubicación de la raíz.



Figura 57. Ensayos a flexión de muestras de *Ch'ampa* UNAP.

Fuente: Ensayos en el laboratorio de construcciones de la EPIC-UNAP.

Los resultados obtenidos en los ensayos de las muestras de *Ch'ampa*, nos da un esfuerzo a flexión " $\sigma_{f\text{-máx}}$ " promedio de 5.356 kg-f/cm² (*Tabla 40*), pero al

realizar el ensayo, se ha identificado una curiosidad imprevista: dos tipos de resultado que aparentemente dependen de la posición de los testigos, ya que se ha identificado que estas posiciones afectan a los resultados en base a los testigos clasificados para el ensayo (Tabla 39).

Tabla 39.

Consideraciones dimensionales de las probetas de Ch'ampa para ensayo.

Muestra	Probeta	Dimensiones						PROMEDIO		Distancia entre apoyos (mm)	
		BASE (mm)			PERALTE (mm)			(mm)			
		b1	b2	b3	h1	h2	h3	b	h		
Muestra 11	CHAMPA 1-A	Muestra a (raíz)	88.0	85.0	95.0	130.0	135.0	134.0	89.3	133.0	330.20
		Muestra b (planta)	85.0	85.0	90.0	135.0	130.0	138.0	86.7	134.3	330.20
		Muestra c (raíz)	95.0	90.0	95.0	130.0	135.0	135.0	93.3	133.3	330.20
Muestra 12	CHAMPA 1-B	Muestra a (raíz)	105.0	110.0	108.0	115.0	110.0	113.0	107.7	112.7	330.20
		Muestra b (planta)	90.0	85.0	88.0	135.0	137.0	138.0	87.7	136.7	330.20
		Muestra c (raíz)	115.0	112.0	114.0	138.0	140.0	136.0	113.7	138.0	330.20
Muestra 16	CHAMPA 2-B	Muestra a (raíz)	115.0	120.0	118.0	95.0	100.0	110.0	117.7	101.7	330.20
		Muestra b (planta)	130.0	125.0	128.0	120.0	115.0	118.0	127.7	117.7	330.20
Muestra 17	CHAMPA 2-C	Muestra a (raíz)	128.0	125.0	126.0	115.0	118.0	115.0	126.3	116.0	330.20
		Muestra b (planta)	130.0	128.0	125.0	118.0	120.0	116.0	127.7	118.0	330.20

Algo que no se había tomado en cuenta era la disposición de las muestras, y que preliminarmente los resultados estaban acorde a los obtenidos en el ensayos de la PUCP, pero cuando se realizó el análisis de datos se pudo observar que aquellas muestras en las que se colocaba la Ch'ampa en forma invertida (con las raíces en la parte superior) alcanzaban mayores deformaciones y un esfuerzo flexionante promedio de 6.252 kg-f/cm², y las muestras que se colocaban de forma normal (con las plantas y tallos en la parte superior), alcanzaban más bien un esfuerzo promedio de 4.013 kg-f/cm², que es un 41.81% menor que el caso invertido. Tal como podemos apreciar en la Tabla 40.

Tabla 40.

Determinación de esfuerzos flexionantes para un sistema doble de carga.

Muestra	Probeta (parte superior)	Lectura del dial P _{máx}		Módulo de Rotura R ₂ (MPa)	Esfuerzo Flexionante σ _{f-máx} (kg-f/cm ²)	
		(kg-f)	(N)			
Muestra 11	CHAMPA 1-A	Muestra a (raíz)	271.00	2,657.60	0.555	* 5.663
		Muestra b (planta)	215.00	2108.43	0.445	4.539
		Muestra c (raíz)	295.00	2892.96	0.576	* 5.871

Muestra	Probeta (parte superior)	Lectura del dial $P_{m\acute{a}x}$		Módulo de Rotura R_2 (MPa)	Esfuerzo Flexionante $\sigma_{f-m\acute{a}x}$ (kg-f/cm ²)	
		(kg-f)	(N)			
Muestra 12	CHAMPA 1-B	Muestra a (raíz)	260.00	2549.73	0.616	* 6.282
		Muestra b (planta)	205.00	2010.36	0.405	4.134
		Muestra c (raíz)	350.00	3432.33	0.524	* 5.339
Muestra 16	CHAMPA 2-B	Muestra a (raíz)	325.00	3187.16	0.865	* 8.824
		Muestra b (planta)	200.00	1961.33	0.366	3.736
Muestra 17	CHAMPA 2-C	Muestra a (raíz)	285.00	2794.90	0.543	* 5.536
		Muestra b (planta)	196.00	1922.10	0.357	3.641
Promedio Total				5.356 kg/cm²	100.00%	
Promedio raíz (*)				6.252 kg/cm ²	116.73%	
Promedio planta				4.013 kg/cm ²	74.91%	
Diferencia (planta-raíz)				2.240 kg/cm ²	41.81%	
Desviación estándar (muestra) (raíz) (*)					1.300 kg/cm ²	
Coeficiente de variación (raíz) (*)					20.80%	
Desviación estándar (muestra) (planta)					0.411 kg/cm ²	
Coeficiente de variación (planta)					10.24%	

Estos resultados sirvieron para obtener el Módulo de Rotura por Flexión “ R_2 ” en (MPa) y el máximo esfuerzo alcanzado por flexión o esfuerzo flexionante “ $\sigma_{f-m\acute{a}x}$ ”.

Adicionalmente, en base a criterios empíricos de campo para pruebas de control de calidad por flexión, se han analizado muestras de *Ch'ampa* usados en la zona de estudio (*Figura 58*), con fines de verificar los resultados obtenidos (aunque con menor exactitud), por lo que se desarrolló un cuarto grupo de análisis, según el siguiente detalle:

Cuarto Grupo: Se analizaron dos grupos de muestras en campo, los bloques con dimensiones de 50 x 35 x 10 cm (muestras: Campo 1, 2, 3, 4 y 5), y dimensiones de 70 x 35 x 12 cm (muestras: Campo 9, 10, 11, 12 y 13), ensayadas directamente en la zona de estudio, por lo que no fue necesario su traslado al laboratorio, además fueron perfiladas para tener dimensiones lo más uniformes posibles y un poblador ayudó a desarrollar las pruebas de carga o como se denomina: Control de calidad de las muestras, el mismo cargó bloques adicionales de *Ch'ampa* para llegar al punto

de rotura o falla, se pesó a la persona como carga constante, y los bloques adicionales.

Las muestras fueron perfiladas en campo para obtener una forma prismática adecuada y uniforme, considerando un peso de 85 kg de la persona, a la cual se va incrementando pesos de los mismos bloques en campo, hasta llegar al punto de falla, completado las mediciones y obteniendo los resultados mostrados en la *Tabla 41* y *42*.



Figura 58. Ensayo de cargas para determinar resistencia a la flexión in situ.

Fuente: Ensayo de campo, cortesía de Gabriel Suaña Huanca.

Tabla 41.

Ensayos in situ de Ch'ampas con dimensiones 50x35x12cm.

Muestra	L	b	h	P _{máx} (kg)		Distancia entre apoyos (cm)	Esfuerzo Flexionante σ_f (kg-f/cm ²)
	(mm)	(mm)	(mm)	Peso persona	Peso adicional		
Campo 1 (50x35x10cm)	485	250	95	85.0	45.50	38.5	3.3402
Campo 2 (50x35x10cm)	495	280	85	85.0	45.50	39.5	3.8221
Campo 3 (50x35x10cm)	500	295	95	85.0	35.75	40.0	2.7213
Campo 4 (50x35x10cm)	495	245	90	85.0	33.25	39.5	3.5305
Campo 5 (50x35x10cm)	475	250	95	85.0	25.50	37.5	2.7548
Promedio total							3.234 kg-f/cm²
Desviación estándar (muestra)							0.484 kg/cm ²
Coeficiente de variación							14.971%

Obteniendo un esfuerzo flexionante promedio general (entre ambos ensayos in situ) de 3.08 kg-f/cm², valor que tiene variables que influyen en su cálculo,

como la exactitud de la carga aplicada, humedad ambiente, bajo control del procedimiento y mucha espuria, los resultados están un 57.45% por debajo a los ensayos realizados en la UNAP y muy similares a los resultados obtenidos en la PUCP.

Tabla 42.

Ensayos in situ de Ch'ampas con dimensiones 70x35x12cm.

Muestra	L (mm)	b (mm)	h (mm)	P _{máx} (kg)		Distancia entre apoyos (cm)	Esfuerzo Flexionante σ_f (kg-f/cm ²)
				Peso persona	Peso adicional		
Campo 9 (70x35x12cm)	690	200	115	85.00	35.50	59.0	4.0319
Campo 10 (70x35x12cm)	685	250	115	85.00	25.75	58.5	2.9394
Campo 11 (70x35x12cm)	695	225	115	85.00	-	59.5	2.5495
Campo 12 (70x35x12cm)	650	240	115	85.00	32.50	55.0	3.0541
Campo 13 (70x35x12cm)	685	255	120	85.00	-	58.5	2.0313
Promedio total							2.921 kg-f/cm²
Desviación estándar (muestra)							0.739 kg/cm ²
Coeficiente de variación							25.282%

Fuente: Ensayos realizados en la zona de estudio (in situ).

Finalmente, como parte de los ensayos en el laboratorio de Construcciones y Materiales de la EPIC-UNA Puno, se han analizado muestras de adobe artesanal o tradicional usado en la zona de estudio, con fines de contrastar con los resultados obtenidos, por lo que se desarrolló un quinto grupo de análisis semejante, usando muestras de adobes tradicionales, según el siguiente detalle:

Quinto Grupo: Se analizaron las muestras ADOBE 4-A (1 y 2) y ADOBE 4-B (3 y 4), extraídas de las Muestras 49 y 50, ya que las mismas se encuentran en estado óptimo y dimensiones regulares, pudiendo extraer hasta dos muestras de cada una, las mismas servirá para poder contrastar con los resultados de los ensayos de *Ch'ampa* y estudios de otros autores.

Los resultados servirán para contratarlos con otros autores y el bloque de *Ch'ampa* mismo, ya que en el proceso constructivo tradicional de viviendas tipo *Putucos* también se usa el adobe como material de construcción. El ensayo es realizado con un sistema de carga doble.



Figura 59. Corte y extracción de muestras de adobe para el ensayo de flexión.

Nota: Cortes realizados tanto para testigos por compresión y flexión, desarrollado en el laboratorio de construcciones de la EPIC.



Figura 60. Ensayos a flexión de muestras de adobe artesanal UNAP.

Fuente: Ensayos en el laboratorio de Construcciones de la EPIC - UNAP.

Los testigos y sus características geométricas se encuentran en la *Tabla 43*, en base a los criterios del *Anexo 2*.

Tabla 43.
Consideraciones dimensionales de las probetas de adobe para ensayo.

Muestra	Probeta	Dimensiones						PROMEDIO		Distancia entre apoyos (mm)	
		BASE (mm)			PERALTE (mm)			(mm)			
		b1	b2	b3	h1	h2	h3	b	h		
Muestra 49	ADOBE 4-A	Muestra 1 (9.68kg)	105.0	90.0	100.0	135.0	140.0	132.0	98.3	135.7	355.00
		Muestra 2 (11.70kg)	115.0	118.0	114.0	140.0	138.0	142.0	115.7	140.0	355.00
Muestra 50	ADOBE 4-B	Muestra 3 (9.47kg)	105.0	110.0	108.0	120.0	115.0	118.0	107.7	117.7	355.00
		Muestra 4 (12.45kg)	120.0	122.0	125.0	142.0	139.0	140.0	122.3	140.3	355.00

Los resultados obtenidos en los ensayos de las muestras de adobe artesanal, nos da un esfuerzo a flexión “ $\sigma_{f\text{-m}\acute{a}\text{x}}$ ” promedio de 3.146 kg-f/cm² (Tabla 44).

Estos resultados, en comparación con los anteriores, resultaron ser un 58.74% del esfuerzo de flexión promedio total obtenido en las muestras de *Ch'ampa* en la UNAP, y un 2% superior a los resultados obtenidos en los ensayos de campo y los resultados de los laboratorios de la PUCP.

Tabla 44.
Determinación de los esfuerzos flexionantes para un sistema doble de carga.

Muestra	Probeta (parte superior)	Lectura del dial $P_{\text{m}\acute{a}\text{x}}$		Módulo de Rotura R_2	Esfuerzo Flexionante $\sigma_{f\text{-m}\acute{a}\text{x}}$	
		(kg-f)	(N)			
Muestra 49	ADOBE 4-A	Muestra 1 (9.68kg)	150.00	1471.00	0.289	2.942
		Muestra 2 (11.70kg)	210.00	2059.40	0.322	3.288
Muestra 50	ADOBE 4-B	Muestra 3 (9.47kg)	140.00	1372.93	0.327	3.334
		Muestra 4 (12.45kg)	205.00	2010.36	0.296	3.021
Promedio Total					3.146 kg/cm²	
Desviación estándar (muestra)					0.194 kg/cm ²	
Coeficiente de variación					6.164%	

Fuente: Resultados analizados en base a los ensayos realizados en el laboratorio de Construcciones de la EPIC - UNAP.

4.2. Discusión de Resultados

Los resultados obtenidos pasaron por una discusión e interpretación, además de su contraste con investigaciones desarrolladas por otros muchos autores, desarrollando un análisis estadístico y de verificación.

Se debe considerar que los materiales constructivos a utilizar para el contraste serán los que tienen como materia prima a la tierra cruda, tales como el adobe, el tapial, el BTC, la quincha y otros como el ladrillo y concreto; considerando correspondencias y diferencias con la *Ch'ampa*.

Para la presentación y contraste de resultados, utilizaré la siguiente paleta de colores:



Figura 61. Paleta de colores para la presentación del contraste de resultados.

4.2.1. Estudio Poblacional

En el Perú se puede apreciar que la tasa de crecimiento entre 2007 a 2017 es positiva.

Tabla 45.

Distribución de viviendas en áreas urbanas y rurales del Perú.

Área de residencia	Censo 2007	Censo 2017	Tasa de crecimiento promedio anual
	Absoluto	Absoluto	
Urbana	5'009,474	7'330,445	3.9
Rural	2'556,668	2'772,404	0.8
Total	7'566,142	10'102,849	2.9

Nota. Variación en la distribución de viviendas particulares censadas y tasa de crecimiento promedio anual, según área de residencia, 2007 y 2017.

Fuente: INEI-Censos Nacionales de Población y Vivienda, 2007 y 2017.

Tabla 46.

Viviendas con material predominante en paredes exteriores 2009-2019.

Material predominante en las paredes exteriores / Área de residencia	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	Urbana										
Adobe o tapia	20.60	20.50	21.11	20.78	20.81	21.74	21.01	20.98	20.33	20.43	19.43
Piedra con barro	0.15	0.16	0.17	0.10	0.08	0.13	0.10	0.13	0.13	0.14	0.17
Rural											
Adobe o tapia	73.73	73.36	72.30	72.87	72.25	72.13	72.52	72.46	72.08	72.58	71.81
Piedra con barro	3.03	3.06	3.38	3.70	3.24	3.29	2.93	2.96	3.08	2.57	2.97

Nota. Viviendas particulares según material predominante en las paredes exteriores y área de residencia, 2009 – 2019 (Porcentaje del total de viviendas particulares).

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática - Encuesta Nacional de Hogares.

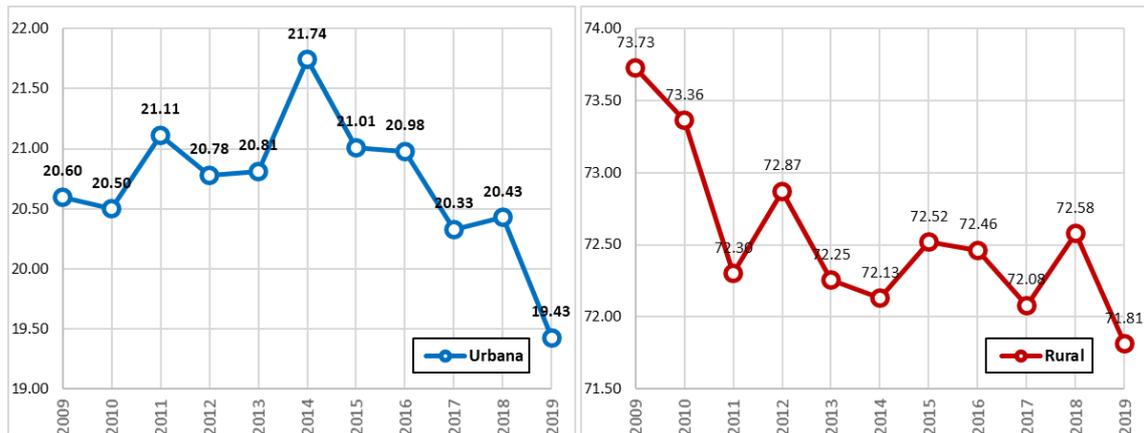


Figura 62. Uso de Adobe o Tapial como material en paredes exteriores 2009-2019.

Nota. Viviendas particulares según material predominante tipo Adobe o Tapia en las paredes exteriores y área de residencia, 2009 – 2019 (Porcentaje del total de viviendas particulares).

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática - Encuesta Nacional de Hogares.

En la *Figura 62* se pudo verificar que el uso de materiales tradicionales se ha ido reduciendo en zonas urbanas desde el año 2014, posiblemente por la adopción de material noble, pero este declive fue más evidente desde el 2009 en viviendas rurales, perdiendo las construcciones y procedimientos constructivos latentes en la memoria de los pobladores, posiblemente por la migración a las zonas urbanas, perdiéndose dichas tradiciones en la memoria del poblador.

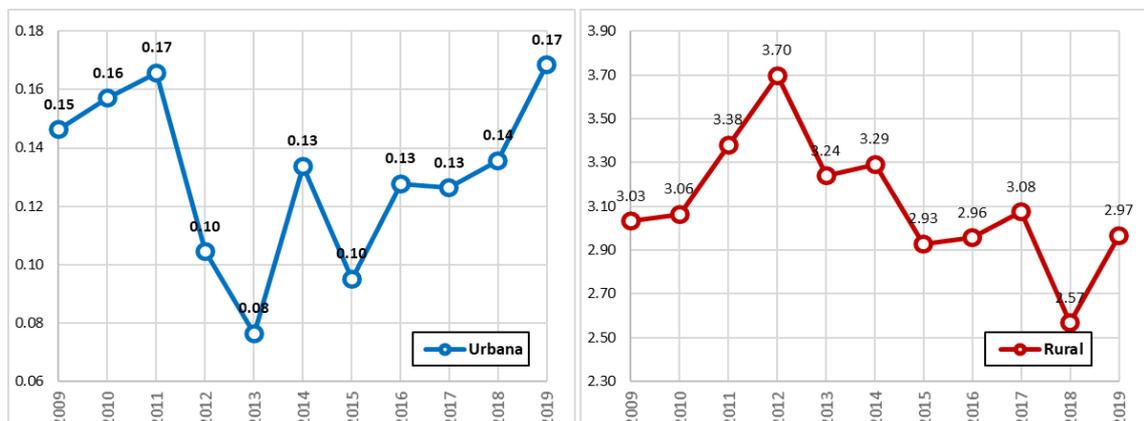


Figura 63. Uso de piedra con barro como material en paredes exteriores 2009-2019.

Nota. Viviendas particulares según material predominante tipo Piedra con barro en las paredes exteriores y área de residencia, 2009 – 2019 (Porcentaje del total de viviendas particulares).

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática - Encuesta Nacional de Hogares.

Al contrario del material de tierra, la adopción de la piedra en la construcción ha tenido un leve incremento como se pudo ver en la *Figura 63*, tanto en zonas urbanas (desde el 2013), como en zonas rurales (desde el 2018). Pero al igual que

el material de tierra, las construcciones han reducido el uso de materiales como paja, hojas o la misma tierra, esto ocurrió desde el 2010 como se puede ver en la *Figura 64*.

Tabla 47.

Viviendas con material predominante en los techos 2009-2019.

Material predominante en los techos / Área de residencia	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Urbana											
Otro material 3/	1.37	1.89	1.50	0.89	0.46	0.47	0.36	0.36	0.65	0.18	0.19
Rural											
Otro material 3/	0.73	0.87	0.77	0.65	0.47	0.34	0.35	0.27	0.35	0.18	0.13

Nota. Viviendas particulares, según material predominante en los techos y área de residencia, 2009-2019 (Porcentaje del total de viviendas particulares).

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática - Encuesta Nacional de Hogares.

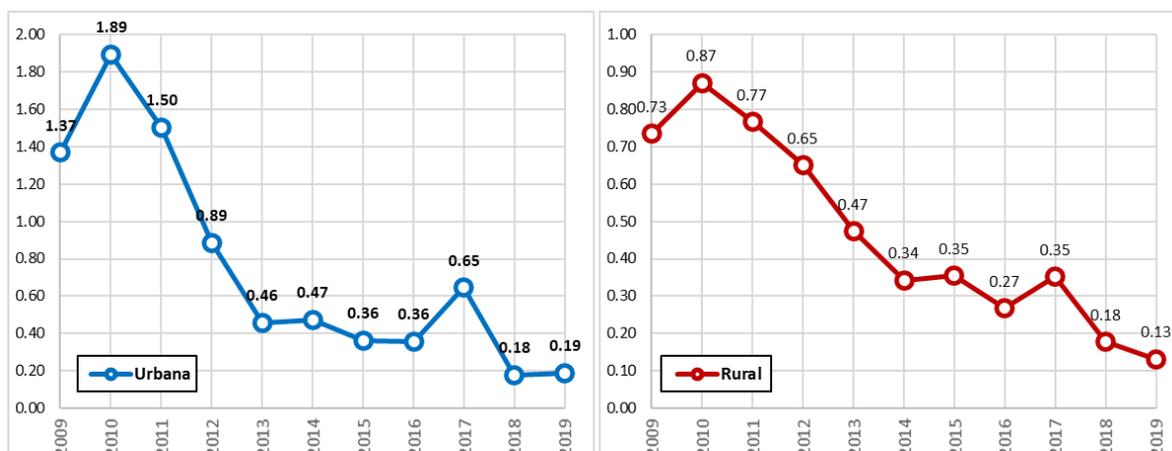


Figura 64. Uso de otros materiales para techo de viviendas 2009-2019.

Nota. Viviendas particulares, según material predominante 3/ Incluye cartón, lata, plástico, etc., en los techos y área de residencia, 2009-2019 (Porcentaje del total de viviendas particulares).

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática - Encuesta Nacional de Hogares.

4.2.2. Zonificación Bioclimática

Según la Norma EM.110 (2014), la clasificación bioclimática sirve para definir los parámetros ambientales de grandes áreas geográficas, necesaria para aplicar estrategias de diseño bioclimático de una edificación y obtener el confort térmico y lumínico con eficiencia energética, y en el Perú se tienen nueve zonas: 1. *Desértico costero*, 2. *Desértico*, 3. *Interandino bajo*, 4. *Mesoandino*, 5. *Altoandino*, 6. *Nevado*, 7. *Ceja de montaña*, 8. *Subtropical húmedo*, y 9. *Tropical húmedo*; en la cual podemos clasificar a la zona de estudio en la zona 4 y 5 según la *Tabla 48* y

49, mostrando las consideraciones a tomar en cuenta tanto para los resultados, como para diseños futuros.

Tabla 48.
Ubicación de provincias por zona bioclimática.

Departamento	4 Mesoandino	5 Altoandino	6 Nevado	7 Ceja de montaña	8 Subtropical húmedo
Puno	Azángaro	Azángaro	Carabaya		San Antonio de Putina
	Chucuito	Carabaya	Chucuito		Sandia
	El Collao	Chucuito	El Collao		
	Huancané	El Collao	Huancané		
	Puno	Huancané	Puno		
	Sandia	Lampa	Yunguyo		
	Yunguyo	Melgar			
		Moho			
		Puno			
	San Román				

Nota. Según departamento, provincia y zonificación, se considera a la Zona 4 (zonas más bajas cercanas a las riberas del lago Titicaca), ya que la tabla muestra únicamente zonas altas.
Fuente: Norma EM.110, Anexo N° 1(A).

Tabla 49.
Características climáticas de la zona bioclimática.

Características climáticas	4 Mesoandino	5 Altoandino	6 Nevado
Temperatura media anual	12°C	6°C	< 0°C
Humedad relativa	30 a 50%	30 a 50%	30 a 50%
Radiación solar	2 a 7.5 kWh/m²	S kWh/m ²	s kWh/m ²
Horas de sol	Sur: 8 a 10 hrs.	Sur: 8 a 10 hrs.	Sur: 8 a 11 hrs.
Precipitación anual	150 a 2,500 mm	< 150 a 2,500 mm	250 a 750 mm
Altitud	3,000 a 4,000 msnm	4,000 a 4,800 msnm	> 8,000 msnm
Equivalencia en clasificación Köppen	Cwb - Dwb	ETH	EFH

Nota. Valores máximos alcanzados en cada zona según zonas bioclimáticas.
Fuente: Norma EM.110, Anexo N° 1(B).

Según las consideraciones mostradas en la *Tabla 49*, la zona de estudio (*Dwb*), según la clasificación Köppen (Ver *Anexo 4*) se encuentra en una zona *D* = Continental o micro térmico de invierno gélido, con una dinámica de precipitaciones subhúmedo o húmedo-seco tipo *w* = de invierno seco, y con una dinámica de temperatura tipo *b* = Templado hemiboreal.

Por lo que este estudio; teóricamente hablando; podría ser replicado en las zonas *Cwb* y *Dwb* (Ver Anexo 4, ítem D.3.). Se debe considerar que en la zona de estudio; como es *Samán* y *Taraco*; la duración del verano es de corta duración, con climas frescos y muy nublados que generan precipitaciones pluviales algo constantes. Y en su contraparte el período de invierno es algo más largo, con mucho clima frígido y en su mayoría despejados.

La temperatura máxima se encuentra entre $+13^{\circ}\text{C}$ y $+19^{\circ}\text{C}$ (noviembre es el más caluroso) y la temperatura mínima varía entre -1°C a -3°C (junio y julio son los más fríos). El clima durante el resto del año es seco, y la temperatura fluctúa entre -5°C a $+18^{\circ}\text{C}$, y en muy raras ocasiones baja por debajo de -7°C o sube por encima de $+20^{\circ}\text{C}$.

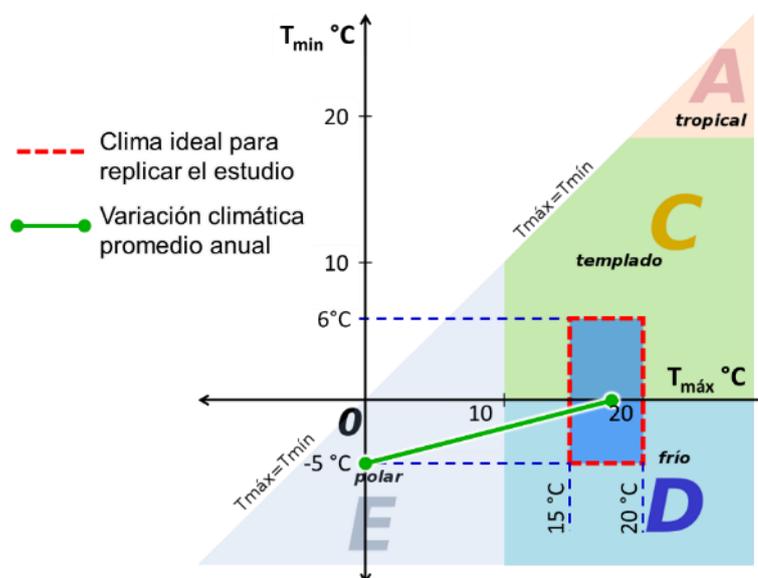


Figura 65. Distribución del clima para la zona de estudio según Critchfield.

Fuente: Adaptado sobre el criterio propuesto por Critchfield (1983, p. 453).

Pudiéndose considerar un clima de tipo *C* y *D* como se muestra en la Figura 65 adaptado a la zonificación del trabajo desarrollado por Peel *et al.* (2007), y ubicarlo en el criterio establecido por Critchfield (1983), en la cual se tendrían consideraciones ideales para replicar el estudio, en zonas con temperaturas mínimas que varían entre -5°C y $+6^{\circ}\text{C}$, y temperaturas máximas que varían entre $+15^{\circ}\text{C}$ y $+20^{\circ}\text{C}$, además de plantear futuras investigaciones y uso del material denominado *Ch'ampa* en la construcción de vivienda bioclimáticas semejantes a los *Putucos*, siempre que esta arquitectura tradicional no sea invasiva con las costumbres de cada zona.

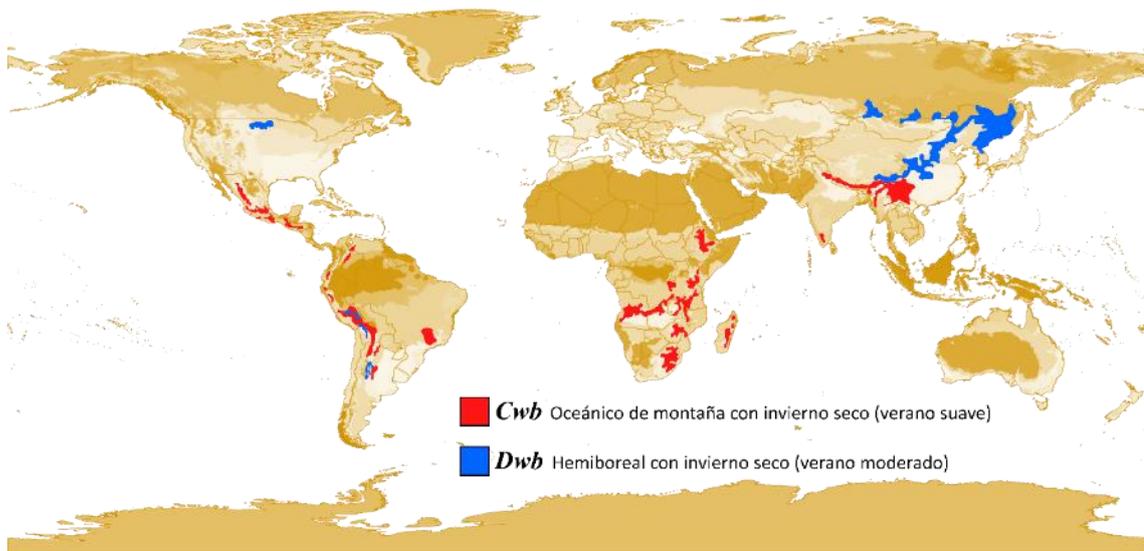


Figura 66. Zonas con características climáticas Cwb y Dwb según Köppen – Geiger.

Nota. Mapa de clasificación Cwb y Dwb con 1-km de resolución adaptado sobre el Mapa de clasificación climática propuesto por Köpper-Geiger.

Fuente: Adaptado con colores rojo y azul sobre el mapa mostrado en el Anexo 4 (ítem D.3.).

Se debe considerar que algunos estudios e investigadores en climatología argumentan que la propuesta Köppen-Geiger no puede ser mejorado más, mientras otros han argumentado lo contrario, en base a la experiencia de los estudios desarrollados por Vitulas y Reynoso (2013), una zona donde aparece esta tipología constructiva con construcciones de *Ch'ampa*, es en la población “*Urus Chipaya*” y Oruro (Bolivia) en sus construcciones tradicionales denominados *Trulys* o *Phutukus* y los *Wallichí Koya* o *Chipa*, que tienen criterios muy semejantes —por no decir iguales— a los criterios constructivos de los *Putucos*.

Mismos que aparecen también de color rojo en el mapa de la *Figura 66*, lugares donde se podrían encontrar características semejantes, como en las zonas de Bolivia y Argentina, y en menor medida a Brasil, Ecuador y Colombia, validando de esta forma los resultados obtenidos.

En la *Figura 67* se aprecia las zonas en América del Sur, donde se podría replicar este estudio, zonas ubicadas en base clasificación climática propuesta por Köpper-Geiger, las mismas que coinciden con zonas conocidas como *Urus Chipaya* y *Potosí* en Bolivia.



Figura 67. Zonas de América del Sur con características climáticas Cwb y Dwb.

Fuente: Adaptado con colores rojo y azul sobre el mapa mostrado en el Anexo 4 (ítem D.3.).

4.2.3. Energía necesaria para fabricar materiales

Una de las consideraciones a tomar en la elaboración, procesamiento y/o fabricación tanto en los sistemas de construcción como en los bloques o albañilería constructiva genera una gran pérdida de energía especialmente en sistemas industrializados ya que son necesarios la quema de combustibles fósiles para poder alcanzar temperaturas elevadas, estas se reducen drásticamente con el uso de materiales tradicionales como el adobe, tapia y quincha, las que son muy comunes tanto en América Latina como en Europa, ya que su procedimiento constructivo y/o de fabricación requieren únicamente del sol y quizás algunos procedimientos de compactado o prensado que podría usar sistemas eléctricos, estas son en menor medida y poco representativos, y en el caso de la *Ch'ampa* estos consumos son prácticamente nulos por no decir completamente inexistentes, por tratarse de un material natural tal como se muestra en la *Tabla 50*.

Se debe destacar que los bloques de albañilería cocida o industrializada requieren de agua, aire, arcilla, electricidad y combustibles, en su contraste con el bloque de adobe o tapia requieren de estrategias diferentes como agua, aire, sol,

grava, arena, limos y arcilla. Por ejemplo, en el caso del adobe es necesario 2,000 BTU¹⁷ para su fabricación, pero la mayor parte es energía renovable, limpia y natural que brinda el sol, y solo requiere los costos del molde que puede ser de madera o metal. En su contraparte, el bloque de albañilería cocida requiere de 30,000 BTU para su elaboración y/o fabricación, ya que requiere de altas temperaturas para producir la cocción y cristalización del bloque, lo que se logra en su mayoría con el consumo de combustibles fósiles, uso de energía en la extracción y transporte, secado artificial, hornos de cocción, entre otros, que con su emisión de CO₂ también producen muchos otros gases de efecto invernadero.

Tabla 50.

Consumos de energía en la fabricación de bloques de albañilería.

Fabricación de bloques	Consumos de energía	Consumo de agua (kg/Ton)	Consumo de carbón (kg/Ton)	Consumo de energía eléctrica (kg/Ton)
Extracción de Ch'ampas	Consumo del recurso	-	-	-
	Kg de CO₂	-	-	-
Fabricación de adobes	Consumo del recurso	25.00	-	-
	Kg de CO ₂	-	-	-
Fabricación de tapial**	Consumo del recurso	45.50	-	12.50
	Kg de CO ₂	-	-	35.75
Fabricación de quincha**	Consumo del recurso	85.50	5.70	-
	Kg de CO ₂	-	16.30	-
Fabricación de ladrillos	Consumo del recurso	77.00	72.57*	72.57
	Kg de CO ₂	-	207.55	207.55

* Donde el 83% (60 kg/Ton) es utilizado en el horno y el restante 17% (12.57 kg/Ton) en el secadero.

** Valores promedio aproximado en base a estudios sobre mejoramiento de la calidad constructiva.

Fuente. Los datos fueron extraídos de las referencias usadas en Sitiosolar, Portal de Energías Renovables y Tech Magazine. Disponible en: <https://solar.lowtechmagazine.com/> [Acceso Junio 2021]

4.2.4. Contenido de Raíces

El contenido de materia orgánica en forma de raíces dentro del bloque de la *Ch'ampa*, le brinda una característica muy particular a este bloque de tierra, ya que, además de ser una variable que se gesta en forma natural, existe una correlación directa entre la cantidad de raíces y el peso de la muestra, además se ha demostrado

¹⁷ La British thermal unit (unidad térmica británica - BTU). 1 BTU es aproximadamente la cantidad de calor necesaria para provocar una elevación de temperatura de 1 °F en una muestra de agua con una masa de 1 lb. 1 BTU ≈ 252 cal.

que existe distribución normal en la toma de datos y un valor de correlación R de Pearson del 98.74% (Ver ítem 4.3.2.)

Como podemos ver en la *Figura 68*, el %Wm es proporcional al %Wr, haciendo que la relación Wr/Wm tenga una forma casi lineal con un valor promedio de 9.847% \approx 10% de contenido de raíces en los bloques de *Ch'ampa* de las muestras analizadas.

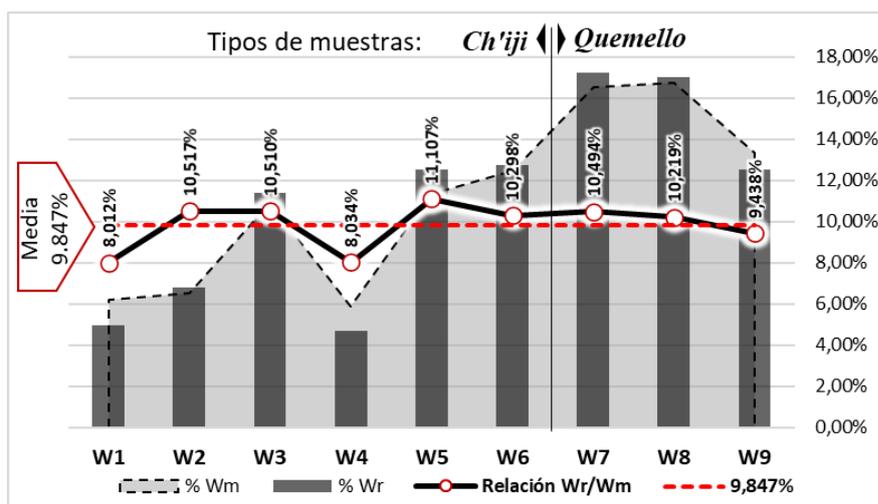


Figura 68. Relación entre el contenido de raíces, valores en %.

Fuente. En base a los datos de la *Tabla 14* (Presente estudio, p. 70).

Una característica de la *Ch'ampa* es que una vez apilado unas con otras para la construcción de viviendas denominadas *Putucos*, las raíces continúan creciendo, pudiendo llegar entrecruzarse entre boque y bloque, lo cual genera una adherencia adicional, supliendo de alguna manera el mortero, ya que en la construcción de viviendas tradicionales tipo *Putucos*, no se utiliza el mortero como tal, ya que una ventaja de su irregularidad superficial y flexibilidad, es tener una mayor fricción entre bloques lo que genera una adherencia natural que no puede ser replicado con el adobe.

Las consideraciones de entrelazado de las raíces, pudo ser constatado realizando una perforación (en campo) en un muro de *Ch'ampa*, como se aprecia en la *Figura 70*, donde se puede ver las raíces internas que se encuentran entrelazadas y fueron cortadas al momento de hacer dicha perforación, estas son justamente las que le dan esa propiedad particular de resistencia a este bloque de construcción tradicional.



Figura 69. Vista del entrelazado de las raíces entre bloques de Ch'ampa.

Nota. En la construcción de *Putucos*, se coloca la zona vegetal por debajo y la zona de raíces por encima, las raíces continúan creciendo (especialmente contacto con agua) hasta entrelazar los bloques, pero no renace la vegetación de la *Ch'ampa*.



Figura 70. Vista de las raíces dentro de un muro construido con *Ch'ampa*.

Nota. El muro de *Ch'ampa*, al realizarle una perforación, presenta una red de raíces entre cada junta de bloque y bloque, sirviendo de adherente natural, y además siendo adecuado para soportar las cargas y deformaciones a las que estarán sometidas.

Fuente. Exploración realizada en campo, elaboración propia.

4.2.5. Compacidad y Contenido de Humedad

Según Cid (2012, pp. 161-162), al comprimir un suelo, sus partículas se redistribuyen, disminuyendo el volumen de huecos, aumentando con ello su densidad y consecuentemente, mejorando sus propiedades constructivas, tales como resistencia o permeabilidad. La densidad depende de la granulometría del suelo y del contenido de humedad óptimo (*optimum moisture content*).

En el caso de la *Ch'ampa*, a medida que se reduce la humedad, el material se hace prácticamente impermeable (Ver ítem 4.1.9. del presente estudio) y más ligero (Ver ítem 4.1.5. y 4.1.6. del presente estudio), y aunque es un material naturalmente compactado, es ideal para ser trabajado, siempre que se cumpla con el secado por un periodo de 15 a 20 días, y que es fácil de transportar a la zona de construcción porque y su humedad se ha reducido hasta un valor cercano al 4%, por lo que se incrementa la probabilidad de un comportamiento ideal en contraste al *Adobe*, *BTC* (Bloque de tierra comprimida) y *Tapial*.

Se propone el nomograma de la *Figura 71*, donde la zona en color azul muestra una zona ideal en base a la densidad seca (kg/cm^3) y el contenido de humedad (%), para caracterizar a la *Ch'ampa*, según los alcances de estudios similares realizados a la fecha.

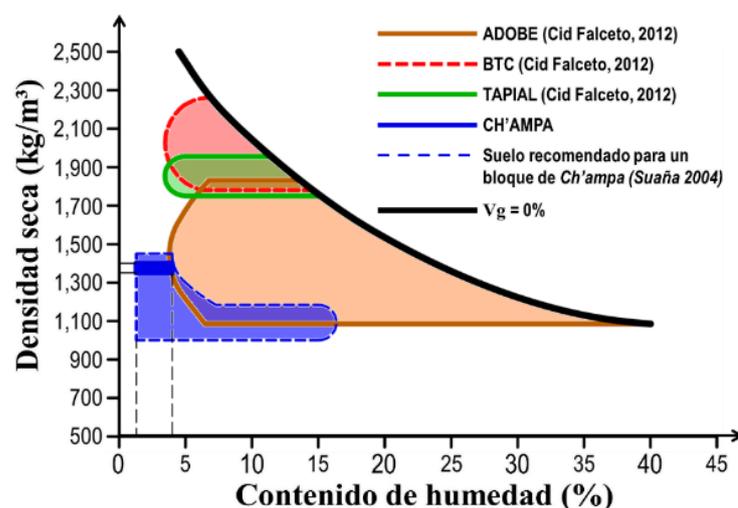


Figura 71. Áreas recomendadas para el comportamiento ideal del bloque de tierra.

Nota. Áreas recomendadas en base al contenido de humedad y la densidad seca para un adecuado comportamiento del Adobe, BTC y Tapial.

Fuente. Elaboración propia, adaptado a los estudios realizados por Cid Falceto (2012) [en base a estudios realizados por Houben 1994].

4.2.6. Límites de Consistencia

Desarrollando un contraste de datos, según el estudio realizado se tiene que los límites de consistencia para la *Ch'ampa* son: 42.33% LL, 32.33% LP y 10% IP. Además, se ha demostrado que las variables analizadas y contrastadas cuentan con distribución normal por lo que, mediante estadística paramétrica como el T de Student y no paramétrica U de Mann-Whitney, se ha probado que el LL y LP de la *Ch'ampa* es significativamente diferentes al Adobe, y se ha corroborado también mediante el factor de ANOVA que existe una varianza significativa entre la *Ch'ampa* y el Adobe. (Ver ítem 4.3.2.)

En base a estudios similares, pero con referencia a otros materiales, tenemos:

- Referente a **estudios similares**: Los resultados muestran que los valores obtenidos, son semejantes a la media del LL (46.44%) y LP (35.73%) de la *Ch'ampa* en estudios anteriores al presente. Por lo que se valida los datos obtenidos para los límites de consistencia.
- Referente al **Adobe**: Las investigaciones nacionales e internacionales han identificado un valor medio muy bajo para el LL (32.55%) y el LP (20.73%). Esta consideración hace que la *Ch'ampa* tenga límites de consistencia con mejores características de trabajabilidad que el adobe.
- Referente al **Tapial**: Las investigaciones nacionales e internacionales han identificado un valor medio estadísticamente semejante para el LL (33.75%) y muy bajo para el LP (21.25%). Esta consideración hace que la *Ch'ampa* tenga límites de consistencia semejantes y algo mejores que el tapial.
- Referente al **BTC**: Las investigaciones nacionales e internacionales han identificado un valor medio estadísticamente semejante para el LL (37.89%) y LP (26.02%). Esta consideración hace que la *Ch'ampa* tenga límites de consistencia semejantes al BTC.
- Referente al **Ladrillo de Arcilla cocida**: Tanto el LL (36.01%) y LP (16.60%) son completamente diferentes, aunque esta afirmación requiere de mayor información para darse por valedera.

Todas estas consideraciones se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 51.
Comparación de LL, LP e IP en diferentes materiales de tierra cruda.

Tipo de Material		LL	LP	IP	Promedio
Ch'ampa	Resultados del presente estudio	42.33%	32.33%	10.00%	
	Gamio (2017)	44.32%	32.93%	11.39%	LL (46.44%)
	Suaña (2004)	48.56%	38.53%	10.03%	LP (35.73%)
Adobe	Rojas (2020)	27.84%	19.84%	8.00%	
	Laime Ancalle (2020)	28.00%	17.00%	11.00%	
	Mendoza (2019)	29.00%	24.00%	5.00%	
	Moreno (2018)	35.60%	19.25%	16.35%	
	Mantilla Calderón (2018)	32.00%	22.00%	10.00%	LL
	Carhuanambo (2016)	30.05%	19.77%	10.28%	(32.55%) LP
	Briceño Romero <i>et al.</i> (2016)	32.00%	20.70%	11.30%	(20.73%)
	Rinker <i>et al.</i> (2015)	33.00%	-	-	
	Alam <i>et al.</i> (2015)	34.00%	19.00%	15.00%	
	Rivera Torres <i>et al.</i> (2005)	44.00%	25.00%	19.00%	
Bariola (1983)	20-40%	0-20%	20.00%		
Tapial	Nardez (2018)	47.00%	27.00%	20.00%	LL
	Tantaleán Altamirano (2018)	31.00%	20.00%	11.00%	(33.75%)
	Chuqui Paucar <i>et al.</i> (2018)	26.00%	18.00%	8.00%	LP
Tejada <i>et al.</i> (2016)	31.00%	20.00%	11.00%	(21.25%)	
BTC	Medina Saucedo (2020)	27.57%	15.47%	12.10%	
	Galvez (2020)	29.49%	19.52%	9.97%	LL
	Noriega (2020)	42.10%	23.40%	18.70%	(37.89%)
	Cañola <i>et al.</i> (2018)	52.40%	45.70%	6.70%	LP
	Toirac (2008)	< 45%	< 18%	-	(26.02%)
Ladrillo de Arcilla	Afanador G. <i>et al.</i> (2012, p.49)	36.01%	16.60%	19.41%	

Fuente. Datos de la Tabla 23 del presente estudio, en contraste a diferentes investigaciones.

En base al Límite Líquido (LL) e Índice de Plasticidad (IP), Cid (2012, p. 157) propone un nomograma para el Adobe, BTC (bloque de tierra comprimida) y Tapial, de tal forma que los suelos inmersos en estas zonas, tienen más probabilidad de comportarse adecuadamente (*Figura 72*), para ser considerados en las técnicas de construcción con tierra.

Bajo esta premisa, se propone el nomograma de la *Figura 72*, donde el color azul muestra una zona ideal en base al IP (%) y LL (%), para identificar las características del suelo que puedan ser usadas para la extracción de la *Ch'ampa*, según los alcances de estudios similares realizados a la fecha.

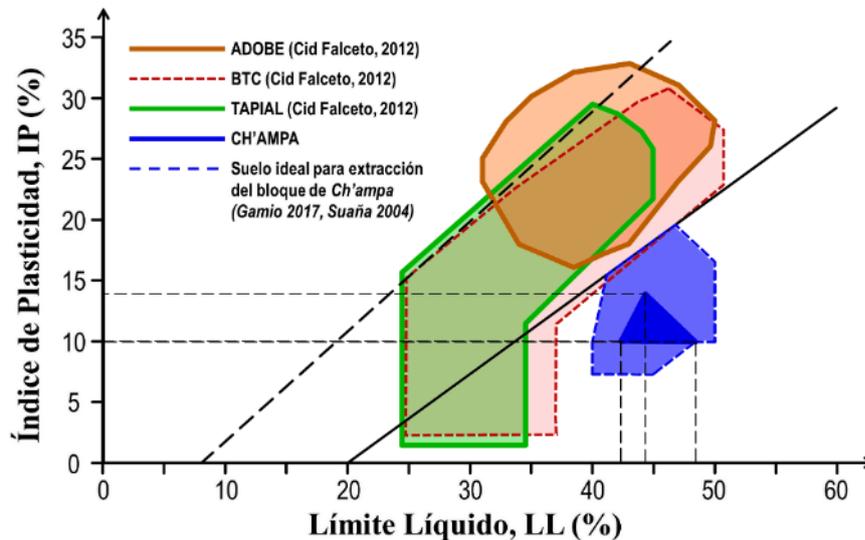


Figura 72. Áreas recomendadas para selección ideal LL-IP del bloque de tierra.

Nota. Áreas recomendadas en base al %LL y %IP para la elaboración del Adobe, BTC y Tapial.

Fuente. Elaboración propia, adaptado a los estudios realizados por Cid (2012) [en base a estudios realizados por Houben 1994], Bestraten *et al.* (2011, p. 13).

A este entender, la mayor flexibilidad y trabajabilidad de la *Ch'ampa*, le confiere la propiedad de impermeabilidad y mejor conductividad térmica; como se aprecia más adelante; que son características ideales que se esperarían en un material de construcción que será sometido a duras inclemencias climáticas.

4.2.7. Clasificación de Suelos SUCS-ASTM

Los diferentes ensayos de mecánica de suelos realizados, nos sirven para clasificar el tipo de material del bloque de *Ch'ampa*, definiendo su composición y características, para luego poder observar sus propiedades y la resistencia.

Según la clasificación modificada de Casa Grande (Tabla 52), se puede identificar al tipo de suelo dentro del componente de la *Ch'ampa* como Tipo ML.

Tabla 52.
Clasificación modificada de Casa Grande.

Símbolo	Nombre	Letra	Definición
G	Grava	P	Pobrementemente graduado (tamaño de partícula uniforme)
S	Arena		
M	Limo	W	Bien graduado (tamaños de partículas diversos)
C	Arcilla	H	Alta plasticidad (LL > 50%)
O	orgánico	L	Baja plasticidad (LL < 50%)

Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)¹⁸, en la *Tabla 53*, resaltamos dicha clasificación, en base a los resultados de los ensayos para determinar las propiedades de índice, lo cual identifica al material como limo de baja plasticidad (ML), corroborado mediante los límites de *Atterberg* mostrado en la *Figura 73*, en la cual se resalta el cuadrante según los resultados obtenidos.

Tabla 53.
Clasificación de suelo desagregado según SUCS.

Divisiones mayores		Símbolo del grupo	Nombre del grupo	
Suelos granulares gruesos (Partículas gruesas) Más del 50% del material es retenido en el tamiz N° 200 (0.075 mm)	Gravas > 50% de la fracción gruesa retenida en el tamiz N° 4 (4.75 mm)	Grava limpia menos del 5% pasa el tamiz N° 200 (poco o nada de partículas finas)	GW Grava bien graduada, Grava fina a gruesa con poco o nada de finos	
		Grava con Finos con más de 12% de finos pasantes del tamiz N° 200	GP Grava pobremente graduada, mezclas de grava y arena	
		Arena ≥ 50% de fracción gruesa que pasa el tamiz N° 4	Arena limpia (poco o nada de partículas finas)	GM Grava limosa
			Arena con Finos con más de 12% de finos pasantes del tamiz N° 200	GC Grava arcillosa
	Suelos de grano fino (Partículas finas) Más del 50% del material pasa el tamiz N° 200 (0.074 mm)	Limos y arcillas límite líquido (LL) < 50	Inorgánico	SW Arena bien graduada, Arena fina a gruesa, Arena con grava
			Orgánico	SP Arena pobremente graduada
		Limos y arcillas límite líquido (LL) ≥ 50	Inorgánico	SM Arena limosa
			Orgánico	SC Arena arcillosa
Suelos altamente orgánicos	Limos y arcillas límite líquido (LL) < 50	Inorgánico	ML Limo , polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos	
		Orgánico	CL Arcilla de baja o mediana plasticidad	
	Limos y arcillas límite líquido (LL) ≥ 50	Inorgánico	OL Limo orgánico, Arcilla limosa orgánica	
		Orgánico	MH Limo de alta plasticidad, Limo elástico, micáceos CH Arcilla de alta plasticidad	
Suelos altamente orgánicos		OH Arcilla orgánica, Limo orgánico		
Suelos altamente orgánicos		Pt Pt		

Nota. Las partículas de 0.074 mm de diámetro (la malla No.200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.

¹⁸ SUCS, “Sistema de clasificación de suelos.” California.

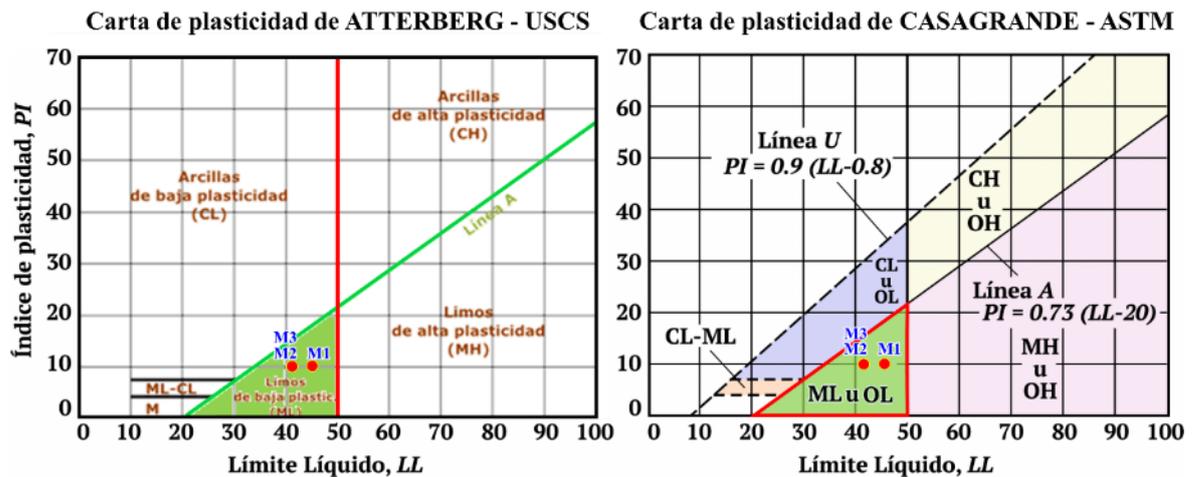


Figura 73. Carta de plasticidad según límites de Atterberg, SUCS (USCS)-ASTM.

Nota. Para verificar los valores obtenidos, recomiendo que usen los valores de LL y LP.

Fuente. Disponible en: <https://ingenieriaelemental.com/2021/05/17/carta-de-plasticidad-de-casagrande-online/> [Acceso Julio 2021].

Según las recomendaciones de SUCS, cada tipo de suelo tiene ciertas propiedades y estas dependen de su clasificación, en el caso de la *Ch'ampa*, al tener un componente de suelo tipo ML (la misma obedece a los ensayos realizados), se puede afirmar (Tabla 54) que el suelo predominante del material es *semi impermeable* y prácticamente *impermeable*, con una resistencia al corte regular, de compresibilidad media en estado compacto y saturado y con una buena trabajabilidad y manipulación en obra o proceso constructivo.

Tabla 54.

Propiedades del suelo tipo ML según SUCS.

Propiedades del Suelo ML	Nivel de cumplimiento			
	Impermeable	Semi impermeable	Semi permeable	Permeable
Permeabilidad en estado compacto				
Resistencia al corte en estado compacto saturado excelente	Muy Bueno	Bueno	Regular	Malo
Compresibilidad en estado compacto y saturado	Bajo	Medio	Alto	Inestable
Facilidad de tratamiento en obra	Muy Bueno	Bueno	Regular	Malo

Usando como referencia el ensayo de permeabilidad (permeámetro de pared flexible), se puede considerar que la clasificación de suelo; según permeabilidad de la norma ASTM D5084-10 y Whitlow (1994, p. 589); nos caracteriza un material que tiene un grado de permeabilidad muy baja, y se puede considerar a la *Ch'ampa* como un material prácticamente impermeable, tal como se mostró en la Tabla 55.

Tabla 55.
Clasificación de suelo por permeabilidad ASTM.

Grado de Permeabilidad	Valor de k (cm/s)	Muestra P-1	Muestra P-2
Elevada	Superior a 10^{-1}	-	-
Media	10^{-1} a 10^{-3}	-	-
Baja	10^{-3} a 10^{-5}	-	-
Muy baja	10^{-5} a 10^{-7}	7.77×10^{-7} cm/s	3.80×10^{-6} cm/s
Prácticamente impermeable	Menor de 10^{-7}	-	-

Fuente. En base a los datos del presente estudio, mostrados en la *Tabla 28* (ítem 4.9.3.).

4.2.8. Consideraciones del Suelo Según NRCS

Además de las clasificaciones SUCS y ASTM, el Triángulo de Suelos del NRCS del U.S.D.A, o también conocido como el gráfico para la denominación de suelos según su textura, nos da una visión gráfica de la composición del suelo en base a los datos del porcentaje (%) del contenido de Limo, Arcilla y Arena, considerando que esta clasificación ya fue estudiada por diversos autores, existe un vacío de datos en el estudio de la *Ch'ampa*. Los datos se obtienen mediante el método de Bouyoucos.

Desarrollando un contraste de datos, según el estudio realizado se tiene que el contenido de finos para la *Ch'ampa* es de: 61 a 63% de Limo, 17 a 21% de Arcilla y 5 a 9% de Arena. En base a estudios similares, pero con referencia a otros materiales, tenemos:

- Referente al **Adobe**: La norma E-080 es concordante a las investigaciones nacionales e internacionales, pero la única coincidencia con la *Ch'ampa* es en el contenido de arcilla (15 a 18%), ya que el adobe requiere de más arena (50 a 70%) y menos limo (10 a 30%). Esta característica hace que la *Ch'ampa* posea mejores propiedades de trabajabilidad.
- Referente al **Tapial**: La norma E-080 es concordante a las investigaciones nacionales e internacionales, pero la única coincidencia con la *Ch'ampa* es en el contenido de arcilla (10 a 20%), ya que el tapial requiere de más arena (40 a 70%) y menos limo (15 a 25%), además de un contenido de grava (15 a 25%). Esta característica

hace que la *Ch'ampa* no sea tan densa, pero posea mejores propiedades de trabajabilidad y manejo en construcción.

- Referente al **BTC**: Las diversas investigaciones nacionales e internacionales, no coinciden con la *Ch'ampa*, ya que el BTC requiere un amplio margen de contenido de arcilla (5 a 50%), y arena (45 a 80%) y menos limo (10 a 50%). Esta característica hace que la *Ch'ampa* posea mejores propiedades de trabajabilidad y no es posible hacerle mejoras por tener un contenido de raíces formados en forma natural.
- Referente al **Ladrillo de Arcilla cocida**: La única coincidencia se encuentra en la cantidad de arcilla (19%), ya que el limo (43%) y la arena (38%) escapan de los límites de la *Ch'ampa*, aunque esta afirmación requiere de mayor información para darse por valedera.

Todas estas consideraciones se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 56.

Contenido de finos en diferentes materiales de tierra cruda.

Tipo de Material		LIMO	ARCILLA	ARENA	GRAVA
Ch'ampa	Resultados del presente estudio	61-63%	17-21%	5-9%	-
	Gamio (2017)	59-63%	11-20%	5-15%	-
Adobe	Rojas (2020)	20.00%	15.00%	65.00%	-
	Laime Ancalle (2020)	7.10%	46.50%	46.40%	-
	Mantilla Calderón (2018)	10.00%	41.80%	48.20%	-
	Carhuanambo (2016)	15-25%	10-20%	55-70%	-
	Briceño Romero <i>et al.</i> (2016)	-	78.30%	21.70%	-
	Cuitiño <i>et al.</i> (2015)	20-35%	15-25%	40-50%	-
	Rinker <i>et al.</i> (2015)	1.50%	12.20%	87.30%	-
	Yetgin <i>et al.</i> (2008)	15.00%	25.00%	60.00%	-
	Rivera Torres <i>et al.</i> (2005)	10.00%	72.00%	18.00%	-
	Bariola (1983)	15-25%	10-12%	55-70%	-
	Norma E-080 (2017)	10-28%	15-18%	55-70%	0-15%
Tapial	Nardez (2018)	50.85%		47.40%	1.75%
	Tantaleán Altamirano (2018)	65.00%		40.00%	25.00%
	Chuqui Paucar <i>et al.</i> (2018)	34.00%		47.00%	19.00%
	Tejada Schmidt <i>et al.</i> (2016)	15-25%	10-20%	55-70%	
	Cuitiño <i>et al.</i> (2015)	0-20%	5-35%	40-80%	0-15%
	Norma E-080 (2017)	15-25%	10-20%	55-70%	0-15%

Tipo de Material		LIMO	ARCILLA	ARENA	GRAVA
BTC	Medina Saucedo (2020)	54.95%		44.60%	0.45%
	Donkor <i>et al.</i> (2015)	22-53%	22-53%	55-75%	-
	HB 195 (2002) - Norma	10-30%	5-25%	45-80%	-
	NZS 4298 (1999) - Norma	20-55%	5-50%	45-80%	-
	Rigassi (1985)	10-25%	8-30%	25-80%	-
Ladrillo de Arcilla	Afanador <i>et al.</i> (2012, p.49)	43.00%	19.00%	38.00%	-

Fuente. Datos de la Tabla 26 del presente estudio, en contraste a diferentes autores.

Según estas consideraciones, la *Ch'ampa* tiene una mejor trabajabilidad y compensa su fragilidad con la incorporación de raíces (del *Ch'iji*), como aditamento natural adicional que no aparece en ningún otro material. Bajo estas consideraciones se procede a comparar los datos dentro del Triángulo de Suelos NRCS o Diagrama de Winkler para texturas.

Se presentan estos resultados en el diagrama de Winkler o *Triángulo de Suelos* del NRCS mostrados en la *Figura 74*, y podemos ver la comparación de las consideraciones de suelo que compone la *Ch'ampa*, en contraste tanto con el adobe, tapial, BTC y ladrillo, lo cual nos da una idea clara de la diferencia entre estos materiales, y nos muestra claramente las ventajas del material tradicional denominado *Ch'ampa* que; como se indicó al inicio del presente estudio; tiene pocos antecedentes y estudios con gran profundidad, siendo que es necesario profundizar en los mismos, tal cual los avances actuales existentes para el adobe como el tapial.

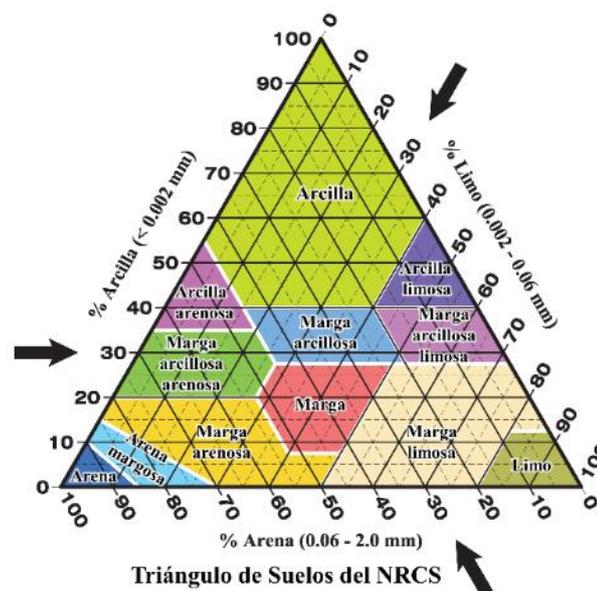


Figura 74. Detalles de las características del suelo en la gráfica de Winkler.

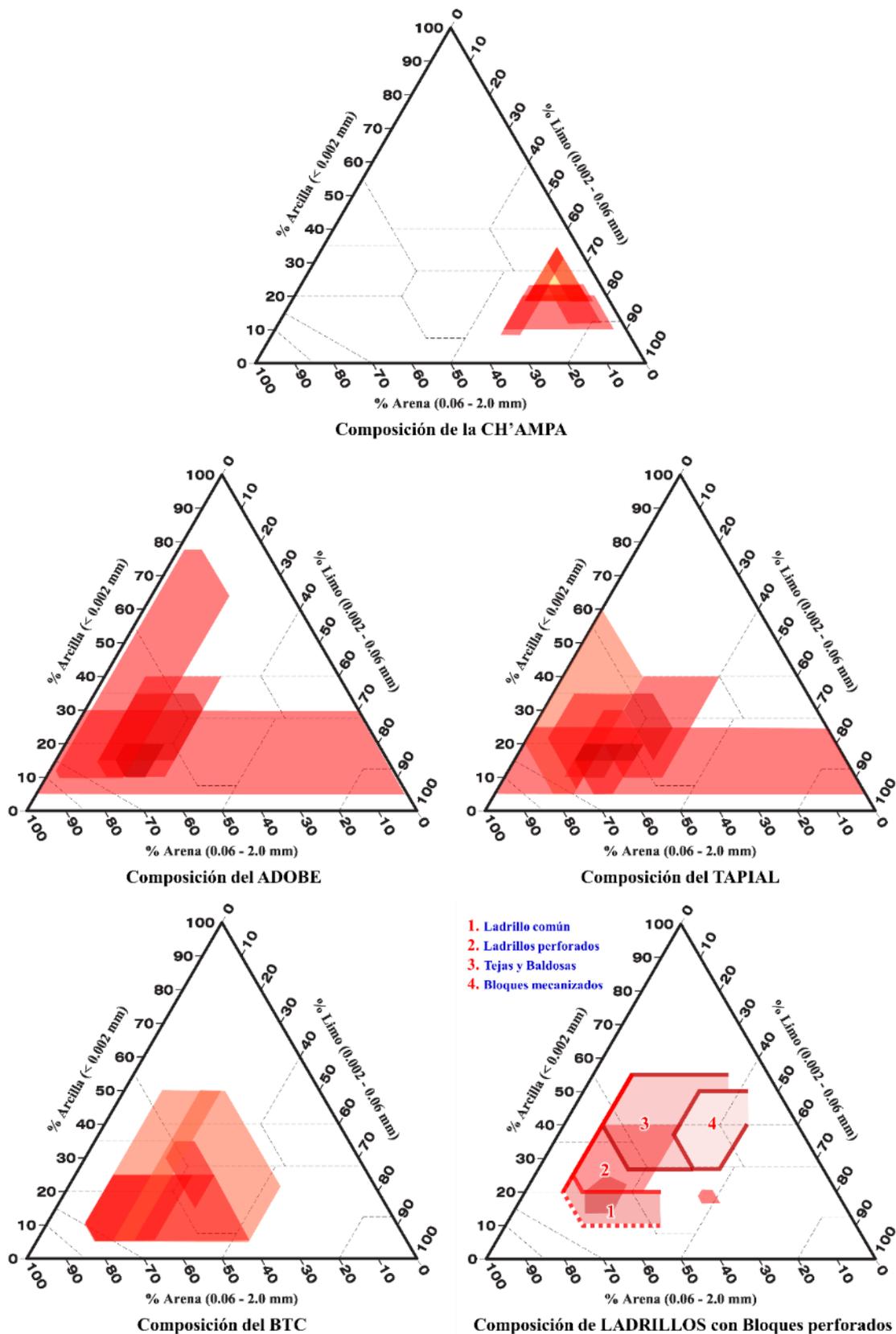


Figura 75. Contraste en las gráficas de Winkler o Triángulo de Suelos NRCS.

Fuente: Para el caso de la *Ch'ampa*, se han complementado con Gamio (2017) y Suaña (2004), en el caso del adobe y tapial, se ha complementado con Blanco *et al.* (2010) y Gaete (2010). Para el ladrillo se usó Alvarez *et al.* (2018), García *et al.* (2018) y Mintec Ceramic (2015).

4.2.9. Permeabilidad

Según los resultados obtenidos, según la clasificación SUCS se identifica al material de la *Ch'ampa* como un suelo ML, que es un suelo semi impermeable o prácticamente impermeable, y según la clasificación ASTM, el grado de permeabilidad es muy baja con un valor de “*k*”; que representa a la conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad; cercano a 8×10^{-7} cm/s, considerando que valores menores a 1×10^{-7} cm/s son suelos prácticamente impermeables, característica fundamental de las arcillas.

La permeabilidad depende, entre otras cosas, del tamaño de las partículas y continuidad de los poros de una muestra, y de la presencia de grietas y discontinuidades del bloque, la relación de vacíos del suelo, en otras palabras, a mayor tamaño mayor cantidad de vacíos (Alfaro *et al.*, 2014, p. 20), estos valores que son muy variables y se pueden clasificar según las recomendaciones de Angelone *et al.* (2006) y Fierro *et al.* (2017, p. 22), en la *Tabla 57* se muestra el mencionado criterio.

Tabla 57.
Coeficiente de permeabilidad “*k*”.

<i>k</i> (cm/s)	10^2	10^1	10	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}
Drenaje	Bueno						Malo		Prácticamente		Impermeable	
Relleno Sanitario	Pésimo										Bueno	
Tipo de suelo	Grava gruesa (casajo)	Arena limpia Arena mezclada con grava			Arena muy fina, suelos orgánicos e inorgánicos, mezcla de limo-arenoso y arcilla					Suelo impermeable modificado por efecto de la vegetación y la intemperización		
			Suelo Impermeable; por ejemplo: arcilla homogénea debajo de la zona de intemperización									

Fuente. Adaptado en base a los datos de la *Tabla 28* del presente estudio, en contraste con el cuadro de E. Casagrande y R. E. Fadum.

Según las recomendaciones del "*Soil Conservation Service*"¹⁹ de los Estados Unidos, la permeabilidad o conductividad hidráulica, según el tipo de material y sus características de permeabilidad, se clasifican (*Tabla 58*) de la siguiente forma:

¹⁹ Servicio de Conservación del Suelo, Estados Unidos.

Tabla 58.
Conductividad hidráulica según normativa internacional.

Características	k (cm/h)	k (cm/s)	Tipo de material					
			Ch'ampa	Suelo Arcilloso	Adobe AC	Tapial	C°	MRD
Impermeable	< 0.00036	< 1.000x10 ⁻⁰⁷	X				X***	X**
Muy lenta	< 0.1	< 2.778x10 ⁻⁰⁵	X	X*			X	
Lenta	0.1 – 0.5	2.778x10 ⁻⁰⁵ @ 1.389x10 ⁻⁰⁴			X**			
Moderadamente lenta	0.5 – 2.0	1.389x10 ⁻⁰⁴ @ 5.556x10 ⁻⁰⁴			X	X		
Moderada	2.0 – 6.5	5.556x10 ⁻⁰⁴ @ 1.806x10 ⁻⁰³				X		
Moderadamente elevada	6.5 – 12.5	1.806x10 ⁻⁰³ @ 3.472x10 ⁻⁰³						
Elevada	12.5 – 25.0	3.472x10 ⁻⁰³ @ 6.950x10 ⁻⁰³						
Muy elevada	> 25.0	> 6.950x10 ⁻⁰³					X***	

* Según la clasificación ASTM, para suelos ML.

** Para adobe con 5% de cemento AC se tiene un valor de 5.238x10⁻⁵ cm/s, y para mortero especial de refuerzo MRD (con relación a/c=0.50) de 9.371x10⁻⁹ cm/s (Pérez G. *et al.*, 2004, p.12)

*** Para concreto tiene un valor de 1.5x10⁻¹¹ cm/s, según el Bureau of Reclamation (Wainzstein M., s.f., p. 121). Para concreto poroso tiene un valor de 2.342x10⁻¹ cm/s con 11% de huecos (Vélez L.M., 2010, p. 186)

Fuente. Adaptado en base a los datos de la *Tabla 28* del presente estudio.

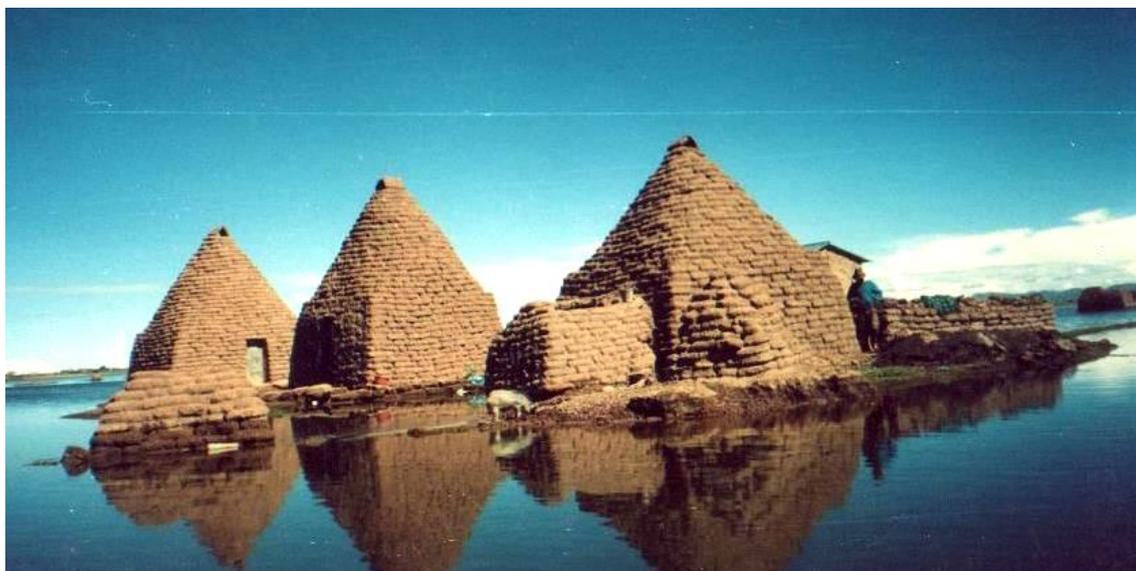


Figura 76. Estabilidad de los Putucos expuestos a inundaciones.

Nota. Se aprecia la resistencia de las viviendas denominadas *Putucos* construidos con *Ch'ampa* y sometidos a inundaciones por largos periodos de tiempo, río Ramis, Huancané, Puno.

Fuente. Vitulas y Reynoso (2013, Fig. 209, p. 284).

En los resultados de los ensayos de mecánica de suelos, el tipo de suelo ML, tiene como propiedad la impermeabilidad, siendo esta muy importante. Demuestra el por qué este material ha perdurado en el tiempo y ha resistido muchas inundaciones (*Figura 76 y 77*), que son muy frecuentes en la zona de *Huancané y Taraco* (Ver *Anexo 1 y Anexo 4*).

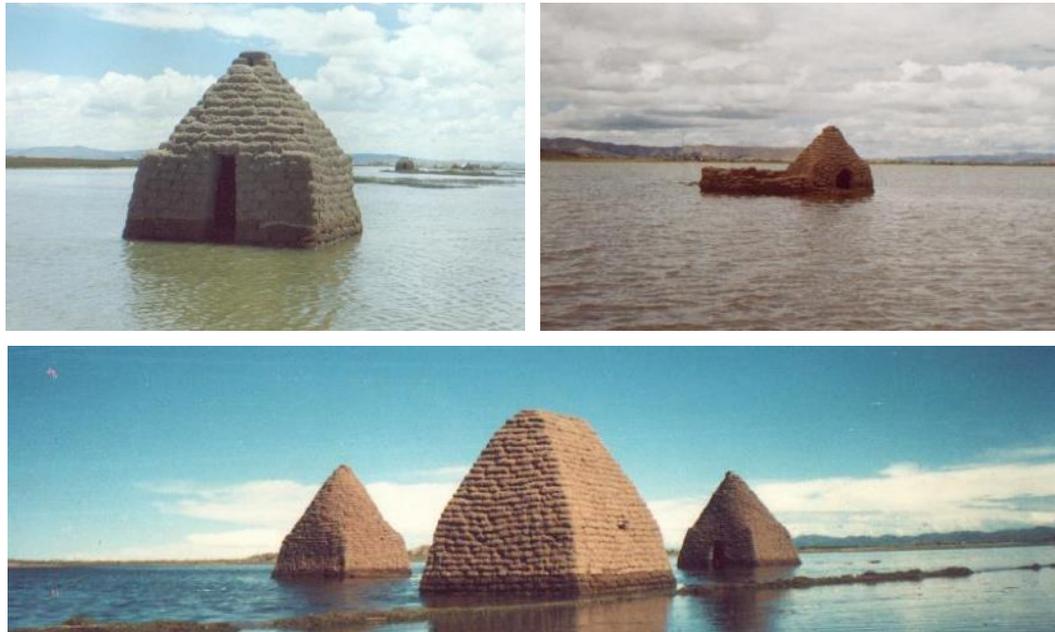


Figura 77. Putucos expuestos a la inundación del año 2003.

Nota. Se puede apreciar la resistencia de las viviendas tradicionales tipo Putucos a la inundación del río Ramis en el año 2003, Huancané, Puno.

Fuente. Vitulas y Reynoso (2013, Fig. 203/206/207, pp. 281-283), Suaña (2004, pp. 49-50).



Figura 78. Estabilidad de viviendas de Adobe expuestos a inundaciones.

Nota. Se puede apreciar la falta de estabilidad y los métodos de soporte y protección utilizados en las viviendas construidas con adobe, sometidos a inundaciones por largos periodos de tiempo en las riberas del río *Ramis, Huancané, Puno*.

Fuente. Suaña (2004, Fot. III-16, p. 52).

La impermeabilidad, es una propiedad que está ausente en el adobe y tapial, e incluso se podría comparar a la *Ch'ampa* con un tratamiento que va a la par del concreto y morteros de refuerzo (*Tabla 58*), logrando en forma eficiente que el agua de las precipitaciones discurra por su superficie exterior en forma eficiente. Es necesario corroborar esta afirmación con un estudio futuro de erosión del material.

Estos resultados demuestran la resistencia del bloque de *Ch'ampa* a precipitaciones e inundaciones que son muy frecuentes en las riberas del río *Ramis* y zonas llanas de *Taraco* y *Huancané*, a diferencia del adobe o tapial las cuales no cuentan con esta propiedad, esto se puede identificar claramente en las *Figuras 77* y *78*, donde podemos apreciar la estabilidad de los *Putucos* a diferencia de viviendas construidas con adobe, ambas en épocas de inundaciones, que son muy frecuentes en las riberas del río *Ramis*.

4.2.10. Conductividad Térmica

Desarrollando un contraste de datos, según el estudio realizado se tiene que el coeficiente de conductividad térmica (λ) de la *Ch'ampa* es: $0.25 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Además, se ha demostrado que las variables analizadas y contrastadas cuentan con distribución normal por lo que, mediante estadística no paramétrica U de Mann-Whitney, se ha probado que el valor de λ de la *Ch'ampa* es significativamente diferente al Adobe, Tapial, BTC, Concreto y Ladrillo, y es estadísticamente semejante a la Quincha y el Yeso. (Ver ítem 4.3.2.). En base a estudios similares, pero con referencia a otros materiales, tenemos:

- Referente al **Adobe**: Las investigaciones nacionales e internacionales han identificado un valor medio de $\lambda = 0.738 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, lo que implica que su capacidad de conducción térmica es +1.95 veces superior que la *Ch'ampa*, y poco eficiente para proteger de los cambios de temperatura.
- Referente al **Tapial**: Las investigaciones nacionales e internacionales han identificado un valor medio de $\lambda = 0.943 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, lo que implica que su capacidad de conducción térmica es +2.77 veces superior que la *Ch'ampa*, y muy poco eficiente para proteger a cambios de temperatura.

- Referente al **BTC**: Las investigaciones nacionales e internacionales han identificado un valor medio de $\lambda = 0.733 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, lo que implica que su capacidad de conducción térmica es +1.93 veces superior que la *Ch'ampa*, por tanto, poco eficiente para proteger de cambios de temperatura, similar al adobe.
- Referente a la **Quincha**: Las investigaciones nacionales e internacionales han identificado un valor medio de $\lambda = 0.393 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, lo que implica que su capacidad de conducción térmica es +0.57 veces superior que la *Ch'ampa*, por tanto, tiene un comportamiento similar y eficiente para proteger de los cambios de temperatura, similar al Yeso.
- Referente al **Concreto**: Las investigaciones nacionales e internacionales han identificado un valor medio de $\lambda = 1.908 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, lo que implica que su capacidad de conducción térmica es +6.63 veces superior que la *Ch'ampa*, por tanto, tiene un comportamiento totalmente ineficiente para proteger de los cambios de temperatura, aun así, es el más usado.
- Referente al **Ladrillo**: Las investigaciones nacionales e internacionales han identificado un valor medio de $\lambda = 1.097 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, lo que implica que su capacidad de conducción térmica es +3.39 veces superior que la *Ch'ampa*, por tanto, un comportamiento ineficiente para proteger de los cambios de temperatura (la mitad del concreto), aun así, es el más usado.
- Referente al **Yeso**: Las investigaciones nacionales e internacionales han identificado un valor medio de $\lambda = 0.387 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, lo que implica que su capacidad de conducción térmica es +0.55 veces superior que la *Ch'ampa*, por tanto, tiene un comportamiento similar y eficiente para proteger de los cambios de temperatura, similar a la Quincha.
- Referente al **Fibrocemento**: La norma peruana ha identificado un valor de $\lambda = 0.22 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, lo que implica que su capacidad de conducción térmica es -0.12 veces inferior que la *Ch'ampa*, por tanto, tiene un comportamiento similar y eficiente para proteger de los cambios de temperatura. Pero requiere de mayores datos.

- Referente al **Neoprene**: La norma peruana ha identificado un valor de $\lambda = 0.23 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, lo que implica que su capacidad de conducción térmica es -0.08 veces inferior que la *Ch'ampa*, por tanto, tiene un comportamiento similar y eficiente para proteger de los cambios de temperatura, al igual que el fibrocemento, además también requiere de mayores datos.
- Referente a la **Madera**: Las investigaciones nacionales e internacionales han identificado un valor medio de $\lambda = 0.14 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, lo que implica que su capacidad de conducción térmica es -0.44 veces inferior que la *Ch'ampa*, por tanto, tiene un excelente comportamiento y es más eficiente para proteger de los cambios de temperatura.
- Referente a la **Paja**: La norma peruana ha identificado un valor de $\lambda = 0.14 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, lo que implica que su capacidad de conducción térmica es -0.64 veces inferior que la *Ch'ampa*, por tanto, tiene un muy excelente comportamiento y es mucho más eficiente para proteger de los cambios de temperatura. Tómese en cuenta que este material es muy usado en la construcción de las coberturas en viviendas tradicionales rurales, corroborando y validando la presente información.

Todas estas consideraciones se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 59.

Propiedades térmicas de la Ch'ampa comparado con otros materiales.

Tipo de Material Constructivo		Densidad (kg/m^3)	Conductividad Térmica $K=\lambda$ ($\text{W/m}\cdot\text{K}$)	Resistencia Térmica R ($\text{K}\cdot\text{m/W}$)
Ch'ampa	Resultados del presente estudio	1,350	0.25	4.000
	Wieser <i>et al.</i> (2020)*	800	0.15	6.667
	Gamio (2017)	1,054	-	-
	Vitulas <i>et al.</i> (2014)	1,320	-	-
	Suaña (2004)	1,454	-	-
	Norma EM.110 (2014)*	$\leq 2,050$	0.52	1.923
	Norma EM.110 (2014)**	1,200 - 1,800	1.50	0.667
Adobe	Cuitiño Rosales <i>et al</i> (2020)	1,450	0.71	1.418
	Wieser <i>et al.</i> (2020)	1,750	0.57	1.764
	Gamio (2017)	1,700	0.65	1.538
	Cuitiño <i>et al</i> (2015)	1,650	0.82	1.220
	Daudon <i>et al</i> (2014)	1,600	0.81	1.235

Tipo de Material Constructivo		Densidad (kg/m ³)	Conductividad Térmica $K=\lambda$ (W/m·K)	Resistencia Térmica R (K·m/W)
Adobe	Arancibia (2013)	1,600	0.95	1.053
	Evans <i>et al</i> (2012)	1,500	0.58	1.724
	Bestraten <i>et al</i> (2011)	1,200	0.46	2.174
	Heathcote (2011)	1,650	0.82	1.220
	Suaña (2004)	1,800	-	-
	Esteves <i>et al.</i> (2003)	-	0.82	1.220
	Rozis <i>et al.</i> (1997)	1,700	0.77	1.299
	Norma EM.110 (2014)	1,100 - 1,800	0.90	1.111
Tapial	Castellarnau (2020)	1,850	0.99	1.010
	Cuitiño <i>et al</i> (2015)	1,400	0.60	1.667
	CTE (2006)	1,770	1.10	0.909
	Walker <i>et al.</i> (2005)	1,400	1.60	0.625
	Esteves <i>et al.</i> (2003)	-	0.17	5.882
	Arnold (1969)	2,000	1.20	0.833
BTC	Cuitiño <i>et al</i> (2015)	1,700	0.60	1.667
	Bestraten <i>et al.</i> (2011)	1,700	0.81	1.235
	Blasco <i>et al.</i> (2002)	1,625	0.79	2.840
Quincha	Cuitiño <i>et al</i> (2020)	1,200	0.60	1.667
	Cuitiño <i>et al</i> (2015)	1,289	0.17	5.882
	Evans (2012)	1,900	0.59	1.690
	Fernandez y Esteves (2004)	600	0.43	2.320
	Hays <i>et al.</i> (2003)	1,289	0.17	5.882
C°A°	Wieser <i>et al.</i> (2020)	2,300	1.63	0.613
	Cuitiño <i>et al</i> (2015)	2,400	1.63	0.613
	Varas (2009)	2,400	2.74	0.365
	Norma EM.110 (2014)	2,400	1.63	0.613
Muro de ladrillo macizo	Wieser <i>et al.</i> (2020) (pastelero)	1,200	0.44	2.273
	Wieser <i>et al.</i> (2020) (hueco)	1,045	0.47	2.128
	Cuitiño <i>et al</i> (2015)	1,800	0.91	1.099
	Arancibia (2013)	1,800	0.87	1.149
	Blasco <i>et al</i> (2002)	1,305	2.32	0.431
	Varas (2009)	1,790	1.83	0.546
	Norma EM.110 (2014)	1,700	0.84	1.190
Enlucido de yeso	Wieser <i>et al.</i> (2020)	1,120	0.51	1.961
	Norma EM.110 (2014)	≤ 1,000	0.40	2.500
Panel de Yeso	Norma EM.110 (2014)	750-900	0.25	4.000
Panel de Fibrocemento	Norma EM.110 (2014)	920 - 1,135	0.22 - 0.23	4.348
Neoprene	Norma EM.110 (2014)	1,240	0.23	4.348

Tipo de Material Constructivo		Densidad (kg/m ³)	Conductividad Térmica $K=\lambda$ (W/m·K)	Resistencia Térmica R (K·m/W)
Entablado de Madera	Wieser <i>et al.</i> (2020)	600	0.14	7.143
	Norma EM.110 (2014)	200 - 565	0.13 - 0.15	7.143
Paja (2cm)	Norma EM.110 (2014)	-	0.09	11.111

* Material tipo Tierra o suelo.

** Material tipo arcilla y limo.

Fuente. Datos de la Tabla 30 del presente estudio, en contraste a diferentes investigaciones.

El comportamiento térmico de la *Ch'ampa* es más óptimo, en comparación al adobe, el tapial y el BTC, ya que este material tradicional tiene una densidad de 1,350 kg/m³ y un valor $K=\lambda$ de 0.25 W/m·K, demostrando de esta forma que la *Ch'ampa* cuenta con una mayor resistencia térmica, equiparable al fibrocemento (0.22 W/m·K) y el neoprene (0.23 W/m·K) tal como se puede ver en la Figura 79, estos últimos exigen mayores requerimientos y costo, además de la tecnología involucrada en su elaboración. Definitivamente el concreto y el ladrillo son los menos eficientes en estos grupos de estudio.

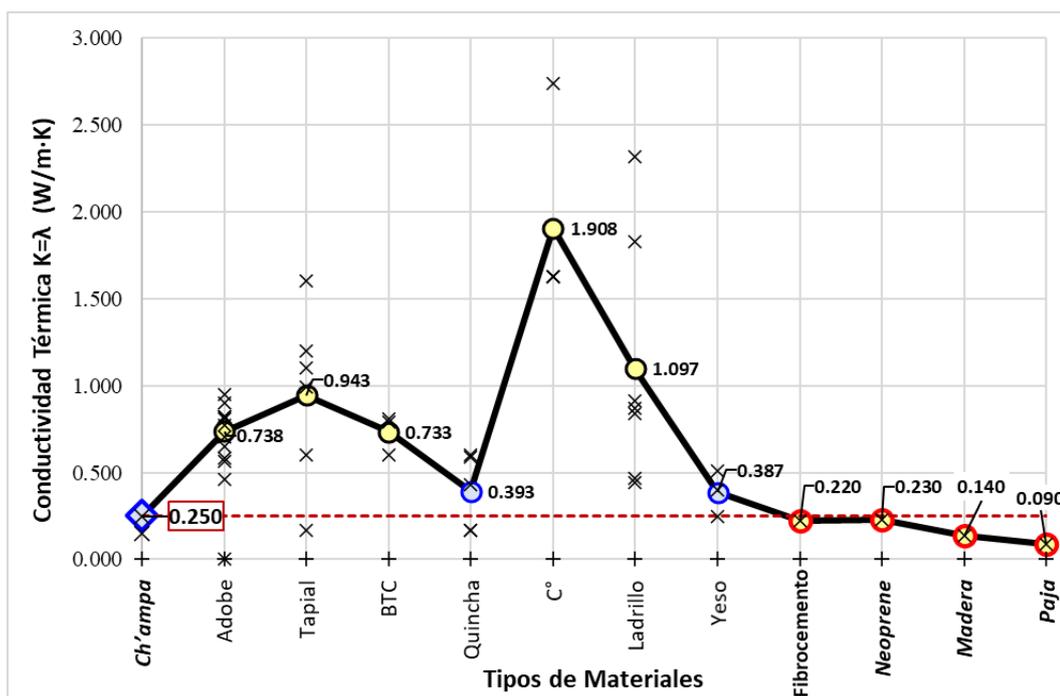


Figura 79. Comparación gráfica de la eficiencia térmica entre diferentes materiales.

Nota. La línea roja (punteada) representa en valor λ de la *Ch'ampa*.

Fuente. Elaboración propia, en base a los datos de la Tabla 59.

Adicionalmente, según los ensayos de permeabilidad, la media del porcentaje de porosidad varía entre 47.8% a 48.0%, un valor relativamente alto, reafirmando

así que la *Ch'ampa* puede ser usado eficientemente en épocas de heladas o frío extremo muy común en el altiplano puneño y peruano.

Además, el peso de la *Ch'ampa* es aproximadamente 16% menor al adobe, 20% menor al tapial y BTC, 43% menor al peso del concreto y 11% menor al peso del ladrillo, haciéndolo un material liviano por su contenido de raíces, idóneo para evitar sobrecargas en los elementos estructurales de una vivienda.

Según Wieser *et al.* (2020, p. 173), las condiciones de confort que se lograron en el interior de varias alternativas constructivas a lo largo del mes crítico (el más cálido o el más frío, según el clima), indica que las construcciones de adobe son menos eficientes que la tierra aliviada, que como caso práctico puede ser comparado con la *Ch'ampa* al ser parte del suelo. Aun cuando el desempeño térmico de un edificio tradicional de adobe es sensiblemente mejor que el de uno de ladrillo, tal como se muestra en la *Figura 80*, este resulta también insuficiente en los climas fríos respecto a requerimientos de confort contemporáneos.

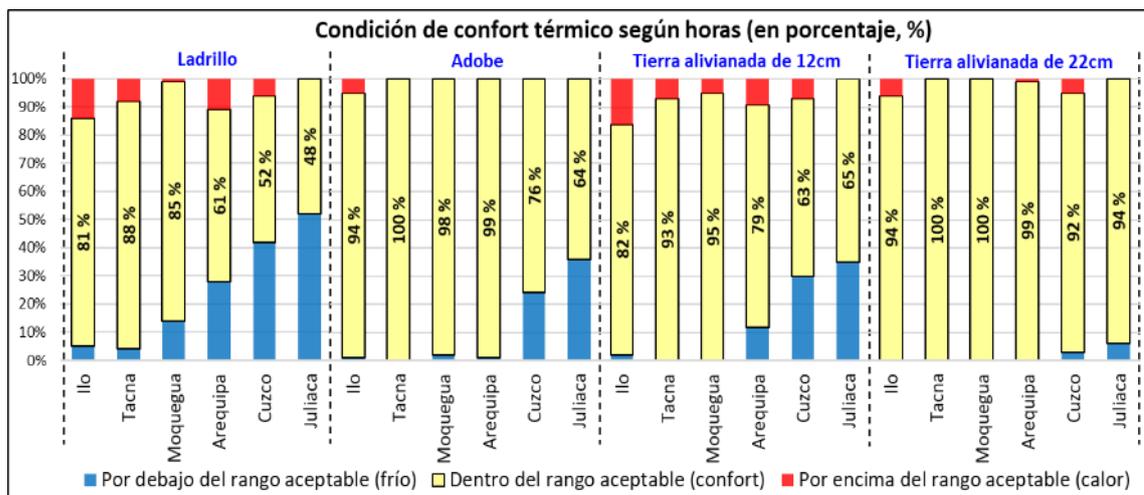


Figura 80. Confort térmico de cuatro soluciones constructivas, según Wieser.

Fuente. Wieser *et al.* (2020, Figura 8, p. 173).

Wieser *et al.* (2020) demuestra que el confort térmico es cercano al 95% en Juliaca (Puno), para el material: Tierra aliviada de 22 cm., por lo que podríamos retrotraer dicha información y plantear la hipótesis de que la *Ch'ampa* tiene una condición de confort térmico semejante y/o superior al 95%, ya que se tiene un ancho de construcción de 50 cm.

4.2.11. Resistencia a la Compresión

Desarrollando un contraste de datos, según el estudio realizado se tiene que el esfuerzo promedio resistente a las cargas de compresión ($\sigma_c = f_b$) de la *Ch'ampa* es: 5.284 kg-f/cm². Además, se ha demostrado que las variables analizadas y contrastadas no cuentan con distribución normal por lo que, mediante estadística no paramétrica U de Mann-Whitney, se ha probado que el valor de σ_c de la *Ch'ampa* es significativamente diferente al Adobe, Tapial y Ladrillo, y es estadísticamente semejante a las investigaciones realizadas por otros autores sobre la *Ch'ampa* y el BTC. (Ver ítem 4.3.2.)

En base a estudios similares, pero con referencia a otros materiales, tenemos:

- Referente a la *Ch'ampa*: Las pocas investigaciones nacionales e internacionales realizadas previamente tienen un valor medio de $\sigma_c = 5.008$ kg-f/cm², semejante a la media PUCP-UNAP obtenida en el presente estudio, que es de $\sigma_c = 5.284$ kg-f/cm², validándose los resultados obtenidos.
- Referente al *Adobe*: Las investigaciones nacionales e internacionales han identificado un valor medio de $\sigma_c = 18.123$ kg-f/cm², el cual está por encima del valor mínimo recomendado por la norma E-080, que es de $\sigma_c = 12$ kg-f/cm², además, el adobe artesanal (de la zona de estudio) estudiado paralelamente tiene un $\sigma_c = 8.971$ kg-f/cm², alcanzando solo el 74.76% de la norma, y la *Ch'ampa* únicamente el 44.04%, por tanto su resistencia estaría por debajo del 50% en base a la norma, y por debajo del 30% (29.16%) en base a la media de otras investigaciones, haciendo de la *Ch'ampa* un material inadecuado para soportar cargas a comparación.
- Referente al *Tapial*: Las investigaciones nacionales e internacionales han identificado un valor medio de $\sigma_c = 7.870$ kg-f/cm², el cual alcanza un 65.58% de lo recomendado por la norma E-080, la *Ch'ampa* se encuentra por debajo del 70% (67.15%) de la media

alcanzada por el tapial, haciéndolo un material menos resistente para soportar cargas.

- Referente al **BTC**: Las pocas investigaciones nacionales e internacionales referenciadas han identificado un valor medio de $\sigma_c = 41.66 \text{ kg-f/cm}^2$, el cual supera en 347.17% de lo recomendado por la norma E-080, la *Ch'ampa* se encuentra por debajo del 15% (12.68%) de la media alcanzada por el BTC, considerando que el objetivo de este material es alcanzar altos niveles de carga gracias a la incorporación de cemento y otros que mejoran su eficiencia estructural, lo cual no ocurre con la *Ch'ampa*, por tratarse de un material de formación natural.
- Referente al **Ladrillo**: Las pocas investigaciones nacionales e internacionales referenciadas han identificado un valor medio de $\sigma_c = 26.029 \text{ kg-f/cm}^2$, y aunque pertenece a otra gama de materiales nobles, la *Ch'ampa* se encuentra por debajo del 20% (20.30%) de la media alcanzada por el ladrillo cocido, considerando además que estas resistencias pueden variar dependiendo de su presentación y función estructural.

Todas estas consideraciones se presentan en la *Tabla 60*.

Adicionalmente, se tiene que el módulo de elasticidad de la *Ch'ampa* es de $E = 20.578 \text{ MPa}$, que representa aproximadamente 40 veces su esfuerzo de compresión f'_b , ($E_m = 37 \cdot f'_b \approx 40 f'_b$), mientras que el adobe tiene 200 veces su f'_b (según norma), lo que indica que el adobe es más rígido y muy denso en comparación a los bloques de *Ch'ampa*.

Referente a la resistencia a compresión de los testigos, la *Ch'ampa* estudiada (todas las investigaciones) comparte un valor promedio de $\sigma_c = f'_b = 5.146 \text{ kg-f/cm}^2$, y es muy semejante al tapial tal como se aprecia en la *Figura 81*, estando ambos por debajo del 50% (42.88%) del mínimo requerimiento de la Norma E-080, aspecto que el adobe cumple eficientemente, por tanto, la *Ch'ampa* no es eficiente para soportar cargas a compresión.

Tabla 60.

Contraste de resultados a compresión de la Ch'ampa con otros materiales.

Tipo de Material de Construcción		$\sigma_c = f'_b$ (kg-f/cm ²)	E (MPa)	k (E/f'_b)	$E_m = k \cdot f'_b$ k (prom.)	$E_m = k \cdot f'_b$ k (empírico)	
Ch'ampa	Res. presente est. PUCP	4.929	5.284	20.578	42.575	42.78	$43 \times f'_b$ $\approx 40 \times f'_b$
	Res. presente est. UNAP	5.640	-	-	-		
	Gamio (2018)	5.201	5.008	21.925	42.99		
	Suaña (2004)	4.815	-	-	-		
Adobe	Res. presente est. UNAP	*8.971	-	-	-	211.66	212 × f _b (Autores) 200 × f _b (Norma)
	Rivera <i>et al.</i> (2021)	*8.550	-	-	-		
	Catalán <i>et al.</i> (2019)	12.543	-	236.200	192.03		
	García (2017)	20.394	-	-	-		
	Quispe (2017)	12.870	-	-	-		
	Tejada Schmidt <i>et al.</i> (2016)	12.000	-	-	-		
	Carhuanambo (2016)	21.174	-	205.935	*99.18		
	Ramírez (2016)	20.910	18.123	-	-		
	Parisi <i>et al.</i> (2015)	11.013	-	145.000	134.26		
	Silveira <i>et al.</i> (2012)	21.924	-	448.000	208.37		
	Adorni <i>et al.</i> (2006)	*9.585	-	193.000	205.32		
	Lenci <i>et al.</i> (2009)	17.335	-	148.000	87.06		
	Suaña (2004)	18.800	-	886.816	481.01		
	Rauch (2001)	32.631	-	650.000	203.12		
E-080 (2000) f _m	22.000	-	200.056	*92.73			
E-080 (mínimo) f _m	12.000	-	200.056	170.00			
Tapial	Quispe (2019)	9.510	-	69.886	*74.94	212.81	213 × f _b (Autores) 200 × f _b (Norma)
	Tantaleán (2018)	6.590	-	84.141	130.20		
	Castillo <i>et al.</i> (2018)	6.016	-	73.000	123.73		
	Nardez (2018)	9.891	7.870	-	-		
	Chuqui (2018)	6.260	-	94.929	154.63		
	E-080 (2017) f _m	6.120	-	200.000	333.24		
	Tejada <i>et al.</i> (2016)	10.700	-	-	-		
Afanador <i>et al.</i> (2013)	*1.734	-	54.780	322.24			
BTC	Medina (2021)	2.300	-	-	-	590.59	350 × f _b (BTC)
	Alvarez (2019)	3.600	41.660	208.500	590.59		
	Cañola <i>et al.</i> (2018)	*119.080	-	-	-		
Ladrillo de Arcilla	Berríos <i>et al.</i> (2015)	27.890	26.029	1,367.538	-	700 × f _b (Albañilería) 700 × f _b (C°A°)	
	Afanador <i>et al.</i> (2012, p.49)	24.167	-	2,941.996	-		

* Valores eliminados debido a la excesiva dispersión.

** Requiere de mayor información para ser validado.

Fuente. Datos de la Tabla 33, Tabla 34 y Tabla 35 del presente estudio, en contraste a diferentes investigaciones.

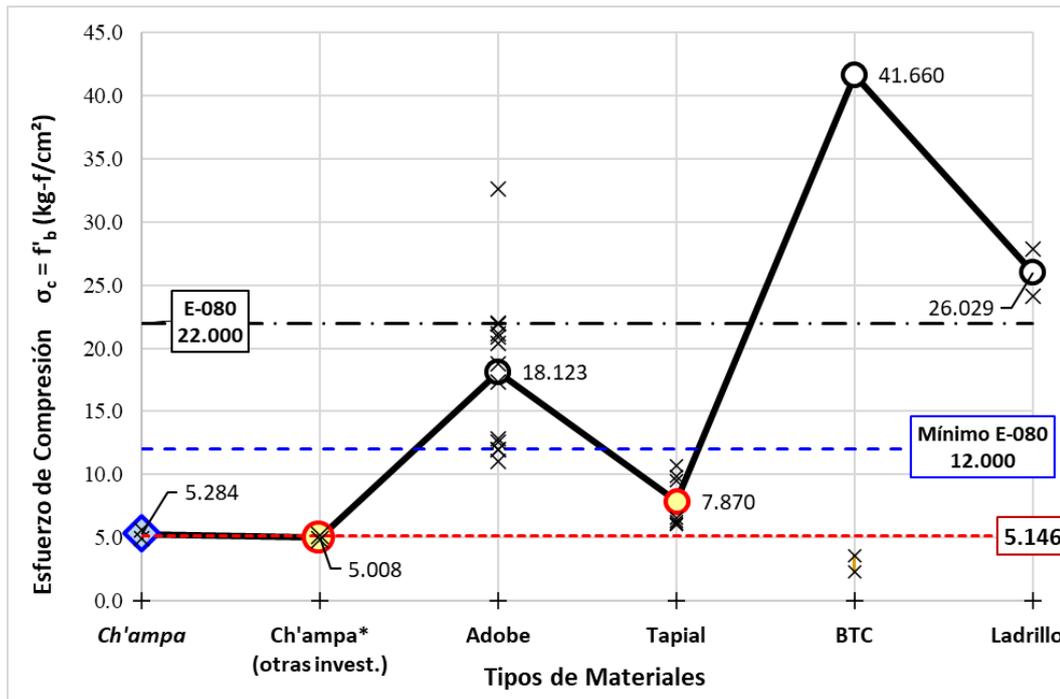


Figura 81. Comparación gráfica del esfuerzo de compresión entre materiales.

Nota. La línea roja representa en valor medio σ_c de la *Ch'ampa* (todas las investigaciones).

Fuente. Elaboración propia, en base a los datos de la Tabla 60.

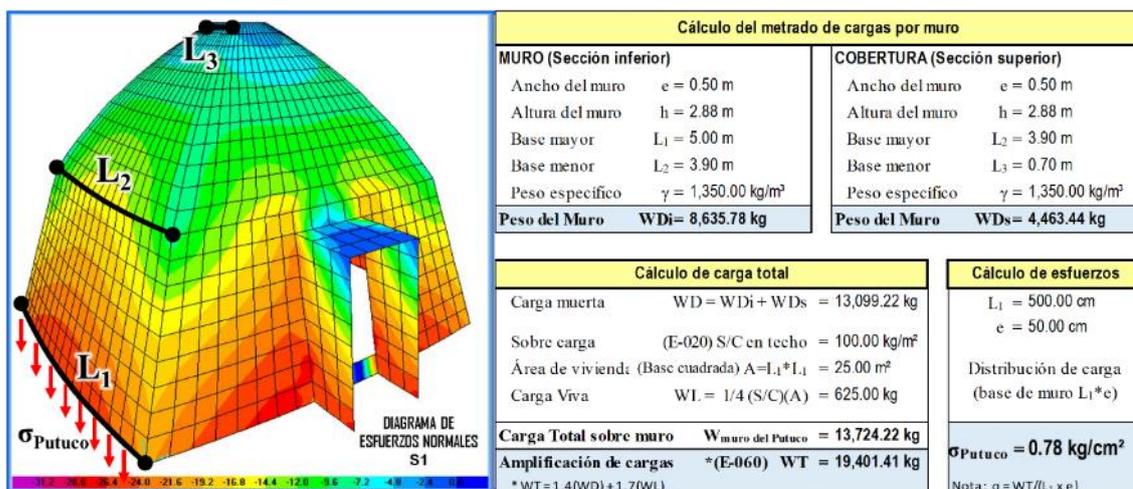


Figura 82. Metrado de cargas para un *Putuco* de 5m x 5m.

Fuente. Elaboración propia. Cálculo del metrado de cargas para evaluación estructural.

Esto implica que las capacidades resistentes de la *Ch'ampa* son mucho menores, pero, desarrollando un metrado de cargas (Norma E-020 y E-060) para una vivienda tradicional tipo *Putuco* tipo de 5.0 x 5.0 m en planta, 5.75m de altura y muros de 50cm de espesor, tal como se muestra en la Figura 82, La carga a compresión máxima en la base del muro es de $\sigma_{Putuco} = 0.776$ kg-f/cm², por lo que

los bloques de *Ch'ampa* cubren fácilmente este requerimiento, esto sustenta claramente el porqué del uso de este tipo de material tradicional.

4.2.12. Resistencia a la Flexión

Desarrollando un contraste de datos, según el estudio realizado se tiene que el esfuerzo promedio resistente a la flexión o flexionante ($\sigma_f = R_f$) de la *Ch'ampa* es: 3.831 kg-f/cm², aunque este valor puede ser diferente si se ensaya a la muestra con las plantas o tallos hacia arriba ($\sigma_f = 4.013$ kg-f/cm²) o con las raíces hacia arriba ($\sigma_f = 6.252$ kg-f/cm²), en este último caso se obtienen los mejores resultados; aunque deberían ser corroborados con una mayor profundidad de estudio. Además, se ha demostrado que las variables analizadas y contrastadas no cuentan con distribución normal por lo que, mediante estadística no paramétrica U de Mann-Whitney, se ha probado que el valor de σ_f de la *Ch'ampa* es estadísticamente semejante a las investigaciones realizadas por otros autores sobre la *Ch'ampa*, el Adobe y el Tapial. (Ver ítem 4.3.2.)

En base a estudios similares, pero con referencia a otros materiales, tenemos:

- Referente a la forma de ensayo de la *Ch'ampa*: Los resultados obtenidos han mostrado que la *Ch'ampa* con las raíces hacia arriba, tiene un mejor comportamiento de casi 55.82% que al ensayarlas con las raíces en la parte baja (los tallos hacia arriba), y esto se corresponde directamente a la costumbre de construir los *Putucos* bajo estas mismas características. Pero esta afirmación deberá ser corroborado en futuros estudios.
- Referente a la *Ch'ampa*: Los pocas investigaciones nacionales e internacionales realizadas previamente tienen un valor medio de $\sigma_f = 2.198$ kg-f/cm², algo menor pero semejante a la media PUCP-UNAP obtenida en el presente estudio, que es de $\sigma_c = 3.831$ kg-f/cm², validándose los resultados obtenidos.
- Referente al *Adobe*: Las investigaciones nacionales e internacionales han identificado un valor medio de $\sigma_f = 5.577$ kg-f/cm², el cual está por encima de la media, pero no mejora a los bloques que llevan las raíces en la parte superior, haciendo de la *Ch'ampa* un material

que puede soportar deformaciones debido a asentamientos de la estructura, pero estadísticamente hablando, estos valores se corresponden y/o son semejantes.

- Referente al **Tapial**: Las investigaciones nacionales e internacionales han identificado un valor medio de $\sigma_f = 1.694 \text{ kg-f/cm}^2$, el cual está por debajo de la media, haciendo del tapial un material menor resistente a deformaciones, pero estadísticamente hablando, estos valores se corresponden y/o son semejantes.

Todas estas consideraciones se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 61.

Contraste de resultados a flexión de la Ch'ampa con otros materiales.

Tipo de Material de Construcción		$\sigma_f = R_f$	
		(kg-f/cm ²)	(MPa)
Ch'ampa	Resultados del presente estudio PUCP	3.060	0.300
		5.356	0.525
	Resultados del presente estudio UNAP	* 4.013	* 0.393
		** 6.252	** 0.613
	Resultados in situ (campo)	3.078	0.302
	Gamio (2018)	3.454	0.339
Suaña (2004)	0.941	0.092	
Adobe	Resultados del presente estudio UNAP	3.146	0.309
	Laime (2020)	4.070	0.399
	Catalán <i>et al.</i> (2019)	5.303	0.520
	García (2017)	8.545	0.838
	Carhuanambo (2016)	9.810	0.962
	Ramírez (2016)	3.977	0.390
	Roux, Olivares, (2016)	2.780	0.273
	Adorni <i>et al.</i> (2013)	7.138	0.700
	Silveira <i>et al.</i> (2013)	2.549	0.250
	Suaña (2004)	8.450	0.829
Tapial	Malca (2020)	4.900	0.481
	Quispe (2019)	1.290	0.127
	Castillo <i>et al.</i> (2018)	1.428	0.140
	Afanador <i>et al.</i> (2013)	0.224	0.022
	Rauch (2001)	0.630	0.062

* Ensayo con bloque de Ch'ampa considerando plantas/tallos en la parte superior.

** Ensayo con bloque de Ch'ampa considerando raíces en la parte superior.

Fuente. Datos de la Tabla 38, Tabla 40, Tabla 41, Tabla 42 y Tabla 44 del presente estudio, en contraste a diferentes investigaciones.

El comportamiento a esfuerzos flexionantes de otros materiales semejantes de tierra cruda, el que tiene mejor comportamiento es la *Ch'ampa* ensayada con las raíces en la parte superior, logrando una resistencia mayor al 50% (55.87%) que la media de todos los resultados obtenidos (3.831 kg-f/cm²), obteniendo un valor promedio de 4.013 kg-f/cm² para los bloques con tallos en la parte superior, y un valor promedio de 6.252 kg-f/cm² para los bloques con las raíces en la parte superior (esta última es la que se usa empíricamente en la construcción de *Putucos*), tal como se puede ver en la *Figura 83*, de este grupo, el tapial es el menos eficiente.

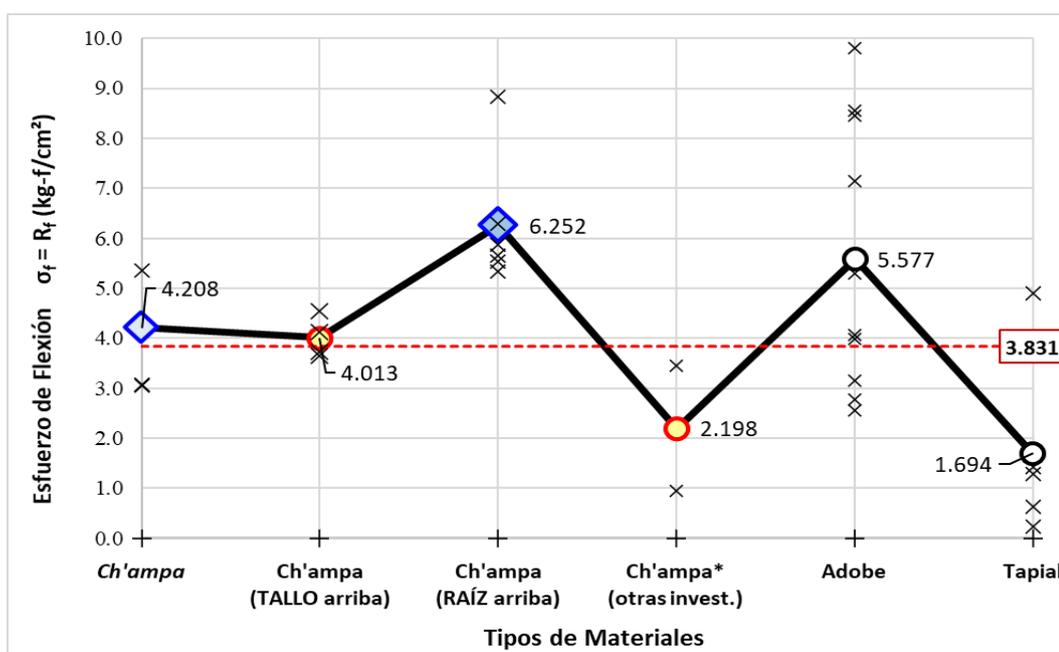


Figura 83. Comparación gráfica del esfuerzo de flexión entre diferentes materiales.

Nota. La línea roja (punteada) representa en valor medio σ_f de la *Ch'ampa* (todas las investigaciones).

Fuente. Elaboración propia, en base a los datos de la *Tabla 61*.

Desarrollando un análisis gráfico, se puede apreciar la notoria diferencia en los resultados del esfuerzo de flexión (*Figura 84*), ya que, al desechar un valor disperso, el promedio de la resistencia en muestras con la raíz en la parte superior (5.738 kg-f/cm²) es del 30.07% superior a las muestras que tiene el tallo y hojas en la parte superior (4.013 kg-f/cm²), esto demostraría —en forma preliminar— que sería recomendable usarlo en el proceso constructivo, el mismo que viene siendo usado (*Figura 85*) en base a conocimiento empírico en la construcción de viviendas denominadas *Putucos*.

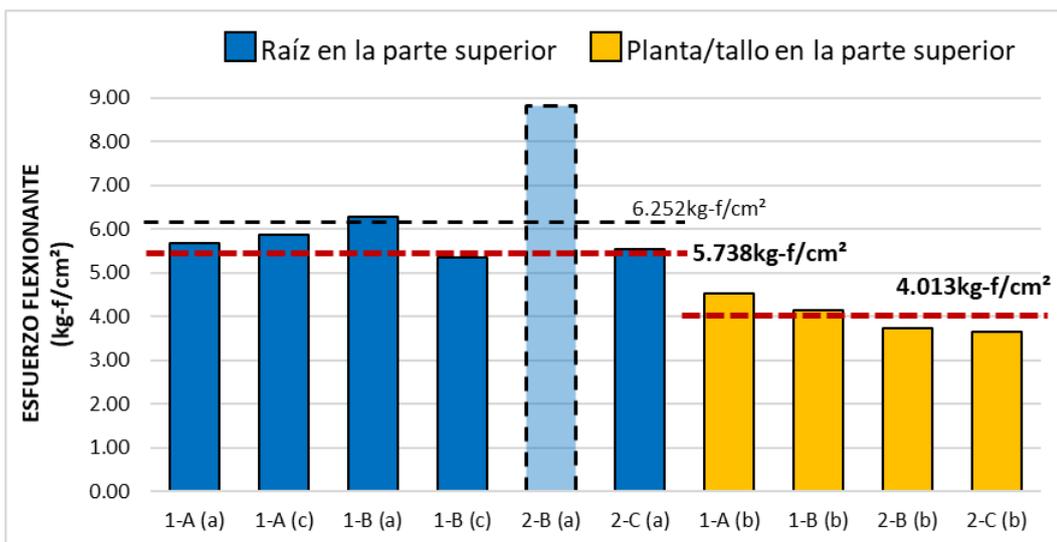


Figura 84. Promedio de esfuerzos según la posición del testigo a flexión.

Fuente. Elaboración propia, en base a los datos y codificación de la Tabla 40.



Figura 85. Disposición constructiva empírica de viviendas tipo Putuco.

Finalmente, como se aprecia en la Figura 86, Las viviendas de construcción tradicional, denominado *Putucos*, pueden soportar inclemencias climáticas, erosión, sobrecargas y deformaciones tanto del terreno de fundación, como de la estructura, con mejores resultados que el adobe, siendo por tanto una mejor opción a la hora de construir viviendas rurales de pequeñas dimensiones, pudiendo llegar a soportar más de 50 años de vida útil, ya que en la zona de estudio se ha logrado identificar viviendas de hasta 100 y 150 años, esto en base a las referencias de los habitantes de dichas viviendas, pero el mismo no fue comprobado científicamente.



Figura 86. Comparación de la resistencia de viviendas rurales con *Ch'ampa* y Adobe.

Nota. *Putuco* abandonado construido con *Ch'ampa*, con una antigüedad mayor a los 30 años, en comparación de un *Putuco* (derruido) construido con adobe, con 15 años de antigüedad.

4.3. Cumplimiento de Objetivos y Prueba de Hipótesis

Con la finalidad de plantear las conclusiones, es necesario verificar el grado de cumplimiento de los objetivos, la validación de datos y las respectivas pruebas de hipótesis que la sustenten, las mismas se explican y sustentan en esta sección.

4.3.1. Cumplimiento de objetivos

En esta sección se analiza el cumplimiento de cada uno de los objetivos (operacionales y específico) verificando su grado de cumplimiento en cada caso, en base a los alcances de los datos e interpretación de resultados, además del contraste con otros autores.

4.3.1.1. *Objetivos Específicos*

También denominado objetivos operacionales, son las estrategias para lograr el ¿Cómo? dar cumplimiento en forma coherente y ordenada al objetivo específico, sus alcances fueron plasmados en el Capítulo IV ítem 4.1, y pasaré a mostrar el grado de cumplimiento de los mismos.

OE-1: Determinar las propiedades físico mecánicas de la *Ch'ampa* como material de construcción para viviendas rurales.

Para verificar su cumplimiento se procedió de la siguiente forma:

Tabla 62.
Consideraciones para el cumplimiento del objetivo O_{E-1}.

N°	Propiedades	Descripción y detalle
1	Verificación de normas	Se ha identificado las normas y protocolos para cada ensayo realizado.
2	Muestreo para ensayos	Se ha identificado y optimizado la extracción de testigos, para la PUCP y UNAP. (Ver ítem 4.1.2. y Anexo 2)
3	Características	Se ha identificado las zonas de extracción de la <i>Ch'ampa</i> , las características y contenido de raíces. (Ver ítem 4.1.3.).
4	Contenido de humedad	Se ha determinado el contenido de humedad natural en % de la <i>Ch'ampa</i> secada por 20 días. (Ver ítem 4.1.4.)
5	Peso específico y unitario	Se ha determinado el peso específico de sólidos en gr/cm ³ y peso volumétrico o densidad natural tanto húmedo como seco en gr/cm ³ . (Ver ítem 4.1.5. y 4.1.6.)
6	Límites de consistencia	Se ha determinado el LL, LP e IP en % de la <i>Ch'ampa</i> o suelo/terreno de extracción. (Ver ítem 4.1.7.)
7	Análisis granulométrico	Se ha determinado la granulometría por tamizaje entre malla N° 3° y N° 200, y diámetros menores entre 0.038mm hasta 0.001mm. (Ver ítem 4.1.8.)
8	Permeabilidad	Se ha analizado la permeabilidad con carga constante o conductividad hidráulica en cm/s. (Ver ítem 4.1.9.)
9	Conductividad térmica	Se ha realizado la medición de flujo de calor de estado estacionario (transmisión térmica), obteniendo la conductividad térmica en W/mK. (Ver ítem 4.1.10.)
10	Compresión	Se ha determinado el esfuerzo por compresión en kg-f/cm ² , deformación en mm, el módulo de elasticidad E en MPa y la energía de deformación absorbida en MPa. (Ver ítem 4.1.11.)
11	Flexión	Se ha determinado el esfuerzo por flexión en kg-f/cm ² , desplazamiento en mm, energía de deformación absorbida en MPa y módulo de rotura en MPa. (Ver ítem 4.1.12.)

Bajo estas premisas, se ha cumplido con las consideraciones establecidas en el objetivo específico, incluso incrementando los alcances del mismo.

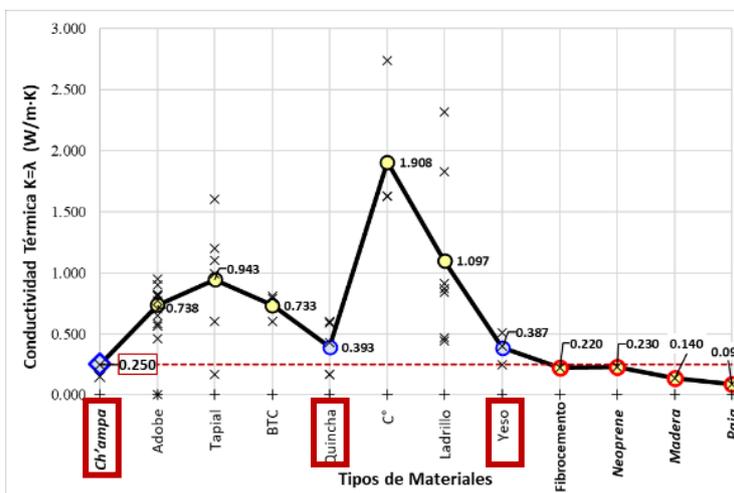
OE-2: Comparar las propiedades de permeabilidad y conductividad térmica con carga constante de la unidad constructiva denominada *Ch'ampa* con otros materiales tradicionales de tierra.

Para verificar su cumplimiento, se procedió de la siguiente forma:

Tabla 63.

Consideraciones para el cumplimiento del objetivo OE-2.

N°	Comparación	Descripción y detalle
1	Permeabilidad	Se ha identificado que la conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad de la <i>Ch'ampa</i> es cercano a 8×10^{-7} cm/s, considerando que valores menores a 1×10^{-7} cm/s son suelos prácticamente impermeables y el tipo de suelo predominante es ML. Siendo mucho mejor que otros materiales de construcción en base a tierra cruda, además de ser su estado formado en forma natural. (Ver ítem 4.2.9.)
2	Conductividad térmica	Se ha identificado que el coeficiente de conductividad térmica de la <i>Ch'ampa</i> es de 0.25 W/m·K, siendo significativamente mejor que el adobe, el tapial, el BTC, el concreto y el ladrillo, y estadísticamente semejante a la quincha y el acabado con yeso, e incluso equiparable al fibrocemento, el neoprene e incluso la madera. (Ver ítem 4.2.10. y Anexo 5)



Bajo estas premisas, la conductividad térmica de la *Ch'ampa* puede equipararse con materiales prefabricados como el fibrocemento, neoprene e incluso la madera, siendo ideal para soportar las bajas temperaturas del altiplano puneño, ya que mantiene una temperatura ideal (interna) en las viviendas tipo *Putuco*.

N°	Comparación	Descripción y detalle														
		<p>pero, para las cargas a las que está sometida las viviendas tipo <i>Putucos</i>, esta es suficiente, esto se ha demostrado por la perdurabilidad de dichas construcciones en el tiempo. (Ver ítem 4.2.11. y Anexo 5)</p> <table border="1"> <caption>Data for Compressive Effort Graph</caption> <thead> <tr> <th>Tipo de Material</th> <th>Esfuerzo de Compresión $\sigma_c = f_c$ (kg-f/cm²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ch'ampa</td> <td>5.284</td> </tr> <tr> <td>Ch'ampa* (otras invest.)</td> <td>5.008</td> </tr> <tr> <td>Adobe</td> <td>18.123</td> </tr> <tr> <td>Tapial</td> <td>7.870</td> </tr> <tr> <td>BTC</td> <td>41.660</td> </tr> <tr> <td>Ladrillo</td> <td>26.029</td> </tr> </tbody> </table>	Tipo de Material	Esfuerzo de Compresión $\sigma_c = f_c$ (kg-f/cm ²)	Ch'ampa	5.284	Ch'ampa* (otras invest.)	5.008	Adobe	18.123	Tapial	7.870	BTC	41.660	Ladrillo	26.029
Tipo de Material	Esfuerzo de Compresión $\sigma_c = f_c$ (kg-f/cm ²)															
Ch'ampa	5.284															
Ch'ampa* (otras invest.)	5.008															
Adobe	18.123															
Tapial	7.870															
BTC	41.660															
Ladrillo	26.029															
5	Esfuerzo flexionante	<p>Se ha identificado que la <i>Ch'ampa</i>, cuenta con un esfuerzo a flexión cercano a 4 kg-f/cm², equiparable al adobe y superior al tapial, pero dependiendo de la forma en la que se coloque (en obra), este valor puede llegar a alcanzar valores cercanos a 6 kg-f/cm², precisamente este criterio es usado en forma empírica para la construcción de los <i>Putucos</i>. (Ver ítem 4.2.12. y Anexo 5)</p> <table border="1"> <caption>Data for Flexion Effort Graph</caption> <thead> <tr> <th>Tipo de Material</th> <th>Esfuerzo de Flexión $\sigma_t = R_t$ (kg-f/cm²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ch'ampa</td> <td>4.208</td> </tr> <tr> <td>Ch'ampa (TALLO arriba)</td> <td>4.013</td> </tr> <tr> <td>Ch'ampa (RAÍZ arriba)</td> <td>6.252</td> </tr> <tr> <td>Ch'ampa* (otras invest.)</td> <td>2.198</td> </tr> <tr> <td>Adobe</td> <td>5.577</td> </tr> <tr> <td>Tapial</td> <td>1.694</td> </tr> </tbody> </table>	Tipo de Material	Esfuerzo de Flexión $\sigma_t = R_t$ (kg-f/cm ²)	Ch'ampa	4.208	Ch'ampa (TALLO arriba)	4.013	Ch'ampa (RAÍZ arriba)	6.252	Ch'ampa* (otras invest.)	2.198	Adobe	5.577	Tapial	1.694
Tipo de Material	Esfuerzo de Flexión $\sigma_t = R_t$ (kg-f/cm ²)															
Ch'ampa	4.208															
Ch'ampa (TALLO arriba)	4.013															
Ch'ampa (RAÍZ arriba)	6.252															
Ch'ampa* (otras invest.)	2.198															
Adobe	5.577															
Tapial	1.694															

Bajo estas premisas, la *Ch'ampa* cuenta con muchas propiedades físicas y mecánicas que la hacen un material ideal para la construcción, pudiendo soportar deformaciones en su estructura y cuenta además con la capacidad de adaptarse a ellas, consideraciones que hacen de los *Putucos*, viviendas que pueden perdurar por muchos años.

OE-4: Asociar las características físico mecánicas de la *Ch'ampa* con el uso tradicional en la construcción de viviendas rurales tipo *Putucos* en zonas alto andinas.

Para verificar su cumplimiento se procedió de la siguiente forma:

Tabla 65.

Consideraciones para el cumplimiento del objetivo OE-4.

N°	Propiedades	Descripción y detalle
1	Energía de fabricación	La <i>Ch'ampa</i> , a diferencia de algunos materiales, no requiere de un consumo de energía más allá del trabajo manual, ya que, al ser natural, no consume agua, carbón, energía eléctrica para su fabricación ni genera contaminantes que dañen el medio ambiente. (Ver ítem 4.2.3.)
2	Mortero natural	La <i>Ch'ampa</i> cuenta con un ligante natural que son las mismas raíces contenidas en el bloque, ya que estas continúan creciendo y se entrelazan a modo de mortero natural, esta característica es conocida y aprovechada empíricamente en la construcción de viviendas tradicionales denominados como <i>Putucos</i> . (Ver ítem 4.2.4.)
3	Trabajabilidad	La <i>Ch'ampa</i> cuenta con límites de consistencia que la hacen trabajable y manejable en obra, además de una flexibilidad que se puede adaptar a las deformaciones durante la vida útil de las viviendas tradicionales denominadas <i>Putucos</i> . (Ver ítem 4.2.6.)
4	Resistencia a inclemencias climáticas	La <i>Ch'ampa</i> ha demostrado ser un material prácticamente impermeable, a diferencia de otros materiales, ya que puede soportar la erosión, humedad, inundaciones y precipitaciones pluviales, lo que hace que pueda mantener el calor en climas extremos, siendo ideal en la construcción de viviendas tradicionales denominadas <i>Putucos</i> . (Ver ítem 4.2.9. y 4.2.10.)
5	Estabilidad	La <i>Ch'ampa</i> , aunque no cuenta con una gran capacidad para soportar cargas de gravedad, es flexible y adaptable, por tanto, puede soportar deformaciones estructurales debido a peso de la estructura y asentamientos diferenciales en el suelo de fundación, haciéndolo un material de bajo costo, fácil acceso e ideal para la construcción de viviendas tradicionales denominados <i>Putucos</i> . (Ver ítem 4.2.11. y 4.2.12.)
6	Tradición	Este material es usado para construir viviendas tradicionales denominadas <i>Putucos</i> , y las mismas representan una arquitectura única que debe ser rescatada y revalorada, pero primero es necesario conocer las condiciones técnicas y científicas que validen el material de construcción, considerándolo como <i>Etnoarquitectura</i> y <i>Etnoingeniería</i> , además de ser una tecnología tradicional y medioambiental usado en los andes puneños.

Bajo estas premisas, la *Ch'ampa*, más que un material adecuado para la construcción de viviendas rurales tradicionales, es una tradición que viene siendo usada en la construcción de viviendas vernaculares, que han perdurado y se han mantenido intactas a lo largo del tiempo, pero que requieren ser revaloradas, con investigaciones que sustenten el uso de las mismas (materiales tipo bloques de tierra cruda denominados *Ch'ampa*), y por qué no, ser el preámbulo para poderlo considerar dentro de las consideraciones de la norma peruana, además de difundir los hallazgos para crear una nueva línea de investigación.

4.3.1.2. *Objetivo General*

También denominado objetivo específico, es el resultado total de la investigación y responder el ¿Para qué?, de la investigación respondiendo a la pregunta de investigación, ya que busca identificar la especificidad o propósito del estudio en base a los objetivos operacionales.

OG: Asociar las características físico mecánicas con el uso en construcción, de la unidad constructiva denominada *Ch'ampa*, como Tecnología Tradicional y Medioambiental en la construcción de viviendas rurales tipo *Putucos*, en zonas altiplánicas de la región Puno, 2019-2021.

Para verificar su cumplimiento se ha estudiado sus propiedades físicas y mecánicas en laboratorio y concordado en base a las experiencias constructivas tradicionales y los resultados obtenidos en campo, corroborados con los objetivos operacionales.

Esto ha demostrado que la *Ch'ampa* tiene mejores características y algunas ventajas constructivas para climas tipo Cwb, en comparación al Adobe, el Tapial, el BTC y la Quincha, además de otros materiales de construcción, que garantizan un adecuado confort, especialmente el requerido para luchar contra las inclemencias climáticas de zonas alto andinas.

A continuación (*Tabla 66*), se presenta un resumen de comparaciones con el uso del diagrama de tornado:

Tabla 66.
Consideraciones para el cumplimiento del objetivo general.

Objetivo	Detalle	Diagrama de Tornado																					
Comparar y asociar <i>Ch'ampa</i> VS Adobe	<p>La <i>Ch'ampa</i> como material constructivo, tiene mejores ventajas que el adobe, mayor ahorro de energía en su elaboración, mejor eficiencia térmica y mayor esfuerzo flexionante.</p> <p>La única desventaja es la incapacidad de resistir esfuerzos a compresión según los requerimientos de la Norma E-080.</p>	<p>Diagrama de tornado <i>Ch'ampa</i> ↔ Adobe</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>Ch'ampa</th> <th>Adobe</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ahorro Energía</td> <td>100.00</td> <td>76.74</td> </tr> <tr> <td>Eficiencia Térmica</td> <td>95.00</td> <td>51.23</td> </tr> <tr> <td>σ Flexión</td> <td>62.52</td> <td>55.77</td> </tr> <tr> <td>σ Compresión</td> <td>25.64</td> <td>82.38</td> </tr> <tr> <td>LL</td> <td>42.33</td> <td>32.55</td> </tr> <tr> <td>LP</td> <td>32.33</td> <td>20.73</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	Ch'ampa	Adobe	Ahorro Energía	100.00	76.74	Eficiencia Térmica	95.00	51.23	σ Flexión	62.52	55.77	σ Compresión	25.64	82.38	LL	42.33	32.55	LP	32.33	20.73
Categoría	Ch'ampa	Adobe																					
Ahorro Energía	100.00	76.74																					
Eficiencia Térmica	95.00	51.23																					
σ Flexión	62.52	55.77																					
σ Compresión	25.64	82.38																					
LL	42.33	32.55																					
LP	32.33	20.73																					
Comparar y asociar <i>Ch'ampa</i> VS Tapial	<p>La <i>Ch'ampa</i> como material constructivo, tiene mejores ventajas que el tapial, mayor ahorro de energía en su elaboración, mejor eficiencia térmica y mayor esfuerzo flexionante.</p> <p>Comparte la desventaja para resistir esfuerzos a compresión según los requerimientos de la Norma E-080.</p>	<p>Diagrama de tornado <i>Ch'ampa</i> ↔ Tapial</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>Ch'ampa</th> <th>Tapial</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ahorro Energía</td> <td>100.00</td> <td>12.79</td> </tr> <tr> <td>Eficiencia Térmica</td> <td>95.00</td> <td>30.67</td> </tr> <tr> <td>σ Flexión</td> <td>62.52</td> <td>16.94</td> </tr> <tr> <td>σ Compresión</td> <td>25.64</td> <td>35.77</td> </tr> <tr> <td>LL</td> <td>42.33</td> <td>33.75</td> </tr> <tr> <td>LP</td> <td>32.33</td> <td>21.25</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	Ch'ampa	Tapial	Ahorro Energía	100.00	12.79	Eficiencia Térmica	95.00	30.67	σ Flexión	62.52	16.94	σ Compresión	25.64	35.77	LL	42.33	33.75	LP	32.33	21.25
Categoría	Ch'ampa	Tapial																					
Ahorro Energía	100.00	12.79																					
Eficiencia Térmica	95.00	30.67																					
σ Flexión	62.52	16.94																					
σ Compresión	25.64	35.77																					
LL	42.33	33.75																					
LP	32.33	21.25																					
Comparar y asociar <i>Ch'ampa</i> VS BTC	<p>La <i>Ch'ampa</i> como material constructivo, tiene mejores ventajas que el BTC, mejor eficiencia térmica y mayor esfuerzo flexionante.</p> <p>La única desventaja es la incapacidad de resistir esfuerzos a compresión, donde el BTC tiene una excelente eficiencia.</p> <p>Falta más información para contraste de datos.</p>	<p>Diagrama de tornado <i>Ch'ampa</i> ↔ BTC</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>Ch'ampa</th> <th>BTC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ahorro Energía</td> <td>100.00</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Eficiencia Térmica</td> <td>95.00</td> <td>51.67</td> </tr> <tr> <td>σ Flexión</td> <td>62.52</td> <td>39.04</td> </tr> <tr> <td>σ Compresión</td> <td>25.64</td> <td>100.00</td> </tr> <tr> <td>LL</td> <td>42.33</td> <td>37.89</td> </tr> <tr> <td>LP</td> <td>32.33</td> <td>26.02</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	Ch'ampa	BTC	Ahorro Energía	100.00	-	Eficiencia Térmica	95.00	51.67	σ Flexión	62.52	39.04	σ Compresión	25.64	100.00	LL	42.33	37.89	LP	32.33	26.02
Categoría	Ch'ampa	BTC																					
Ahorro Energía	100.00	-																					
Eficiencia Térmica	95.00	51.67																					
σ Flexión	62.52	39.04																					
σ Compresión	25.64	100.00																					
LL	42.33	37.89																					
LP	32.33	26.02																					

Objetivo	Detalle	Diagrama de Tornado																					
Comparar y asociar Ch'ampa VS Quincha	<p>La Ch'ampa como material constructivo, tiene mejores ventajas que la quincha, mejor eficiencia térmica y mayor esfuerzo a compresión.</p> <p>La única desventaja es que la quincha cuenta con un óptimo esfuerzo flexionante, debido a su estructura interna.</p> <p>Falta más información para contraste de datos.</p>	<p style="text-align: center;">Diagrama de tornado Ch'ampa ↔ Quincha</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>Ch'ampa</th> <th>Quincha</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ahorro Energía</td> <td>100.00</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Eficiencia Térmica</td> <td>95.00</td> <td>85.74</td> </tr> <tr> <td>σ Flexión</td> <td>62.52</td> <td>100.00</td> </tr> <tr> <td>σ Compresión</td> <td>25.64</td> <td>5.00</td> </tr> <tr> <td>LL</td> <td>42.33</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>LP</td> <td>32.33</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	Ch'ampa	Quincha	Ahorro Energía	100.00	-	Eficiencia Térmica	95.00	85.74	σ Flexión	62.52	100.00	σ Compresión	25.64	5.00	LL	42.33	-	LP	32.33	-
Categoría	Ch'ampa	Quincha																					
Ahorro Energía	100.00	-																					
Eficiencia Térmica	95.00	85.74																					
σ Flexión	62.52	100.00																					
σ Compresión	25.64	5.00																					
LL	42.33	-																					
LP	32.33	-																					

Fuente. Elaboración propia en base a la discusión de resultados del presente estudio.

Con lo mencionado y mostrado, se da validez a los datos y análisis obtenidos, y se corrobora el cumplimiento de los objetivos planteados, los mismos que dan pie a nuevas líneas de investigación y demuestran que la Ch'ampa cuenta con ciertas características que la hacen única en comparación a otros materiales como el Adobe y el Tapial, entre otros.

4.3.2. Pruebas de hipótesis

4.3.2.1. Hipótesis Específicas

También denominado hipótesis operacionales, para su análisis se ha desagregado cada variable y realizado la prueba de hipótesis estadística en forma independiente para cada caso, y pasaré a mostrar la validación e interpretación de los mismos.

HE-1: Las propiedades de permeabilidad y conductividad térmica con carga constante hacen que la Ch'ampa sea muy eficiente a las inclemencias climáticas alto andinas.

Según los resultados mostrados en la *Tabla 67*, se ha demostrado estadísticamente que el coeficiente de permeabilidad (k) hace que la Ch'ampa sea prácticamente impermeable y mucho mejor que el Adobe y el Tapial, pudiéndose equiparar al Concreto y Mortero especial.

Y según los resultados de la *Tabla 68*, el coeficiente de conductividad térmica (λ) es mucho mejor que la mayoría de materiales como el Adobe, el Tapial, BTC, Concreto y Ladrillo, pudiéndose equiparar a la Quincha, e incluso siendo tan eficiente como el Yeso.

Estas consideraciones hacen que la *Ch'ampa* sea muy eficiente a las inclemencias climáticas alto andinas, soportando la humedad y manteniendo el calor en forma óptima, validándose de esta forma la hipótesis H_{E-1} .

Tabla 67.

Comprobación de hipótesis H_{E-1} (coeficiente de permeabilidad).

H₀		El valor promedio del coeficiente de permeabilidad (k) de la <i>Ch'ampa</i> no es diferente al coeficiente de permeabilidad (k) de otros materiales.						
H₁		El valor promedio del coeficiente de permeabilidad (k) de la <i>Ch'ampa</i> es diferente al coeficiente de permeabilidad (k) de otros materiales.						
Coefficiente de permeabilidad "k" (cm/s)		Ch'ampa	Adobe	Tapial	Quincha	Concreto	Mortero	Yeso
Soil Conservation Service (Ver ítem 4.2.9.)	< 1.0×10^{-07}	X	-	-	-	X	X	-
	< 2.78×10^{-05}	X	-	-	-	X	-	-
	2.78×10^{-05} @ 1.4×10^{-04}	-	X	-	-	-	-	-
	1.39×10^{-04} @ 5.56×10^{-04}	-	X	X	-	-	-	-
	5.56×10^{-04} @ 1.81×10^{-03}	-	-	X	-	-	-	-
	> 6.950×10^{-03}	-	-	-	-	X	-	-
Decisión		-	H₁	H₁	-	H₀	H₀	-
		<ul style="list-style-type: none"> El valor promedio del coeficiente de permeabilidad (k) de la <i>Ch'ampa</i> es semejante al coeficiente de permeabilidad (k) del Concreto. El valor promedio del coeficiente de permeabilidad (k) de la <i>Ch'ampa</i> son diferentes al coeficiente de permeabilidad (k) del Adobe y Tapial. 						

Fuente. Interpretación propia, en base al análisis de la *Tabla 28* y *58* del presente estudio.

Tabla 68.

Comprobación de hipótesis H_{E-1} (conductividad térmica).

H₀		El valor promedio del coeficiente de conductividad térmica (λ) de la <i>Ch'ampa</i> no es diferente al coeficiente de conductividad térmica (λ) de otros materiales.						
H₁		El valor promedio del coeficiente de conductividad térmica (λ) de la <i>Ch'ampa</i> es diferente al coeficiente de conductividad térmica (λ) de otros materiales.						
Conductividad térmica de la Ch'ampa (W/m·K)		Adobe	Tapial	BTC	Quincha	Concreto	Ladrillo	Yeso
U de Mann-Whitney (Ver Anexo 4, ítem D.4.)	% (contraste)	29.3%	14.6%	7.3%	12.2%	9.8%	17.1%	7.3%
	Factor U	0.0	6.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.5
	Sig. Asintótica (p-valor)	0.0276	0.0403	0.0369	0.7664	0.0455	0.0396	0.3458
Decisión		H₁	H₁	H₁	H₀	H₁	H₁	H₀
		<ul style="list-style-type: none"> El valor promedio del coeficiente de conductividad térmica (λ) de la <i>Ch'ampa</i> son semejantes al coeficiente de conductividad térmica (λ) de la Quincha y el Yeso. El valor promedio del coeficiente de conductividad térmica (λ) de la <i>Ch'ampa</i> son diferentes al coeficiente de conductividad térmica (λ) del Adobe, Tapial, BTC, Concreto y Ladrillo. 						

Fuente. Interpretación propia, en base a la prueba de hipótesis del ítem D.4., del Anexo 4.

H_{E-2}: Las características físicas y mecánicas de la *Ch'ampa* son mejores a las de otras unidades constructivas de características similares en la construcción de viviendas rurales tipo *Putucos*.

Según los resultados mostrados en la *Tabla 69*, se ha demostrado estadísticamente que existe una alta correlación con un $R=98.74\%$ entre el peso y la cantidad de raíces como refuerzo de la *Ch'ampa*.

Según los resultados de la *Tabla 70*, se ha demostrado estadísticamente que el LL (%) de la *Ch'ampa* es semejante al Tapial y BTC, pero diferente del Adobe, y el LP (%) de la *Ch'ampa* es semejante al BTC, pero diferente al Adobe y el Tapial, haciéndolo más trabajable y manejable en el proceso constructivo.

Según los resultados de la *Tabla 71*, se ha demostrado estadísticamente que el valor promedio del esfuerzo resistente a compresión (σ_c) de la *Ch'ampa* es semejante al BTC, pero mucho menores que el Adobe, el Tapial y Ladrillo, haciéndolo menos resistente.

Y según los resultados de la *Tabla 72*, se ha demostrado estadísticamente que el valor promedio del esfuerzo resistente a flexión (σ_f) de la *Ch'ampa* es semejante al Adobe y el Tapial.

Estas consideraciones hacen que la *Ch'ampa* tenga una buena trabajabilidad y estabilidad para la construcción de viviendas, validándose parcialmente esta hipótesis H_{E-2}.

Tabla 69.
Comprobación de hipótesis H_{E-2} (contenido de raíces).

H₀ A mayor peso de la muestra no se tiene una mayor cantidad de raíces.			
H₁ A mayor peso de la muestra se tiene una mayor cantidad de raíces.			
Correlación de la cantidad de raíces			
	W_m	W_r	
Correlación de Pearson	Media	2,469.28 gr	248.32 gr
	Error estándar	310.64 gr	35.05 gr
	Valor de R	98.74%	
	Sig. Asintótica (p-valor)	7.394x10 ⁻⁷⁷	
(Ver Anexo 4, ítem D.2.)	H₁		
Decisión	<ul style="list-style-type: none"> ▪ En las nueve muestras analizadas se encontró que existe una alta correlación (98.74%) entre las variables, las que además tienen una relación directa, por tanto, a mayor peso de la muestra se tiene una mayor cantidad de raíces. 		

Tabla 70.

Comprobación de hipótesis H_{E-2} (límites de consistencia).

H₀		El valor promedio de los límites de consistencia de la <i>Ch'ampa</i> no es diferente a los límites de consistencia de otros materiales.					
H₁		El valor promedio de los límites de consistencia de la <i>Ch'ampa</i> es diferente a los límites de consistencia de otros materiales.					
Límites de Consistencia (%)		Adobe		Tapial		BTC	
		LL	LP	LL	LP	LL	LP
T de Student	Promedio (\bar{X})	32.499	20.729	33.750	21.250	37.890	26.023
	GL (T)	10	10	5	5	5	5
	Factor U	2.00	0.00	3.00	0.00	3.00	0.00
U de Mann-Whitney	Sig. Asintótica (p-valor T)	0.0099	0.00004	0.1808	0.00785	**0.5056	0.4697
	Sig. Asintótica (p-valor U)	0.0329	0.0124	0.2801	0.0308	0.7213	0.2845
	Decisión	H₁	H₁	H ₀	H₁	H ₀	H ₀
(Ver Anexo 4, ítem D.3.)		<ul style="list-style-type: none"> El valor promedio de los límites de consistencia (LL) de la <i>Ch'ampa</i> son semejantes a los límites de consistencia (LL) del Tapial y el BTC. El valor promedio de los límites de consistencia (LP) de la <i>Ch'ampa</i> son diferentes a los límites de consistencia (LP) del Adobe y del Tapial. 					

Tabla 71.

Comprobación de hipótesis H_{E-2} (esfuerzo a compresión).

H₀		El valor promedio del esfuerzo a compresión (σ_c) de la <i>Ch'ampa</i> no es diferente al esfuerzo a compresión (σ_c) de otros materiales.			
H₁		El valor promedio del esfuerzo a compresión (σ_c) de la <i>Ch'ampa</i> es diferente al esfuerzo a compresión (σ_c) de otros materiales.			
Esfuerzo de compresión de la <i>Ch'ampa</i> (kg/cm ²)		Adobe	Tapial	BTC	Ladrillo
T de Student	Promedio (\bar{X})	18.123	7.870	2.950	26.029
	GL (T)	13	7	2	2
	Factor U	0.0	0.0	0.0	0.0
U de Mann-Whitney	Sig. Asintótica (p-valor T)	0.0129	0.1366	0.0876	0.0082
	Sig. Asintótica (p-valor U)	0.0271	0.0404	0.1213	0.0565
	Decisión	H₁	H₁	H ₀	H₁
(Ver Anexo 4, ítem D.5.)		<ul style="list-style-type: none"> El valor promedio del esfuerzo a compresión (σ_c) de la <i>Ch'ampa</i> es semejante al esfuerzo a compresión (σ_c) del BTC. El valor promedio del esfuerzo a compresión (σ_c) de la <i>Ch'ampa</i> son diferentes al esfuerzo a compresión (σ_c) del Adobe, Tapial y Ladrillo. 			

Fuente. Interpretación propia, en base a la prueba de hipótesis del ítem D.5., del Anexo 4.

Tabla 72.

Comprobación de hipótesis H_{E-2} (esfuerzo a tracción).

H₀		El valor promedio del esfuerzo a flexión (σ_f) de la <i>Ch'ampa</i> no es diferente al esfuerzo a flexión (σ_f) de otros materiales.	
H₁		El valor promedio del esfuerzo a flexión (σ_f) de la <i>Ch'ampa</i> es diferente al esfuerzo a flexión (σ_f) de otros materiales.	
Esfuerzo de flexión de la <i>Ch'ampa</i> (kg/cm ²)		Adobe	Tapial
	Promedio (\bar{X})	5.577	1.694
	GL (T)	11	6

Esfuerzo de flexión de la <i>Ch'ampa</i> (kg/cm ²)		Adobe	Tapial
T de Student	Factor U	10.0	2.0
	Sig. Asintótica (p-valor T)	0.3115	0.1355
U de Mann-Whitney	Sig. Asintótica (p-valor U)	0.3980	0.1011
		H ₀	H ₀
(Ver Anexo 4, ítem D.6.)	Decisión	▪ El valor promedio del esfuerzo a flexión (σ_f) de la <i>Ch'ampa</i> son semejantes al esfuerzo a flexión (σ_f) del Adobe y Tapial.	

Fuente. Interpretación propia, en base a la prueba de hipótesis del ítem D.6., del Anexo 4.

H_{E-3}: Existe asociación entre las características físico mecánicas de la *Ch'ampa* con el uso en la construcción de viviendas rurales tipo *Putucos* en zonas alto andinas.

Según los resultados de la Tabla 73, se puede tomar la decisión de que la *Ch'ampa* tiene mejores características constructivas que otros materiales semejantes, por lo cual existe asociación directa entre el uso de los bloques de *Ch'ampa* con la construcción de viviendas tipo *Putucos*, validándose parcialmente esta hipótesis H_{E-3}.

Tabla 73.

Comprobación de hipótesis H_{E-3} (mejores características).

H₀ La <i>Ch'ampa</i> no tiene mejores características constructivas que otros materiales de construcción, para viviendas rurales tipo <i>Putucos</i> .								
H₁ La <i>Ch'ampa</i> tiene mejores características constructivas que otros materiales de construcción, para viviendas rurales tipo <i>Putucos</i> .								
Asociación cualitativa con las características constructivas	<i>Ch'ampa</i> Adobe Tapial BTC Quincha Concreto Ladrillo							
En base a los resultados de la investigación con validación ORDINAL 1 = menor eficiencia. 5 = máxima eficiencia.	Costo	5	4	3	5	3	1	2
	Trabajabilidad	5	2	2	2	3	4	3
	Resistencia	1	3	2	4	1	5	4
	Flexibilidad	4	1	1	2	5	3	2
	Permeabilidad	5	1	1	2	1	5	3
	Confort térmico	5	3	2	2	5	1	3
	Tradición	5	5	5	1	5	1	1
	Total	25	19	16	18	23	20	18
		H₁						
Decisión	▪ La <i>Ch'ampa</i> tiene mejores características constructivas que otros materiales de construcción, para viviendas rurales tipo <i>Putucos</i> .							

Fuente. Interpretación propia, en base a los resultados del estudio.

4.3.2.2. *Hipótesis General*

También denominado hipótesis específica, es la que intenta responder de forma amplia a las dudas con las que se partieron previo al desarrollo de la investigación, acerca de la relación que existe entre las variables de estudio.

H_G: La unidad constructiva conocida como *Ch'ampa* usada como Tecnología Tradicional y Medioambiental en la construcción de viviendas rurales tipo *Putucos* en zonas altiplánicas tiene unas mejores propiedades de confort que otros materiales tradicionales.

Según los resultados obtenidos en las hipótesis operacionales, se puede afirmar que la *Ch'ampa* tiene mejores características constructivas, por lo que es usado; aunque en la actualidad en forma empírica; como una tecnología tradicional y medioambiental en zonas con características climáticas Cwb para la construcción de viviendas rurales denominadas *Putucos*.

Por lo que este estudio permitió brindar información técnica y científica importante para validar el su uso de la *Ch'ampa* en la construcción de viviendas, validándose cualitativamente de esta forma la hipótesis general H_G del presente estudio.

4.3.3. **Mitos y ritos en la construcción**

En el proceso de la presente investigación, se ha identificado que en la construcción de viviendas tradicionales existen mitos y ritos en el proceso constructivo. Considero, que debería profundizarse en su estudio.

Por ejemplo: Pedir permiso a la madre tierra o *Pachamama*, para seleccionar la zona en la que se emplazará la vivienda con la aplicación de un ritual específico, solicitar el mismo permiso para extraer las *Ch'ampas* del terreno, al iniciar con el proceso constructivo, al concluir con la vivienda y para santificarla antes de que sea usada. Una de las más curiosas es la costumbre de construir la vivienda en un solo día de trabajo teniendo los materiales a mano.

Nota: Estos aspectos no fueron profundizados por escapar del alcance del presente estudio.

CONCLUSIONES

Los bloques de *Ch'ampa* tienen una característica que no comparten con ningún otro material constructivo, el cual es un refuerzo interno a modo de ligante o adherente natural, formado por las raíces, en un porcentaje cercano al 10% de su peso, esta característica le brinda una gran capacidad de soportar deformaciones y sirve además para que se pueda entrelazarse con otros bloques adyacentes una vez apilados en los muros de la vivienda, por tanto no suele usarse ningún tipo de mortero o ligante adicional en el proceso de construcción de las viviendas denominadas *Putucos*.

Los resultados del ensayo para determinar índices y permeabilidad de la *Ch'ampa* como bloque de construcción tradicional, lo caracteriza como un material óptimo para ser usado en construcciones de tierra cruda o también denominado césped natural, ya que, según la clasificación de su composición, es un suelo limo de baja plasticidad (ML), que cuenta con un porcentaje de arcilla de 17% a 25%, lo cual le brinda una plasticidad ideal para ser usado como material de construcción. Considerando además que en la Norma E-80 del Reglamento Nacional de Construcciones (2017), se exige que el adobe y/o tapial, tenga entre un 10% a 30% de arcilla en el proceso de su fabricación.

Referente a la permeabilidad, la *Ch'ampa* puede considerarse como un material de construcción prácticamente impermeable con valores de k entre 1×10^{-6} cm/s y 1×10^{-7} cm/s, haciéndolo resistente a la humedad extrema e incluso a inundaciones prolongadas y muy frecuentes en la zona de estudio.

Referente a su conductividad y resistencia térmica, la *Ch'ampa* tiene un valor promedio de $K = \lambda = 0.25$ W/m·K, el mismo que es 65% más óptimo que el adobe, 77% más óptimo que el tapial, 90% más óptimo que el concreto y ladrillo, esto comparado a los estudios realizados por diversos autores. Haciendo de la *Ch'ampa* un material ideal para ser usado en climas con frío extremo, por su capacidad de mantener la temperatura interna y el confort de la vivienda tradicional.

Las propiedades físico mecánicas del bloque de albañilería tradicional denominado *Ch'ampa*, el cual es usado como material de construcción para viviendas denominadas *Putucos*, presenta un esfuerzo a la compresión promedio de $f_b = 5.284$ kg-f/cm², que representa un 47% del mínimo requerido por la Norma E-080 y 37% del adobe y 65% del tapial, según los resultados obtenidos por diversos autores. Pero debe tomarse en cuenta

que en base a la carga muerta (CM) de la vivienda tipo *Putuco*, más bien está por encima del 45% necesario para que la vivienda sea estable, considerando un límite de construcción de 4.0 m de altura. En el caso de los esfuerzos a flexión, la *Ch'ampa* se encuentra a un 95% del adobe y supera en un 75% al tapial, según los resultados obtenidos por diversos autores. Esto hace que sea considerado un material resistente y adaptable que puede soportar deformaciones por encima tanto del adobe como tapial.

Al comparar las características físicas y mecánicas de la *Ch'ampa* con otras unidades constructivas de características similares (tierra cruda) en la construcción de viviendas rurales tipo *Putucos*, se llega a la conclusión que para viviendas pequeñas sus propiedades físicas son ideales, además de hacerlo muy flexible y adaptable a las deformaciones que suelen generar fallas o fisuras en otros materiales como el adobe y tapial, también es altamente resistente a la erosión por precipitaciones pluviales e ideal para soportar climas extremos con temperaturas que varían rápidamente entre el día y la noche, cosa que no ocurre con la capacidad de soportar las variaciones de temperatura del concreto por ejemplo y es superado con un valor cercano al 100% por la *Ch'ampa*. Además de ser resistente para soportar cargas de viviendas pequeñas; en este caso *Putucos*; y amigable con el medio ambiente.

El manejo y manipulación del material (moldeado y adaptación de los bloques de *Ch'ampa*) es amigable, trabajable y de fácil acceso para los usuarios, pudiendo desarrollar la construcción de viviendas tradicionales tipo *Putucos* en un día de trabajo (según su propia tradición, ya que esto es un buen augurio para la futura familia que lo utilizará), sin la necesidad de requerir una estructura de cimentación (los *Putucos* no llevan cimientos, son construidos directamente sobre el terreno seleccionado previamente).

Al ser un material amigable, de fácil manipulación, adaptable, biodegradable y que además es renovable y auto regenerable en el tiempo, la *Ch'ampa* es un material atípico, debido a que no existen antecedentes ni normativas que regulen su manejo en la construcción. El presente estudio ha demostrado un comportamiento ideal que brinda grandes ventajas constructivas y prueban que el ingenio de los constructores prehispánicos superaba las expectativas que tradicionalmente se consideraban primitivas y poco fiables, generando el fundamento ideal para identificar a estas tradiciones como *etnoingeniería tradicional constructiva* en la construcción de *Putucos*, que es una arquitectura tradicional que debe ser revalorada para el disfrute de futuras generaciones.

RECOMENDACIONES

Es necesario considerar que la obtención y contraste de resultados de las propiedades físico mecánicas de la *Ch'ampa* como material de construcción para viviendas rurales debe ser ampliado, a fin de poder establecer criterios para una propuesta de reglamentación nacional o al menos para generar criterios técnicos para la manipulación y control de calidad de este bloque de construcción tradicional.

Se requiere ampliar el horizonte de estudio referente a las propiedades del material según la posición del apilado de los bloques, ya que podrían corroborarse los resultados hipotéticos planteados en el presente estudio. Por tanto sería ideal seguir profundizando el estudio de la *Ch'ampa*, aspectos que aportarán mayor información para validar los resultados presentados en el presente trabajo de investigación.

Considérese también; en base a los resultados de conductividad térmica; la implantación de una futura línea de investigación sobre el estudio de asoleamiento, captación y conservación de energía calorífica en módulos de vivienda tradicional.

Debe considerarse necesariamente como una futura línea de investigación, al desarrollo de estabilidad estructural en base a los resultados obtenidos, complementado con el estudio del modelado matemático y comportamiento estructural ideal de los módulos de vivienda tradicional denominados *Putucos*, de tal forma poder fundamentar el constructo teórico del término: *Etnoingeniería*.

FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

1. Confort térmico en viviendas rurales tradicionales.
2. Asoleamiento, captación y conservación de energía calorífica en módulos de vivienda tradicional.
3. Estudio de la erosión del material denominado *Ch'ampa*.
4. Estabilidad estructural de viviendas tradicionales denominadas *Putucos*.
5. Mitos y ritos en la construcción de viviendas tradicionales.

BIBLIOGRAFÍA

- Adorni, E., Coisson, E. and Ferretti, D. (2013). In situ characterization of archaeological adobe bricks. *Construction and Building Materials*, 40(1), 1-9. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.004>
- Afanador García, N., Carrascal Delgado, M. y Bayona Chinchilla. M. J. (2013). Experimentación, comportamiento y modelación de la tapia pisada. *Revista Facultad de Ingeniería UPTC Colombia*, 22(35), 47-59. doi: <https://doi.org/10.19053/01211129.2514>
- Afanador García, N., Guerrero Gómez, G. y Monroy Sepúlveda, R. (2012). Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 22(1), 43-58. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91125275003>
- Alfaro, D. C. A. y Mora, F. A. (2014). *Modelo físico para la medición de la permeabilidad en suelos cohesivos (cabeza variable)* (Tesis). Prog. de Ingeniería Civil, Fac. de Ingeniería, Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C. uri: <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/1684>.
- Al-Sakkafl, Y. K. and Abdullah, G. M. S. (2021). Soil Properties for Earthen Building Construction in Najran City, Saudi Arabia. *Computers, Materials & Continua*. 67(1), 127-140. doi: <https://doi.org/10.32604/cmc.2021.014438>
- Alvarez Ordoñez, S. Y. (2019). *Comparación de las propiedades mecánicas de unidades y prismas de bloques de tierra comprimida estabilizada con cemento y geopolímero de puzolana* (Tesis de maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú. uri: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/13435>
- Alvarez Rozo, D. C., Sánchez Molina, J., Corpas Iglesias, F. A. y Gelves, J. F. (2018). Características de las materias primas usadas por las empresas del sector cerámico del área metropolitana de Cúcuta. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio Colombia*, 57(1), 247-256. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2018.04.002>
- Angelone, S., Garibay, M. T. y Cauhapé Casaux, M. (2006). *Permeabilidad de suelos* (1.^a ed.). Rosario, Santa Fe, Argentina: Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura.

- Arancibia, R. (2013). *Medida de la conductividad térmica con el método de la aguja térmica, basado en la fuente lineal de calor transitorio, para su aplicación en los cerramientos de adobes y bloques de tierra comprimida* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, España. Recuperado de: <http://oa.upm.es/21903/>
- Arias, P. E., Morales, R. F., y Orjuela, J. I. (2010). Etnomatemática y la Construcción Civil. *Revista Latinoamericana de Etnomatemática*, 03(1), 4-30. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=274019748001>
- Arnold, P. J. (1969). Thermal conductivity of masonry materials. *The Journal of the Institution of Heating and Ventilating Engineers*, 37(11), 101-108. doi: <https://doi.org/10.1177/17442591211009549>
- Arqhys. (2017). *Quincha – Procedimiento de construcción* [Online]. Recuperado el 08 de agosto de 2021 de <http://www.arqhys.com/articulos/quincha-procedimiento-construccion.html>
- Bachelard, G. (1989, r 2008). *A Poética do Espaço*. São Paulo: Martins fontes.
- Berrios Alvarado, G. J. y Gómez Bonilla, J. H. (2015). *Revisión de la metodología de evaluación de la resistencia a la compresión de la mampostería de ladrillo de barro cocido* (Tesis). Universidad del Salvador, Centro América. uri: <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/8652>
- Bestraten Castells, S., Hormías Laperal, E., y Altemir Montaner, A. (2011). Construcción con tierra en el siglo XXI. *Informes de la Construcción*, 63(523), 5-20. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.10.046>
- Blanco Montero, C. y Morales Pereyra, P. (2010). *Mejora de las condiciones de habitabilidad básica en el marco del Programa Oxlañuj Tz'ikin*. Ficha elaborada durante su estancia en Guatemala, en el Proyecto de Conocimiento de la Realidad (PCR), dentro del Proyecto de ASF/ASIAPRODI. Guatemala.
- Blasco I., Albarracín O., Hodalgo E., Dubós A., Pereyra A., Flores M., y Merino, N. (2002). *Construcción de salón comunitario en suelo-cemento*. 1er Seminario - exposición -Consortio Terra cono-sur. La tierra cruda en la construcción del habitat, (p. 10).

- Blondet, M., Vargas, J., Tarque, N. y Iwaki, C. (2011). Construcción sismorresistente en tierra: la gran experiencia contemporánea de la Pontificia Universidad Católica del Perú. *Informes la Construcción Perú*, 63(523), 41–50. doi: <https://doi.org/10.3989/ic.10.017>
- Burga Bartra, J. (2010). *Arquitectura vernácula peruana, un análisis tipológico* (1.^a ed.). Lima, Perú: Ed. Colegio de Arquitectos de Perú.
- Campana Delgado, C. (2000). *Tecnologías constructivas de tierra en la costa norte Prehispánica* (1.^a ed.). La Libertad, Trujillo, Perú: Instituto Nacional de Cultura.
- Canales Vargas, M. A. (2018). *Variables Macroeconómicas que Impactan en el Costo de Financiamiento de las Empresas Productoras de Cemento del País* (Tesis de Maestría). Universidad Inca Garcilaso de la Vega, Lima, Perú. uri: <http://repositorio.uigv.edu.pe/handle/20.500.11818/2667>
- Cañola, H. D., Builes Jaramillo, A., Medina, C. A. y González Castañeda, G. E. (2018). Bloques de Tierra Comprimida (BTC) con aditivos bituminosos. *Revista TecnoLógicas*, 21(43), 135-145. doi: <https://doi.org/10.22430/22565337.1061>
- Carhuanambo Villanueva, J. T. (2016). *Propiedades mecánicas y físicas del adobe compactado con adición de viruta y aserrín* (Tesis). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. uri: <https://hdl.handle.net/11537/14758>
- Castellarnau Visús, À. (2020). *Caracterización del comportamiento térmico de un muro de tapia mediante la termofluxometría*. España: Ed. Restauro. Recuperado el 12 de diciembre de 2020 de: <https://editorialrestauro.com.mx/caracterizacion-del-comportamiento-termico-de-un-muro-de-tapia-mediante-la-termofluxometria/>
- Castillo Valencia, W., Areiza Palma, G. y Coral Moncayo, H. (2018). Comportamiento físico mecánico de la tapia por pandeo y conexión de esquina. Caso Teatro Imperial de Pasto. *INGE CUC*, 04(2), 81-96. doi: <http://doi.org/10.17981/ingecuc.14.2.2018.08>
- Catalán Quiroz, P., Moreno Martínez, J. Y., Galván, A. y Arroyo Matus, R. (2019). Obtención de las propiedades mecánicas de la mampostería de adobe

- mediante ensayos de laboratorio. *Multidisciplinary Scientific Journal, Acta Universitaria*, 29 (e1861). doi: <http://doi.org/10.15174/au.2019.1861>
- Chirinos Ogata, P. (2010). La aplicación de reconstrucciones digitales para la conservación de patrimonio: Aportes preliminares sobre el caso de Chan Chan. *Arkeos, Revista Electrónica de Arqueología PUCP*, 05(2), 1-10.
- Chuqui Paucar, W. y Challco Ruelas, R. A. (2018). *Evaluación de las propiedades mecánicas de muros tipo tapial para viviendas económicas con presencia de hiladas de mortero de cemento – arena* (Tesis). Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Perú. uri: <http://hdl.handle.net/20.500.12918/3489>
- Cid, J., Mazarrón, F. R. and Cañas, L. (2011). The earth building normative documents in the world. *Informes de la Construcción*, 63(523), 159–169. doi: <https://doi.org/10.3989/ic.10.011>
- Cid Falceto, J. J. (2012). *Durabilidad de los bloques de tierra comprimida. Evaluación y recomendaciones para la normalización de los ensayos de erosión y absorción* (Tesis doctoral). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, España. Recuperado de: <https://oa.upm.es/14647/>
- Critchfield, H. J. (1983). *General Climatology. Criteria for classification of major climatic types in modified Köppen system* (4.^a ed.). University of Idaho: Prentice Hall.
- Cuitiño Rosales, M. G., Esteves Miramont, A., Maldonado, G., y Rotondoro, R. (2015). Análisis de la transmitancia térmica y resistencia al impacto de los muros de quincha. *Informes de la Construcción España*, 67(537), 63. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.12.082>
- Cuitiño Rosales, M. G. and Esteves Miramont, A. (2018). Wattle and Daub Experimental Workshop: Durability Testing after 14 years of Uninterrupted Use. *EJERS, European Journal of Engineering Research and Science Spain*, 03(12), 78-83. doi: <http://dx.doi.org/10.24018/ejers.2018.3.12.1024>
- Cuitiño Rosales, M. G., Rotondaro, R. y Esteves, A. (2020). Análisis comparativo de aspectos térmicos y resistencias mecánicas de los materiales y los elementos

- de la construcción con tierra. *Revista de Arquitectura* (Bogotá), 22(01), 138-151. doi: <http://dx.doi.org/10.14718/RevArq.2020.2348>
- Dias, D., Costa, C., e Palhares, P. (2015). Sobre as casas tradicionais de pau-a-pique do grupo étnico Nyaneka-nkhumbi do Sudoeste de Angola. *Revista Latinoamericana de Etnomatemática*, 08(01), 10-28.
- Donkor, P. and Obonyo, E. (2015). Earthen construction materials: Assessing the feasibility of improving strength and deformability of compressed earth blocks using polypropylene fibers. *Materials & Design*, 83(01), 813–819. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2015.06.017>
- Duarte Carlos, G., Alcindor, M., y Correia, M. (2018). Arquitectura tradicional de tierra en Europa: un patrimonio de entramado y encestado, adobe, tapia y pared de mano. *Anales del Instituto de Arte Americano e Investigaciones Estéticas Argentina*. Ed. Mario J. Buschiazzo, 48(02), 239-256.
- EBASL. (2017). *Construir una casa con tapial, tu vivienda sostenible* [Online]. Recuperado el 26 de diciembre de 2019 de: <http://ebasl.es/construir-una-casa-con-tapial/>
- Escalante Moscoso, J. F. (1994). *Arquitectura prehispánica en los andes bolivianos* (2.^a ed.). La Paz, Bolivia: Producciones CIMA.
- Escalante Moscoso, J. F. (1996). *De la caverna a la metrópoli, 5000 años de arquitectura* (1.^a ed., 2.^a ed. 2001). La Paz, Bolivia: Producciones CIMA.
- Eudomus. (2017). *Cómo hacer Ladrillos de Adobe*. [Online]. Recuperado el 20 de diciembre de 2019 de: <http://eudomus.com/como-hacer-ladrillos-de-adobe/>
- Evans, J., Schiller, S., y Garzón, L. (2012). Desempeño térmico de viviendas construidas con quincha. *Construcción con tierra*, 01(05), 93-102. Recuperado de: <https://publicacionescientificas.fadu.uba.ar/index.php/construccioncon tierra/article/view/979>
- Fernández, J. E., Esteves, A., Oviedo, G. y Buenanueva, F. (2005). La quincha, una tecnología alternativa eficiente para la autoconstrucción. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 09(01), 25-29.
- Fierro Losada, J. A., Parra Gómez, A. F. y Vásquez Olaya, C. A. (2017). *Determinación del coeficiente de permeabilidad de las comunas 1, 3 y 5 del*

- municipio de Girardot - Cundinamarca* (Tesis). Universidad Piloto de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil, Alto Magdalena, Colombia. uri: <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/5643>
- Font Mezquita, F. y Hidalgo, P. (2009). *Arquitecturas de Tapia* (1.^a ed.). Castellón, España: Ed. Castelló de la Plana Col·legi d'arquitectes de Catalunya, Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos AATT.
- Gabril, N. M. S. (2014). *Thermal Comfort and Building Design Strategies for Low Energy Houses in Libya. Lessons from the vernacular architecture* (Tesis para Doctorado en Filosofía PhD). University of Westminster, Faculty of Architecture and the Built Environment, Central London.
- Gaete Cruz, M. (2010). *Estrategias morfológicas de diseño sismo resistente para la construcción contemporánea en tierra portante* (Avances de la Tesis Proyectual para optar al grado de Magister). Pontificia Universidad Católica de Chile. Recuperado de: <http://docplayer.es/200107933-Estrategias-morfologicas-de-diseno-sismo-resistente-para-la-construccion-contemporanea-en-tierra-portante.html>
- Gamio Felipa, A. L. (2017). Comparación del sistema constructivo de Putucos con otros sistemas constructivos en tierra. *Anales de Edificación España*, 03(02), 1-8. doi: <https://doi.org/10.20868/ade.2017.3566>
- Gamio Felipa, A. L. (2018). *Análisis de las Características Mecánicas y Físicas de la Unidad de Construcción Ancestral, Denominada Putuco, Situada en el Altiplano Peruano* (Tesis de fin de Máster). Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior E.T.S. de Edificación (UPM) España. Recuperado de: <http://oa.upm.es/view/institution/Edificacion/>
- García Gómez, I. (2017). *Estudio de permeabilidad en el adobe implementando agregados naturales* (Tesis). Universidad Tecnológica de la Mixteca, Huajuapán de León, México. Recuperado de: <https://1library.co/document/1y9w20jz-pdf.html>
- García León, R. A. y Bolívar León, R. (2017). Caracterización hidrométrica de las arcillas utilizadas en la fabricación de productos cerámicos en Ocaña, Norte de Santander. *Revista INGE CUC*, 13(01), 53-60. doi: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.13.1.2017.05>

- García León, R. A., Flóres Solano, E. y Rodríguez Castilla, M. M. (2018). Diseño de mezclas para la fabricación de productos de mampostería en la industria cerámica. *Revista Politécnica*, 14(26), 19-28. doi: <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v14n26a2>
- Gatti, F (2012). *Arquitectura y construcción en tierra: estudio comparativo de las técnicas contemporáneas en tierra* (Tesis de fin de Máster). Universidad Politécnica de Catalunya, Máster Oficial en Tecnología de la Arquitectura, España. uri: <http://hdl.handle.net/2099.1/16141>
- Gaviorno, S. (2016). *Curso taller de bioconstrucción y tecnologías apropiadas. Bioconstrucción, Formas y Patrones Naturales* [PDF]. Recuperado el 15 de enero de 2021 de: <http://es.slideshare.net/SebastianGaviorno/apunte-n1-curso-bioconstrucc>
- Giraldo Cañas, D. y Peterson, P. M. (2009). El género *Muhlenbergia* (Poaceae: Chloridoideae: Cynodonteae: Muhlenbergiinae) en Colombia. *Revista Caldasia*, 31(02), 269-302.
- Gonzales de la Cotera, M. (2003). *Construcciones de Adobe* (2.^a ed., 1.^a ed. 1995). Lima, Perú: Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería.
- Guerrero Baca, L. F. (2007). Arquitectura en tierra, Hacia la recuperación de una cultura constructiva. *Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural - Journal of Cultural Heritage Studies*, 20(02), 182-201.
- Gutiérrez, R. (1979). Arquitectura del altiplano peruano. *Historia, Departamento de Historia de la Arquitectura, Universidad Nacional del Nordeste Argentina*, 03(02), 164-443.
- Gutiérrez, R., Pernaut, C., Viñuales, G., Rodríguez Villegas, H., Estela Benavides, B., Kuon Arce, E., Lámbarri Bracesco, J. (2015). *Arquitectura del altiplano peruano* (1.^a ed.). Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Serie Biblioteca Puneña.
- Heathcote, K. (2011). The thermal performance of earth buildings. *Informes de la Construcción*, 63(523), 117-126. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.10.024>

- Hernández, A. N. (2011). *El Habitar como Patrimonio Cultural Intangible: Ciudad de Oaxaca. El Desarrollo de un Concepto de Raíz* (Tesis). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Arquitectura, México.
- Houben, H. and Guillaud, H. (1994). *Earth construction: A comprehensive Guide*. United Kingdom, London Int.: Intermediate Technology Publications. doi: <http://dx.doi.org/10.3362/9781780444826>
- INKA. (2016). *La Industria del Cemento en el Perú* [Online]. Construcción Fabrica Cementeras en Lima. Recuperado el 12 de mayo de 2021 de: <https://www.cementosinka.com.pe/blog/la-industria-del-cemento-peru-cementeras-lima/>
- INEI. (2014). *Estado de la población peruana 2014* [PDF]. Revista Informativa. Recuperado el 15 de mayo de 2021 de: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1157/libro.pdf
- INEI. (2018). *Características de las viviendas particulares y los hogares* [PDF]. Censos Nacionales de Población y Vivienda 2017, XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, Perú. Recuperado el 12 de mayo de 2021 de: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1538/Libro.pdf
- INEI. (2020). *Estado de la población peruana 2020* [PDF]. Revista Informativa del INEI, pp. 1–50. Recuperado el 12 de mayo de 2021 de: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1743/Libro.pdf
- Jaramillo Benavides, A., Patricio Karnopp, Z., y Ilha Librelo-tto, L. (2019). Durabilidad de los materiales naturales de construcción: Percepciones de proyectistas, constructores y usuarios en Florianópolis Brasil. *Revista de Arquitectura*, 21(2), 89-100. doi: <http://dx.doi.org/10.14718/RevArq.2019.21.2.1825>
- Jorquera Silva, N. (2014). Aprendiendo del Patrimonio Vernáculo: Tradición e innovación en el uso de la quincha en la Arquitectura Chilena. *Revista de Arquitectura*, 20(29), 4-11. doi: <http://dx.doi.org/10.5354/0719-5427.2015.37087>

- Kuroda, K. (2004). Educación en Materiales y Sistemas de Acreditación de Ingeniería en Japón. *Journal of Materials Education, Universidad Autónoma del Estado de México*, 26(1-2), 103-110.
- Laime Ancalle, G. (2020). *Diseño de elaboración del adobe incorporando la fibra de Totora para reforzar las propiedades físico y mecánico* (Tesis). Universidad Cesar Vallejo, Perú. uri: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/50095>
- Lárraga Lara, R., Aguilar Robledo, M., Reyes Hernández, H. y Fortanelli Martínez, J. (2014). La sostenibilidad de la vivienda tradicional: una revisión del estado de la cuestión en el mundo. *Revista de Arquitectura*, 16(01), 126-133. doi: <https://doi.org/10.14718/RevArq.2014.16.14>
- Lenci, S., Piattoni, Q., Clementi, F. and Sadowski, T. (2009). A mechanical characterization of unfired dry earth: ultimate strength, damage and fracture parameters. *Proceedings of 19th AIMETA Conference Ancona*. 01(paper 140). 101-112. Recuperado de: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-mechanical-characterization-of-unfired-dry-earth%3A-Lenci-Piattoni/d22a5a0ad22d123e469e06c878bd172118e228fc#citing-papers>
- Lima Tórrez, A. D. y Lima Tórrez, M. del P. (2005). Arqueología de la Cuenca del Titicaca y Valles Interandinos: Nuevas Investigaciones. *Textos Antropológicos, Universidad Mayor de San Andrés Bolivia*, 15(02), 11-20.
- Mantilla Calderón, J. C. (2018). *Variación de las propiedades físico mecánicas del adobe al incorporar viruta y caucho* (Tesis). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú. uri: <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1996>
- Marchiori, C. (2015). *Arquitectura en tierra de la prehistoria y protohistoria en el Próximo Oriente. Estudio arqueométrico del adobe en los yacimientos de Tell Halula, Yumuktepe y Tell Tuqan* (Tesis Doctoral). Universitat Autònoma de Barcelona, España. uri: <http://hdl.handle.net/10803/329004>
- Marussi Castellan, F. (1999). *Arquitectura vernacular: Los Putucos de Puno* (1.^a ed.). Lima, Perú: Universidad Ricardo Palma. Centro de Investigación de la Universidad Ricardo Palma.
- Medina Saucedo, O. (2021). *Diseño de bloque de tierra comprimida estabilizado con cemento, como material sostenible, para el uso en la construcción de*

- viviendas rurales en la provincia de San Martín* (Tesis). Universidad Nacional de San Martín, Perú. uri: <http://hdl.handle.net/11458/3868>
- Mendoza, E. (2019). *Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del adobe reforzado con fibra de caña y el adobe convencional* (Tesis). Universidad Cesar Vallejo, Perú. uri: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/61735>
- Minke, C. (2005). *Manual de construcción con tierra. La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual* (2.^a ed.). Kassel, Alemania: Fin de Siglo.
- Mintec Ceramic L. (2015). *Resultados caracterización tecnológica de materias primas Honduras y desarrollo de nuevas alternativas de pastas de producción* [Online]. Recuperado el 12 de enero de 2019 de: <http://mintecceramic.com/mintecceramic/>
- Montoya Robles, J. M. (2017). *Construcción con tierra revisión y sustento de los ensayos de campo: Presencia de arcilla o resistencia seca, control de fisuración con arena gruesa* (Tesis). Pontificia Universidad Católica del Perú. uri: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/8679>
- Moreno Morales, N. (2018). *Comparación de las propiedades físicas y mecánicas del adobe elaborado con aditivos impermeabilizantes y la norma E.080* (Tesis). Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Perú. uri: <http://repositorio.unheval.edu.pe/handle/UNHEVAL/3997>
- Mundo, E. (2018). *Las casas de abobe de Turquía*. [Online]. Central European Time: El barro imperecedero de Harran. Recuperado el 03 de enero de 2018 de <http://www.elmundo.es/elmundo/2008/03/10/suvienda/1205140954.html>
- Nardez Giraldo, M. F. (2018). *Análisis del comportamiento físico mecánico de muros en Tapia pisada con inclusión de biomasa residual* (Tesis). Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, Santander, Colombia. uri: <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/5617>
- Ortiz Campañá, M. (2014). *La arquitectura de tapia en Cataluña. conocimiento, reivindicación y restauración* (Tesis de Fin de Master). Universidad Politécnica de Valencia, España. uri: <http://hdl.handle.net/10251/48514>

- Ortiz Moreno, J. A., Masera Cerutti, O., y Fuentes Gutierrez, A. F. (2014). *La ecotecnología en México* (1.^a ed.). México, D. F.: Imagia, Unidad de Ecotecnologías del Centro de Investigaciones en Ecosistemas de la Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia.
- Parisi, F., Asprone, D., Fenu, L. and Prota, A. (2015). Experimental characterization of Italian composite adobe bricks reinforced with straw fibers. *Composite Structures*, 122(01), 300-307. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2014.11.060>
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., and McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Science, Published by Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union*, 11(01), 1633-1644.
- Peralta, F., Guerra, C., Capia, C., Soncco, R., Choquechambi, J. y Huaylla. (2010) *Construcción de viviendas rurales Tipo Putucos*, Puno, Perú: Citado por Andrea Lissy Gamio Felipa (2018) [la fuente no fue identificada].
- Pérez, G., Melo, R., Rojas, H., Castro, L., Malavè, R., Anzola, E. y López, G. (2004). Evaluación de las propiedades físicas del adobe reforzado y de sus materiales componentes y su influencia en el comportamiento electroquímico. *Revista Mater Construcc, FA 18-VII-03*. 54(274), 5-16. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=867820>
- Peterson, D. y Giraldo Cañas, P. M. (2011). Las especies de Muhlenbergia (*Poaceae: Chloridoideae*) de Argentina, *Revista Caldasia*, 33 (01), 21-54. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-52322011000100002&lng=es
- Pulgar Vidal, J. (2014). Las ocho regiones naturales del Perú. *Terra Brasilis (Nova Série)*, 03(01), 1-20. doi: <https://doi.org/10.4000/terrabrasilis.1027>
- Quispe Crises, N. (2017). *Evaluación del esfuerzo admisible del adobe estabilizado con fibras de PET triturado en la zona de Mollepata* (Tesis). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú. uri: <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3152>

- Quispe Guerrero, O. (2019). *Características mecánicas de tapial elaborados con fibras de caña de azúcar, distrito de Bagua Grande, región Amazonas en el 2018* (Tesis). Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú. uri: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/49372>
- Ramírez Caparó, J. E. (2016). *Estudio de las Propiedades Mecánicas y Físicas del Adobe con Biopolímeros de Fuentes Locales* (Tesis de maestría). Maestría en Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. uri: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/12054>
- Rauch, M. and Kapfinger, O. (2001). *Rammed earth. Lehm und architektur. Terra cruda* (1.^a ed.). Basel: Ed. Birkhäuser.
- Rice, D. S. (1952). Medieval Harrān: Studies on its Topography and Monuments I. *Anatolian Studies*, 02(01), 36-84.
- Rivera Torres, J. C. and Muñoz Díaz, E. E. (2005). Structural characterization of materials used in construction systems with soil material: The adobe. *Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 05(02), 135-148.
- Rivera Salcedo, H., Valderrama Andrade, O. M., Daza Barrera, A. A. y Plazas Jai Mes, G. S. (2021). Adobe como saber ancestral usado en construcciones autóctonas de Pore y Nunchía, Casanare (Colombia). *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 23(01), 74-85. doi: <https://doi.org/10.14718/RevArq.2021.2762>
- Rivera Salcedo, H. (2019). Sobre los procesos de enseñanza-aprendizaje en el legado de los cantos de trabajo del llano, patrimonio cultural inmaterial de la Orinoquia. *Revista de Estudios Culturales de la Universitat Jaume I*, 21(01), 135-158. doi: <https://doi.org/10.14718/RevArq.2021.2762>
- Rojas Tirado, F. D. (2020). *Diseño de un bloque de adobe compactado con adición de viruta de madera para mejorar la resistencia a la compresión* (Tesis). Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Tarapoto, Perú. uri: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/60331>
- Romero Litvin, N. (2010). *Manual Básico de Ecotecnias. Un acercamiento a las ecotecnias y buenos hábitos* [PDF]. México: ORGANI-K AC. Fórum Social Mundial Otro Mundo es Posible. Recuperado el 12 de marzo de 2021 de:

<https://agua.org.mx/biblioteca/manual-basico-ecotecnias-acercamiento-a-las-ecotecnias-buenos-habitos/>

Rozis, J. F. y Guinebault, A. (1997). *Calefacción Solar para Regiones frías* (1.^a ed.). Perú: Intermediate Technology Development Group, ITDG.

Rummenhoeller, T. (2004). *Espacio Y Arquitectura Indígena: Alternativas Creativas de Desarrollo Sostenible*. São Paulo Brasil: Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável, Anais X ENTAC/I ClaCS.

RV. (30 de octubre de 2014). *Declarar Patrimonio Cultural de la Nación a los conocimientos, saberes y técnicas relacionados a la construcción de Putucos* [Online] (Resolución Viceministerial, Nro. 116-2014-VMPCIC-MC). Ministerio de Cultura, Lima, Perú. Recuperado el 12 de enero de 2021 de: <https://www.gob.pe/institucion/cultura/normas-legales/204633-116-2014-vmptic-mc>

Salaverry Llosa, J. A. (2006). *Macro-Ecología de los andes peruanos, situación actual y dinámica de cambio en los últimos 20,000 años* (1.^a ed.). Capítulo II Macroecología de los Andes peruanos (pp. 65-139). Lima, Perú: Institut français d'études andines, Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica. doi: <https://doi.org/10.4000/books.ifea.5508>

SENCICO. (2017). *Norma E.080. Diseño y construcción con tierra reforzada*. Lima, Perú: Ed. Sencico.

Serrano Barquín, H. P., Ruiz Serrano, M., Zarza, M., Ruiz Serrano, E., Serrano Barquín C., y Estrada Olivella, R. (2020). *El adobe. Su tradición simbólica y arquitectónica en el Estado de México* (1.^a ed.). México: Universidad Autónoma del Estado de México, Editorial EÓN.

Silveira, D., Varum, H. and Costa, A. (2013). Influence of the testing procedures in the mechanical characterization. *Construction and Building Materials*, 40(01), 719-728. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.058>

Silveira, D., Varum, H., Costa, A., Martins, T., Pereira, H. and Almeida, J. (2012). Mechanical properties of adobe bricks in ancient constructions. *Construction and Building Materials*, 28(01), 36-44. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.08.046>

- Sturm, Th., Ramos, L. F. and Lourenço, P. B. (2015). Characterization of dry-stack interlocking compressed earth blocks. *Materials and Structures*, 48(01), 3059-3074. doi: <https://doi.org/10.1617/s11527-014-0379-3>
- Suaña Huanca, G. D. (2004). *Tecnología Constructiva, Comportamiento Estructural y Durabilidad de los Putucos* (Tesis). Carrera Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Supo Condori, J. A. (2020). *Metodología de la investigación científica. Seminarios de investigación científica* (3.^a ed.). Arequipa, Perú: BIOESTADISTICO, Sociedad Hispana de Investigadores Científicos.
- Tantaleán Altamirano, C. J. J. C. (2018). *Desarrollo de un diseño estructural por esfuerzos de trabajo (DET) en viviendas de tapial de 1 piso* (Tesis). Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Lima, Perú. uri: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/12810>
- Tectónica. (2018). *Hogan*. [Online]. Recuperado el 03 de diciembre de 2019 de: <http://tectonicablog.com/?p=29348>
- Tejada Schmidt, U., Mendoza Garcia, A. y Torrealva Dávila, D. (2016). *Uso del tapial en la construcción* (1.^a ed.). Lima, Perú: Servicio Nacional del Capacitación para la Industria de la Construcción SENCICO.
- Toirac Corral, J. (2008). El suelo-cemento como material de construcción. *Ciencia y Sociedad, Instituto Tecnológico de Santo Domingo*, 33(04), 520-571. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87012672003>
- Torres Peceros, H. E. (2018). Reflexiones acerca de la Arquitectura Precolombina en el Perú. *Anales del Instituto de Arte Americano e Investigaciones Estéticas*. (Ed. Mario J. Buschiazzi), 48(02), 157-170. Recuperado de: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2362-20242018000200004&lng=es&tlng=es
- UNESCO. (2018). *Koutammakou, the Land of the Batammariba*. París, Francia: UNESCO World Heritage Centre. Recuperado de: <http://whc.unesco.org/en/list/1140>. [Accessed: 03-Jan-2018].
- Varas Madrid, R. (2009). *Eficiencia energética, tradiciones versus nuevas soluciones*. Boletín CFS 42/43 [Online]. Simposio Internacional Desarrollo, Ciudad y

- Sostenibilidad La Serena, Chile. Recuperado el 03 de marzo de 2021 de:
<http://habitat.aq.upm.es/boletin/n42/ac-rvar.html>
- Vega Castro, D. L. (2019). *Sistemas constructivos tradicionales ecológicos y el mimetismo en un entorno rural para un centro de desarrollo de agricultura familiar en Simbal - Trujillo* (Tesis). Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú. uri: <https://hdl.handle.net/11537/22119>
- Vélez, L. M. (2010). Permeabilidad y Porosidad en Concreto. *Tecno Lógicas*, 01(25), 169-187. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=344234320010>
- Vildoso, A., Monzón, F. M., Hays, A., Matuk, S. y Vitoux, F. (2005). *Seguir construyendo con tierra - realidad socio económica de la construcción con tierra en zona andina, valle del río Mantaro, Perú* (2.^a ed., 1.^a ed. 1984). Lima, Perú: Centro de Investigación y Aplicación Tierra, Editores A. Roca.
- Villacampa Crespo, L., García Soriano, L., López Manzanares, F. and Mileto, C. (2018). Constructive techniques of the past for a sustainable future. the case of traditional earthen architecture in aragon (Spain). *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*, 11(03), 30-36. doi: <http://dx.doi.org/10.21172/1.113.05>
- Viñuales, G. M. (2007). Tecnología y construcción con tierra. *Apuntes*, 20(02), 220-231. Recuperado de: <https://biblat.unam.mx/hevila/ApuntesBogota/2007/vol20/no2/3.pdf>
- Vitulas Quille, Y. T. y Reynoso Machaca, K. B. (2020). Construcción Ancestral y Concepción Mística de los Putucos del Altiplano Peruano (Cap. 9). En Edgar Serna M. (Ed.), *Desarrollo e Innovación en Ingeniería. Instituto Antioqueño de Investigación* (5.^a ed., pp. 65-73). Medellín, Colombia: Instituto Antioqueño de Investigación. doi: <http://doi.org/10.5281/zenodo.4031208>
- Vitulas Quille, Y. T. y Reynoso Machaca, K. B. (2013). *Etnoingeniería de los Putucos: El predominio de la Sabiduría Colla* (1.^a ed.). Puno, Perú: Editorial El Altiplano, Universidad Nacional del Altiplano del Altiplano de Puno.
- Wainzstein, M. y Sota, J. D. (s.f.). *Permeabilidad en hormigones* [PDF]. Serie II (134), 116-133. Recuperado el 15 de abril de 2021 de:



https://digital.cic.gba.gov.ar/bitstream/handle/11746/757/11746_757.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Walker, P., Teable, R., Martin, J. and Maniatidis, V. (2005). *Rammed Earth, Design and construction guidelines* (1.^a ed.). United Kingdom: Taylor & Francis Ed. BRE Bookshop, IHS BRE Press.
- Weather Spark. (2021). *El clima promedio en Puno* [Online]. Perú. Recuperado el 15 de julio de 2021 de: <https://es.weatherspark.com/y/26593/Clima-promedio-en-Taraco-Perú-durante-todo-el-año>
- Whitlow, R. (1994). *Fundamentos de mecánica de suelos* (1.^a ed.). San Juan Tlihuaca, México: Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V.
- Wieser, M., Onnis, S., y Meli, G. (2020). Desempeño térmico de cerramientos de tierra alivianada. Posibilidades de aplicación en el territorio peruano. *Revista de Arquitectura (Bogotá) A Technology, environment and sustainability Tecnología, medioambiente y sostenibilidad*, 22(01), 164-174. doi: <https://doi.org/10.14718/RevArq.2020.2633dx>.doi.org/10.14718/
- Yetgin, S., Çavdar, Ö. and Çavdar, A. (2008). The effects of the fiber contents on the mechanic properties of the adobes. *Construction and Building Materials*, 22(03), 222-227. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.08.022>
- Zanardo Zanin, N. (2007). *Construções Autóctones no Altiplano Andino*. IV Encontro Nacional e II Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, Brasil.
- Zanin, N. Z. (2005). *Silhueta do Incário* (Tesis de Pós-Graduação). Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Programa De Pós-Graduação em Antropologia Social. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Brasil.

REFERENCIA NORMATIVA

- CTE (2006). *Código Técnico de la Edificación*. Real Decreto 314/2006 y sus modificados, Documento Básico de Eficiencia Energética (CTE DB-HE). España.
- Norma E.080 (2017). *Diseño y Construcción con Tierra Reforzada*. Normas Legales Decreto Supremo N° 006-2014-VIVIENDA. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Diario oficial “El Peruano”, martes 13 de mayo de 2014. Lima, Perú.
- Norma EM.110 (2014). *Confort térmico y lumínico con eficiencia energética*. Normas Legales Anexo - Resolución Ministerial N° 121-2017-VIVIENDA. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Diario oficial “El Peruano”, viernes 7 de abril de 2017. Lima, Perú.
- NTP 339.127 (1999). INCAL-INDECOPI, NTP 339.127 “*Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo*”. Perú, p. 12.
- NTP. 339.128 (1999). INCAL-INDECOPI, NTP. 339.128 “*Método de ensayo para el análisis granulométrico*”. Perú, p. 10.
- NTP 339.129 (1999). INCAL-INDECOPI, NTP 339.129 “*Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos*”. Perú, p. 27.
- NTP 339.131 (1999). INCAL-INDECOPI, NTP 339.131 “*Método de ensayo para determinar peso específico relativo de las partículas sólidas del suelo*”. Perú, 1999, p. 10.
- NTP 339.156 (2015). INCAL-INDECOPI, NTP 339.156 “*Método de ensayo de la medición de la conductividad hidráulica de materiales saturados porosos utilizando un permeámetro de pared flexible*”. vol. XXXIII, pp. 81–87.
- NTP 399.613 (2018). INCAL-INDECOPI, NTP 399.613 “*Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería*”. p. 81.
- C67 – 01. ASTM American Society for Testing and Materials, C67 - 01 *Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile*.



- C177 – 85. ASTM American Society for Testing and Materials, C177 - 85 *Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus.*
- D422 – 63. ASTM American Society for Testing and Materials, D422 - 63 *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.*
- D854 – 14. ASTM American Society for Testing and Materials, D854 - 14 *Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer.*
- D2216 – 10. ASTM American Society for Testing and Materials, D2216 - 10 *Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.*
- D4318 – 10. ASTM American Society for Testing and Materials, D4318 - 10 *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.*
- D5084 – 10. ASTM American Society for Testing and Materials, D5084 - 10 *Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter.*
- D7263 – 09. ASTM American Society for Testing and Materials, D7263 - 09 *Standard Test Methods for Laboratory Determination of Density (Unit Weight) of Soil Specimens.*



ANEXOS

Esta sección comprende datos adicionales y complementos de la investigación, que fortalecen el estudio (tomar en cuenta las referencias citadas).



Anexo 1.

Identificación de la zona de estudio

La caracterización del lugar de estudio depende de muchos factores, tales como aspectos históricos, morfológicos, climatológicos, zonas con tipologías constructivas específicas y otros que ayuden, no solo a brindar información sobre las características del material, sino también la posibilidad de replicar estos resultados a otros escenarios similares siempre que sea posible extraer la *Ch'ampa* para construir viviendas.

A.1. Señoríos Aymaras y la cultura Colla

La zona de estudio se caracteriza por la presencia de los Señoríos Aymaras, emplazados en el altiplano peruano – boliviano y la meseta del Collao; en la región Puno; culturalmente corresponde al “*intermedio regional tardío*” o reinos y señoríos que se desarrollaron entre los siglos XII y XV (del 1,100 a 1,460 d.C.), los cuales tenían como idioma propio al *Haque Aru*, que podría tener predominancia en el Puquina y Aimara, teniendo como su deidad principal al Dios de los volcanes *Tunupa*, conformado por 16 reinos divididos en *Urcusuyos* (occidente) y *Umasuyos* (oriente).

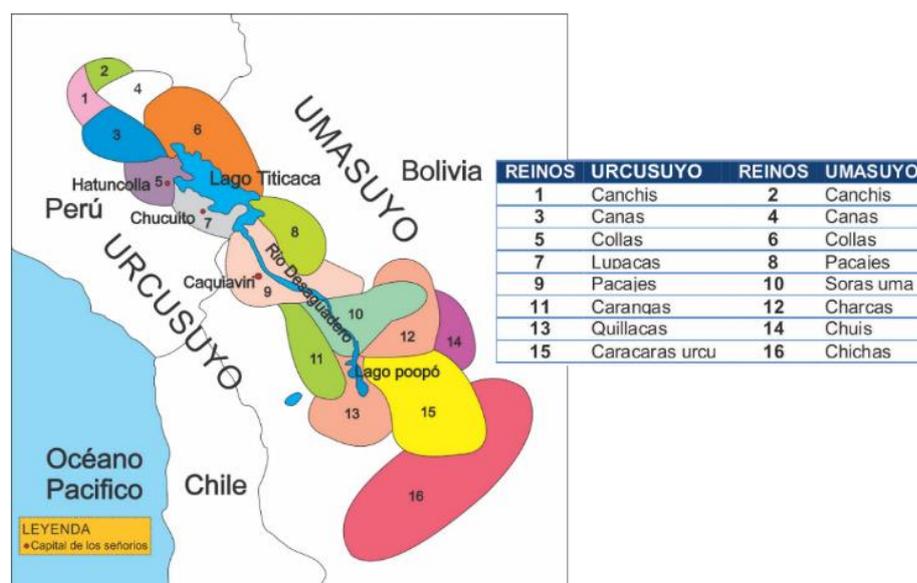


Figura 87. Territorios de los señoríos Aymaras.

Nota. Los señoríos Aymaras o Altiplánicos se ubican en la meseta del Collao. *Urcusuyo* al occidente del lago, hacia el mar, relacionado con lo masculino, alto; y *Umasuyo*, al oriente del lago, hacia las vertientes yungas, relacionado con lo femenino, parte baja.

Fuente: Disponible en: <http://historianepsil.blogspot.com/2013/03/senorios-aymaras-o-altiplanicos.html> Publicado por Néstor Pilco Contreras. [Acceso Junio 2021]

A.2. Regiones geográficas del Perú

El trabajo se desarrolla en Puno-Perú, el mismo que se ubica en Sudamérica, siendo el octavo país más poblado de América, de acuerdo con las últimas estimaciones y proyecciones de población, el Perú; al 30 de junio de año 2020; alcanza los 32 millones

625 mil 948 habitantes (INEI, 2020, p. 5), y una superficie territorial de 1'285,216 km². El Perú, está dividido en tres zonas geográficas naturales por el tipo de condiciones climáticas que presenta: Costa 150,872.8 km², Sierra (Andes) 358,989.0 km² y Selva 775,353.8 km² (INEI, 2014, p. 3), de la cual la región Puno tiene 71,999.0 km², representando el 5.6% del territorio nacional.

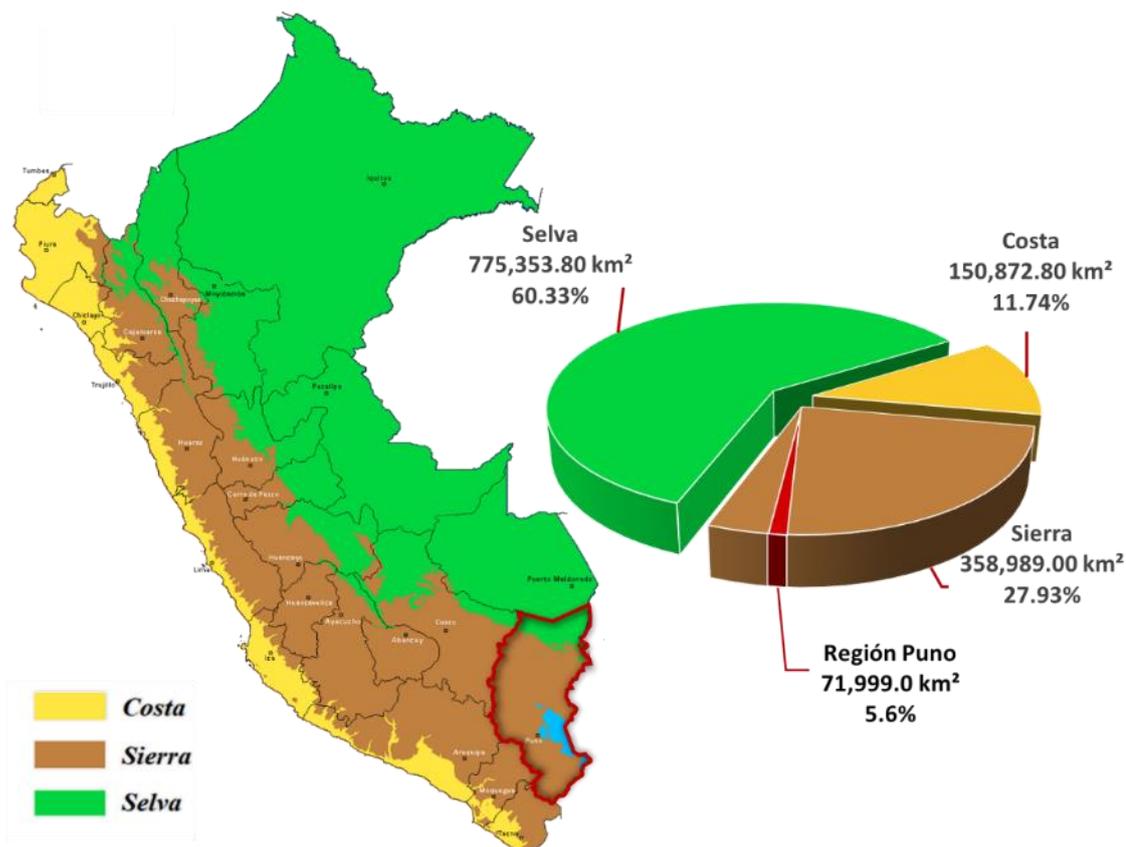


Figura 88. Regiones geográficas del Perú.

La zona de estudio se localiza geográficamente en la región Suni o Jalca, en términos geomorfológicos de las ocho (08) regiones naturales tipo, estas son: Chala, Yunga, Quechua, Suni, Puna, Janca, Rupa-Rupa y Omagua; cuyas características, han llevado al Perú a presentar diferentes realidades, problemas, posibilidades y por supuesto la generación de soluciones (Pulgar, 2014, p. 3). Viviendas en zonas rurales que suelen ser las más afectadas por el fenómeno de *friaje* que ocurre durante la temporada de invierno.

Según Salaverry (2006), estas regiones poseen una serie de características comunes que es preciso tener en cuenta para poder entender de manera global el impacto que tiene el uso y mejoramiento de un sistema constructivo, que garantice la supervivencia de la población en las condiciones actuales:

- La ubicación, altitud y condiciones fisiográficas, ya que son zonas aisladas con poca comunicación.
- La movilidad de la población que reside ahí es limitada, teniendo un impacto importante en las relaciones sociales y económicas de sus pobladores.
- Las condiciones del suelo y los cambios provocados por las temperaturas extremas influyen en las actividades económicas de la zona, que son principalmente de orden extractivo y agrícola.
- La marginalidad refuerza la inaccesibilidad mencionada anteriormente, mostrando un evidente abandono y descuido en las zonas donde hay centros poblados. Se observan la ausencia de instituciones gubernamentales y servicios administrativos públicos, que son los que pueden generar puentes de comunicación más eficaces para la integración de sus habitantes con el resto del país.
- La diversidad es una característica fundamental y muestra la biodiversidad de plantas, animales, etc. La biodiversidad inherente a toda región peruana, permite encontrar alternativas en términos de materiales y que probablemente fue lo que permitió a los antiguos pobladores desarrollar la *Ch'ampa* como material de construcción.

A.3. Climatología de la zona de estudio

Otro aspecto que se toma en consideración para la elección de la zona de estudio, es el clima frío, ya que, según el mapa de heladas meteorológicas del Perú, esta zona se encuentra inmersa en frecuencias climatológicas entre el 90 al 100%, aspectos que habrían motivado el uso del tipo de viviendas tradicionales denominados *Putucos*, y que podrían replicarse en otras regiones andinas de nuestro país.

El clima del Perú está condicionado por la zona intertropical, modificaciones altitudinales de la cordillera de los Andes y la Corriente Peruana o de Humboldt. En Puno, los veranos son cortos, frescos y nublados; los inviernos son cortos, muy fríos y mayormente despejados y está seco durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ y rara vez baja a menos de $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ o sube a más de $19\text{ }^{\circ}\text{C}$. La temporada templada dura 2.0 meses, del 13 de octubre al 12 de diciembre, y la temperatura máxima promedio diaria es más de $17\text{ }^{\circ}\text{C}$. El día más caluroso del año es el 13 de noviembre, con una temperatura máxima promedio de $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una temperatura mínima promedio de $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. La temporada fría dura 1.6 meses, del 9 de junio al 28 de julio, y la temperatura máxima promedio diaria es de $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ o menos. (Weather, 2021).

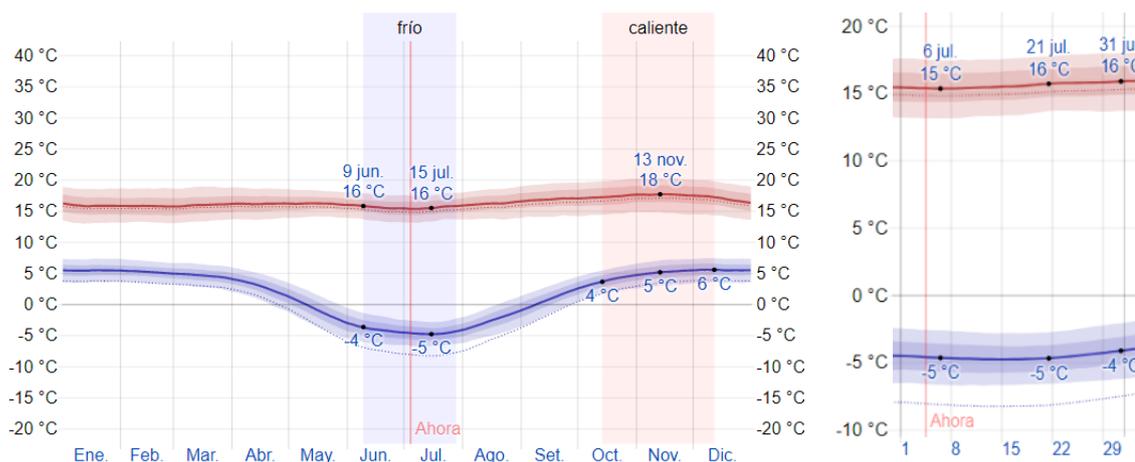


Figura 89. Temperatura máxima y mínima promedio anual, Taraco, Puno-2021.

Nota. La temperatura máxima (línea roja superior) y la temperatura mínima (línea azul inferior) promedio diario con las bandas de los percentiles 25° a 75°, y 10° a 90°. El día más frío del año tiene una temperatura mínima promedio de -5 °C y máxima promedio de 16 °C.

Fuente: Disponible en: <https://es.weatherspark.com/y/26593/Clima-promedio-en-Taraco-Perú-durante-todo-el-año> [Acceso Julio 2021]

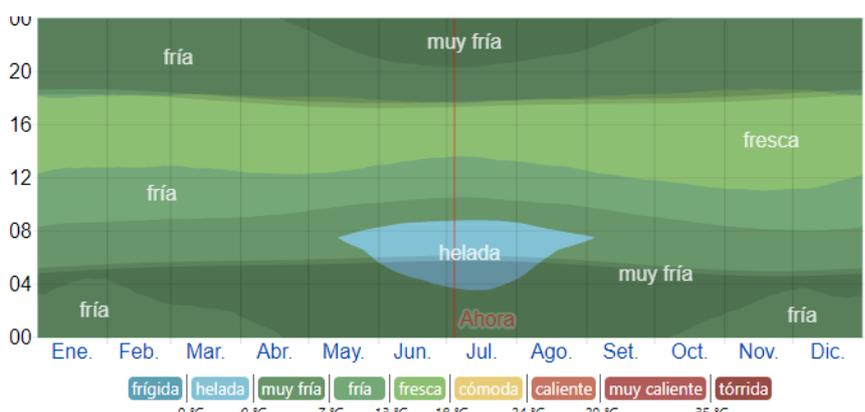


Figura 90. Temperatura promedio por hora en junio, Taraco, Puno-2021.

Nota. La temperatura promedio por hora, codificada por colores en bandas. Las áreas sombreadas superpuestas indican la noche y el crepúsculo.

En la figura mostrada, se muestra una secuencia compacta de las temperaturas promedio por hora de todo el año. El eje horizontal es el día del año, el eje vertical es la hora y el color es la temperatura promedio para ese día y a esa hora, se aprecia que los climas más fríos a lo largo del año se presentan entre las 8:00 pm y 8:00 am, siendo la temporada de heladas entre los meses de mayo y agosto entre las 4:00 am y 7:00 am en promedio. (Weather, 2021)

Un día mojado, es un día que tiene por lo menos un milímetro (1 mm) de líquido o precipitación equivalente a líquido. La probabilidad de días mojados en Taraco, Huancané, Puno, varía considerablemente durante todo el año.

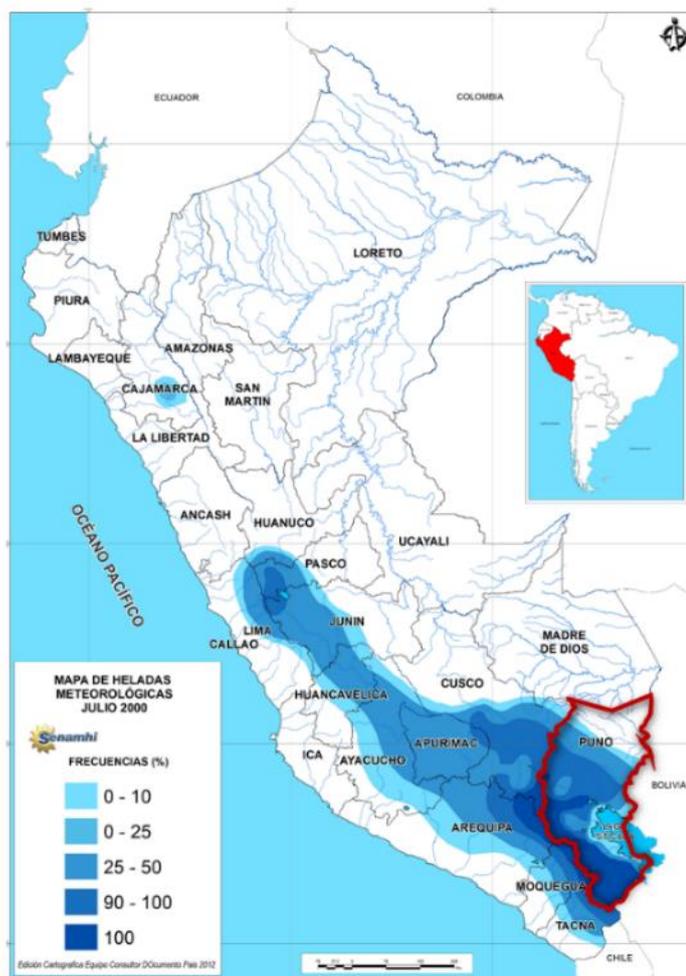


Figura 91. Mapa de heladas en el Perú.

Nota. Mapa de heladas meteorológicas actualizado a octubre 2016 y la región Puno. PREDES.

Fuente: Disponible en: <https://predes.org.pe/mapas/heladas/> [Acceso Junio 2021]

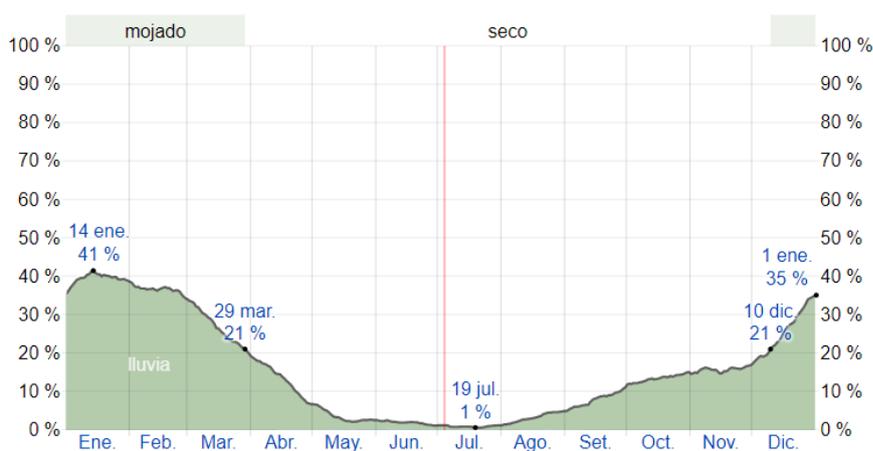


Figura 92. Probabilidad diaria de precipitación, Taraco, Puno-2021.

Nota. El porcentaje de días en los que se observan diferentes tipos de precipitación, excluidas las cantidades ínfimas: solo lluvia, solo nieve, mezcla (llovió y nevó el mismo día).

Fuente: Disponible en: <https://es.weatherspark.com/y/26593/Clima-promedio-en-Taraco-Perú-durante-todo-el-año> [Acceso Julio 2021].

La temporada más mojada dura 3.4 meses, del 10 de diciembre al 29 de marzo, con una probabilidad de más del 19 % de que cierto día será un día mojado. La probabilidad máxima de un día mojado es del 41 % el 14 de enero. La temporada más seca dura 8.6 meses, del 30 de marzo al 09 de diciembre. La probabilidad mínima de un día mojado es del 1 % el día 19 de julio.

Entre los días mojados, distinguimos a los que tienen *solamente lluvia*, *solamente nieve* o una *combinación* de las dos. En base a esta categorización, el tipo más común de precipitación durante el año es *solo lluvia*, con una probabilidad máxima del 38 % que ocurre el 14 de enero.

A.4. Tipología constructiva de viviendas

Los resultados del Censo Nacional de 2017, revelan que 481 mil 184 viviendas particulares que representan el 6.3% del total de las viviendas, tienen en sus paredes exteriores material precario (quincha, piedra con barro, triplay, calamina o estera). En comparación con el Censo de 2007, se registra una disminución del 8.7% (45,924 viviendas).

En relación al Censo de 2007, las viviendas particulares se incrementaron en 2 millones 536 mil 707 viviendas, lo que representa una variación intercensal de 33.5% y una tasa de crecimiento promedio anual de 2.9% para el periodo 2007 – 2017. Por tanto, se puede notar que en el área rural solo ha existido un incremento anual del 8.4% en comparación a viviendas en el área de residencia urbana que se incrementó en un 46.3%, esto haría presumir que se está perdiendo las tradiciones constructivas, posiblemente podría estar vinculado a la migración.

Tabla 74.
Distribución de viviendas urbanas y rurales a nivel nacional.

Área de residencia	Censo 2007	Censo 2017	Variación Intercensal 2007-2017		Incremento anual	Tasa de crecimiento promedio anual
	Absoluto	Absoluto	Absoluto	%		
<i>Urbana</i>	5'009,474	7'330,445	2'320,971	46.3	232,097	3.9
<i>Rural</i>	2'556,668	2'772,404	215,736	8.4	21,574	0.8
Total	7'566,142	10'102,849	2'536,707	33.5	253,671	2.9

Nota. Variación en la distribución de viviendas particulares censadas y tasa de crecimiento promedio anual, según área de residencia, 2007 y 2017.

Fuente: INEI-Censos Nacionales de Población y Vivienda, 2007 y 2017.

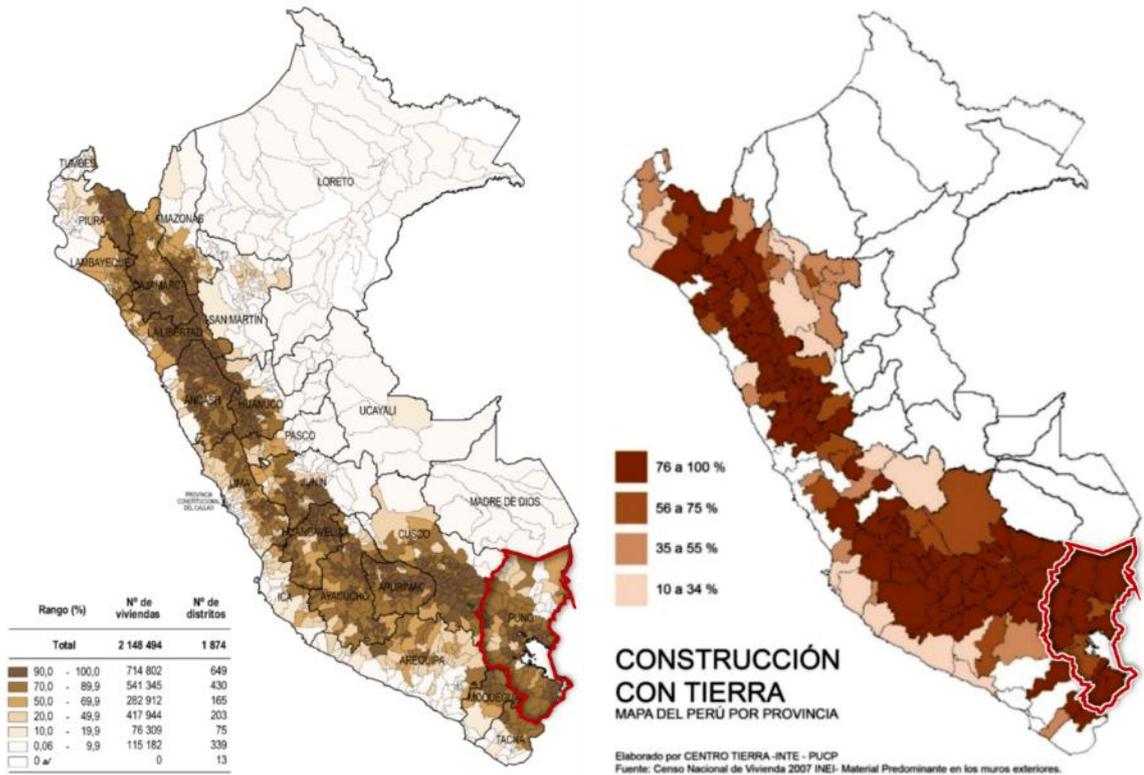


Figura 93. Mapa de viviendas particulares con paredes exteriores de adobe, Perú.

Nota. Mapa de predominancia en viviendas particulares con paredes exteriores de adobe o tapia, según distrito, 2017, en contraparte al mapa del Perú donde se muestra las zonas predominantes que se construye con Tierra.

Fuente: INEI (2018); Montoya (2017).

La construcción de viviendas en base tierra cruda en zonas rurales es muy común y de uso constante, ya que depende del nivel socioeconómico, además refleja una idiosincrasia que pretende revalorar sus raíces prehispánicas, pero también son replicadas en viviendas de migrantes en zonas urbanas como en los cascos históricos de las grandes urbes.

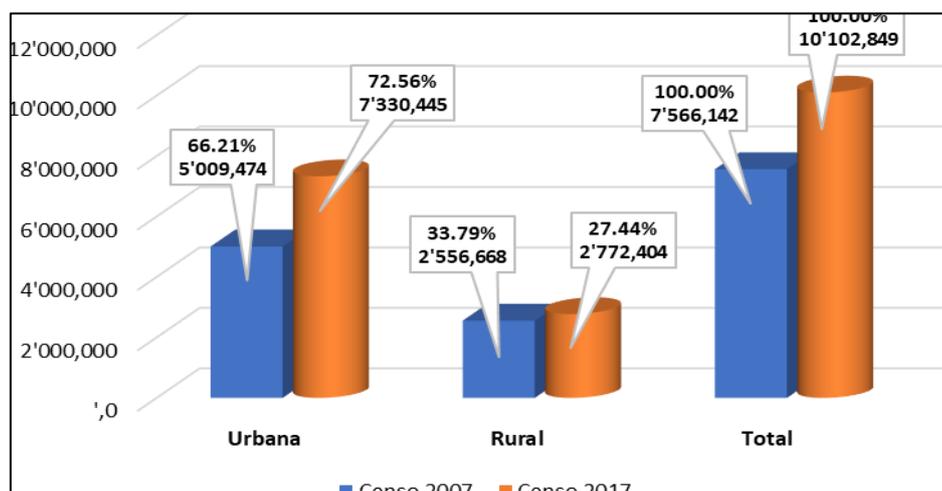


Figura 94. Viviendas particulares por área de residencia, 2007 y 2017, Perú.

Si se analiza el material predominante en las paredes exteriores a nivel nacional (ver *Figura 11*), el segundo material más utilizado en las viviendas particulares es adobe o tapia, con 2 millones 148 mil 494, que representa al 27.9% del total de viviendas (INEI, 2018, p. 30). Puno se encuentra en la posición seis, mostrando además una disminución de 122 viviendas entre el 2007 y 2017, representando una tasa de -0.1 de crecimiento.

A.5. Emplazamiento de las viviendas tipo *Putucos*

En la publicación “*Arquitectura del Altiplano Peruano*” de Ramón Gutiérrez (1979), y corroborado con la presencia de dichas construcciones en los distritos de *Taraco*, *Samán* y *Arapa*, que circundan la laguna de *Arapa* y el *Lago Titicaca*, esencialmente en la vía *Taraco-Huancané*; pudiendo ser este un punto de referencia para la identificación de las zonas de emplazamiento.

Esta referencia es importante ya que las manifestaciones constructivas denominadas *Putucos*, aunque son usadas en toda la periferia del Lago *Titicaca* y la población *Urus Chipaya* (Bolivia), tiene una mayor presencia casi exclusiva en los Reinos 5 y 6 de los Collas tal como se mostró al inicio de este anexo, las mismas que; en la actualidad; abarcan las provincias de Azángaro y Huancané, por lo que la zona de estudio será en la mencionada ubicación geográfica.

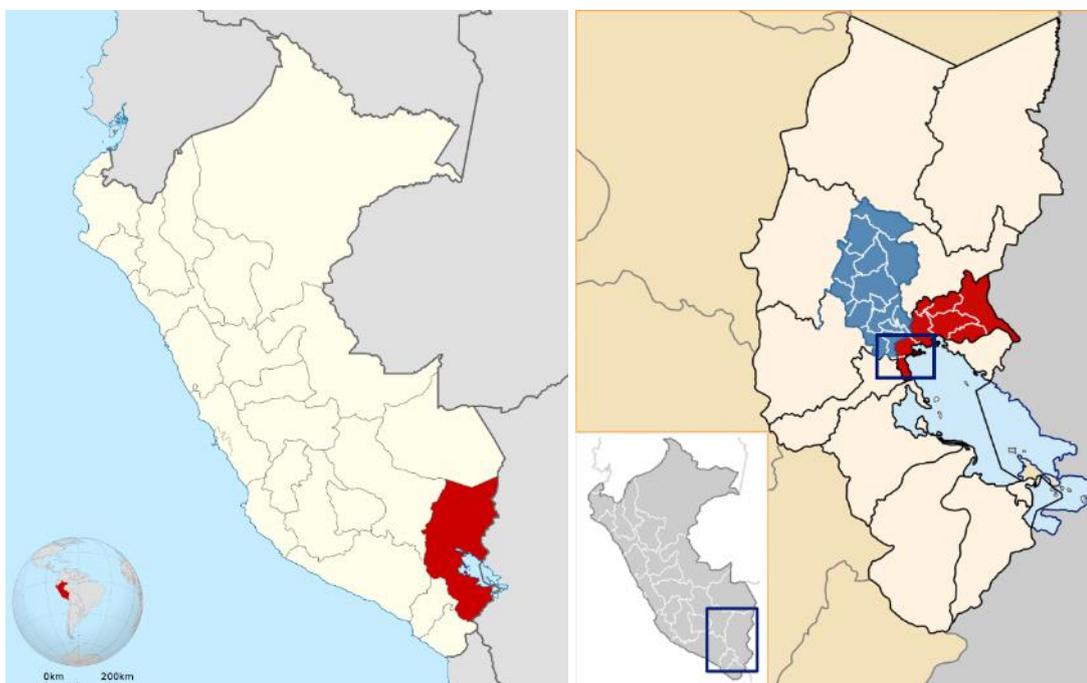


Figura 95. Ubicación geográfica de la zona de estudio en el mapa del Perú.

Nota. Provincias de Azángaro (color azul) y Huancané (color rojo) sobre el mapa de Puno-Perú.

Fuente: Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Distrito_de_Huancané /
[Distrito_de_Azángaro https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Peru_-_Puno_Department_\(locator_map\).svg](https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Peru_-_Puno_Department_(locator_map).svg). [Acceso Febrero 2020]



Anexo 2.

Consideraciones y detalles para extraer testigos para los ensayos

B.1. Optimización de muestras para los laboratorios de la PUCP

En esta sección se presenta los criterios utilizados para el manejo y distribución de muestras en los laboratorios de la PUCP, intentando optimizar los recursos, ya que por motivos de aislamiento social por COVID-19, no se hace posible trasladar una mayor cantidad de muestras para mejorar los resultados y evitar los sesgos de medición, tal como se describió en la sección metodológica.

Tabla 75.

Selección y clasificación de muestras para ensayos en laboratorio PUCP.

Código de Muestra	N° Muestra Laboratorio	Cantidad de cortes	Ref. de muestra	Dimensiones (mm)	Laboratorio	Tipo de Ensayo
Muestra 01	M-01	02	D	400x140x120	Estructuras	Flexión
			E	400x130x120	Antisísmica	Flexión
		Residuos	M1	-	Mecánica de Suelos	Varios
Muestra 02	M-02	04	A	120x150x120	Estructuras	Compresión
			B	140x130x120		Compresión
			C	140x110x120	Antisísmica	Compresión
			F	400x130x120		Flexión
		Residuos	M2	-	Mecánica de Suelos	Varios
Muestra 03	M-03	03	Mc-1	200x200x120	Física	Conductividad y resistencia térmica
Muestra 04	M-04		Mc-2	200x200x120		
Muestra 05	M-05		Mc-3	200x200x120		
Muestra 06	M-06	02	M3	-	Mecánica de Suelos	Varios
			P1	100x100x120		Permeabilidad
		P2	100x100x120	Permeabilidad		
		Residuos	M4	-		Varios
			M5	-		Varios
Muestra 07	M-07	02	I	280x120x120	Estructuras Antisísmica	Flexión
			J	400x120x120		Flexión
			K	400x120x120		Flexión
		03	G	120x120x120		Compresión
			H	120x120x120		Compresión
Residuos	M5	-	Varios			
Muestra 09	M-09	Residuos	Descartado para ensayos		Mecánica de Suelos	Varios
Muestra 10	DAÑADO	Residuos	Descartado para ensayos			Varios

Nota. Los ensayos varios incluyen el análisis granulométrico, límites líquido y plástico, textura del suelo por el método de *Bouyoucos*, contenido de humedad, peso específico, peso volumétrico, entre otros. Esto debido a que, por la cantidad y costo de traslado de las muestras, estas se deben optimizar.

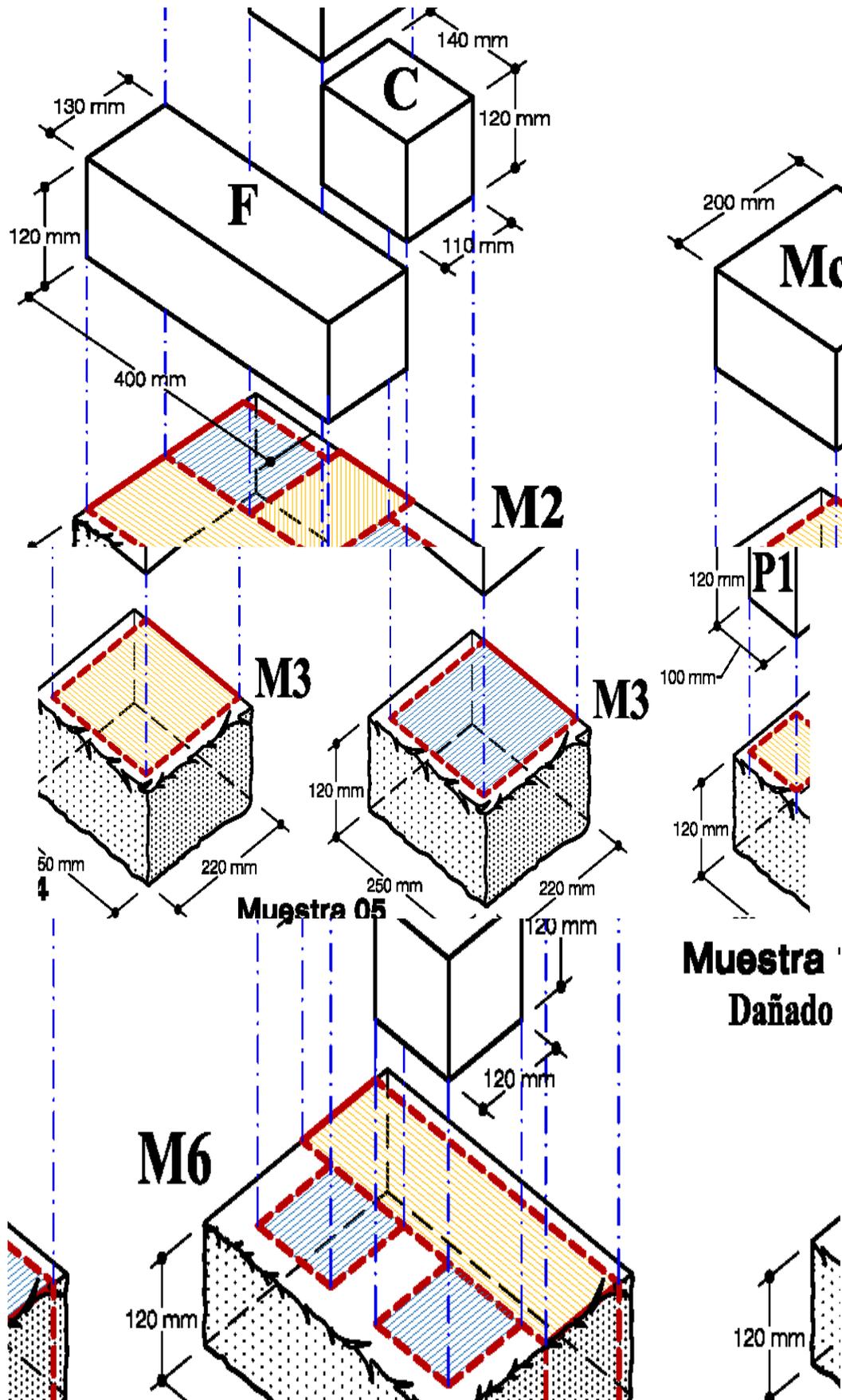


Figura 96. Manejo y optimización de muestras para ensayos de laboratorio PUCP.

Nota. Las muestras sobrantes M1 al M10 y los Residuos fueron usados en otros ensayos varios.

B.2. Optimización de muestras para los laboratorios de la UNAP – Ch'ampa

En esta sección se presenta los criterios utilizados para el manejo y distribución de muestras de *Ch'ampa* en los laboratorios de la UNAP y campo (in situ), intentando optimizar los recursos, ya que por motivos de aislamiento social por COVID-19, no se hace posible trasladar una mayor cantidad de muestras para mejorar los resultados y evitar los sesgos de medición, tal como se describió en la sección metodológica.

Tabla 76.

Clasificación de muestras de Ch'ampa para ensayos en laboratorio UNAP.

Código de Muestra	N° Muestra Laboratorio	Cantidad de cortes	Ref. de muestra	Dimensiones (mm)	Laboratorio	Tipo de Ensayo
Muestra 11	CHAMPA 1-A	03	Muestra a	470x95x140	Construcciones	Flexión
			Muestra b	470x90x140		Flexión
			Muestra c	470x95x140		Flexión
		Residuos	-	-	-	Desechado
Muestra 12	CHAMPA 1-B	03	Muestra a	470x110x115	Construcciones	Flexión
			Muestra b	470x90x140		Flexión
			Muestra c	470x115x140		Flexión
		Residuos	-	-	-	Desechado
Muestra 13	CHAMPA 1-C	03	M-01	110x115x150	Construcciones	Compresión
			M-02	110x115x150		Compresión
			M-03	110x130x150		Compresión
		Residuos	R-1	-	Suelos	Granulometría
Muestra 14	CHAMPA 1-D	04	M-04	115x120x150	Construcciones	Compresión
			M-05	120x130x150		Compresión
			M-06	120x130x150		Compresión
			M-07	115x120x150		Compresión
Residuos	R-2	-	Suelos	Granulometría		
Muestra 15	CHAMPA 2-A	Residuos	Descartado para ensayos		Suelos	Granulometría
Muestra 16	CHAMPA 2-B	02	Muestra a	400x125x115	Construcciones	Flexión
			Muestra b	400x130x120		Flexión
		Residuos	-	-	-	Desechado
Muestra 17	CHAMPA 2-C	02	Muestra a	450x130x120	Construcciones	Flexión
			Muestra b	450x130x120		Flexión
		Residuos	-	-	-	Desechado
Muestra 18	CHAMPA 2-D	02	M-08	120x130x120	Construcciones	Compresión
			M-09	120x130x120		Compresión
		Residuos	R-3	-	Suelos	Granulometría
Muestra 19	CHAMPA 2-E	03	M-10	100x115x120	Construcciones	Compresión
			M-11	130x130x120		Compresión
			M-12	130x130x120		Compresión
		Residuos	R-4	-	Suelos	Granulometría

Código de Muestra	N° Muestra Laboratorio	Cantidad de cortes	Ref. de muestra	Dimensiones (mm)	Laboratorio	Tipo de Ensayo
Muestra 20	Mr-01	01	Mr-01	500x450x150	Ensayos independientes desarrollados para obtener cantidad de <i>Ch'iji</i>	Cont. de raíces
Muestra 21	Mr-02	01	W1,W2,W3	125x125x150		Cont. de raíces
Muestra 22	Mr-03	01	W4,W5,W6	125x125x150		Cont. de raíces
Muestra 23	Mr-04	01	Mr-04	500x450x150		Cont. de raíces
Muestra 24	Mr-05	01	Mr-05	500x450x150		Cont. de raíces
Muestra 25	Mr-06	01	Mr-06	500x450x150		Cont. de raíces
Muestra 26	Mr-07	01	Mr-07	500x450x150		Cont. de raíces
Muestra 27	Mr-08	01	Mr-08	500x450x150		Cont. de raíces
Muestra 28	Mr-09	01	Mr-09	500x450x150	Ensayos independientes desarrollados para obtener cantidad de <i>Quemello</i>	Cont. de raíces
Muestra 29	Mr-10	01	W7, W8	150x150x125		Cont. de raíces
Muestra 30	Mr-11	01	Mr-11	500x400x125		Cont. de raíces
Muestra 31	Mr-12	01	W9	150x150x125		Cont. de raíces
Muestra 32	Mr-13	01	Mr-13	500x450x150		Cont. de raíces
Muestra 33	Mr-14	01	Mr-14	500x450x150		Cont. de raíces
Muestra 34	Campo 1	01	Campo 1	500x350x100	Ensayos en campo	Flexión campo
Muestra 35	Campo 2	01	Campo 2	500x350x100		Flexión campo
Muestra 36	Campo 3	01	Campo 3	500x350x100		Flexión campo
Muestra 37	Campo 4	01	Campo 4	500x350x100		Flexión campo
Muestra 38	Campo 5	01	Campo 5	500x350x100		Flexión campo
Muestra 39	Campo 6	01	Impacto 1	500x400x125	Ensayos en campo	Impacto por gravedad
Muestra 40	Campo 7	01	Impacto 2	500x400x125		
Muestra 41	Campo 9	01	Campo 9	700x350x120	Ensayos en campo	Flexión campo
Muestra 42	Campo 10	01	Campo 10	700x350x120		Flexión campo
Muestra 43	Campo 11	01	Campo 11	700x350x120		Flexión campo
Muestra 44	Campo 12	01	Campo 12	700x350x120		Flexión campo
Muestra 45	Campo 13	01	Campo 13	700x350x120		Flexión campo

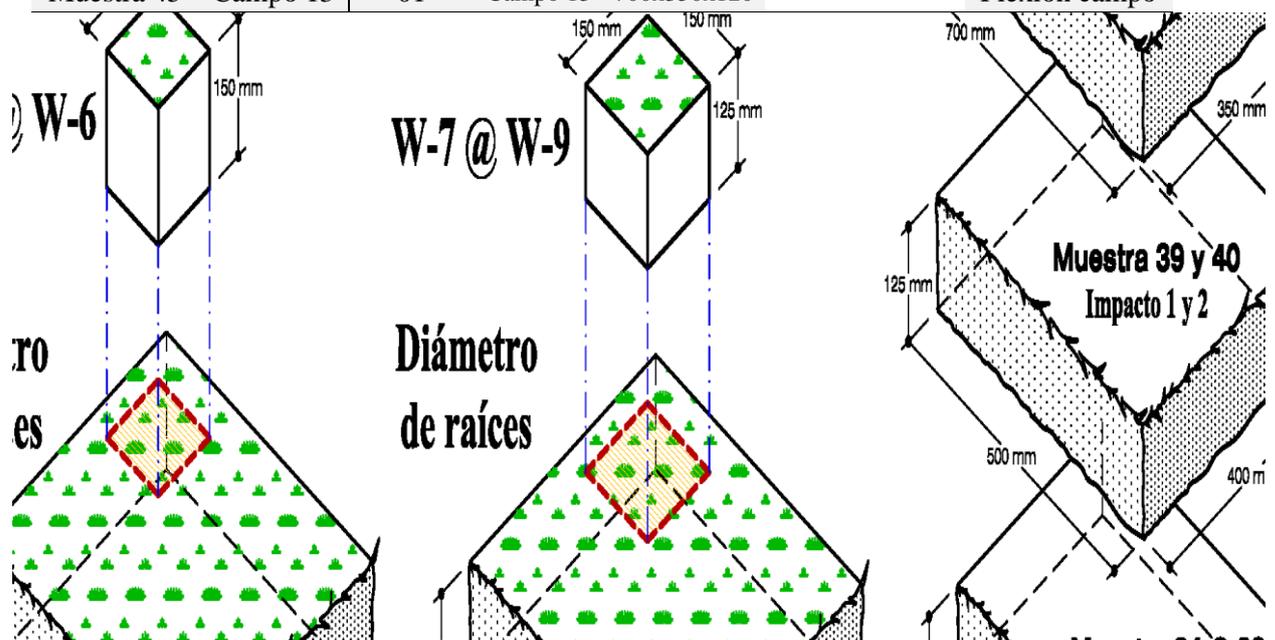


Figura 97.

Manejo y optimización de muestras para ensayos de *Ch'ampa* en la UNAP-1.

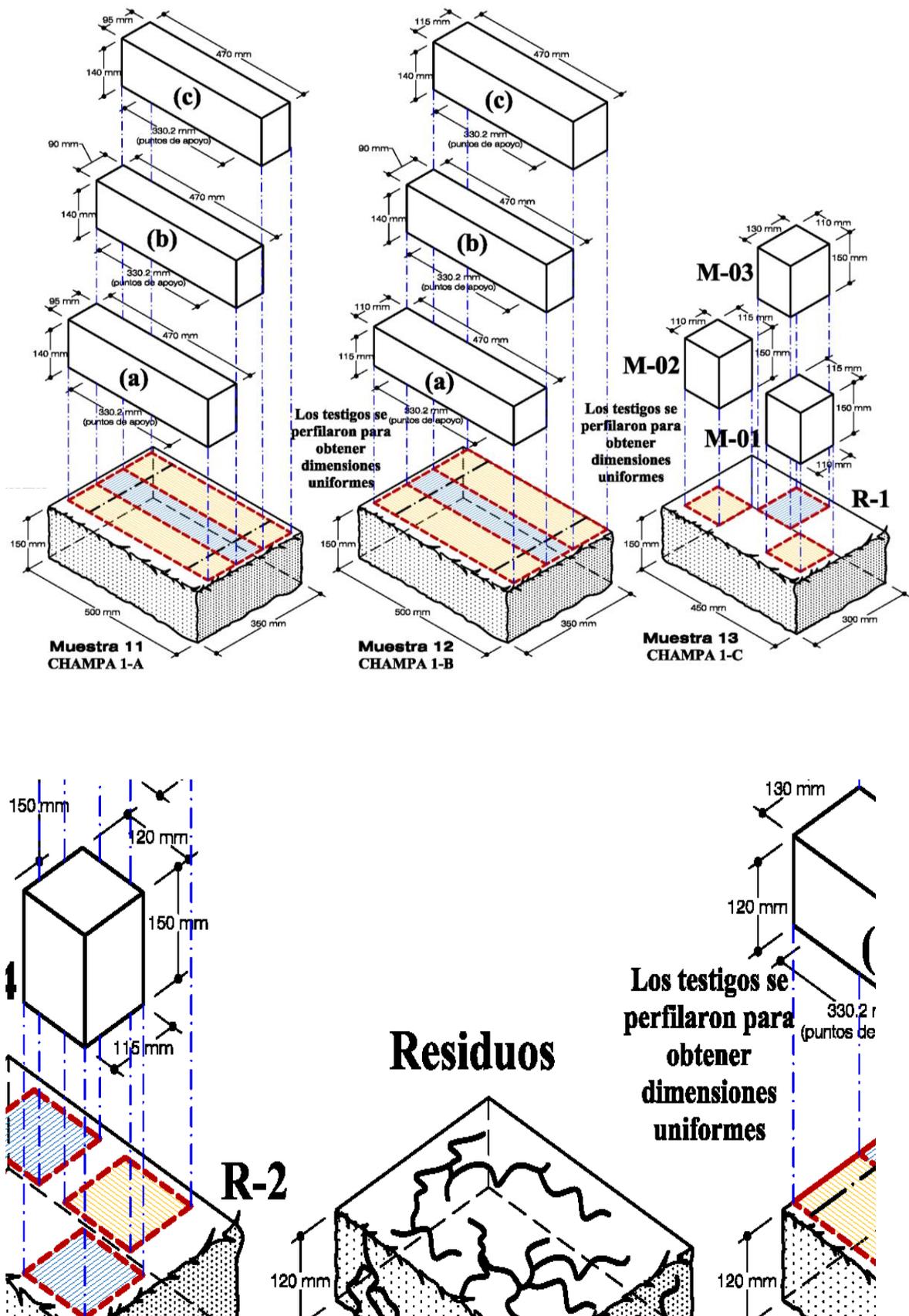


Figura 98.
Manejo y optimización de muestras para ensayos de *Ch'ampa* en la UNAP-2.

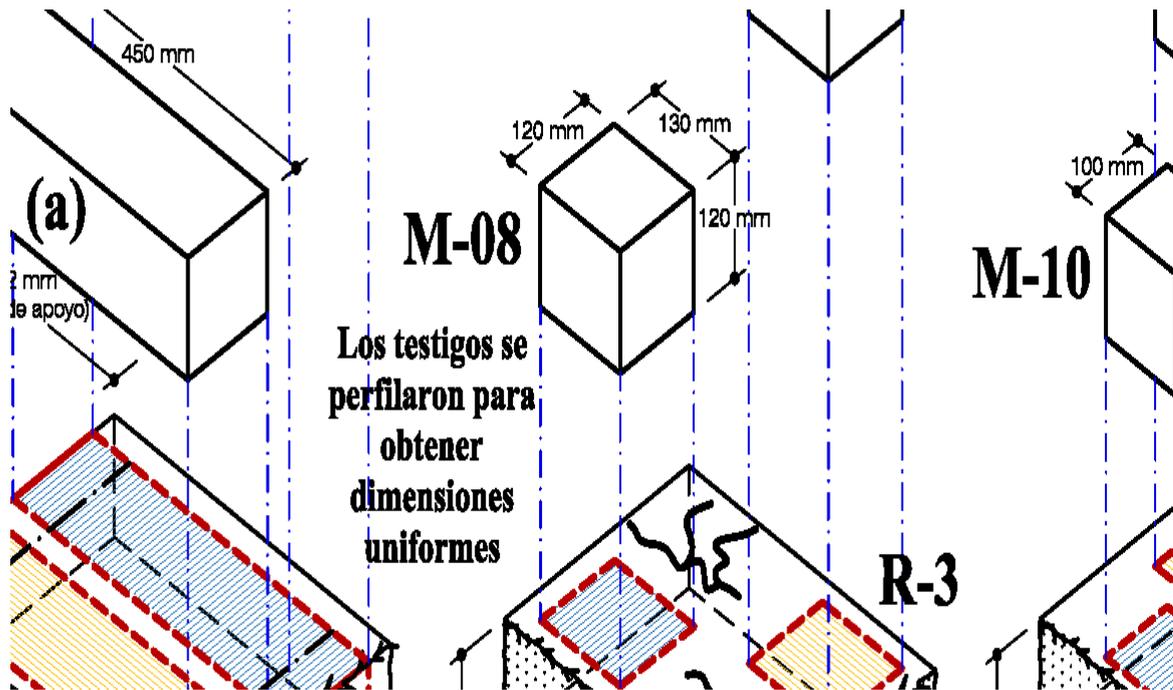


Figura 99.

Manejo y optimización de muestras para ensayos de *Ch'ampa* en la UNAP-3.

B.3. Optimización de muestras para los laboratorios de la UNAP – Adobe

En esta sección se presenta los criterios utilizados para el manejo y distribución de muestras de adobe tradicional en los laboratorios de la UNAP, intentando optimizar los recursos, tal como se describió en la sección metodológica.

Tabla 77.

Clasificación de muestras de adobe para ensayos en laboratorio UNAP.

Código de Muestra	N° Muestra Laboratorio	Cantidad de cortes	Ref. de muestra	Dimensiones (mm)	Laboratorio	Tipo de Ensayo
Muestra 46	ADOBE 3-A	04	Ma-01	115x120x150	Construcciones	Compresión
			Ma-02	115x120x150		Compresión
			Ma-03	115x140x150		Compresión
			Ma-04	115x120x150		Compresión
		Residuos	-	-	-	Desechado
Muestra 47	ADOBE 3-B	02	Ma-05	125x125x150	Construcciones	Compresión
			Ma-06	130x130x150		Compresión
		Residuos	-	-	-	Desechado
Muestra 48	ADOBE 3-C	03	Ma-07	125x125x150	Construcciones	Compresión
			Ma-08	125x135x150		Compresión
			Ma-09	125x135x150		Compresión
		Residuos	-	-	-	Desechado
Muestra 49	ADOBE 4-A	02	Muestra 1	450x110x140	Construcciones	Flexión
			Muestra 2	450x120x145		Flexión
		Residuos	-	-	-	Desechado

Código de Muestra	N° Muestra Laboratorio	Cantidad de cortes	Ref. de muestra	Dimensiones (mm)	Laboratorio	Tipo de Ensayo
Muestra 50	ADOBE 4-B	02	Muestra 3	450x115x125	Construcciones	Flexión
			Muestra 4	450x125x150		Flexión
		Residuos	-	-	-	Desechado
Muestra 51	ADOBE 4-C	Residuos	Descartado para ensayos		-	Desechado
Muestra 52	ADOBE 4-D	Residuos	Descartado para ensayos		-	Desechado

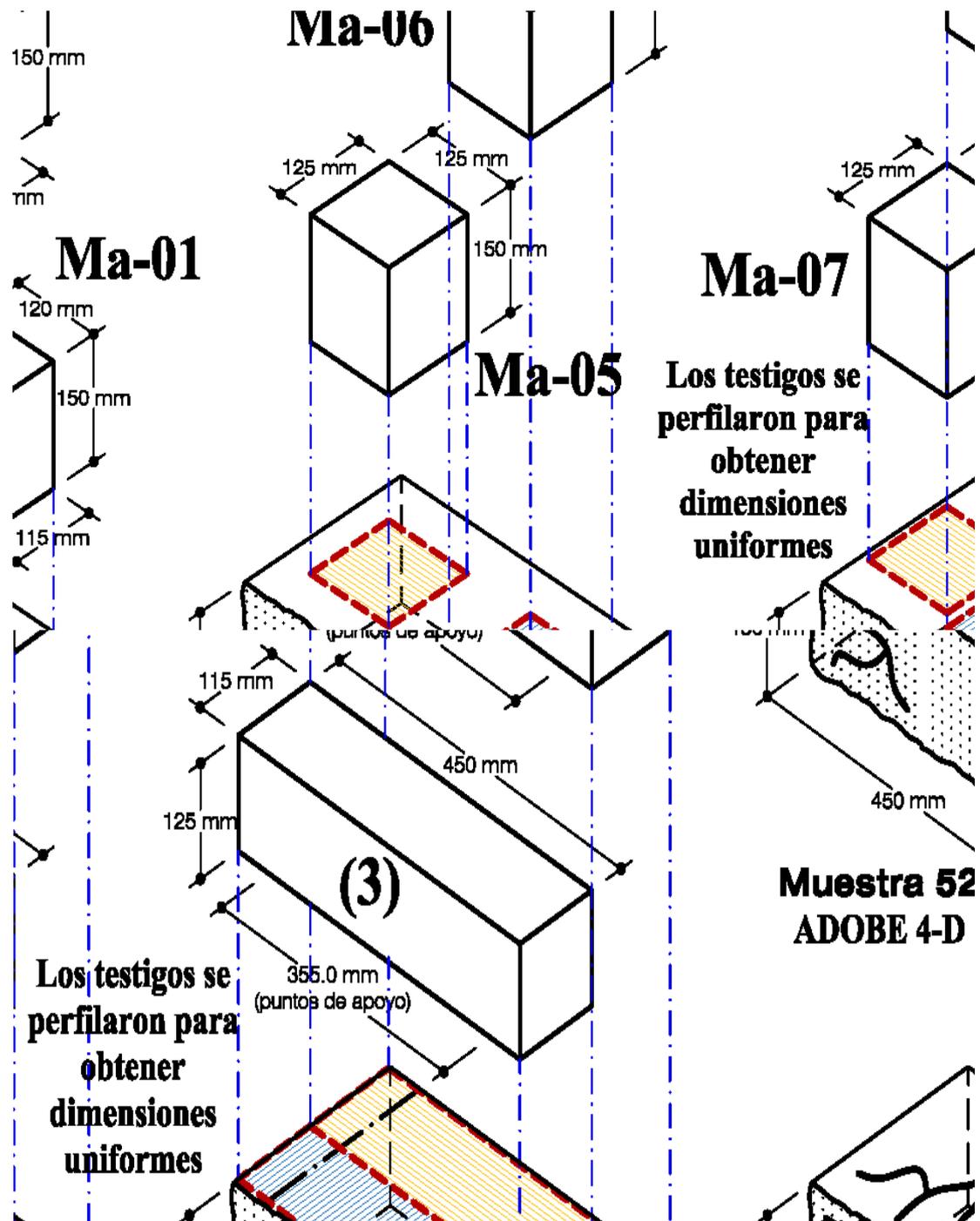


Figura 100. Manejo y optimización de muestras para ensayos de Adobe en la UNAP.

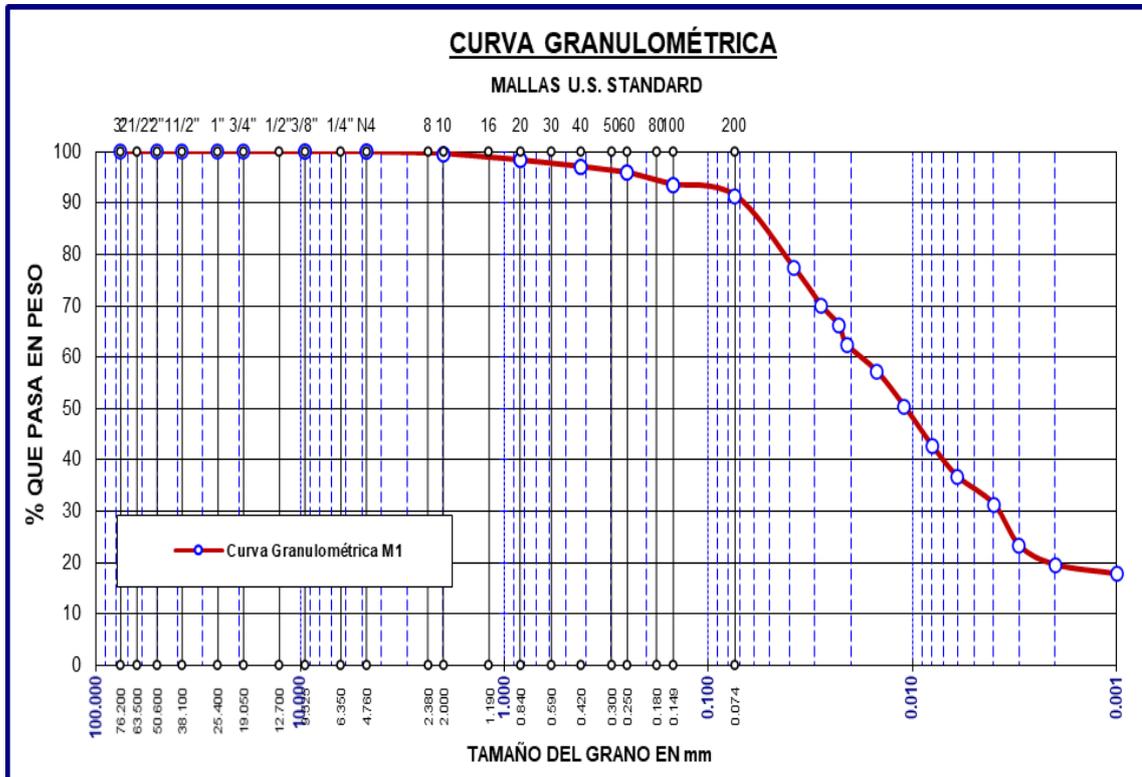


Anexo 3.

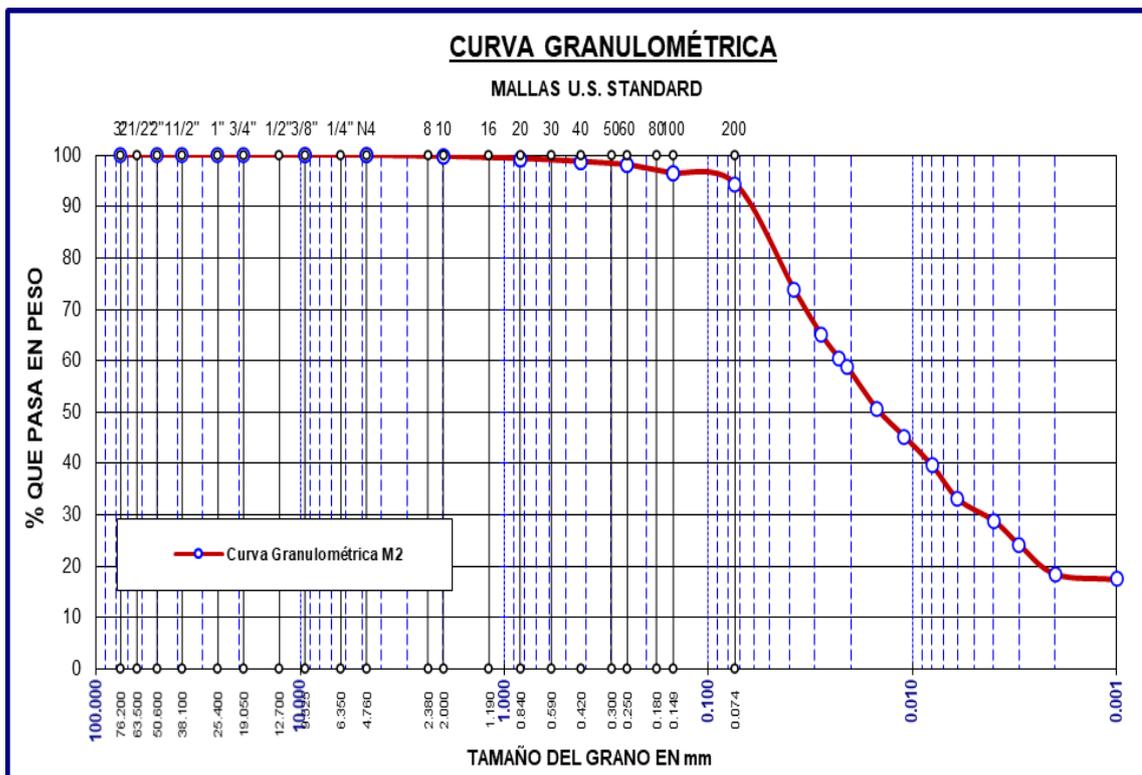
Curva granulométrica gruesos y finos de los ensayos realizados

C.1. Curvas granulométricas

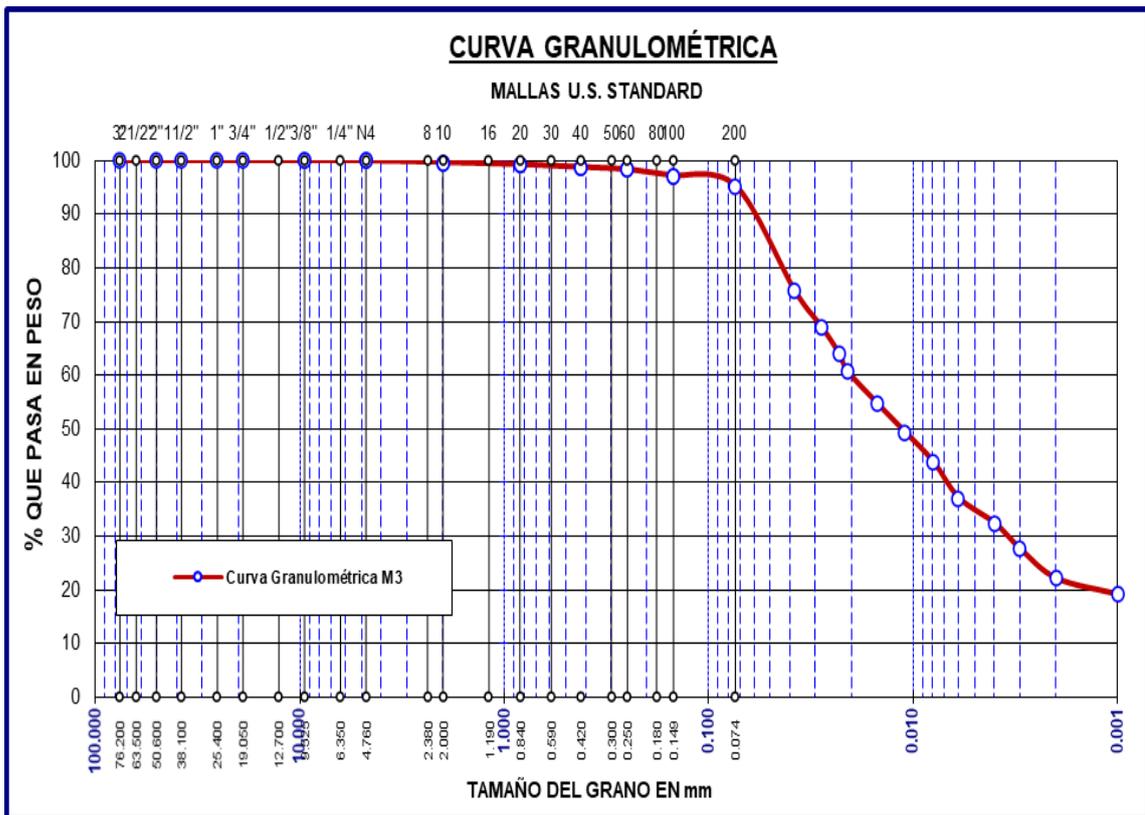
Curva Granulométrica 01: Curva del análisis granulométrico para la Muestra M1.



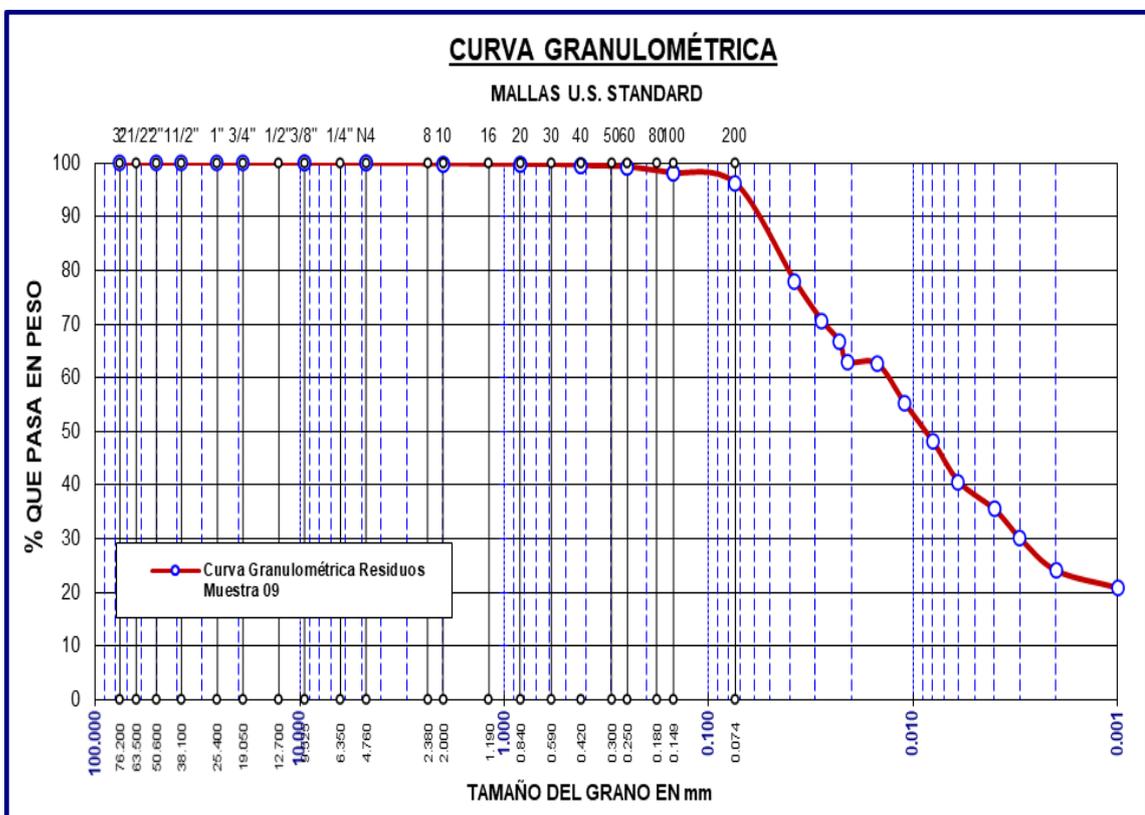
Curva Granulométrica 02: Curva del análisis granulométrico para la Muestra M2.



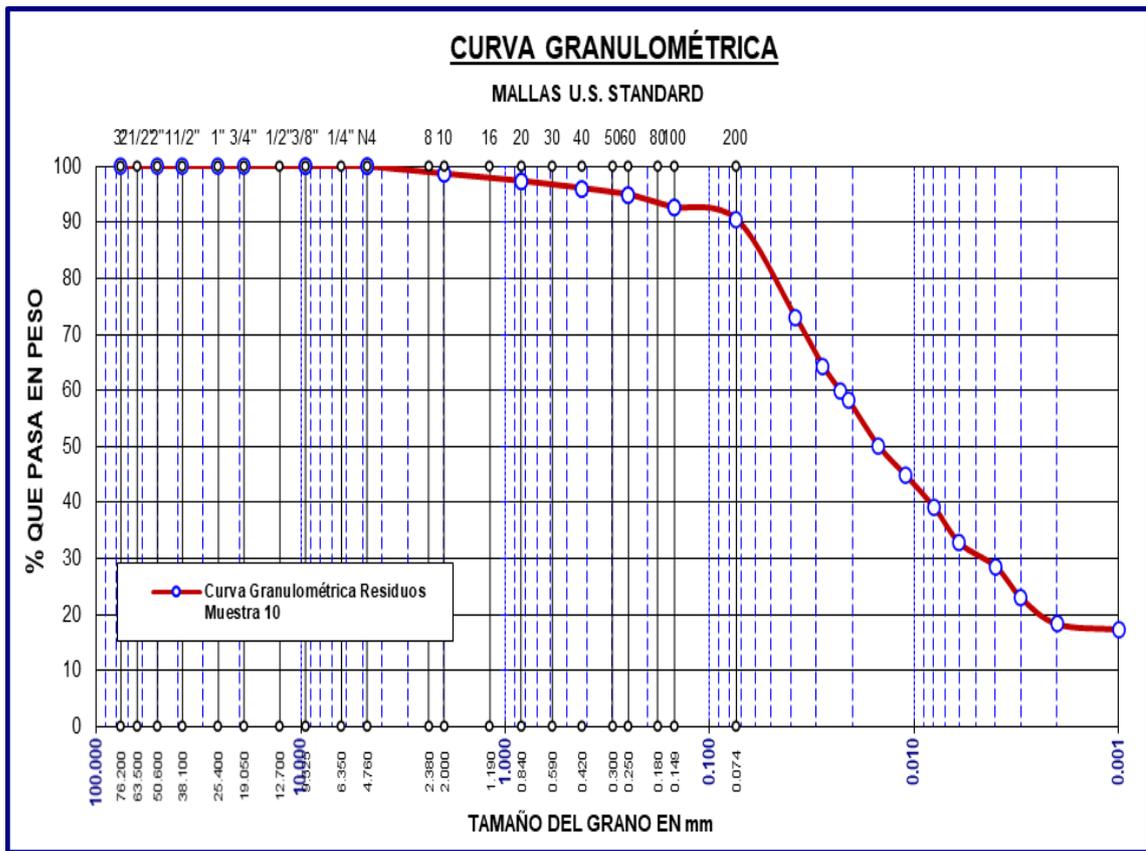
Curva Granulométrica 03: Curva del análisis granulométrico para la Muestra M3.



Curva Granulométrica 04: Curva del análisis granulométrico para la Muestra 09.



Curva Granulométrica 05: Curva del análisis granulométrico para la Muestra 10.





Anexo 4.

Clasificación climática de Köppen

Existen muchos sistemas de clasificación climática, pero uno de los más usados en geografía por su simplicidad, su rigor y su facilidad de aplicación es el de la clasificación de *Köppen*, diseñada por el botánico y climatólogo ruso de origen alemán Wladimir Köppen en el año 1900. Los principales criterios de esta clasificación son la temperatura, las precipitaciones y la distribución de los distintos tipos de vegetación en el planeta.

Köppen catalogó los diferentes climas de la Tierra usando un número reducido de categorías, pero suficiente para abarcar todo el ámbito geográfico mundial. Esta clasificación tiene distintos niveles que se pueden pormenorizar de forma paulatina.

D.1. Grupos climáticos (primer nivel)

El primer nivel está constituido por cinco grupos climáticos básicos.

▪ **Clima tipo A (tropical):**

Su principal rasgo climático es la ausencia de invierno y una temperatura media superior a los 18°C en todos los meses del año. También se caracteriza por un tipo de vegetación tropical.

▪ **Clima tipo B (seco):**

Precipitaciones escasas, la evaporación supera a la precipitación anual. La vegetación se limita a plantas xerófilas. No hay árboles.

▪ **Clima tipo C (templado cálido o mesotérmico):**

Se caracteriza por tener inviernos suaves en los que el mes más frío nunca presenta temperaturas medias inferiores a -3°C. Esta temperatura es el límite del permafrost o suelo permanentemente helado.

▪ **Clima tipo D (continental, templado de invierno riguroso):**

Los inviernos son fríos, tanto que la temperatura media mensual de estos meses es inferior a los -3°C, aunque por ahora parte la del mes más cálido del año supera los 10°C. Esa cifra es la que marca el límite del crecimiento de los árboles.

▪ **Clima tipo E (frío):**

Sin verano, donde la temperatura del mes más cálido del año no alcanza los 10°C y donde no crecen árboles.

D.2. Grupos climáticos (segundo y tercer nivel)

Dentro de cada uno de estos cinco grandes grupos *Köppen* establece una serie de subdivisiones añadiendo una segunda letra relativa a las precipitaciones con la siguiente nomenclatura, diferenciando mayúsculas y minúsculas:

Para los climas tipo B:

- S: clima estepario. La evaporación solar es superior a la precipitación, pero no la dobla. La vegetación consiste en praderas herbáceas.
- W: clima desértico. El índice de evaporación solar es más del doble que el de las precipitaciones.

Para los climas A, C y E:

- f: precipitaciones constantes todos los meses
- m (monzónico): con estación seca pero compensada por un alto nivel de precipitaciones anuales
- s: estación seca durante el verano del respectivo hemisferio.
- w: estación seca durante el invierno del respectivo hemisferio.

Por último, para obtener mayor precisión climática, se introduce una tercera letra correspondiente al factor térmico:

- a: veranos calurosos, temperatura media del mes más cálido superior a 22°C.
- b: verano cálido y largo: con al menos cuatro meses con temperaturas medias superiores a 10°C.
- c: verano fresco y corto: menos de cuatro meses con temperaturas medias superiores a 10°C.
- d: inviernos fríos: temperatura media del mes más frío inferior a -3°C.
- h: clima caluroso y seco. Temperatura media anual superior a 18°C.
- k: clima frío y seco. Temperatura media anual inferior a 18°C.
- i: débil oscilación térmica anual.
- l: temperaturas medias mensuales entre 10°C Y 22°C.
- n: nieblas frecuentes.

D.3. Clasificación de la zona de estudio

Según la clasificación Köppen, la zona de estudio podría ser replicado en:

- Cwb** *Oceánico de montaña con invierno seco* (verano suave). La temperatura media del mes más cálido no llega a los 22 °C pero se superan los 10 °C durante cuatro o más meses al año. Se da normalmente en ciudades de mucha altura en zonas templadas o tropicales, como sectores elevados de los Andes, el cuerno de África y Sudáfrica. Es la variación de climas tipo Cwa. Ciudades donde se da: Adís Abeba, Asmara, Bogotá, Ciudad de Guatemala, Ciudad de México, Cuzco, Cobán, Juliaca, Johannesburgo, La Esperanza, La Grita, La Paz, Lhasa, Puno, Puebla de Zaragoza, Quetzaltenango, Salta, Nairobi, Toluca de Lerdo, Macuchíes, Colonia Tovar.
- Dwb** *Hemiboreal con invierno seco* (verano moderado). La temperatura media del mes más cálido no llega a los 22 °C, pero se superan los 10 °C durante cuatro o más meses al año. Ciudades donde se da: Baruunturuun, Calgary, Edmonton, Heihe, Irkutsk, Novosibirsk, Pembina (Dakota del Norte), Pieonchang, Shigatse, Vladivostok, Winnipeg.

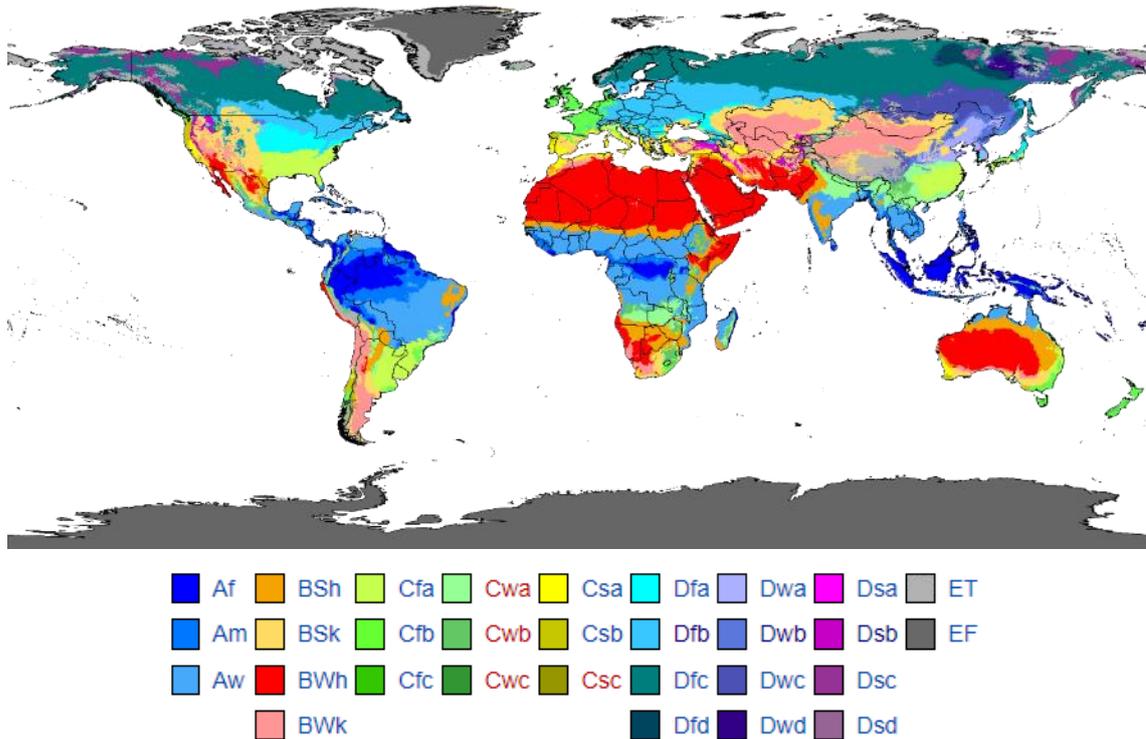


Figura 101. Mapa de clasificación climática según Köppen – Geiger (1980 – 2016).

Nota. Mapa de clasificación Cwb y Dwb con 1-km de resolución propuesto por Köpper-Geiger.

Fuente. Peel *et al.* (2007, Fig. 10, p. 1642).

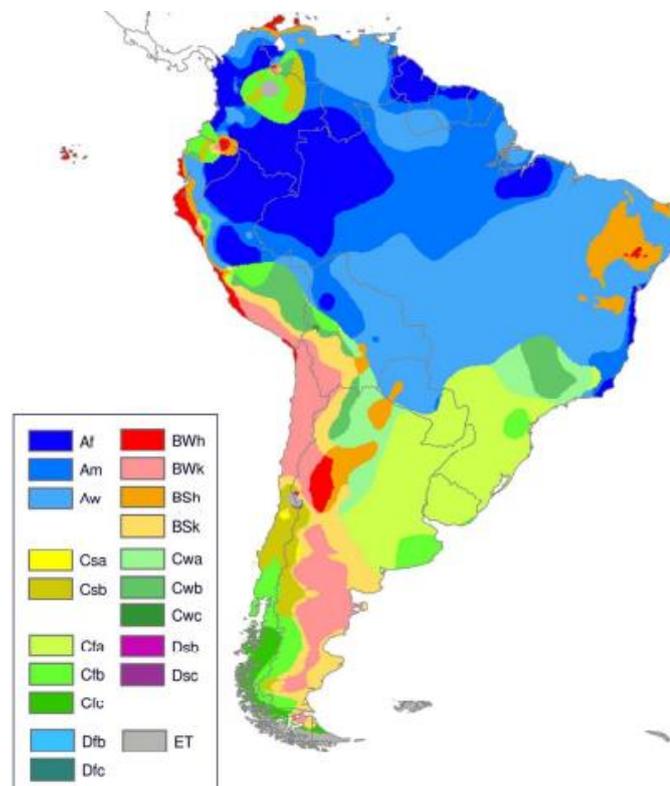


Figura 102. Mapa de clasificación climática en América del Sur.

Fuente. Peel *et al.* (2007, Fig. 7, p. 1640).



Anexo 5.

Control estadístico y pruebas de hipótesis

D.1. Medición del diámetro de raíces horizontales y verticales

Referente a la variable diámetro de las raíces horizontales y verticales, se procede a desarrollar el control estadístico y verificando la normalidad de datos por el método de Shapiro-Wilk ya que se tiene un $n < 30$, los resultados se muestran a continuación:

Raíces horizontales

Describir : Medidas de tendencia central y dispersión.

Diámetro promedio	Valor		Valor
Media	5.9540 mm	Desviación estándar	0.7421
Error estándar	0.2625 mm	Varianza	0.5511

Estimar : Intervalos de confianza para la media (95%).

Diámetro de las raíces horizontales	Valor	Media	Valor
IC 95% Límite inferior	5.439 mm	Valor Mínimo	4.70 mm
IC 95% Límite superior	6.468 mm	Valor Máximo	6.85 mm

Raíces verticales

Describir : Medidas de tendencia central y dispersión.

Diámetro promedio	Valor		Valor
Media	1.2775 mm	Desviación estándar	0.1947
Error estándar	0.0688 mm	Varianza	0.0379

Estimar : Intervalos de confianza para la media (95%).

Diámetro de las raíces verticales	Valor	Media	Valor
IC 95% Límite inferior	1.1426 mm	Valor Mínimo	1.02 mm
IC 95% Límite superior	1.4124 mm	Valor Máximo	1.56 mm

Muestras

Comparar : Medidas de tendencia central y dispersión para muestras con *Ch'iji*.

Muestras <i>Ch'iji</i>	Raíz/Tallo Horizontal			Raíz Vertical		
	Media	Error estándar	Varianza	Media	Error estándar	Varianza
Mr-01	6.848	0.2590	0.3355	1.482	0.1585	0.1256
Mr-02	5.180	0.2818	0.3970	1.190	0.0812	0.0330
Mr-03	4.700	0.4970	1.2350	1.020	0.1393	0.0970
Mr-04	6.320	0.2818	0.3970	1.400	0.1703	0.1450
Mr-05	5.670	0.3105	0.4820	1.300	0.0548	0.0150
Mr-06	6.120	0.1281	0.0820	1.220	0.0800	0.0320
Mr-07	6.750	0.1597	0.1275	1.560	0.0927	0.0430
Mr-08	6.040	0.2561	0.3280	1.050	0.1581	0.1250

Comparar : Medidas de tendencia central y dispersión para muestras con *Quemello*.

Muestras <i>Quemello</i>	Raíz/Tallo Horizontal			Raíz Vertical		
	Media	Error estándar	Varianza	Media	Error estándar	Varianza
Mr-09	4.100	0.0949	0.0450	1.160	0.0872	0.0380
Mr-10	4.780	0.1068	0.0570	1.020	0.0735	0.0270
Mr-11	4.140	0.0678	0.0230	1.040	0.0678	0.0230
Mr-12	4.580	0.1020	0.0520	0.940	0.0510	0.0130
Mr-13	4.980	0.2059	0.2120	0.820	0.0583	0.0170
Mr-14	3.840	0.1208	0.0730	0.840	0.0748	0.0280

Contrastar : El ritual de la significancia estadística.

Planteamiento de hipótesis estadística

H_0 = La distribución de la variable diámetro no es distinta a la distribución normal.

H_1 = La distribución de la variable diámetro es distinta a la distribución normal.

Parámetros de control

- Nivel de significancia (alfa) α : 5.0% = 0.05
- Estadístico de prueba : Shapiro-Wilk

Resultados de la prueba de hipótesis estadística

Muestras <i>Ch'iji</i>	p-valor	
	Raíz/Tallo Horizontal	Raíz Vertical
Mr-01	0.8840	0.4345
Mr-02	0.0860	0.0689
Mr-03	0.5330	0.6703
Mr-04	0.5850	0.1835
Mr-05	0.9090	0.1458
Mr-06	0.8230	0.3772
Mr-07	0.0760	0.7540
Mr-08	0.1710	0.2878

Muestras <i>Quemello</i>	p-valor	
	Raíz/Tallo Horizontal	Raíz Vertical
Mr-09	0.4677	0.7583
Mr-10	0.2941	0.4899
Mr-11	0.0857	0.4925
Mr-12	0.8140	0.8140
Mr-13	0.1754	0.4211
Mr-14	0.1172	0.3140

- Valor de P (Sig. Asintótica): p-valor > 0.05 (en todos los casos)
- Lectura del p-valor : Con una probabilidad de error MAYOR al 5%, la distribución de la variable diámetro es distinta a la distribución normal. (Por tanto, optamos por H_0)

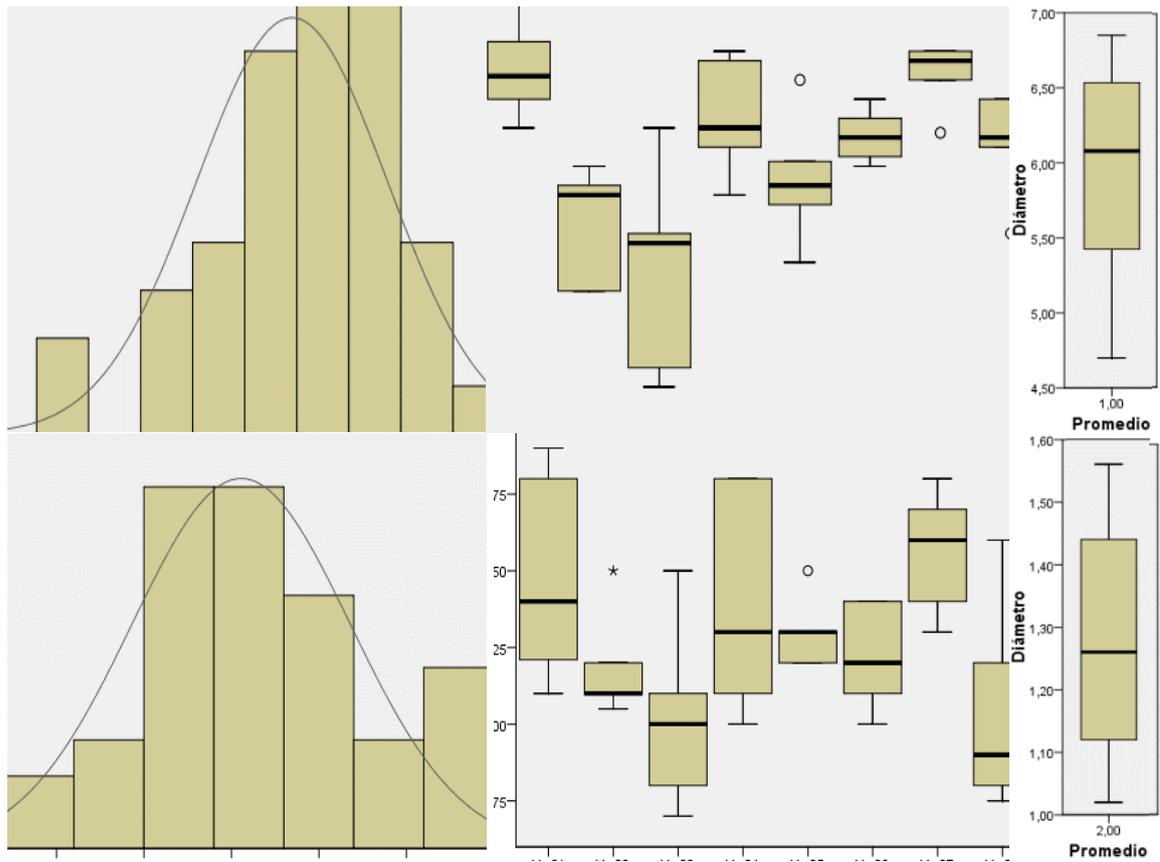
Toma de decisión

La distribución de las variables del diámetro de las raíces horizontales tiene distribución normal.

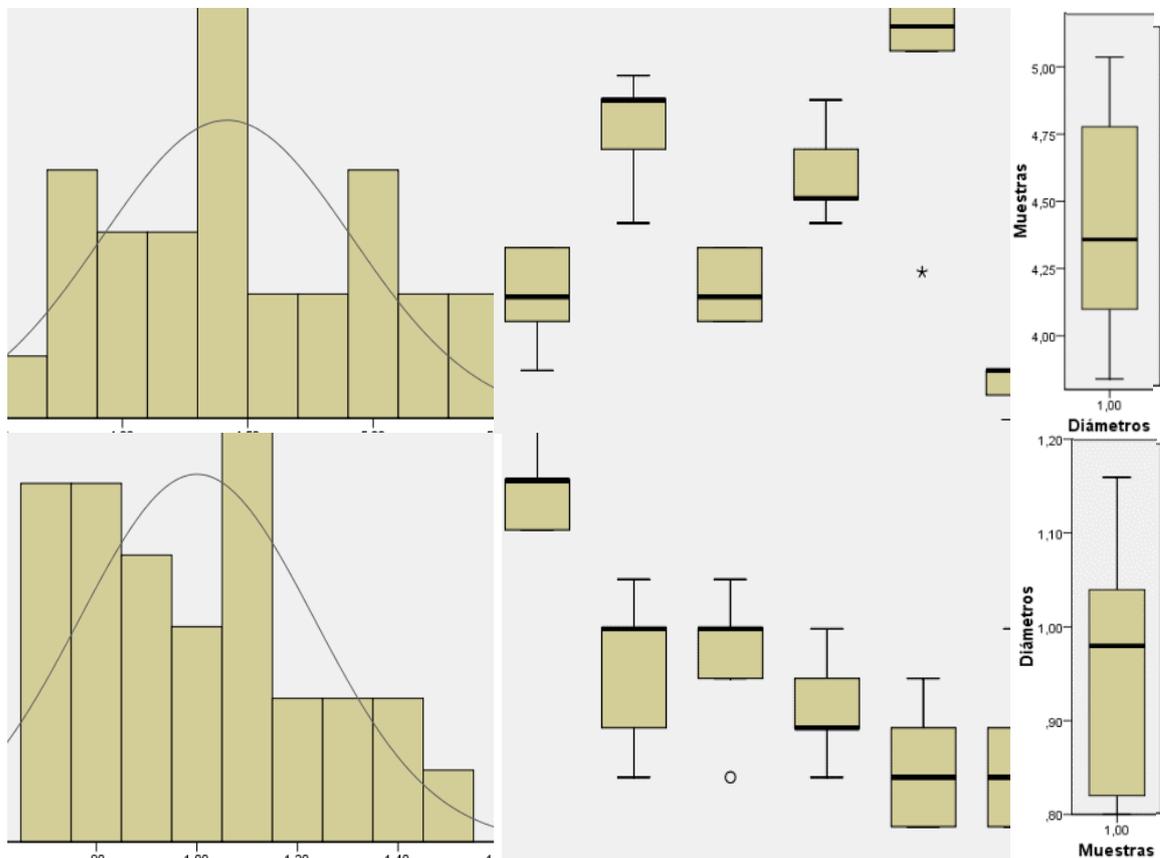
La distribución de las variables del diámetro de las raíces verticales tiene distribución normal.

Gráficos : Resumen gráfico de los datos estadísticos.

Diámetro de raíces horizontales y verticales para el *Ch'iji*:



Diámetro de raíces horizontales y verticales para el *Quemello*:



D.2. Correlación de Pearson para el contenido de raíces

Referente a la medición de la fuerza de asociación o correlación entre las variables peso de la muestra (W_m) y peso de las raíces (W_r), se procede a desarrollar el control estadístico, analizando los estadísticos descriptivos más relevantes, verificando la normalidad de datos y medición del grado de correlación existente, los resultados se muestran a continuación:

Describir : Medidas de tendencia central y dispersión.

	Wm	Wr
Media	2,469.2778 gr	248.317 gr
Error estándar	310.6435 gr	35.0546 gr
Desviación estándar	931.9306	105.164
Varianza	868,494.6319	11,059.4456

Estimar : Intervalos de confianza para la media (95%).

Diámetro de las raíces verticales	Wm	Wr
IC 95% Límite inferior	1,752.9325 gr	167.4805 gr
IC 95% Límite superior	3,185.6230 gr	329.1528 gr

Control : Verificación de normalidad.

Planteamiento de hipótesis estadística

H_0 = La distribución de la variable aleatoria no es distinta a la distribución normal.

H_1 = La distribución de la variable aleatoria es distinta a la distribución normal.

Parámetros de control

- Nivel de significancia (alfa) α : 5.0% = 0.05
- Estadístico de prueba : Shapiro-Wilk

Resultados de la prueba de hipótesis estadística

Muestras	Estadísticos descriptivos			p-valor
	Media	Error estándar	Varianza	
Peso de la muestra	2,469.278	310.644	868,494.632	0.2501
Peso de la raíz	248.317	35.0546	11,059.446	0.2264

- Valor de P: $p\text{-valor}_{\text{muestra}} = 0.2501 = 25.01\%$, $p\text{-valor}_{\text{raíz}} = 0.2264 = 22.64\%$
- Lectura del p-valor : Con una probabilidad de error MAYOR al 5%, la distribución de la variable aleatoria es distinta a la distribución normal. (H_0)

Toma de decisión

- La distribución de la variable W_m tiene distribución normal.
- La distribución de la variable W_r tiene distribución normal.

Conclusión

Es posible desarrollar un procedimiento estadístico paramétrico, ya que las variables son numéricas y tienen distribución normal.

PRUEBA DE HIPÓTESIS : Correlación de Pearson.

Medidas	R de Pearson
Coefficiente	0.9874
Error estándar	0.0067
IC 95% Límite inferior	0.9777
IC 95% Límite superior	0.9990
Planteamiento de hipótesis estadística	

Ya que se tiene una relación directa, la hipótesis será a una sola cola o unilateral, concordante al nivel de investigación explicativo, por tanto:

H_0 = A mayor peso de la muestra no se tiene una mayor cantidad de raíces.

H_1 = A mayor peso de la muestra se tiene una mayor cantidad de raíces.

Establecer un nivel de significancia

- Nivel de significancia (alfa) α : 5.0% = 0.05

Parámetros de control

- Prueba de normalidad : Si cumple
- Estadístico de prueba : Correlación de Pearson

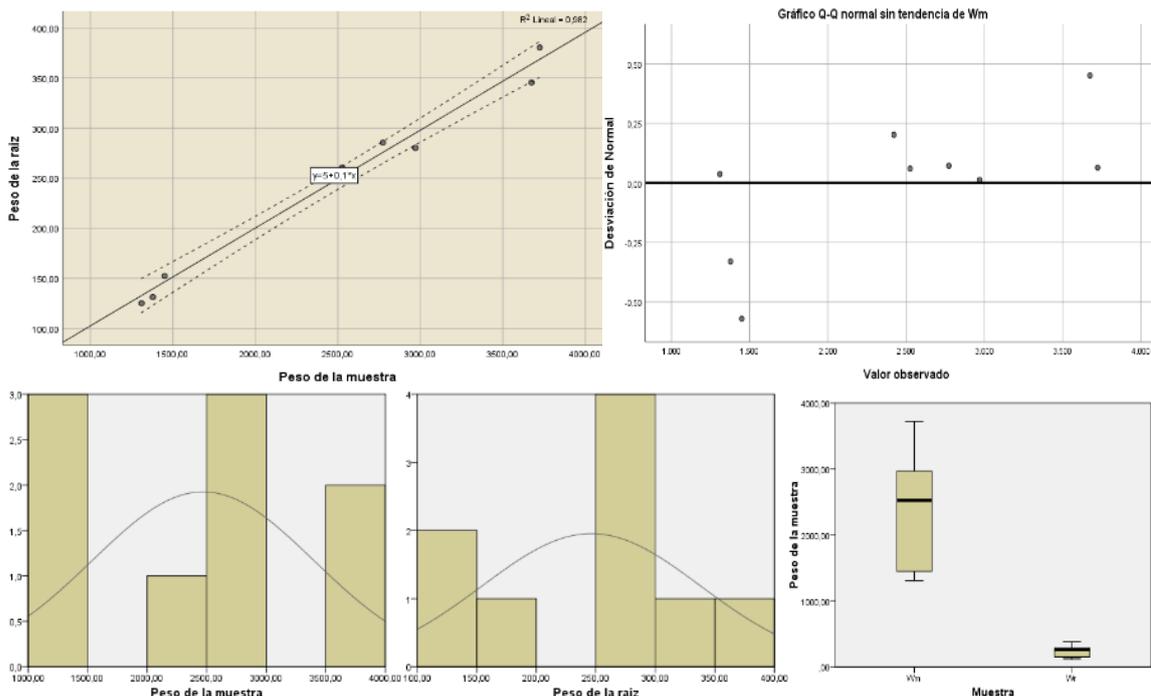
Resultados de la prueba de hipótesis estadística

- Valor de P (unilateral) : $p\text{-valor} = 7.394 \times 10^{-77} = 0.00\%$
- Valor R de Pearson : 0.9874 = 98.74%
- Lectura del p-valor : Con una probabilidad de error del 0.0%, a mayor peso de la muestra se tiene una mayor cantidad de raíces (H_1)

Interpretación

En las nueve muestras analizadas se encontró que existe una alta correlación (98.74%) entre las variables, las que además tienen una relación directa, por tanto, a mayor peso de la muestra se tiene una mayor cantidad de raíces.

Gráficos : Resumen gráfico de los datos estadísticos.



D.3. Comparación de grupos para medias de los límites de consistencia

El análisis de comparación de medias para muestras independientes aleatorias categóricas y numéricas, se puede desarrollar en base a la condición de normalidad, ya que si cumple la condición de normalidad se debería utilizar el T de Student para comparación de grupos con muestras independientes paramétricas, pero en caso que no cumple la condición de normalidad se utiliza la U de Mann-Whitney para muestras no paramétricas. Adicionalmente complementaremos un análisis de más de dos medias para muestras categóricas y numéricas, ya que para muestras que cumplen el criterio de normalidad se utiliza ANOVA con un factor inter-sujetos para muestras paramétricas, y si no cumple la condición de normalidad se deberá utilizar la prueba de Kruskal Wallis.

Por lo que primero verificaremos la condición de normalidad y luego procederemos a encontrar las diferencias en los grupos tanto de la *Ch'ampa* como del Adobe y Tapial, donde serán comparados para un nivel de investigación relacional. Se analiza una variable categórica politómica como es la *Ch'ampa*, el adobe y el tapial, en relación a las variables numéricas LL y LP, el análisis de la comparación de medias corresponde a una prueba de hipótesis, los resultados se muestran a continuación:

Control : Verificación de normalidad.

Planteamiento de hipótesis estadística

H₀ = La distribución de la variable aleatoria no es distinta a la distribución normal.

H₁ = La distribución de la variable aleatoria es distinta a la distribución normal.

Parámetros de control

- Nivel de significancia (alfa) α : 5.0% = 0.05
- Estadístico de prueba : Shapiro-Wilk (muestras menores a 30)

Resultados de la prueba de hipótesis estadística

Muestras		Estadísticos descriptivos			p-valor
		Media	Error estándar	Varianza	
LL	Ch'ampa	42.333	1.333	5.333	-4.24x10 ⁻¹⁶
	Ch'ampa*	46.455	2.105	8.862	
	Adobe	32.499	1.687	25.604	0.065126
	Tapial	33.750	4.571	83.583	0.169640
	BTC	37.890	5.812	135.109	0.461046
LP	Ch'ampa	32.333	1.333	5.333	-4.24x10 ⁻¹⁶
	Ch'ampa*	35.730	2.800	15.680	
	Adobe	20.729	0.845	6.419	0.629889
	Tapial	21.250	1.974	15.583	0.139459
	BTC	26.023	6.756	182.573	0.189047

- Valor de P: $p\text{-valor}_{\text{muestra}} = -4.24 \times 10^{-16} = 0.00\%$ (LL, LP de *Ch'ampa*)
- Lectura del p-valor : Con una probabilidad de error de 0.0%, la distribución de la variable aleatoria es distinta a la distribución normal. (H_1)
- Valor de P: $p\text{-valor}_{\text{muestra}} > 5.0\%$ (LL de Adobe, Tapial y BTC)
- Valor de P: $p\text{-valor}_{\text{muestra}} > 5.0\%$ (LP de Adobe, Tapial y BTC)
- Lectura del p-valor : Con una probabilidad de error MAYOR al 5%, la distribución de la variable aleatoria es distinta a la distribución normal. (H_0)

Toma de decisión

- La distribución de la variable LL y LP en la *Ch'ampa* no tiene distribución normal.
- La distribución de la variable LL y LP en el Adobe, Tapial y BTC si tiene distribución normal.

Conclusión

- 1° Para las muestras de *Ch'ampa* se debe desarrollar un procedimiento no paramétrico, ya que las variables son numéricas y no tienen distribución normal.
- 2° Para las muestras de Adobe, Tapial y BTC es posible desarrollar un procedimiento estadístico paramétrico, ya que las variables son numéricas y tienen distribución normal.

PRUEBA DE HIPÓTESIS : T de Student para muestras independientes (paramétricas).

Comparar : Medidas de tendencia central y dispersión.

Variable LL	Ch'ampa	Ch'ampa*	Adobe	Tapial	BTC
Promedio (\bar{X})	42.333	46.455	32.499	33.750	37.890
Error estándar de la media	1.333	2.105	1.687	4.571	5.812
Desviación estándar	2.309	2.977	5.060	9.142	11.624
Varianza	5.333	8.862	25.604	83.583	135.109

* Estudios desarrollados por otros autores sobre la misma variable.

Variable LP	Ch'ampa	Ch'ampa*	Adobe	Tapial	BTC
Promedio (\bar{X})	32.333	35.730	20.729	21.250	26.023
Error estándar de la media	1.333	2.800	0.845	1.974	6.756
Desviación estándar	2.309	3.960	2.534	3.948	13.512
Varianza	5.333	15.680	6.419	15.583	182.573

* Estudios desarrollados por otros autores sobre la misma variable.

Comparar : El ritual de la significancia estadística.

Planteamiento de hipótesis estadística

- H_0 = El valor promedio de los límites de consistencia de la *Ch'ampa* no es diferente a los límites de consistencia de otros materiales.
- H_1 = El valor promedio de los límites de consistencia de la *Ch'ampa* es diferente a los límites de consistencia de otros materiales.

Parámetros de control

- Nivel de significancia (alfa) α : $5.0\% = 0.05$
- Estadístico de prueba : T de Student para muestras independientes

- Prueba de normalidad : Si cumple (Prueba de normalidad Shapiro-Wilk)
- Prueba de homocedasticidad : Si cumple (Test de Levene)

Grados de libertad

- Criterio : Hipótesis estadística a dos colas
- Probabilidad : 0.025 (a la derecha del valor de tabla)
- Grado de libertad : $GL = (N_1 - 1) + (N_2 - 1)$

Resultados de la prueba de hipótesis estadística

T de Student	Ch'ampa = N1 ↔ N2							
	N1 ↔ Ch'ampa*		N1 ↔ Adobe		N1 ↔ Tapial		N1 ↔ BTC	
	LL	LP	LL	LP	LL	LP	LL	LP
GL	3	3	10	10	5	5	5	5
Valor de tabla	3.182	3.182	2.228	2.228	2.571	2.571	2.571	2.571
Valor calculado	-1.770	-1.256	3.178	6.990	1.554	4.282	**0.745	0.782
P-valor	0.1749	0.2982	0.0099	0.00004	0.1808	0.00785	**0.5056	0.4697
Decisión	H ₀	H ₀	H ₁	H ₁	H ₀	H ₁	H ₀	H ₀

** No cumple con el test de Levene, por lo que no se asumen varianzas iguales

- Valor de P : p-valor > 0.05 = 5.0% (LL y LP Ch'ampa ↔ Ch'ampa*)
p-valor > 0.05 = 5.0% (LL Ch'ampa ↔ Tapial)
p-valor > 0.05 = 5.0% (LL y LP Ch'ampa ↔ BTC)
p-valor < 0.05 = 5.0% (LL y LP Ch'ampa ↔ Adobe)
p-valor < 0.05 = 5.0% (LP Ch'ampa ↔ Tapial)
- Lectura del p-valor : Con una probabilidad de error MAYOR al 5%, el valor promedio del LL de la Ch'ampa es diferente a la Ch'ampa*, Tapial y BTC, y el LP de la Ch'ampa no es diferente a la Ch'ampa* y el BTC. (Optamos por H₀)
- Lectura del p-valor : Con una probabilidad de error MENOR al 5%, el valor promedio del LL de la Ch'ampa es diferente al Adobe, y el LP de la Ch'ampa no es diferente al Adobe y el Tapial. (Por tanto, optamos por H₁)

Toma de decisión

El valor promedio de los límites de consistencia (LL y LP) de la Ch'ampa no son diferentes (son semejantes) a los límites de consistencia (LL y LP) del Tapial y el BTC.

El valor promedio de los límites de consistencia (LL y LP) de la Ch'ampa son diferentes a los límites de consistencia (LL y LP) del Adobe y (LP) del Tapial.

PRUEBA DE HIPÓTESIS : U de Mann-Whitney para comparar grupos (no paramétricas).

Datos : Cantidad de datos a analizar.

Variable	Ch'ampa	Ch'ampa*	Adobe	Tapial	BTC	Total	%
LL	3.0	2.0	9.0	4.0	4.0	22.0	50.00%
LP	3.0	2.0	9.0	4.0	4.0	22.0	50.00%
%	13.6%	9.1%	40.9%	18.2%	18.2%	100.0%	100.00%

* Estudios desarrollados por otros autores sobre la misma variable.

Comparar : El ritual de la significancia estadística.

Planteamiento de hipótesis estadística

H₀ = El valor promedio de los límites de consistencia de la *Ch'ampa* no es diferente a los límites de consistencia de otros materiales.

H₁ = El valor promedio de los límites de consistencia de la *Ch'ampa* es diferente a los límites de consistencia de otros materiales.

Parámetros de control

- Nivel de significancia (alfa) α : 5.0% = 0.05
- Estadístico de prueba : U de Mann-Whitney
- Prueba de normalidad : No cumple

Resultados de la prueba de hipótesis estadística

U de Mann-Whitney	Ch'ampa = N1 ↔ N2							
	N1 ↔ Ch'ampa*		N1 ↔ Adobe		N1 ↔ Tapial		N1 ↔ BTC	
	LL	LP	LL	LP	LL	LP	LL	LP
<i>n</i>	3 - 2	3 - 2	3 - 9	3 - 3	3 - 4	3 - 4	3 - 4	3 - 4
Factor U	1.0	1.0	2.00	0.00	3.00	0.00	3.00	0.00
P-valor	0.2362	0.2362	0.0329	0.0124	0.2801	0.0308	0.7213	0.2845
Decisión	H ₀	H ₀	H ₁	H ₁	H ₀	H ₁	H ₀	H ₀

- Valor de P : p-valor > 0.05 = 5.0% (LL y LP *Ch'ampa* ↔ Ch'ampa*, LL *Ch'ampa* ↔ Tapial, LL y LP *Ch'ampa* ↔ BTC)
p-valor < 0.05 = 5.0% (LL y LP *Ch'ampa* ↔ Adobe, LP *Ch'ampa* ↔ Tapial)
- Lectura del p-valor : Con una probabilidad de error MAYOR al 5%, el valor promedio del LL de la *Ch'ampa* es diferente a la Ch'ampa*, Tapial y BTC, y el LP de la *Ch'ampa* no es diferente a la Ch'ampa* y el BTC. (Por tanto, optamos por H₀)
- Lectura del p-valor : Con una probabilidad de error MENOR al 5%, el valor promedio del LL de la *Ch'ampa* es diferente al Adobe, y el LP de la *Ch'ampa* no es diferente al Adobe y el Tapial. (Por tanto, optamos por H₁)

Toma de decisión

El valor promedio de los límites de consistencia (LL y LP) de la *Ch'ampa* no son diferentes (son semejantes) a los límites de consistencia (LL y LP) del Tapial y el BTC. El valor promedio de los límites de consistencia (LL y LP) de la *Ch'ampa* son diferentes a los límites de consistencia (LL y LP) del Adobe y (LP) del Tapial.

PRUEBA DE HIPÓTESIS : Análisis de la varianza (variable politómica VS variable numérica aleatoria) con un factor ANOVA con un factor intersujetos (más de dos grupos, transversal, prueba paramétrica).

Descriptivos: Medidas de tendencia central e intervalos de confianza.

Variable LL	Ch'ampa	Ch'ampa*	Adobe	Tapial	BTC
Media	42.333	46.455	32.499	33.750	37.890
Error estándar	1.333	2.105	1.687	4.571	5.812
IC 95% Límite inferior	36.596	19.708	28.609	19.202	19.394
IC 95% Límite superior	48.070	73.202	36.388	48.298	56.386

* Estudios desarrollados por otros autores sobre la misma variable.

Variable LP	Ch'ampa	Ch'ampa*	Adobe	Tapial	BTC
Media	32.333	35.730	20.729	21.250	26.023
Error estándar	1.333	2.800	0.845	1.974	6.756
IC 95% Límite inferior	26.596	0.153	18.781	14.969	4.522
IC 95% Límite superior	38.070	71.307	22.676	27.531	47.523

* Estudios desarrollados por otros autores sobre la misma variable.

Comparar : El ritual de la significancia estadística.

Planteamiento de hipótesis estadística

H₀ = No existe diferencias entre los grupos evaluados.

H₁ = Existe diferencias entre los grupos evaluados.

Parámetros de control

- Nivel de significancia (alfa) α : 5.0% = 0.05
- Estadístico de prueba : ANOVA con un factor intersujetos

Resultados de la prueba de hipótesis estadística

ANOVA	LL	LP	IP
Media cuadrática	120.401	153.659	3.261
F	2.325	3.886	0.179
P-valor	0.0982	0.0203	0.9459
Decisión	H ₀	H ₁	H ₀

- Valor de P : p-valor > 0.05 = 5.0% (LL e IP)
p-valor = 2.03% < 5.0% (LP)
- Lectura del p-valor : Con una probabilidad de error MAYOR al 5%, existe diferencias entre los grupos evaluados (H₀), a excepción del LP el cual es diferente a los grupos evaluados (H₁).

Toma de decisión

La varianza de los límites de consistencia (LL, IP) de la *Ch'ampa* no es diferente (son semejantes) a los límites de consistencia (LL, IP) de otros materiales, a excepción del LP el cual es diferente al de los grupos evaluados. Es necesario una prueba Post Hoc.

Comparaciones múltiples

- Prueba : Post Hoc de Tukey

Material vs Material		Variable LL			Variable LP		
		Diferencia de medias	Error Típico	Sig. (p-valor)	Diferencia de medias	Error Típico	Sig. (p-valor)
Ch'ampa	Ch'ampa*	-4.122	6.570	0.9685	-3.397	5.740	0.9745
	Adobe	9.834	4.798	0.2855	11.604	4.192	0.0843
	Tapial	8.583	5.496	0.5395	11.083	4.803	0.1901
	BTC	4.443	5.496	0.9245	6.311	4.803	0.6866
Ch'ampa*	Ch'ampa	4.122	6.570	0.9685	3.397	5.740	0.9745
	Adobe	13.956	5.626	0.1417	15.001**	4.916	0.0491
	Tapial	12.705	6.232	0.2903	14.480	5.446	0.1031
	BTC	8.565	6.232	0.6511	9.708	5.446	0.4144
Adobe	Ch'ampa	-9.834	4.798	0.2855	-11.604	4.192	0.0843
	Ch'ampa*	-13.956	5.626	0.1417	-15.001**	4.916	0.0491
	Tapial	-1.251	4.325	0.9983	-0.521	3.779	0.9999
	BTC	-5.391	4.325	0.7254	-5.294	3.779	0.6353

Material vs Material		Variable LL			Variable LP		
		Diferencia de medias	Error Típico	Sig. (p-valor)	Diferencia de medias	Error Típico	Sig. (p-valor)
Tapial	Ch'ampa	-8.583	5.496	0.5395	-11.083	4.803	0.1901
	Ch'ampa*	-12.705	6.232	0.2903	-14.480	5.446	0.1031
	Adobe	1.251	4.325	0.9983	0.521	3.779	0.9999
	BTC	-4.140	5.089	0.9228	-4.773	4.446	0.8174
Adobe	Ch'ampa	-4.443	5.496	0.9245	-6.311	4.803	0.6866
	Ch'ampa*	-8.565	6.232	0.6511	-9.708	5.446	0.4144
	Tapial	5.391	4.325	0.7254	5.294	3.779	0.6353
	BTC	4.140	5.089	0.9228	4.773	4.446	0.8174

* Estudios desarrollados por otros autores sobre la misma variable.
** Valor de P (p-valor) por debajo del 5.0%, por tanto, se acepta H₁.

- Interpretación : Según la lectura del p-valor < 5% se puede verificar que existe diferencias en la variable LP de la *Ch'ampa* comparado con el Adobe.

Sub conjuntos homogéneos

HSD Tukey		Subconjunto para alfa = 0.05			
Material	N	LL	LP		IP
		Grupo 1	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 1
Ch'ampa	3	42.333	32.333	32.333	10.000
Ch'ampa*	2	46.455		35.730	10,710
Adobe	9	32.499	20.729		11,770
Tapial	4	33.750	21.250	21.250	12,500
BTC	4	37.890	26.023	26.023	11,868
Sig. (p-valor)		0.1252	0.1553	0.0513	0.9354

- Interpretación : Se puede identificar que la variable LL e IP solo forman un grupo por tanto no existe diferencia entre los grupos, pero para la variable LP se han formado dos grupos indicando que existe una diferencia significativa.

Gráficos : Resumen gráfico de los datos estadísticos.

Diagrama de medias marginales (LL, LP, IP):

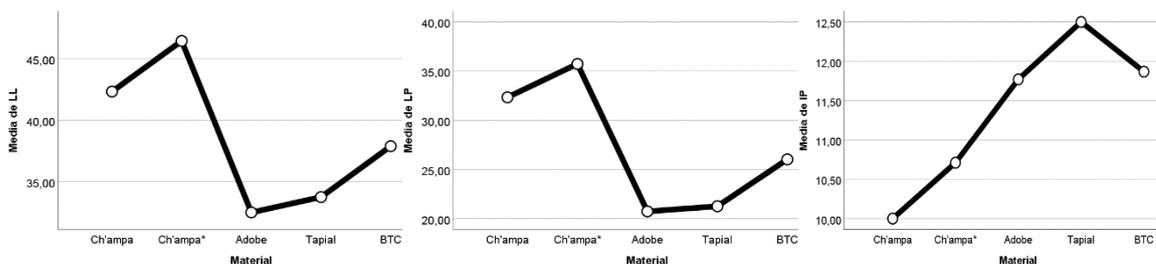


Diagrama de barras de error (LL, LP, IP):

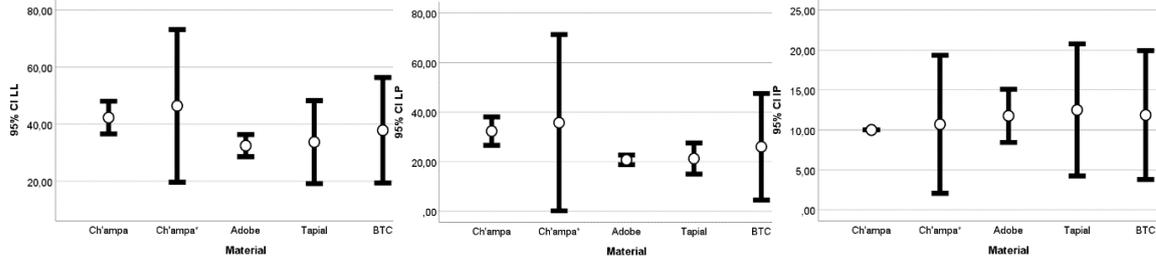
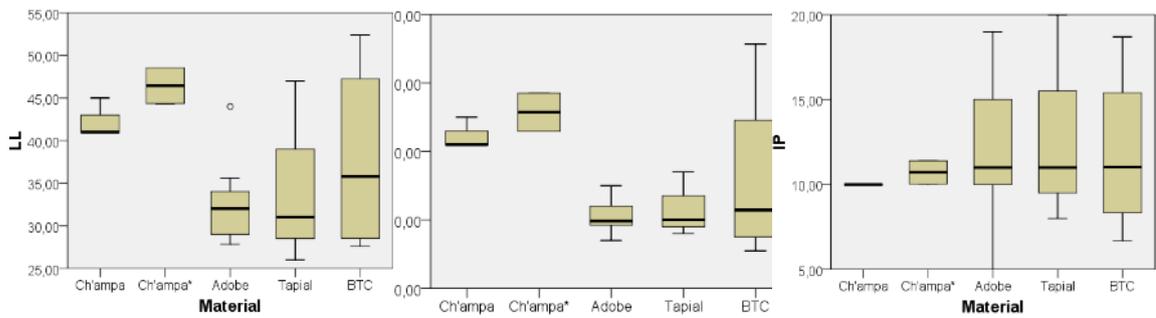


Diagrama de cajas y bigotes (LL, LP, IP):



D.4. Comparación de grupos para medias de conductividad térmica

El análisis de comparación de medias para muestras independientes aleatorias categóricas y numéricas, se puede desarrollar en base a la condición de normalidad, ya que si cumple la condición de normalidad se debería utilizar el T de Student para comparación de grupos con muestras independientes paramétricas, pero en caso que no cumple la condición de normalidad se utiliza la U de Mann-Whitney para muestras no paramétricas.

Por lo que primero verificaremos la condición de normalidad y luego procederemos a encontrar las diferencias en los grupos tanto de la *Ch'ampa* en contraste a otros materiales semejantes como del Adobe, Tapial, BTC, Quincha, etc., donde serán comparados para un nivel de investigación relacional. Se analiza una variable categórica politómica como es la *Ch'ampa*, el adobe y el tapial, etc., en relación a las variables numéricas del coeficiente de conductividad térmica (λ), el análisis de la comparación de medias corresponde a una prueba de hipótesis, los resultados se muestran a continuación:

Control : Verificación de normalidad.

Planteamiento de hipótesis estadística

H_0 = La distribución de la variable aleatoria no es distinta a la distribución normal.

H_1 = La distribución de la variable aleatoria es distinta a la distribución normal.

Parámetros de control

- Nivel de significancia (alfa) α : 5.0% = 0.05
- Estadístico de prueba : Shapiro-Wilk (muestras menores a 30)

Resultados de la prueba de hipótesis estadística

Muestras		Estadísticos descriptivos			p-valor
		Media	Error estándar	Varianza	
Conductividad térmica	Ch'ampa	0.250	0.000	0.000	-
	Adobe	0.738	0.042	0.022	0.5572
	Tapial	0.943	0.203	0.248	0.9039
	BTC	0.733	0.067	0.013	0.1650
	Quincha	0.392	0.096	0.046	0.1198
	Concreto	1.906	0.276	0.308	0.0012
	Ladrillo	1.097	0.268	0.502	0.1069
	Yeso	0.387	0.075	0.017	0.8308

- Valor de P: $p\text{-valor}_{\text{muestra}} = 0.0012 = 0.12\% < 0.05 = 5\%$ (Concreto)
- Lectura del p-valor : Con una probabilidad de error MENOR al 5%, la distribución de la variable aleatoria es distinta a la distribución normal. (Por tanto, optamos por H_1)
- Valor de P: $p\text{-valor}_{\text{muestra}} > 5.0\%$ (Adobe, Tapial, BTC, Quincha, Ladrillo, Yeso)
- Lectura del p-valor : Con una probabilidad de error MAYOR al 5%, la distribución de la variable aleatoria es distinta a la distribución normal. (Por tanto, optamos por H_0)

Toma de decisión

- La distribución de la variable Concreto no tiene distribución normal.
- La distribución de las variables Adobe, Tapial, BTC, Quincha, Ladrillo y Yeso, si tienen distribución normal.

Conclusión

- 1° Para los valores de Concreto, se debe desarrollar un procedimiento no paramétrico, ya que las variables son numéricas y no tienen distribución normal. (se descarta la muestra)
- 2° Para las muestras de Adobe, Tapial, BTC, Quincha, Ladrillo y Yeso, es posible desarrollar un procedimiento estadístico paramétrico, ya que las variables son numéricas y tienen distribución normal.

PRUEBA DE HIPÓTESIS : T de Student para muestras independientes (paramétricas).

Comparar : Medidas de tendencia central y dispersión.

Variable Conductividad	Ch'ampa	Adobe	Tapial	BTC	Quincha	Ladrillo	Yeso
Promedio (\bar{X})	0.250	0.738	0.943	0.733	0.393	1.097	0.387
Error est. media	-	0.042	0.203	0.067	0.096	0.268	0.075
Desv. estándar	-	0.147	0.498	0.116	0.214	0.555	0.131
Varianza	-	0.022	0.248	0.013	0.046	0.502	0.017

Comparar : El ritual de la significancia estadística.

Planteamiento de hipótesis estadística

H₀ = El valor promedio de la conductividad térmica de la *Ch'ampa* no es diferente a la conductividad térmica de otros materiales.

H₁ = El valor promedio de la conductividad térmica de la *Ch'ampa* es diferente a la conductividad térmica de otros materiales.

Parámetros de control

- Nivel de significancia (alfa) α : 5.0% = 0.05
- Estadístico de prueba : T de Student para muestras independientes
- Prueba de normalidad : Si cumple (Prueba de normalidad Shapiro-Wilk)
- Prueba de homocedasticidad : No cumple (Test de Levene)

Grados de libertad

- Criterio : Hipótesis estadística a dos colas
- Probabilidad : 0.025 (a la derecha del valor de tabla)
- Grado de libertad : $GL = (N_1 - 1) + (N_2 - 1)$

Resultados de la prueba de hipótesis estadística

T de Student	Ch'ampa = N1 ↔ N2						
	Adobe	Tapial	BTC	Quincha	Concreto*	Ladrillo	Yeso
GL	11	5	2	4	3	6	2
Valor de tabla	2.2010	2.5706	4.3027	2.7765	3.1824	2.4469	4.3027
Valor calculado	-3.199	-1.289	-3.611	-0.607	-2.671	-1.119	-0.907
P-valor	0.0085	0.2538	0.0688	0.5767	0.0756	0.3060	0.4602
Decisión	H ₁	H ₀					

* No cumple con la prueba de normalidad.

- Valor de P : p-valor > 0.05 = 5.0% (Tapial, BTC, Quincha, Concreto, Ladrillo y Yeso)
p-valor = 0.0085 = 0.85% < 0.05 = 5.0% (Adobe)
- Lectura del p-valor : Con una probabilidad de error MAYOR al 5%, el valor promedio de la conductividad térmica de la *Ch'ampa* es diferente a la conductividad térmica de otros materiales. (Por tanto, optamos por H₀)
- Lectura del p-valor : Con una probabilidad de error MENOR al 5%, el valor promedio de la conductividad térmica de la *Ch'ampa* es diferente a la conductividad térmica del Adobe. (Por tanto, optamos por H₁)

Toma de decisión

El valor promedio de la conductividad térmica (λ) de la *Ch'ampa* no es diferente (son semejantes) a la conductividad térmica (λ) del Tapial, BTC, Quincha, Concreto, Ladrillo y Yeso.

El valor promedio de la conductividad térmica (λ) de la *Ch'ampa* es diferente a la conductividad térmica (λ) del Adobe.

Conclusión

Debido a que los resultados no son muy contundentes, además de no cumplir con las condiciones para T de Student, es necesario realizar una Prueba de Hipótesis No Paramétrica.

PRUEBA DE HIPÓTESIS : U de Mann-Whitney para comparar grupos (estadística con muestras no paramétricas).

Datos : Cantidad de datos a analizar.

Variable	Ch'ampa	Adobe	Tapial	BTC	Quincha	Concreto	Ladrillo	Yeso	%
Cond. Term.	1	12	6	3	5	4	7	3	100.0%
%	2.4%	29.3%	14.6%	7.3%	12.2%	9.8%	17.1%	7.3%	100.0%

Comparar : El ritual de la significancia estadística.

Planteamiento de hipótesis estadística

H₀ = El valor promedio del coeficiente de conductividad térmica (λ) de la *Ch'ampa* no es diferente al coeficiente de conductividad térmica (λ) de otros materiales.

H₁ = El valor promedio del coeficiente de conductividad térmica (λ) de la *Ch'ampa* es diferente al coeficiente de conductividad térmica (λ) de otros materiales.

Parámetros de control

- Nivel de significancia (alfa) α : 5.0% = 0.05
- Estadístico de prueba : U de Mann-Whitney

Resultados de la prueba de hipótesis estadística

U de Mann-Whitney	Ch'ampa = N1 ↔ N2						
	Adobe	Tapial	BTC	Quincha	Concreto	Ladrillo	Yeso
<i>n</i> *	2-12	6-6	3-3	1-5	2-4	2-7	1-3
Factor U	0.0	6.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.5
P-valor	0.0276	0.0403	0.0369	0.7664	0.0455	0.0396	0.3458
Decisión	H ₁	H ₁	H ₁	H ₀	H ₁	H ₁	H ₀

* Para corroborar el p-valor, fue necesario incrementar la cantidad de datos de la *Ch'ampa* (valor a la izquierda), manteniéndose únicamente para la Quincha y el Yeso (1).

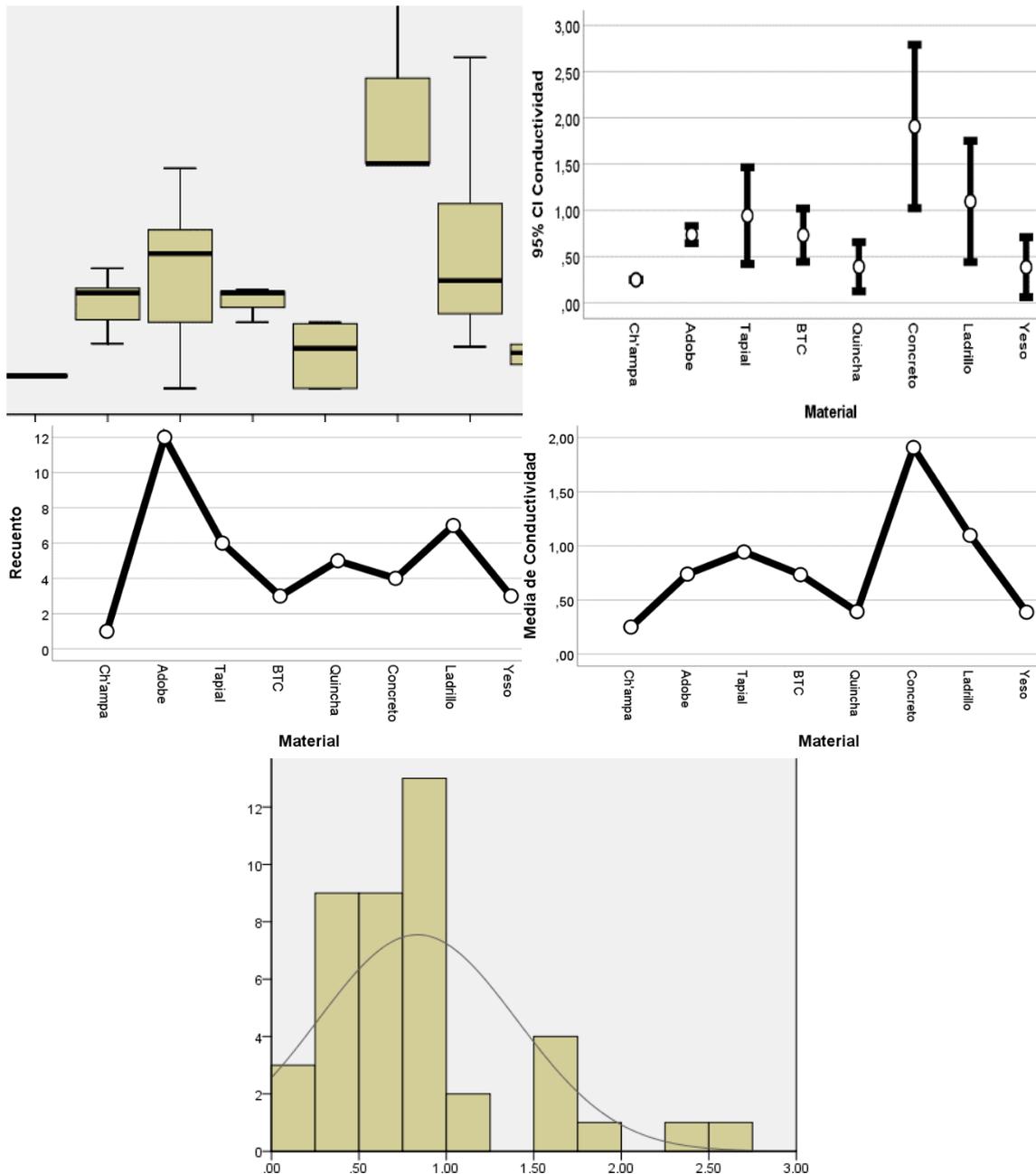
- Valor de P : p-valor > 0.05 = 5.0% (Quincha y Yeso)
p-valor < 0.05 = 5.0% (Adobe, Tapial, BTC, Concreto y Ladrillo)
- Lectura del p-valor : Con una probabilidad de error MAYOR al 5%, el valor promedio de λ de la *Ch'ampa* es diferente al valor promedio de λ de la Quincha y el Yeso. (Por tanto, optamos por H₀)
- Lectura del p-valor : Con una probabilidad de error MENOR al 5%, el valor promedio de λ de la *Ch'ampa* es diferente al valor promedio de λ del Adobe, Tapial, BTC, Concreto y Ladrillo. (Por tanto, optamos por H₁)

Toma de decisión

El valor promedio del coeficiente de conductividad térmica (λ) de la *Ch'ampa* no es diferente (son semejantes) al coeficiente de conductividad térmica (λ) de la Quincha y el Yeso.

El valor promedio del coeficiente de conductividad térmica (λ) de la *Ch'ampa* son diferentes al coeficiente de conductividad térmica (λ) del Adobe, Tapial, BTC, Concreto y Ladrillo.

Gráficos : Resumen gráfico de los datos estadísticos.



D.5. Comparación de grupos para medias de esfuerzos por compresión

El análisis de comparación de medias para muestras independientes aleatorias categóricas y numéricas, se puede desarrollar en base a la condición de normalidad, ya que si cumple la condición de normalidad se debería utilizar el T de Student para comparación de grupos con muestras independientes paramétricas, pero en caso que no cumple la condición de normalidad se utiliza la U de Mann-Whitney para muestras no paramétricas.

Por lo que primero verificaremos la condición de normalidad y luego procederemos a encontrar las diferencias en los grupos tanto de la *Ch'ampa* en contraste a estudios de *Ch'ampa* realizado por otras investigaciones semejantes y otros materiales semejantes como del Adobe, Tapial, BTC, y Ladrillo, donde serán comparados para un nivel de investigación relacional. Se analiza una variable categórica politómica como es la *Ch'ampa*, el adobe y el tapial, etc., en relación a las variables numéricas del esfuerzo de compresión (σ_c), el análisis de la comparación de medias corresponde a una prueba de hipótesis, los resultados se muestran a continuación:

Control : Verificación de normalidad.

Planteamiento de hipótesis estadística

H₀ = La distribución de la variable aleatoria no es distinta a la distribución normal.

H₁ = La distribución de la variable aleatoria es distinta a la distribución normal.

Parámetros de control

- Nivel de significancia (alfa) α : 5.0% = 0.05
- Estadístico de prueba : Shapiro-Wilk (muestras menores a 30)

Resultados de la prueba de hipótesis estadística

Muestras	Estadísticos descriptivos			p-valor	
	Media	Error estándar	Varianza		
Compresión	Ch'ampa	5.285	0.355	0.252	-
	Ch'ampa*	5.008	0.190	0.072	-
	Adobe	18.123	1.694	37.292	0.0675
	Tapial	7.870	0.779	4.249	0.0413
	BTC	2.950	0.650	0.845	-
	Ladrillo	26.029	1.860	6.919	-

* Estudio similar realizado a la *Ch'ampa* por otros autores.

- Valor de P: $p\text{-valor}_{\text{muestra}} = 0.0413 = 4.13\% < 0.05 = 5\%$ (Tapial)
- Lectura del p-valor : Con una probabilidad de error MENOR al 5%, la distribución de la variable aleatoria es distinta a la distribución normal. (Por tanto, optamos por H₁)
- Valor de P: $p\text{-valor}_{\text{muestra}} = 0.0675 = 6.75\% > 5.0\%$ (Adobe)
- Lectura del p-valor : Con una probabilidad de error MAYOR al 5%, la distribución de la variable aleatoria es distinta a la distribución normal. (Por tanto, optamos por H₀)

Toma de decisión

- La distribución de la variable Tapial no tiene distribución normal.
- La distribución de las variables Adobe, si tienen distribución normal.
- Las demás variables no pueden ser analizadas.

Conclusión
1° Para los valores de Tapial, se debe desarrollar un procedimiento no paramétrico, ya que las variables son numéricas y no tienen distribución normal.
2° Para los valores de Adobe, es posible desarrollar un procedimiento estadístico paramétrico, ya que las variables son numéricas y tienen distribución normal.

PRUEBA DE HIPÓTESIS : T de Student para muestras independientes (paramétricas).

Comparar : Medidas de tendencia central y dispersión.

Variable Esf. Compresión	Ch'ampa	Ch'ampa*	Adobe	Tapial	BTC	Ladrillo
Promedio (\bar{X})	5.285	5.008	18.123	7.870	2.950	26.029
Error est. media	0.355	0.190	1.694	0.779	0.650	1.860
Desv. estándar	0.502	0.269	6.107	2.061	0.919	2.630
Varianza	0.252	0.072	37.292	4.249	0.845	6.919

* Estudio similar realizado a la Ch'ampa por otros autores.

Comparar : El ritual de la significancia estadística.

Planteamiento de hipótesis estadística

H₀ = El valor promedio del esfuerzo a compresión (σ_c) de la Ch'ampa no es diferente al esfuerzo a compresión (σ_c) de otros materiales.

H₁ = El valor promedio del esfuerzo a compresión (σ_c) de la Ch'ampa es diferente al esfuerzo a compresión (σ_c) de otros materiales.

Parámetros de control

- Nivel de significancia (alfa) α : 5.0% = 0.05
- Estadístico de prueba : T de Student para muestras independientes
- Prueba de normalidad : No cumple (Prueba de normalidad Shapiro-Wilk)
- Prueba de homocedasticidad : No cumple (Test de Levene)

Grados de libertad

- Criterio : Hipótesis estadística a dos colas
- Probabilidad : 0.025 (a la derecha del valor de tabla)
- Grado de libertad : $GL = (N_1 - 1) + (N_2 - 1)$

Resultados de la prueba de hipótesis estadística

T de Student	Ch'ampa = N1 ↔ N2				
	Ch'ampa*	Adobe	Tapial	BTC**	Ladrillo
GL	2	13	7	2	2
Valor de tabla	4.3027	2.1604	2.3646	4.3026	4.3026
Valor calculado	0.683	-2.880	-1.681	3.153	-10.955
P-valor	0.5651	0.0129	0.1366	0.0876	0.0082
Decisión	H ₀	H ₁	H ₀	H ₀	H ₁

* Estudio similar realizado a la Ch'ampa por otros autores.

** Se requiere de más antecedentes investigativos sobre el tema.

- Valor de P : p-valor > 0.05 = 5.0% (Ch'ampa*, Tapial y BTC**)
 - p-valor < 0.05 = 5.0% (Adobe y Ladrillo)

- Lectura del p-valor : Con una probabilidad de error MAYOR al 5%, el valor promedio del esfuerzo a compresión de la *Ch'ampa* es diferente al esfuerzo a compresión de la *Ch'ampa**, Tapial y el BTC**. (Por tanto, optamos por H_0)
- Lectura del p-valor : Con una probabilidad de error MENOR al 5%, el valor promedio del esfuerzo a compresión de la *Ch'ampa* es diferente al esfuerzo a compresión del Adobe y Ladrillo. (Por tanto, optamos por H_1)

Toma de decisión
El valor promedio del esfuerzo a compresión (σ_c) de la <i>Ch'ampa</i> no es diferente (son semejantes) al esfuerzo a compresión (σ_c) del Tapial y el BTC**.
El valor promedio del esfuerzo a compresión (σ_c) de la <i>Ch'ampa</i> es diferente al esfuerzo a compresión (σ_c) del Adobe y el Ladrillo.
Conclusión
Al tener muestras sin cumplir la condición de normalidad, y tampoco haber satisfecho el test de Leven, se recomienda corroborar los resultados obtenidos mediante estadística no paramétrica.

PRUEBA DE HIPÓTESIS : U de Mann-Whitney para comparar grupos (estadística con muestras no paramétricas).

Datos : Cantidad de datos a analizar.

Variable	Ch'ampa	Ch'ampa*	Adobe	Tapial	BTC	Ladrillo	%
Esf. Compresión	2	2	13	7	2	2	100.0 %
%	7.1%	7.1%	46.4%	25.0%	7.1%	7.1%	100.0 %

* Estudio similar realizado a la *Ch'ampa* por otros autores.

Comparar : El ritual de la significancia estadística.

Planteamiento de hipótesis estadística

H_0 = El valor promedio del esfuerzo a compresión (σ_c) de la *Ch'ampa* no es diferente al esfuerzo a compresión (σ_c) de otros materiales.

H_1 = El valor promedio del esfuerzo a compresión (σ_c) de la *Ch'ampa* es diferente al esfuerzo a compresión (σ_c) de otros materiales.

Parámetros de control

- Nivel de significancia (alfa) α : 5.0% = 0.05
- Estadístico de prueba : U de Mann-Whitney

Resultados de la prueba de hipótesis estadística

U de Mann-Whitney	Ch'ampa = N1 ↔ N2				
	Ch'ampa*	Adobe	Tapial	BTC**	Ladrillo
<i>n</i>	2-2	2-13	2-7	2-2	4-2
Factor U	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P-valor	0.4386	0.0271	0.0404	0.1213	0.0565
Decisión	H_0	H_1	H_1	H_0	H_1

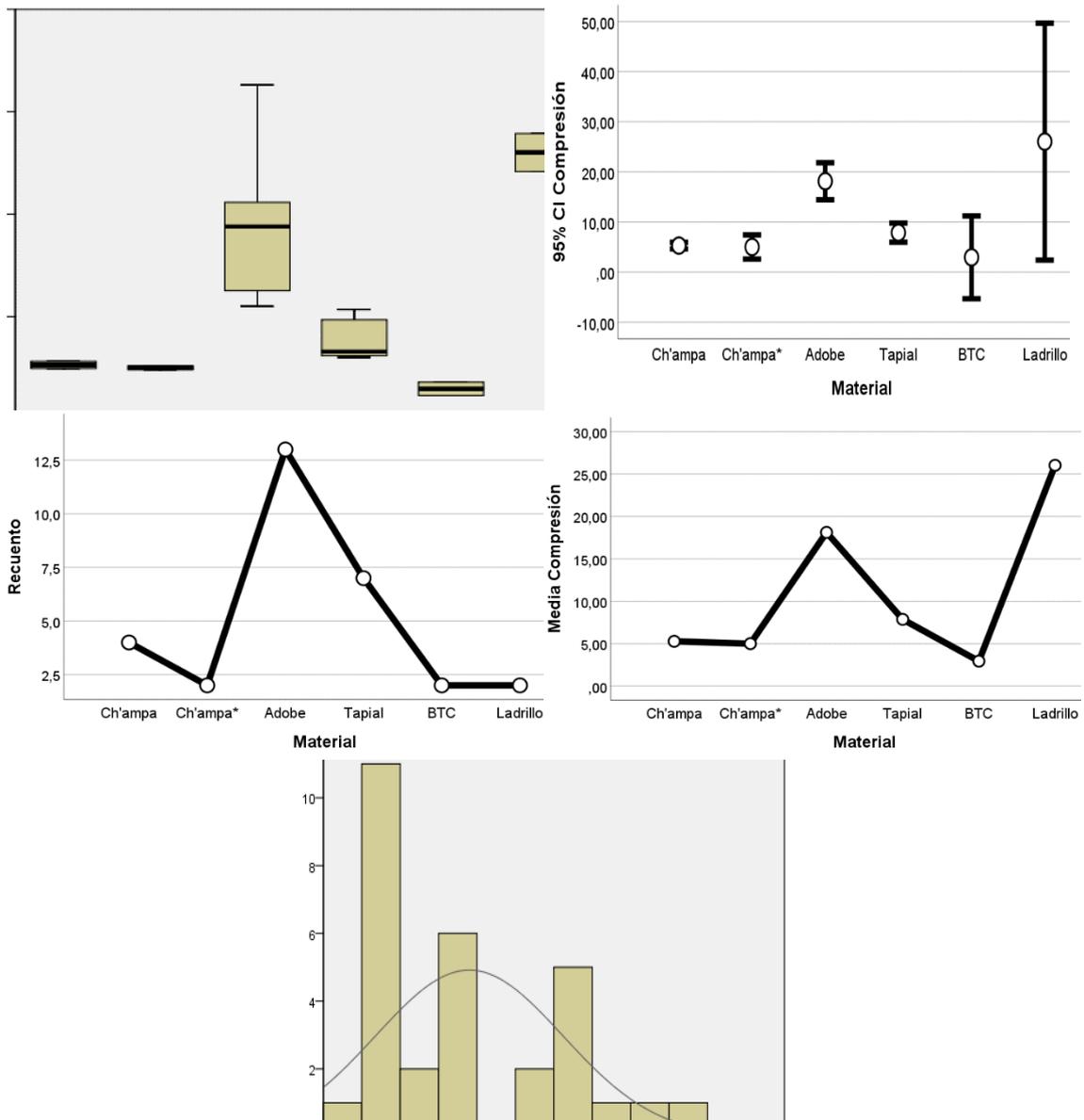
* Estudio similar realizado a la *Ch'ampa* por otros autores.
** Se requiere de más antecedentes investigativos sobre el tema.

- Valor de P : $p\text{-valor} > 0.05 = 5.0\%$ (Ch'ampa* y BTC**)
 $p\text{-valor} < 0.05 = 5.0\%$ (Adobe, Tapial y Ladrillo)
- Lectura del p-valor : Con una probabilidad de error MAYOR al 5%, el valor promedio del esfuerzo a compresión (σ_c) de la Ch'ampa es diferente al valor promedio del esfuerzo a compresión (σ_c) del BTC**. (Por tanto, optamos por H_0)
- Lectura del p-valor : Con una probabilidad de error MENOR al 5%, el valor promedio del esfuerzo a compresión (σ_c) de la Ch'ampa es diferente al valor promedio del esfuerzo a compresión (σ_c) del Adobe, Tapial y Ladrillo. (Optamos por H_1)

Toma de decisión

El valor promedio del esfuerzo a compresión (σ_c) de la Ch'ampa no es diferente (son semejantes) al esfuerzo a compresión (σ_c) de estudios semejantes de Ch'ampa* y BTC**. El valor promedio del esfuerzo a compresión (σ_c) de la Ch'ampa son diferentes al esfuerzo a compresión (σ_c) del Adobe, Tapial y Ladrillo.

Gráficos : Resumen gráfico de los datos estadísticos.



D.6. Comparación de grupos para medias de esfuerzos por flexión

El análisis de comparación de medias para muestras independientes aleatorias categóricas y numéricas, se puede desarrollar en base a la condición de normalidad, ya que si cumple la condición de normalidad se debería utilizar el T de Student para comparación de grupos con muestras independientes paramétricas, pero en caso que no cumple la condición de normalidad se utiliza la U de Mann-Whitney para muestras no paramétricas.

Por lo que primero verificaremos la condición de normalidad y luego procederemos a encontrar las diferencias en los grupos tanto de la *Ch'ampa* en contraste a estudios de *Ch'ampa* realizado por otras investigaciones semejantes y otros materiales semejantes como del Adobe y Tapial, donde serán comparados para un nivel de investigación relacional. Se analiza una variable categórica politómica como es la *Ch'ampa*, el adobe y el tapial, en relación a las variables numéricas del esfuerzo de flexión (σ_f), el análisis de la comparación de medias corresponde a una prueba de hipótesis, los resultados se muestran a continuación:

Control : Verificación de normalidad.

Planteamiento de hipótesis estadística

H_0 = La distribución de la variable aleatoria no es distinta a la distribución normal.

H_1 = La distribución de la variable aleatoria es distinta a la distribución normal.

Parámetros de control

- Nivel de significancia (alfa) α : 5.0% = 0.05
- Estadístico de prueba : Shapiro-Wilk (muestras menores a 30)

Resultados de la prueba de hipótesis estadística

Muestras		Estadísticos descriptivos			p-valor
		Media	Error estándar	Varianza	
Flexión	Ch'ampa	3.831	0.762	1.744	0.0130
	Ch'ampa*	2.198	1.257	3.158	-
	Adobe	5.577	0.851	7.247	0.1886
	Tapial	1.694	0.831	3.451	0.0658

* Estudio similar realizado a la *Ch'ampa* por otros autores.

- Valor de P: $p\text{-valor}_{\text{muestra}} < 0.05 = 5\%$ (Ch'ampa y Tapial)
- Lectura del p-valor : Con una probabilidad de error MENOR al 5%, la distribución de la variable aleatoria es distinta a la distribución normal. (Por tanto, optamos por H_1)
- Valor de P: $p\text{-valor}_{\text{muestra}} = 0.1886 = 18.86\% > 5.0\%$ (Adobe)

- Lectura del p-valor : Con una probabilidad de error MAYOR al 5%, la distribución de la variable aleatoria es distinta a la distribución normal. (Por tanto, optamos por H_0)

Toma de decisión

- La distribución de la variable Ch'ampa y Tapial no tiene distribución normal.
- La distribución de las variables Adobe, si tienen distribución normal.
- Las demás variables no pueden ser analizadas.

Conclusión

1° Para los valores de la Ch'ampa y el Tapial, se debe desarrollar un procedimiento no paramétrico, ya que las variables son numéricas y no tienen distribución normal.
2° Para los valores de Adobe, es posible desarrollar un procedimiento estadístico paramétrico, ya que las variables son numéricas y tienen distribución normal.

PRUEBA DE HIPÓTESIS : T de Student para muestras independientes (paramétricas).

Comparar : Medidas de tendencia central y dispersión.

Variable Esf. Flexión	Ch'ampa	Ch'ampa*	Adobe	Tapial
Promedio (\bar{X})	3.831	2.198	5.577	1.694
Error est. media	0.762	1.257	0.851	0.831
Desv. estándar	1.320	1.777	2.692	1.858
Varianza	1.744	3.158	7.247	3.451

* Estudio similar realizado a la Ch'ampa por otros autores.

Comparar : El ritual de la significancia estadística.

Planteamiento de hipótesis estadística

H_0 = El valor promedio del esfuerzo a flexión de la Ch'ampa no es diferente al esfuerzo a compresión de otros materiales.

H_1 = El valor promedio del esfuerzo a flexión de la Ch'ampa es diferente al esfuerzo a compresión de otros materiales.

Parámetros de control

- Nivel de significancia (alfa) α : 5.0% = 0.05
- Estadístico de prueba : T de Student para muestras independientes
- Prueba de normalidad : No cumple (Prueba de normalidad Shapiro-Wilk)
- Prueba de homocedasticidad : No cumple (Test de Levene)

Grados de libertad

- Criterio : Hipótesis estadística a dos colas
- Probabilidad : 0.025 (a la derecha del valor de tabla)
- Grado de libertad : $GL = (N_1 - 1) + (N_2 - 1)$

Resultados de la prueba de hipótesis estadística

T de Student	Ch'ampa = N1 ↔ N2		
	Ch'ampa*	Adobe	Tapial
GL	3	11	6
Valor de tabla	3.1824	2.2010	2.4469
Valor calculado	1.203	-1.061	1.724
P-valor	0.3154	0.3115	0.1355
Decisión	H_0	H_0	H_0

* Estudio similar realizado a la Ch'ampa por otros autores.

- Valor de P : p-valor > 0.05 = 5.0% (Ch'ampa*, Adobe y Tapial)
- Lectura del p-valor : Con una probabilidad de error MAYOR al 5%, el valor promedio del esfuerzo a flexión de la Ch'ampa es diferente al esfuerzo a flexión de la Ch'ampa*, Adobe y Tapial. (Por tanto, optamos por H₀)

Toma de decisión
El valor promedio del esfuerzo a flexión (σ_f) de la Ch'ampa no es diferente (son semejantes) al esfuerzo a flexión (σ_f) del Adobe y Tapial.
Conclusión
Al tener muestras sin cumplir la condición de normalidad, pero haber satisfecho el test de Leven, se recomienda corroborar los resultados obtenidos mediante estadística no paramétrica.

PRUEBA DE HIPÓTESIS : U de Mann-Whitney para comparar grupos (estadística con muestras no paramétricas).

Datos : Cantidad de datos a analizar.

Variable	Ch'ampa	Ch'ampa*	Adobe	Tapial	%
Esf. Flexión	3	2	10	5	100.0%
%	15.0%	10.0%	50.0%	25.0%	100.0%

* Estudio similar realizado a la Ch'ampa por otros autores.

Comparar : El ritual de la significancia estadística.

Planteamiento de hipótesis estadística

H₀ = El valor promedio del esfuerzo a flexión (σ_f) de la Ch'ampa no es diferente al esfuerzo a flexión (σ_f) de otros materiales.

H₁ = El valor promedio del esfuerzo a flexión (σ_f) de la Ch'ampa es diferente al esfuerzo a flexión (σ_f) de otros materiales.

Parámetros de control

- Nivel de significancia (alfa) α : 5.0% = 0.05
- Estadístico de prueba : U de Mann-Whitney

Resultados de la prueba de hipótesis estadística

U de Mann-Whitney	Ch'ampa = N1 ↔ N2		
	Ch'ampa*	Adobe	Tapial
n	3-2	3-10	3-5
Factor U	2.0	10.0	2.0
P-valor	0.5637	0.3980	0.1011
Decisión	H ₀	H ₀	H ₀

* Estudio similar realizado a la Ch'ampa por otros autores.

- Valor de P : p-valor > 0.05 = 5.0% (Ch'ampa*, Adobe y Tapial)
- Lectura del p-valor : Con una probabilidad de error MAYOR al 5%, el valor promedio del esfuerzo a flexión (σ_f) de la Ch'ampa es diferente al valor promedio del esfuerzo a compresión (σ_f) de la Ch'ampa*, el Adobe y el Tapial. (Por tanto, optamos por H₀)

Toma de decisión

El valor promedio del esfuerzo a flexión (σ_f) de la *Ch'ampa* no es diferente (son semejantes) al esfuerzo a flexión (σ_f) de estudios semejantes de *Ch'ampa**, Adobe y Tapial.

Gráficos : Resumen gráfico de los datos estadísticos.

