



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**INFLUENCIA DEL ADITIVO AGGREBIND EN LAS  
PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNIDADES DE  
ALBAÑILERÍA DE TIERRA COMPRIMIDA, PAUCARCOLLA,  
PUNO 2023**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**JAVIER LIMACHI CHOQUE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PUNO – PERÚ**

**2024**



## Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**INFLUENCIA DEL ADITIVO AGGREGADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA DE TIERRA COMPRIMIDA, PAUCARCOLLA, PUNO 2023**

AUTOR

**JAVIER LIMACHI CHOQUE**

RECuento DE PALABRAS

**43479 Words**

RECuento DE CARACTERES

**217134 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**233 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**79.8MB**

FECHA DE ENTREGA

**Aug 23, 2024 4:45 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Aug 23, 2024 4:48 PM GMT-5**

### ● 11% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

Vis  
  
28/08/2024  
 Ing. J. C. Medina Leiva  
DOCENTE UNIVERSITARIO  
COD. UNA N° 910545  
SDI - EPIC

  
D. Sc. Félix Rojas Chahuares  
ASESOR

Resumen



## DEDICATORIA

Los dedico a toda mi familia, en especial a mis padres Daniel y Elena L., por su soporte ilimitado durante mi etapa de pregrado y el desarrollo de la presente investigación.

**Javier Limachi Choque**



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la UNA-Puno, a la EPIC, a cada uno de los maestros por sus enseñanzas en la formación profesional y, en especial, a mi director de tesis, y de igual forma a los jurados dictaminantes.

**Javier Limachi Choque**



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>24</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>25</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA .....</b>	<b>26</b>
<b>1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>28</b>
1.2.1. Pregunta general .....	28
1.2.2. Preguntas específicas .....	28
<b>1.3. HIPÓTESIS .....</b>	<b>28</b>
1.3.1. Hipótesis general.....	28
1.3.2. Hipótesis específicas.....	28
<b>1.4. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>29</b>
1.4.1. Justificación social.....	31
1.4.2. Justificación económica.....	31
1.4.3. Justificación ambiental .....	32
1.4.4. Justificación Práctica .....	32



1.4.5. Justificación metodológica .....	32
1.4.6. Importancia del estudio.....	32
1.4.7. Relevancia del estudio .....	33
1.4.7.1. Credibilidad.....	33
1.4.7.2. Transferibilidad.....	33
1.4.7.3. Fidelidad.....	33
1.4.7.4. Corfirmabilidad.....	33
1.4.8. Consecuencias del estudio .....	34
1.4.9. Limitaciones del estudio .....	34
1.4.10. Cuestiones éticas .....	34
<b>1.5. OBJETIVOS.....</b>	<b>35</b>
1.5.1. Objetivo general.....	35
1.5.2. Objetivos específicos .....	35
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	
<b>2.1. ANTECEDENTES .....</b>	<b>36</b>
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	36
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	37
2.1.3. Antecedentes locales.....	39
<b>2.2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>41</b>
2.2.1. Unidad de albañilería de tierra comprimida .....	41
2.2.1.1. Marco normativo.....	44
2.2.1.2. fases de producción de UATC .....	45
2.2.1.3. Construcciones con tierra comprimida en la actualidad .....	48
2.2.2. Estabilización de UATC .....	53



2.2.3. Aditivo AggreBind .....	54
2.2.3.1. Antecedentes de la aplicación de AggreBind .....	55
2.2.3.2. Propiedades químicas del AggreBind .....	56
2.2.3.3. Propiedades físicas del AggreBind .....	56
2.2.3.4. Punto de vista normativo.....	57
2.2.4. Características de la tierra para UATC .....	58
2.2.4.1. Granulometría. ....	58
2.2.4.2. Límites de consistencia .....	59
2.2.4.3. Clasificación e identificación de suelos .....	60
2.2.5. Propiedades física y mecánica de UATC .....	63
2.2.5.1. Absorción en UATC .....	63
2.2.5.2. Rapidez inicial de absorción (succión) en UATC.....	64
2.2.5.3. Alabeo en UATC .....	65
2.2.5.4. Variación dimensional de UATC.....	66
2.2.5.5. Resistencia a la compresión de UATC .....	68
2.2.5.6. Resistencia a flexión de UATC.....	70

### CAPÍTULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1. UBICACIÓN DEL ESTUDIO .....</b>	<b>72</b>
<b>3.2. METODOLOGÍA .....</b>	<b>73</b>
3.2.1. Enfoque de investigación.....	73
3.2.2. Tipo de investigación.....	73
3.2.3. Niveles de investigación .....	74
3.2.4. Diseño de investigación .....	74
<b>3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.....</b>	<b>75</b>



3.3.1. Población .....	75
3.3.2. Muestra .....	79
<b>3.4. VARIABLES .....</b>	<b>80</b>
3.4.1. Variable independiente .....	80
3.4.2. Variables dependientes .....	82
3.4.3. Operacionalización de variables .....	83
<b>3.5. ETAPAS PARA EL DESARROLLO DEL ESTUDIO .....</b>	<b>83</b>
<b>3.6. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO.....</b>	<b>85</b>
3.6.1. La distribución normal.....	85
3.6.2. Contraste de la normalidad de las muestras.....	86
3.6.2.1. Shapiro-Wilk.....	86
3.6.3. Prueba de homocedasticidad.....	86
3.6.3.1. Test de Levene .....	87
3.6.4. Prueba De Hipótesis.....	87
3.6.4.1. ANOVA .....	87
3.6.4.2. Prueba de LSD de Fisher .....	90
<b>3.7. DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>91</b>
<b>3.8. MATERIALES Y EQUIPOS .....</b>	<b>91</b>
3.8.1. Características de la tierra (cantera Collana) .....	91
3.8.1.1. Materiales y equipos para la caracterización de la tierra .....	91
3.8.1.2. Ensayo de contenido natural de humedad.....	93
3.8.1.3. Ensayo de análisis granulométrico.....	95
3.8.1.4. Límites de consistencia .....	96
3.8.1.5. Ensayo de compactación Proctor modificado.....	98
3.8.1.6. Clasificación e identificación de suelos .....	100



3.8.2. Características del aditivo AggreBind .....	101
3.8.3. Producción de UATC.....	104
3.8.3.1. Materiales y equipos para la fabricación de UATC.....	104
3.8.3.2. Proceso de producción de UATC en laboratorio .....	105
3.8.3.3. Resumen de la composición de las UATC, por indicador .....	109
3.8.4. Materiales y equipos objetivo específico (OE <sub>1</sub> ) .....	109
3.8.5. Materiales y equipos objetivo específico (OE <sub>2</sub> ) .....	110
<b>3.9. ENSAYO REALIZADO PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO (OE<sub>1</sub>) ....</b>	<b>111</b>
3.9.1. Ensayo de absorción .....	111
3.9.2. Ensayo de rapidez inicial de absorción (succión).....	113
3.9.3. Ensayo de variación dimensional .....	115
3.9.4. Ensayo de alabeo .....	119
3.9.5. Ensayo de densidad.....	120
<b>3.10. ENSAYO REALIZADO PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO (OE<sub>2</sub>) ....</b>	<b>121</b>
3.10.1. Ensayo de resistencia a la compresión .....	121
3.10.2. Ensayo de resistencia a flexión .....	123

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA TIERRA .....</b>	<b>126</b>
<b>4.2. RESULTADOS DE PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS UATC.....</b>	<b>128</b>
4.1.1. Resultados de absorción.....	128
4.1.1.1. Análisis estadístico de absorción .....	129
4.1.2. Resultados de rapidez inicial de absorción (succión).....	130
4.1.2.1. Análisis estadístico de succión.....	131
4.1.2.2. Prueba de hipótesis de succión.....	137



4.1.3. Resultados de alabeo.....	140
4.1.3.1. Análisis estadístico de alabeo .....	141
4.1.4. Resultados de variación dimensional de longitud.....	141
4.1.4.1. Análisis estadístico de variación dimensional de longitud .....	142
4.1.4.2. Prueba de hipótesis de variación dimensional de longitud .....	148
4.1.5. Resultados de variación dimensional de altura.....	149
4.1.5.1. Análisis estadístico de variación dimensional de altura.....	150
4.1.5.2. Prueba de hipótesis de variación dimensional de altura .....	155
4.1.6. Resultados de variación dimensional de ancho .....	157
4.1.6.1. Análisis estadístico de variación dimensional de ancho .....	158
4.1.6.2. Prueba de hipótesis de variación dimensional de ancho .....	163
4.1.7. Resultados de densidad .....	165
4.1.5.1. Análisis estadístico de densidad.....	166
4.1.5.6. Prueba de hipótesis de densidad.....	172
<b>4.3. RESULTADOS DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE UATC.....</b>	<b>174</b>
4.2.1. Resultados de resistencia a la compresión .....	174
4.2.1.1. Análisis estadístico de resistencia a la compresión.....	176
4.2.1.2. Prueba de hipótesis de resistencia a la compresión.....	181
4.2.2. Resultados de resistencia a flexión .....	185
4.2.2.1. Análisis estadístico de resistencia a flexión .....	186
4.2.2.2. Prueba de hipótesis de resistencia a flexión .....	191
<b>4.4. RESULTADOS DE ANÁLISIS ECONÓMICO DE UATC (OE<sub>3</sub>) .....</b>	<b>194</b>
<b>4.5. RESUMEN DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>199</b>
<b>4.6. DISCUSIÓN .....</b>	<b>202</b>
4.6.1. Según los componentes utilizados en las UATC .....	202



4.6.2. Según el objetivo específico (OE <sub>1</sub> ).....	203
4.6.3. Según el objetivo específico (OE <sub>2</sub> ).....	207
4.6.4. Según el uso de AggreBind en otros ensayos .....	211
4.6.5. Según la norma E-070, unidades de albañilería No Portante .....	212
<b>4.7. CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS .....</b>	<b>213</b>
4.7.1. Cumplimiento de los objetivos específicos .....	213
4.7.2. Cumplimiento del objetivo general.....	215
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>217</b>
<b>5.1. CONCLUSIONES ESPECÍFICAS .....</b>	<b>217</b>
<b>5.2. CONCLUSIÓN GENERAL.....</b>	<b>218</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>219</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>220</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>231</b>

**Área:** Construcciones

**Línea de investigación:** Construcciones y Gerencia

**Tema:** Unidades de albañilería de tierra comprimida

**Fecha de sustentación:** 04 de septiembre del 2024



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1	Normas y reglamentos de unidades albañilería de tierra comprimida..... 45
Tabla 2	Maquinaria para el prensado de UATC ..... 47
Tabla 3	Niveles de presión de compresión ..... 48
Tabla 4	Manual informativo ..... 58
Tabla 5	Clasificación de suelos sistema AASHTO ..... 61
Tabla 6	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) ..... 62
Tabla 7	Tolerancias de las dimensiones para bloques de tierra comprimida ..... 68
Tabla 8	Resistencia a la compresión mínima requerida según normativas ..... 70
Tabla 9	Diseño experimental y cuantificación de unidades de albañilería..... 76
Tabla 10	Muestreo de UATC para cada dosis de 0, 2, 3, 4 y 5 l/m <sup>3</sup> ..... 79
Tabla 11	Dosis de AggreBind (VI)..... 82
Tabla 12	Operacionalización de variables ..... 83
Tabla 13	Formato del cálculo de ANOVA ..... 88
Tabla 14	Uso de materiales y equipos, en la caracterización de la tierra ..... 92
Tabla 15	Contenido natural de humedad de la tierra..... 94
Tabla 16	Análisis granulométrico..... 96
Tabla 17	Límite líquido (NTP 339.129) ..... 97
Tabla 18	Límite plástico ..... 98
Tabla 19	Proctor modificado ..... 99
Tabla 20	Especificaciones técnicas de AggreBind..... 101
Tabla 21	Uso de materiales y equipos, en la fabricación de UATC..... 104
Tabla 22	Composición para una unidad de UATC, por indicador ..... 109



Tabla 23	Uso de materiales, equipos y herramientas, utilizados para el OE <sub>1</sub> .....	109
Tabla 24	Uso de materiales, equipos y herramientas, utilizados para el OE <sub>2</sub> .....	110
Tabla 25	Datos obtenidos en el ensayo de absorción .....	112
Tabla 26	Datos obtenidos en el ensayo de succión .....	114
Tabla 27	Datos obtenidos en el ensayo de variación dimensional .....	116
Tabla 28	Datos obtenidos en el ensayo de alabeo .....	120
Tabla 29	Datos obtenidos en el ensayo de densidad .....	121
Tabla 30	Datos obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión .....	123
Tabla 31	Datos obtenidos en el ensayo de resistencia a flexión.....	125
Tabla 32	Resumen de resultados de caracterización de la tierra .....	126
Tabla 33	Resultado de absorción.....	128
Tabla 34	Cuadro estadístico de absorción con 0, 2, 3, 4 y 5 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	130
Tabla 35	Resultados de succión.....	130
Tabla 36	Cuadro estadístico de succión - UATC con 0 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	132
Tabla 37	Cuadro estadístico de succión - UATC con 2 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	132
Tabla 38	Cuadro estadístico de succión - UATC con 3 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	133
Tabla 39	Cuadro estadístico de succión - UATC con 4 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	134
Tabla 40	Cuadro estadístico de succión - UATC con 5 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	134
Tabla 41	Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) - succión.....	135
Tabla 42	Prueba de homocedasticidad (Levene) - succión .....	137
Tabla 43	ANOVA – succión .....	138
Tabla 44	Análisis de la prueba LSD de Fisher - succión.....	139
Tabla 45	Resumen de la prueba de LSD de Fisher - succión .....	139
Tabla 46	Resultados de alabeo .....	140
Tabla 47	Cuadro estadístico de alabeo con 0, 2, 3, 4 y 5 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	141



Tabla 48	Resultados de variación dimensional - largo.....	142
Tabla 49	Cuadro estadístico de VD-longitud, de UATC con 0 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	142
Tabla 50	Cuadro estadístico de VD-longitud - UATC con 2 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	143
Tabla 51	Cuadro estadístico de VD-longitud - UATC con 3 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	144
Tabla 52	Cuadro estadístico de VD-longitud - UATC con 4 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	144
Tabla 53	Cuadro estadístico de VD-longitud - UATC con 5 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	145
Tabla 54	Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) - longitud.....	146
Tabla 55	Prueba de homogeneidad (Levene) - longitud.....	147
Tabla 56	ANOVA de variación dimensional - longitud.....	148
Tabla 57	Resultados de variación dimensional – altura .....	149
Tabla 58	Cuadro estadístico de VD-altura - UATC con 0 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	150
Tabla 59	Cuadro estadístico de VD-altura - UATC con 2 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	151
Tabla 60	Cuadro estadístico de VD-altura - UATC con 3 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	151
Tabla 61	Cuadro estadístico de VD-altura - UATC con 4 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	152
Tabla 62	Cuadro estadístico de VD-altura - UATC con 5 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	153
Tabla 63	Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) - altura .....	154
Tabla 64	Prueba de homogeneidad (Levene) - altura.....	155
Tabla 65	ANOVA de variación dimensional - altura .....	156
Tabla 66	Resultados de variación dimensional – ancho.....	157
Tabla 67	Cuadro estadístico de VD-ancho - UATC con 0 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	158
Tabla 68	Cuadro estadístico de VD-ancho - UATC con 2 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	158
Tabla 69	Cuadro estadístico de VD-ancho - UATC con 3 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	159
Tabla 70	Cuadro estadístico de VD-ancho - UATC con 4 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	160
Tabla 71	Cuadro estadístico de VD-ancho - UATC con 5 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	161
Tabla 72	Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) - ancho.....	162



Tabla 73	Prueba de homogeneidad (Levene) - ancho .....	163
Tabla 74	ANOVA de los resultados de variación dimensional - ancho .....	164
Tabla 75	Resultados del ensayo de densidad.....	165
Tabla 76	Cuadro estadístico de densidad - UATC con 0 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	166
Tabla 77	Cuadro estadístico de densidad - UATC con 2 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	167
Tabla 78	Cuadro estadístico de densidad - UATC con 3 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	168
Tabla 79	Cuadro estadístico de densidad - UATC con 4 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	168
Tabla 80	Cuadro estadístico de densidad - UATC con 5 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	169
Tabla 81	Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para densidad.....	170
Tabla 82	Prueba de homogeneidad (Levene) - densidad.....	171
Tabla 83	ANOVA de densidad.....	172
Tabla 84	Análisis de la prueba de LSD de Fisher de resultados de la densidad .....	173
Tabla 85	Resumen de la prueba de LSD de Fisher – densidad .....	174
Tabla 86	Resultados del ensayo de resistencia a la compresión.....	175
Tabla 87	Cuadro estadístico de compresión - UATC con 0 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	176
Tabla 88	Cuadro estadístico de compresión - UATC con 2 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	177
Tabla 89	Cuadro estadístico de compresión - UATC con 3 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	178
Tabla 90	Cuadro estadístico de compresión - UATC con 4 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	178
Tabla 91	Cuadro estadístico de compresión - UATC con 5 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	179
Tabla 92	Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para la compresión .....	180
Tabla 93	Prueba de homogeneidad (Levene) - compresión .....	181
Tabla 94	ANOVA de resistencia a la compresión.....	182
Tabla 95	Análisis de la prueba de LSD de Fisher de resultados de compresión.....	183
Tabla 96	Resumen de la prueba de LSD de Fisher – compresión.....	184
Tabla 97	Resultados de resistencia a flexión.....	185



Tabla 98	Cuadro estadístico de flexión - UATC con 0 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	186
Tabla 99	Cuadro estadístico de flexión - UATC con 2 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	187
Tabla 100	Cuadro estadístico de flexión - UATC con 3 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	187
Tabla 101	Cuadro estadístico de flexión - UATC con 4 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	188
Tabla 102	Cuadro estadístico de flexión - UATC con 5 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	189
Tabla 103	Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) – flexión .....	190
Tabla 104	Prueba de homogeneidad de varianzas (Levene) – flexión .....	191
Tabla 105	ANOVA de los resultados de resistencia a flexión .....	192
Tabla 106	Análisis de la prueba de LSD de Fisher de resultados de flexión .....	193
Tabla 107	Resumen de la prueba de LSD de Fisher – flexión .....	194
Tabla 108	Sub partida: Excavación y acopio de tierra .....	195
Tabla 109	Partida: Elaboración de UATC con dosis 0 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	196
Tabla 110	Partida: Elaboración de UATC con dosis 2 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	197
Tabla 111	Partida: Elaboración de UATC con dosis 3 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	197
Tabla 112	Partida: Elaboración de UATC con dosis 4 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	198
Tabla 113	Partida: Elaboración de UATC con dosis 5 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	198
Tabla 114	Resumen total de los resultados de cada serie de UATC .....	200
Tabla 115	Discusión de la composición de UATC. ....	202
Tabla 116	Discusión de resultados de absorción .....	203
Tabla 117	Discusión de resultados de succión .....	204
Tabla 118	Discusión de resultados de alabeo .....	205
Tabla 119	Discusión de resultados de variación dimensional .....	206
Tabla 120	Discusión de resultados de resistencia a la compresión .....	207
Tabla 121	Discusión de resultados de resistencia a flexión .....	210
Tabla 122	Discusión de resultados del uso de AggreBind en otros ensayos .....	211



Tabla 123 Resistencia a la compresión de UATC vs NTP E-070.....	212
Tabla 124 Propiedades físicas de UATC vs NTP E-070.....	213



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1 Prensa manual, modelo CINVA-RAM.....	41
Figura 2 Prensa industrial para UATC.....	43
Figura 3 Diferentes formas de UATC.....	43
Figura 4 Proceso de producción de UATC.....	46
Figura 5 Casa Martha.....	49
Figura 6 Hospital en el estado de Maharashtra – India.....	50
Figura 7 Escuela rural en Karamoja - Uganda.....	51
Figura 8 Vivienda familiar en Bolivia .....	52
Figura 9 Granulometría recomendada para la producción de UATC .....	59
Figura 10 Diagrama de plasticidad .....	60
Figura 11 Carta de plasticidad para clasificación de suelos de partículas finas .....	61
Figura 12 Configuración del ensayo de absorción de UATC .....	64
Figura 13 Configuración del ensayo de succión de UATC .....	65
Figura 14 Configuración del ensayo de alabeo de UATC .....	66
Figura 15 Configuración del ensayo de variación dimensional de UATC .....	67
Figura 16 Configuración del ensayo de compresión de UATC.....	69
Figura 17 Configuración del ensayo de flexión en UATC, de tres puntos .....	71
Figura 18 Extracción de muestra a pie de la cantera Collana .....	72
Figura 19 Proceso de creación de UATC .....	75
Figura 20 Gráfica de dosis de AggreBind.....	81
Figura 21 Identificación de etapas para el desarrollo del estudio.....	84
Figura 22 Distribución normal o campana de Gauss .....	85



Figura 23	Secado de muestra en microondas.....	93
Figura 24	Ensayo de granulometría .....	95
Figura 25	Límite líquido (25 golpes) .....	97
Figura 26	Ensayo de compactación Proctor modificado .....	99
Figura 27	Contenido de humedad óptima.....	100
Figura 28	Formas de importación del AggreBind .....	103
Figura 29	Molde metálico para UATC .....	106
Figura 30	Dosificación y mezclado de tierra – AggreBind .....	107
Figura 31	Equipos, herramientas y moldes para el prensado de UATC.....	107
Figura 32	Secado al aire de las UATC.....	108
Figura 33	Ensayos de absorción de muestras de UATC.....	111
Figura 34	Ensayos de succión de muestras de UATC .....	113
Figura 35	Ensayo de variación dimensional de muestras de UATC .....	115
Figura 36	Ensayo de alabeo de muestras de UATC .....	119
Figura 37	Ensayo de resistencia a la compresión de muestras de UATC.....	122
Figura 38	Ensayo de resistencia a flexión de muestras de UATC .....	124
Figura 39	Curva granulométrica de la tierra .....	127
Figura 40	Plasticidad del suelo .....	128
Figura 41	Evidencia de ensayo de absorción.....	129
Figura 42	Gráfico de resultado de succión .....	131
Figura 43	Distribución normal de succión - UATC con 0 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	132
Figura 44	Distribución normal de succión - UATC con 2 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	133
Figura 45	Distribución normal de succión - UATC con 3 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	133
Figura 46	Distribución normal de succión - UATC con 4 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	134
Figura 47	Distribución normal de succión - UATC con 5 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	135



Figura 48	Distribución normal de VD-longitud - UATC con 0 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	143
Figura 49	Distribución normal de VD-longitud - UATC con 2 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	143
Figura 50	Distribución normal de VD-longitud - UATC con 3 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	144
Figura 51	Distribución normal de VD-longitud - UATC con 4 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	145
Figura 52	Distribución normal de VD-longitud - UATC con 5 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	145
Figura 53	Distribución normal de VD-altura - UATC con 0 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	150
Figura 54	Distribución normal de VD-altura - UATC con 2 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	151
Figura 55	Distribución normal de VD-altura - UATC con 3 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	152
Figura 56	Distribución normal de VD-altura - UATC con 4 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	152
Figura 57	Distribución normal de VD-altura - UATC con 5 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	153
Figura 58	Distribución normal de VD-ancho - UATC con 0 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	158
Figura 59	Distribución normal de VD-ancho - UATC con 2 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	159
Figura 60	Distribución normal de VD-ancho - UATC con 3 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	160
Figura 61	Distribución normal de VD-ancho - UATC con 4 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	160
Figura 62	Distribución normal de VD-ancho - UATC con 5 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	161
Figura 63	Gráfico de resistencia de la densidad .....	166
Figura 64	Distribución normal de densidad - UATC con 0 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	167
Figura 65	Distribución normal de densidad - UATC con 2 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	167
Figura 66	Distribución normal de densidad - UATC con 3 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	168
Figura 67	Distribución normal de densidad - UATC con 4 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	169
Figura 68	Distribución normal de densidad - UATC con 5 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	169
Figura 69	Gráfico de resistencia a la compresión .....	176
Figura 70	Distribución normal de compresión - UATC con 0 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	177
Figura 71	Distribución normal de compresión - UATC con 2 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	177
Figura 72	Distribución normal de compresión - UATC con 3 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	178



Figura 73	Distribución normal de compresión - UATC con 4 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	179
Figura 74	Distribución normal de compresión - UATC con 5 l/m <sup>3</sup> de AGB .....	179
Figura 75	Gráfico de resistencia a flexión .....	185
Figura 76	Distribución normal de flexión - UATC con 0 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	186
Figura 77	Distribución normal de flexión - UATC con 2 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	187
Figura 78	Distribución normal de flexión - UATC con 3 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	188
Figura 79	Distribución normal de flexión - UATC con 4 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	188
Figura 80	Distribución normal de flexión - UATC con 5 l/m <sup>3</sup> de AGB.....	189
Figura 81	Máquina de moldeo, modelo QTS2-40 .....	196
Figura 82	Resumen de Análisis de precios unitarios incluido IGV .....	199



## ACRÓNIMOS

AASHTO:	American Association of State Highway and Transportation Officials
AGB:	AggreBind
APU:	Análisis de Precios Unitarios
ASTM:	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales
AVONA:	Análisis de varianza
CAS:	Chemical Abstracts Service
CO <sub>2</sub> :	Dióxido de carbono
CV:	Coefficiente de Variación
EINECS:	European Inventory of Existing Chemical Substances
f <sup>b</sup> :	Resistencia a la compresión de las unidades de albañilería
H <sub>0</sub> :	Hipótesis nula
H <sub>1</sub> :	Hipótesis alternativa
IP:	Índice de plasticidad
LL:	Límite Líquido
LP:	Límite Plástico
MDS:	Máxima Densidad Seca
N:	Número de pruebas realizadas
NTP:	Norma Técnica Peruana
P:	Carga máxima Kg
SC:	Arena arcillosa
SUCS:	Unified Soil Classification System
u:	Media aritmética



UATC:	Unidades de Albañilería de Tierra Comprimida
UTM:	Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator
V:	Volumen
VD:	Variable Dependiente
VI:	Variable Independiente
W%:	Contenido de humedad
$\sigma$ :	Desviación estándar



## RESUMEN

Las construcciones con tierra son uno de los métodos más usados en la antigüedad, y en la actualidad se continúan utilizándose en países en vías de desarrollo. Los nuevos sistemas alternativos, tales como las Unidades de Albañilería de Tierra Comprimida (UATC) estabilizadas con diversos aditivos químicos, con el fin de mejorar las propiedades de la tierra. Sin embargo, estas unidades siguen presentando debilidades al agua, resistencias bajas y costos altos. Por consiguiente, se desarrolla la presente investigación que tiene por objetivo evaluar la influencia del aditivo AggreBind (AGB) en las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra comprimida. El estudio es de enfoque cuantitativo, nivel explicativo, diseño cuasi experimental y muestreo no probabilístico por conveniencia. La composición de UATC es de suelo tipo SC más la adición del AGB con dosis 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup>; la muestra es de 75 unidades. Los resultados, en la absorción se observó que las UATC estabilizadas con AGB no son resistentes al agua; en cuanto a la rapidez inicial de absorción (succión) se tienen resultados inferiores a 20 g/200cm<sup>2</sup>-min con la adición de 4 y 5 l/m<sup>3</sup>; las unidades no presentan alabeo y las variaciones dimensionales son mínimas menores a 1 %; existe un valor óptimo de AggreBind que permite maximizar la densidad 1.55 g/cm<sup>3</sup>, esta dosis es de 4 l/m<sup>3</sup>. Respecto a la densidad máxima, las resistencias de compresión y flexión son 21.4 kg/cm<sup>2</sup> y 1.5 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. En conclusión, se confirma la hipótesis del estudio; la aplicación de AGB influye significativamente positiva de forma parcial en las propiedades físico-mecánicas de UATC. El costo directo para una unidad de UATC es S/ 0.25, S/ 0.51, S/ 0.64, S/ 0.77 y S/ 0.90 con dosis de 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup> respectivamente.

**Palabras Clave:** AggreBind, Bloques de Tierra Comprimida, Construcción de viviendas, Estabilización de Suelos, Propiedades físico-mecánicas.



## ABSTRACT

Soil construction is one of the most widely used methods in ancient times, and continues to be used today in developing countries. New alternative systems, such as Compressed Soil Blocks (UATC), are stabilized with various chemical additives in order to improve the properties of the soil. However, these units still present weaknesses to water, low resistances and high costs. Therefore, the present research is developed to evaluate the influence of AggreBind (AGB) additive on the physical-mechanical properties of compressed soil masonry units. The study has a quantitative approach, explanatory level, quasi-experimental design and non-probabilistic convenience sampling. The composition of UATC is SC type soil plus the addition of AGB with doses 0, 2, 3, 3, 4 and 5 l/m<sup>3</sup>; the sample is 75 units. In the results, it was observed that the UATC stabilized with AGB are not water resistant; as for the initial absorption speed (suction), the results are less than 20 g/200cm<sup>2</sup>-min with the addition of 4 and 5 l/m<sup>3</sup>; the units do not show warping and the dimensional variations are less than 1 %; there is an optimum value of AggreBind that allows maximizing the density 1.55 g/cm<sup>3</sup>, this dosage is 4 l/m<sup>3</sup>. With respect to the maximum density, the compressive and flexural strengths are 21.4 kg/cm<sup>2</sup> and 1.5 kg/cm<sup>2</sup> respectively. In conclusion, the hypothesis of the study is confirmed; the application of AGB has a partial significantly positive influence on the physical-mechanical properties of UATC. The direct cost for one unit of UATC is S/ 0.25, S/ 0.51, S/ 0.64, S/ 0.77 and S/ 0.90 with doses of 0, 2, 3, 4 and 5 l/m<sup>3</sup> respectively.

**Keywords:** AggreBind, Compressed Soil Blocks, House Construction, Soil Stabilization, Physical and Mechanical Properties.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

En pleno siglo XIX se reportan diferentes problemas de la humanidad en el mundo: la escases de viviendas confortables, la contaminación del medio ambiente, etc. La falta de viviendas puede generar problemas de salud; las investigaciones demuestran que las personas sin hogar tienen un mayor riesgo de adquirir enfermedades que afecten a su salud mental como el estrés y otras afecciones médicas crónicas. (Health, 2024)

A nivel mundial, se tiene un crecimiento acelerado de la población; esto conlleva al incremento de la pobreza y precariedad de viviendas en las regiones en vías de desarrollo. UN-Habitat (1996) estimó las necesidades anuales de nuevas viviendas urbanas para los años 2015 a 2030, con una demanda de 18.04 millones de viviendas en Asia, 6.17 millones en África y 3.11 millones de viviendas en América Latina. Y las recientes estimaciones, según ONU-Habitat (2024), las proyecciones para el año 2050 apuntan a que el 70 % de la población mundial vivirá en grandes ciudades; esto supone casi 7.000 millones de personas. Esto lleva a que la humanidad enfrente crisis por falta de viviendas a mitad del siglo.

En Perú, alrededor de 1.7 millones de familias peruanas no tienen una vivienda o cuentan con una en malas condiciones (Castagnola, 2022). CEPLAN (2020) estimó que para el año 2050 la población en Perú será de 40 millones. Esto refleja el mayor crecimiento de población y, por consiguiente, mayor demanda de construcción de viviendas. Las construcciones con tierra en Perú son uno de los sistemas más antiguos y ampliamente empleados. Lo confirma el VII Censo Nacional de Vivienda del Instituto



Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2017) muestra que el 27.9 % de viviendas (más de dos millones) en el país son construidas de adobe o tapia, de las cuales el 12.30 % se encuentran en la región de Cajamarca, el 10.65 % en La Libertad y el 10.56 % en Puno, siendo este el tercer departamento con mayor cantidad de construcciones de este tipo.

Para el año 2025, la región de Puno será la cuarta región con mayor crecimiento (4.52%) de población (más de 1 millón 556 mil personas) (CEPLAN, 2020). Además, según datos estadísticos de la INEI (2017), existen cerca de 390 mil viviendas, de las cuales el 58 % tiene paredes construidas de adobe o tapia.

Rivera (2012) en su artículo, demuestra que las construcciones a base de adobe tienen un comportamiento mecánico deficiente comparado con materiales convencionales (bloques de cemento o ladrillos, pero estas son causantes de emisiones de carbono durante su fabricación; repercuten en lo ambiental). Otro factor determinante en las construcciones de adobe es la interacción con el agua; este tipo de materiales son vulnerables a los efectos de la humedad y durabilidad (Sharma et al. 2016).

Bajo estas premisas, se buscan nuevos sistemas o tecnologías en la construcción con tierra y dar alternativas de solución a las posibles demandas de material de construcción en el futuro. La problemática de la presente investigación se enfoca en la aplicación del AggreBind para la estabilización de UATC, con el propósito de conocer las propiedades físicas y mecánicas, y de igual forma conocer el costo.

La presente investigación está vinculada al área de estudio de *Unidades de Albañilería de Tierra Comprimida* y la línea de investigación según del programa de la Escuela de Profesional de Ingeniería Civil es de *Construcciones y Gerencia*.



## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Pregunta general**

¿De qué manera influye el aditivo AggreBind en las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra comprimida?

### **1.2.2. Preguntas específicas**

¿De qué manera influye el aditivo AggreBind en las propiedades físicas, absorción, succión, alabeo, variación dimensional y densidad de unidades de albañilería de tierra comprimida?

¿De qué manera influye el aditivo AggreBind en las propiedades mecánicas, resistencia a la compresión y resistencia a flexión de unidades de albañilería de tierra comprimida?

¿Cuál es el costo de la producción de las unidades de albañilería de tierra comprimida con la aplicación del aditivo AggreBind?

## **1.3. HIPÓTESIS**

### **1.3.1. Hipótesis general**

H<sub>G</sub>: La aplicación del aditivo AggreBind influye significativamente positiva en las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra comprimida.

### **1.3.2. Hipótesis específicas**

HE<sub>1</sub>: La aplicación del aditivo AggreBind mejora significativamente las propiedades de absorción, succión, alabeo, variación dimensional y densidad de



unidades de albañilería de tierra comprimida.

HE<sub>2</sub>: La aplicación del aditivo AggreBind incrementa significativamente la resistencia a la compresión y flexión de unidades de albañilería de tierra comprimida.

HE<sub>3</sub>: La aplicación del aditivo AggreBind eleva el costo de producción de unidades de albañilería de tierra comprimida.

#### **1.4. JUSTIFICACIÓN**

El interés de la investigación nace en el uso de la tierra como material de construcción; si bien se tiene conocimiento a nivel mundial, desde los tiempos prehistóricos el hombre utilizó la tierra para la construcción desde viviendas, edificios representativos o monumentos; muchas de estas siguen en pie. Que, aproximadamente el 15 % de los lugares patrimoniales de la UNESCO se encuentran contruidos de adobe o tapia (Cañola et al., 2018). Actualmente, las edificaciones a base de tierra no han perdido protagonismo en países en desarrollo y en algunas ciudades predominan. Hoy en día, según Pérez (2016), un tercio de la población mundial vive en casas de tierra. En el Perú, INEI (2017), evidencia que el 27.9 % de viviendas están construidas con paredes exteriores de adobe o tapia. De la misma forma, en el distrito de Paucarcolla, lugar donde se asienta esta investigación, los resultados de la INEI (2018) nos muestran que el 90.6 % de viviendas están construidas con paredes exteriores de adobe; este dato corresponde al VII Censo Nacional de Vivienda realizado en el año 2017. Lo cual, se demuestra el alto porcentaje de viviendas que usaron la tierra como material de construcción. Según estos datos a nivel mundial, nacional y local, se valora la importancia del uso de la tierra como material de construcción en el presente estudio.



Zavaleta (2021) señala que en el campo de la construcción con tierra existen una serie de sistemas alternativos, entre ellos el más reciente: las unidades de albañilería de tierra comprimida (UATC) se presentan como una mejora de los adobes. Sin embargo, en el proceso de fabricación de las UATC, incluyen aditivos estabilizantes en su afán de mejorar las propiedades físicas y mecánicas de la tierra.

Calderón (2013) menciona la existencia de diferentes tipos de estabilizantes que pueden ser empleados para mejorar las propiedades de la tierra. En la actualidad, estudios recientes muestran al cemento como el estabilizante más común para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de las UATC. Pero respecto a la contaminación ambiental, Restrepo et al. (2014) señalan que la industria del cemento es responsable del 5 al 7 % de las emisiones globales de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y, por cada tonelada de cemento que se produce, se emiten entre 0.62 y 0.97 toneladas de CO<sub>2</sub>. Por lo tanto, Guzmán & Iñiguez (2016) sugieren la búsqueda de nuevos métodos de estabilización y llenar vacíos de conocimiento. Que el usuario final tenga la facilidad de elección objetiva de un estabilizante químico por medio de una calificación ponderada, basada en distintos parámetros a los que se les da diferente importancia: mejora de las propiedades físico-mecánicas, impacto ambiental y economía.

Por ello, Bébé Ndi et al. (2022) mencionan la importancia de tener estrategias transformadoras utilizando productos innovadores para la estabilización de suelos. Y el producto AggreBind por sus características, totalmente ecológico, adaptable a casi cualquier tipo de suelo, se posiciona de manera única como una solución. Que puede utilizarse en la construcción, rehabilitación y mantenimiento de infraestructuras viales.

Por lo tanto, se hace imprescindible el desarrollo del presente estudio para constatar y conocer la influencia del aditivo AggreBind en las propiedades físicas y



mecánicas de unidades de albañilería de tierra comprimida. Los resultados nos brindarán muchos aportes en el mundo científico, de ser aptos y cumplir con los requisitos mínimos exigidos por las normativas de albañilería. Las UATC estabilizadas con AggreBind serán una alternativa como material de construcción.

Se hace hincapié en los mencionados en el ítem 1.1; el mundo enfrentará un crecimiento acelerado de la población en los próximos años; se requerirá mayor demanda de construcción de viviendas. Más aún, en países en vías de desarrollo, está latente el incremento de la pobreza y la precariedad de viviendas.

#### **1.4.1. Justificación social**

En la parte social, beneficia directamente a las poblaciones que aún utilizan la tierra como material de construcción ó buscan materiales eco sostenibles en la edificación de sus viviendas. También beneficia a los investigadores involucrados en buscar nuevas tecnologías de construcción. Y a los emprendedores que desean fabricar este tipo de productos para el mercado local o nacional.

#### **1.4.2. Justificación económica**

Desde el punto económico, el uso de unidades de albañilería de tierra comprimida en las mamposterías en diferentes tipos de edificaciones podría tener un impacto significativo de la reducción de costos. Esto puede acarrear beneficios al usuario final o a las constructoras involucradas en la construcción de viviendas sociales.



### **1.4.3. Justificación ambiental**

En el ámbito ambiental, la presente investigación resulta crucial debido al empleo de tierra y materiales eco sustentables, tales como el aditivo AggreBind (ver la tabla 8). La inclusión de las unidades de albañilería de tierra comprimida en el mercado como material de construcción sería una opción de adquisición por el usuario y la posibilidad de competir con materiales tradicionales, una estrategia para disminuir la carga de carbono e impulsar acciones más respetuosas con el entorno natural.

### **1.4.4. Justificación Práctica**

La investigación es parte del área de construcciones. La aplicación del aditivo AggreBind para mejorar las propiedades de las unidades de albañilería, es crucial para su contraste con los requisitos mínimos exigidos por las normas técnicas nacionales e internacionales.

### **1.4.5. Justificación metodológica**

La metodología usada para determinar la influencia del aditivo AggreBind en las propiedades de unidades de albañilería se basa en realizar los ensayos bajo las normas técnicas establecidas para cada uno y analizarlos para posteriormente interpretar los resultados.

### **1.4.6. Importancia del estudio**

La importancia del estudio se basa en la inclusión de nuevas técnicas de producción de unidades de albañilería. Si bien en Perú no se tiene una norma referente a las UATC, este sería un inicio para formular un reglamento de los



procedimientos, requisitos y ensayos en UATC. Por lo tanto, es fundamental tener hallazgos científicos con datos sólidos respecto a la aplicación del AggreBind en UATC y se torna como un gramo de conocimientos para el aporte de la comunidad científica.

#### **1.4.7. Relevancia del estudio**

##### **1.4.7.1. Credibilidad**

La credibilidad o valor de la verdad respecto a los resultados obtenidos en las diferentes propiedades de la UATC. Se evidencia con las certificaciones de los resultados hallados que son reales y verdaderos. Emitida por parte del jefe del laboratorio donde se realizaron los respectivos ensayos.

##### **1.4.7.2. Transferibilidad**

Los resultados pueden ser comparados con otras investigaciones o ser tomados como referencias para futuros trabajos de investigación de unidades de albañilería de tierra comprimida.

##### **1.4.7.3. Fidelidad**

La investigación se debe a la adopción de las normativas nacionales (respecto a los ensayos) e internacionales (ensayos, requisitos, procedimientos y recomendaciones). También a los libros, artículos y trabajos de tesis relacionados a UATC.

##### **1.4.7.4. Corfirmabilidad**

En virtud del papel del investigador, los materiales involucrados



son resguardados de manera adecuada para no sufrir contaminación alguna. De igual forma, con las UATC se tuvo mucho cuidado en el almacenaje, la manipulación, la vigencia de los certificados de calibración de cada equipo, velar que los ensayos sigan los procedimientos adecuados bajo norma y garantizar la neutralidad de los resultados obtenidos.

#### **1.4.8. Consecuencias del estudio**

Con la investigación se conseguirá primero, llenar el vacío científico sobre la aplicación del aditivo AggreBind en UATC, segundo presentar al AggreBind como alternativa para mejorar las propiedades de la tierra y tercero, que las UATC estabilizadas con AggreBind son una opción eligible como material de construcción de viviendas.

#### **1.4.9. Limitaciones del estudio**

- La escasez de antecedentes sobre el objetivo de la investigación.
- No se tienen laboratorios implementados con equipos o máquinas para la producción de UATC en nuestra región; de igual forma, se tienen carencias en el laboratorio de la EPIC de la UNA-Puno.
- En Perú no se tiene una norma técnica referente a las UATC.

#### **1.4.10. Cuestiones éticas**

La realización de la investigación es crucial para el avance del conocimiento en UATC estabilizadas con aditivo AggreBind. Por lo tanto, en la investigación primó la objetividad, la precisión, la imparcialidad en el diseño y en los ensayos, para evitar sesgos o errores en la recolección de datos. Bajo estos principios y valores morales se garantiza que la investigación se lleve a cabo de



forma responsable, con integridad y sin perjudicar a los sujetos ni a la comunidad en general.

## **1.5. OBJETIVOS**

### **1.5.1. Objetivo general**

OG: Evaluar la influencia del aditivo AggreBind en las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra comprimida.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

OE<sub>1</sub>: Evaluar la influencia del aditivo AggreBind en las propiedades físicas, absorción, succión, alabeo, variación dimensional y densidad de unidades de albañilería de tierra comprimida.

OE<sub>2</sub>: Evaluar la influencia del aditivo AggreBind en las propiedades mecánicas, resistencia a la compresión y resistencia a flexión de unidades de albañilería de tierra comprimida.

OE<sub>3</sub>: Determinar el costo de producción de unidades de albañilería de tierra comprimida con la aplicación del aditivo AggreBind.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

En Ecuador, **Torres (2021)** elaboró un trabajo de investigación, que tuvo como finalidad evaluar la resistencia a la compresión y flexión de unidades de albañilería de tierra comprimida, estabilizada con ceniza de caña de azúcar en un material base de arena limosa y arcillosa en la ciudad de Catamayo – Ecuador. El estudio fue de nivel descriptivo y diseño experimental. Los resultados que obtuvo en la resistencia a la compresión fueron de 2.6, 2.7 y 3.9 Mpa, y en la resistencia a flexión 1.2, 1.2 y 2 Mpa, con dosis de 0, 25 y 50% de ceniza de caña de azúcar, respectivamente. Concluyó que la aplicación de la ceniza de caña de azúcar en las unidades de albañilería de tierra comprimida, si mejora en 50 % en la resistencia a la compresión y un 66 % en la resistencia a flexión.

Según el autor, **Cabrera et al. (2020)** realizó una investigación en Argentina, que tuvo como finalidad determinar el impacto ambiental y la resistencia a la compresión de bloques de tierra comprimida (BTC), aplicando como estabilizante la cal aérea hidratada y el cemento Portland, en un material base limo arcilloso de baja plasticidad y arena. El estudio es de nivel descriptivo y de diseño experimental. Los hallazgos que obtuvo en la resistencia a la compresión fueron de 0.76, 0.81, 1.39, 5.09, 6.08 y 7.43 Mpa estabilizadas con cemento de 0, 2.5, 5, 10, 15 y 20% respectivamente, y con la estabilización de la cal de 0, 2.5, 5, 10, 15 y 20% se obtuvo una resistencia a la compresión de 0.57,



0.57, 0.57, 0.66, 0.60 y 0.54 Mpa respectivamente. El análisis estadístico aplicado fue el ANOVA y la prueba de Tukey. Concluyó que la aplicación de la cal como estabilizante en BTC no incrementa significativamente la resistencia a la compresión, pero con la aplicación del cemento como estabilizante sí incrementa significativamente la resistencia a la compresión.

**Cañola et al. (2018)** realizaron un estudio del comportamiento físico-mecánico (coeficiente de absorción capilar y resistencia a la compresión) de las unidades de albañilería de tierra comprimida adicionadas con compuestos bituminosos. El estudio fue de diseño experimental. Los hallazgos que obtuvo con la adición de emulsión asfáltica respecto al peso del agua de 0, 25, 50, 75 y 100 % son: La resistencia a la compresión es de 3.4, 2.5, 2.3, 2.1 y 2.1 Mpa respectivamente y 0.233, 0.058, 0.027, 0.026 y 0.021  $\text{kg}/(\text{s}^{1/2} \text{m}^2)$  en coeficiente de absorción capilar respectivamente. Concluyeron que la adición del asfalto en UATC reduce significativamente la absorción capilar, pero sucede lo contrario con la resistencia a la compresión que disminuye en 38 %.

### 2.1.2. Antecedentes nacionales

Según los autores, **Velásquez & Avalos (2018)** realizaron un trabajo de tesis con la finalidad de determinar las propiedades físico-mecánicas de UATC. Usaron como estabilizante el sistema CONSOLID (aditivo C-444 y aditivo SOLIDRY), en un suelo de arcilla de baja plasticidad del distrito de Santiago-Cusco de la cantera Huancaro y el otro suelo arcilla de mediana plasticidad de la cantera Wimpillay del distrito de San Sebastián-Cusco. En su metodología, el estudio fue de enfoque cuantitativo, de nivel descriptivo, diseño experimental y muestreo no probabilístico. Los hallazgos que obtuvo fueron, en alabeo 1.5 mm,



variación dimensional 0.32 % L, 3.68 % H, 2.48 % A, en absorción 10.13 %, succión 21.28 g/200cm<sup>2</sup>-min, resistencia a la compresión 2.02 Mpa y módulo de rotura 0.66 Mpa, estos datos corresponden a las UATC elaboradas con la tierra de Huancaro. Y respecto al segundo suelo, los resultados fueron, en alabeo 2 mm, variación dimensional 0.02 % L, 0.02 % H, 0.01 % A, en absorción se desintegraron los especímenes, succión no registró los datos por la gran pérdida de suelo, en la resistencia a la compresión 2.21 Mpa y en módulo de rotura 0.48 Mpa. Concluyó que las UATC fabricadas con óptimas dosificaciones del sistema Consolid, se clasifican como unidades de albañilería no portante (NP) en ambos suelos.

De la misma manera, **Cuno & Hallasi (2021)** realizaron un estudio cuyo objetivo fue evaluar si las propiedades físico-mecánicas de las unidades suelo-cemento se clasifican como material apto para muros de albañilería. El estudio fue de enfoque cuantitativo, de nivel descriptivo, de diseño experimental y muestreo probabilístico. Se elaboraron 50 especímenes con dosificaciones de 10, 12 y 15 % de cemento con el material base arena arcillosa de baja plasticidad. Los resultados de mayor porcentaje de dosificación de cemento fueron, en alabeo 0 mm, variación dimensional 0.79 % L, 0.16 % H, 0.10 % A, en absorción 12.43 %, en la resistencia a la compresión 5.83 Mpa y en la resistencia a flexión 2.42 Mpa. Concluyeron que las unidades de albañilería suelo-cemento en alabeo, variación dimensional y en la resistencia a la compresión con la dosis de 10 % y 12 % son aptos para muros no portantes de albañilería.

Según **Ortiz (2021)** Realizó una investigación, la cual tuvo como objetivo evaluar la influencia de la aplicación del aditivo AggreBind en la estabilización



de la subrasante, Jr. Brasil, Villa María, Nuevo Chimbote. El estudio fue de enfoque cuantitativo, de nivel correlacional, de diseño experimental y de muestreo no probabilístico. En esta investigación, tuvo como variable independiente la adición del aditivo AggreBind de 0 l/m<sup>3</sup>, 3 l/m<sup>3</sup>, 5 l/m<sup>3</sup> y 7 l/m<sup>3</sup>, y la variable dependiente fueron las propiedades físico-mecánicas de los suelos. Resultados que obtuvo fue, al aplicar el aditivo AggreBind con diferentes dosificaciones, la densidad seca aumenta desde 2.07 g/cm<sup>3</sup> hasta 2.30 g/cm<sup>3</sup>, una ganancia de 11 % y en el ensayo de California bearing ratio (C.B.R.) incrementa desde 24.4 % hasta 61.90 %, con una ganancia de 153.7 %. Concluyó que la aplicación del aditivo AggreBind como estabilizante para las muestras extraídas de la calle Brasil influye positivamente, donde mejora las propiedades físico-mecánicas del suelo gravoso con limo y arena.

**Arroyo & Casas (2023)** realizaron una investigación con el objetivo de evaluar el impacto de aplicar el polímero AggreBind sobre la base del afirmado en el camino vecinal con el propósito de mejorar sus propiedades mecánicas. La metodología de la investigación fue de nivel exploratorio, de diseño experimental. Resultados que obtuvieron, en el suelo natural, el CBR 0.2” fue 30 % al 95 % en su DMS. Con la aplicación del aditivo AggreBind con dosificaciones de 4 l/m<sup>3</sup>, 4.5 l/m<sup>3</sup> y 5 l/m<sup>3</sup>, dieron como resultados en CBR 0.2” de 38, 53.2 y 54 % respectivamente al 95% en su DMS. Concluyeron que, con la adición del aditivo AggreBind se tiene una influencia significativa positiva en la densidad seca y CBR del suelo tratado.

### 2.1.3. Antecedentes locales

Mientras en Puno, según **Rodríguez (2021)**, desarrolló una investigación



cuyo objetivo fue determinar la resistencia a la compresión de UATC, elaborados con arcilla inorgánica de baja plasticidad, material que era usado para la elaboración de ladrillos artesanales vitrificados en el C.P. Salcedo–Puno. Evaluó al principio las características físicas del material y por último evaluó los costos de fabricación de los ladrillos ecológicos. La metodología de la investigación fue de enfoque cuantitativo, mediante el método deductivo, de nivel descriptivo correlacional, diseño experimental. El resultado que obtuvo en la resistencia a la compresión con la dosis 65 % suelo base más 15 % arena y el estabilizante de 20 % cemento fue una resistencia de 4.20 Mpa. Concluyó que la resistencia a la compresión obtenida es inferior a 4.90 Mpa, que esta es clasificada como ladrillo tipo I muro portante según la NTP E-070 y es superior a 1.0 Mpa la resistencia mínima requerida para adobes según NTP E-080; por último, estimó el costo de elaboración de los ladrillos ecológicos de S/ 0.73 por unidad para la dosis más de cemento usado; el uso de estas unidades está orientado para la construcción de viviendas rurales sostenibles.

Mientras tanto, **Gallegos (2023)** desarrolló una investigación que tuvo como objetivo determinar las propiedades de alabeo, absorción y resistencia a la compresión de UATC estabilizadas con dos diferentes marcas de cemento y la variación de porcentajes del mismo. El estudio fue de enfoque cuantitativo, de nivel explicativo, de tipo aplicado y de diseño experimental. Los resultados que obtuvo, respecto de las UATC estabilizadas con diferentes dosis de 15 % y 19 % de cemento rumi y wari, obtuvieron un alabeo promedio de 2.03, 2.05 mm (15% C rumi y wari) y 1.94, 1.98 mm (19% C rumi y wari) en el lado cóncavo y 0.97, 0.99 mm (15% C rumi y wari) y 0.88, 0.93 mm (19% C rumi y wari) en el lado convexo, en la propiedad de absorción la media fue de 14.6, 15 % para (15% C

rumi y wari) y 16.4, 15.8 % para (19% C rumi y wari). En cuanto a la resistencia a la compresión, obtuvo una media de 49.54, 48.87 kg/cm<sup>2</sup> para (15% cemento rumi y wari) respectivamente y 52.24, 49.95 kg/cm<sup>2</sup> para (19% de cemento rumi y wari) respectivamente. Concluyó que la aplicación de cemento rumi con la dosis de 19 % mejora las propiedades físicas-mecánicas del ladrillo ecológico prensado.

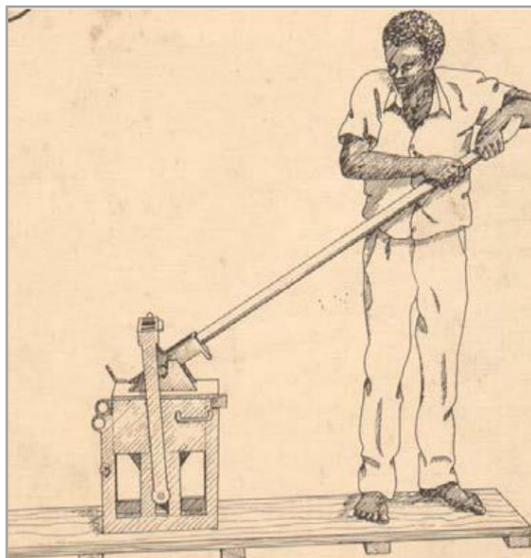
## 2.2. MARCO TEÓRICO

### 2.2.1. Unidad de albañilería de tierra comprimida

Las Unidades de Albañilería de Tierra Comprimida (UATC) también llamadas comúnmente Bloques de Tierra Comprimida (BTC) se utilizan desde principios del siglo XIX. La idea inicial nació en 1803 en Francia, lugar donde se desarrolló la idea de fabricar bloques con tierra comprimida en moldes de madera. (Rodríguez, 2021)

#### Figura 1

*Prensa manual, modelo CINVA-RAM*



En 1950 en Colombia fue desarrollada la primera prensa manual CINVA-

RAM (ver figura 1), siendo el inicio en ser utilizada en el mundo para fabricar unidades de albañilería de tierra comprimida, desarrollada por Colombian Inter American Housing Center (CINVA), una máquina simple y solamente es necesaria la fuerza del operario, para la compactación del bloque, por medio de la palanca, con la capacidad de producción de uno a dos bloques sincrónicos. (Da Silva, 2013)

Con el inicio de la modernización de la fabricación de UATC, la construcción con este material se constituye como una de las tecnologías mejoradas más utilizadas en la construcción con tierra. Aunque no fue posible medir exactamente la presión de compresión, numerosos investigadores anteriores han indicado que una prensa de ariete de simple efecto es capaz de desarrollar presiones de entre 1 y 4 MN/m<sup>2</sup>. (Namango et al., 2015).

A partir del modelo de la prensa CINVA, se desarrollaron muchos otros tipos de prensas manuales e hidráulicas automáticas. En la actualidad, el moldeo de UATC se presenta en diferentes tamaños y formas. La compresión manual era el proceso convencional para la fabricación de UATC, pero la importancia de semi industrializar o industrializar completamente la producción incitó la necesidad de implementar prensas con sistema hidráulico y moldes ajustables para la fabricación en volumen. (Rodríguez, 2021)

Las compañías a nivel mundial, como en EE.UU., Brasil, China e Italia, fabrican diversas máquinas. Algunos modelos más comerciales son Aurum Press 3000, Hydraform M7, Soeng Thai modelo BP6, EcoBrava y Forza (ver figura2). Estas pueden realizar compactación vertical u horizontal para formar y expulsar los bloques. (Ibídem)

**Figura 2**

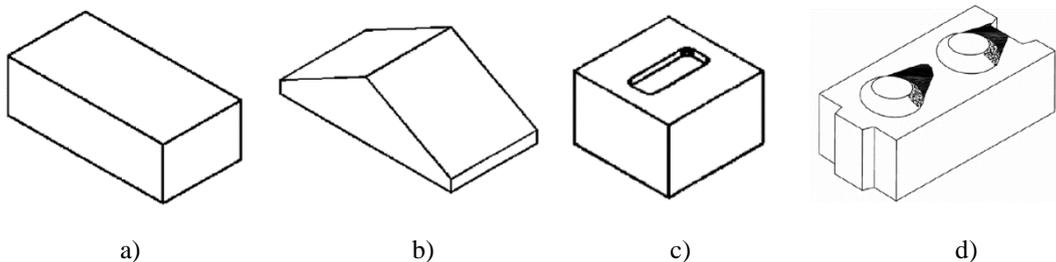
*Prensa industrial para UATC*



Gaitan (2022) indica que las unidades de albañilería de tierra comprimida se producen mediante la compresión de la tierra en moldes metálicos que permiten cohesionar y llegar a su máxima densidad. Los moldes de compresión se pueden confeccionar en diferentes diseños geométricos y tamaños. Según la norma española UNE 41410 (2008), estas unidades (ver figura 3) pueden ser bloques macizos, piezas con diseños especiales, bloque macizo con rebaje medio, bloques tipo Mattone, bloques perforados y ligeros. Pueden ser usados estructural y arquitectónicamente.

**Figura 3**

*Diferentes formas de UATC*



**Nota:** a) Bloque macizo b) Piezas especiales macizas c) Bloque macizo con rebaje medio d) Bloque Mattone, según (UNE 41410, 2008)

En la producción de UATC lo ideal es usar el suelo del lugar para disminuir



los costos, pero es imprescindible conocer las propiedades del suelo, y usar el estabilizante adecuado para ella. La tecnología de la tierra prensada y estabilizada se constituye hoy en día como una alternativa viable en la construcción. El rigor científico y técnico aplicado en las investigaciones realizadas a nivel internacional y nacional permiten hoy garantizar la calidad de esta técnica constructiva. (Barrera & Buitrago, 2014)

Según Vilcas (2020), las unidades de albañilería de tierra comprimida son elaboradas a base de una mezcla de suelo homogéneo que puede ser estabilizado con cemento, cal u otros estabilizantes naturales o químicos. Dotados de cierta humedad, siendo comprimidos dentro de un molde por una prensa manual o motorizada. Además, pueden ser usadas en diferentes sistemas estructurales, en cercos perimétricos, en construcción de viviendas y otras construcciones que contemplen muros portantes y no portantes. La producción de estas unidades es económica en comparación con ladrillos convencionales y respecto a la contaminación ambiental se tienen impactos mínimos durante la producción. Estas unidades de albañilería de tierra comprimida surgen como un sustituto perfecto frente a los ladrillos cerámicos convencionales.

#### **2.2.1.1. Marco normativo**

En Perú, se tiene un vacío legal concerniente a las unidades de albañilería de tierra comprimida. Por consiguiente, se adopta las normativas internacionales de diferentes países la cual se ilustra en la tabla 1. Sin embargo, en la presente investigación también se tiene como referencia de algunos requisitos puntuales de la norma E-070 que establece el control de calidad de materiales, análisis, diseño y construcción para

ladrillos de arcilla cocida y bloques de concreto.

**Tabla 1**

*Normas y reglamentos de unidades albañilería de tierra comprimida*

País	Norma	Año	Campo de aplicación	Selecc. suelos	Requisitos	Ensayos	Fabricación	Construcción	Diseño
Francia	AFNOR XP P 13-901	2017	UATC	x	x	x			
	ABNT: NBR 8491	2012	UATC	x	x				
Brasil	ABNT: NBR 8492	2012	UATC			x			
	ABNT: NBR 10832	1989	UATC	x			x		
	ABNT: NBR 10833	1989	UATC	x			x		
	ABNT: NBR 10834	1994	UATC	x	x				
	ABNT: NBR 10835	1994	UATC		x				
	ABNT: NBR 10836	1994	UATC			x			
	España	UNE 41410	2008	UATC	x	x	x		
Colombia	NTC 5324	2004	UATC	x	x	x			
India	IS 1725	2002	UATC	x	x	x			
Nueva Zelanda	NZS 4297	1998	UATC					x	x
	NZS 4298	1998	UATC	x	x	x	x	x	
África Regional	ARS-670	1996	UATC	x					
	ARS-671	1996	UATC						
	ARS-672	1996	UATC						
	ARS-673	1996	UATC						
	ARS-674	1996	UATC	x	x				
	ARS-675	1996	UATC	x	x				
	ARS-676	1996	UATC		x				
	ARS-677	1996	UATC		x	x			
	ARS-678	1996	UATC					x	x
	ARS-679	1996	UATC					x	x
	ARS-680	1996	UATC	x			x		
	ARS-681	1996	UATC	x			x		
	ARS-682	1996	UATC					x	
ARS-683	1996	UATC	x	x					

### 2.2.1.2. fases de producción de UATC

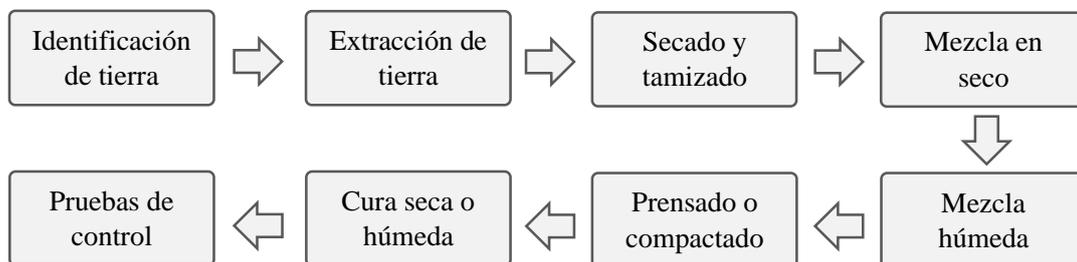
Utilizar las UATC es cada vez más común en los últimos años

como sistema constructivo de tierra, demostrando ser un material industrializable en la actualidad, además de su valor tradicional como elemento de autoconstrucción (Barocio et al., 2017).

El proceso de producción de la unidad de albañilería de tierra comprimida se desarrolla según los siguientes pasos (ver figura 4).

**Figura 4**

*Proceso de producción de UATC*



**Identificación del suelo.** En esta fase se realizan los ensayos para conocer las propiedades del suelo muestreado en el laboratorio; se realiza el secado y tamizado del material siempre en cuando los resultados así lo indiquen.

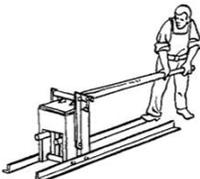
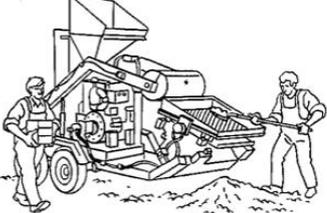
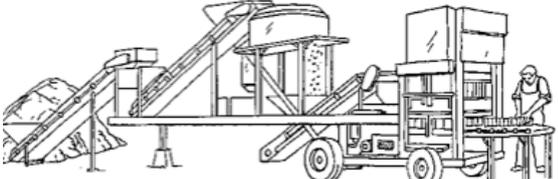
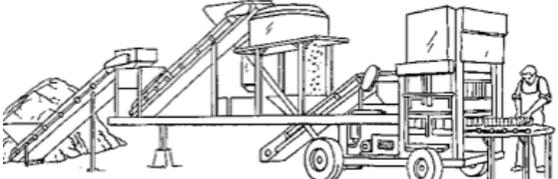
**Mezclado.** Si se aplica un aditivo seco en polvo como el cemento o yeso, primero se realiza la mezcla en seco; posteriormente se incorpora el agua hasta completar el contenido de humedad óptimo. El mezclado húmedo se puede realizar directamente cuando se tengan aditivos en líquido como el AggreBind. El mezclado es un factor decisivo para el éxito del prensado.

**Prensado o compactado.** Es la fase principal en la producción de

UATC. El rendimiento de la producción depende de varios factores: mano de obra, el tipo de equipo usado y las medidas de la UATC. En la tabla 2 se hace referencia al rendimiento para producir UATC con dimensiones de 29.4 cm de longitud, 14 cm de ancho y 8 cm de alto, con diferentes tipos de prensa.

**Tabla 2**

*Maquinaria para el prensado de UATC*

Tipos de prensas	peso	Producción 29.4x14x8 cm unidades por día	Imagen referencial
Manual liviano	50 - 150 kg	300 a 500	
Manual pesado	150 - 250 kg	700 a 1500	
A Motor	700 - 2000 kg	1000 a 5000	
Unidad móvil	1500 - 6000 kg	1500 a 4000	
Unidad fija	2000 - 30000 kg	2000 a 10000	

**Fuente:** (Calderón, 2013)

**Presión de compresión:** La norma ARS 670 (1996), la presión teóricamente aplicada a la mezcla y que expresa la relación entre la fuerza utilizable y la superficie a la que se aplica, la clasifica de la siguiente

manera (ver tabla 3):

**Tabla 3**

*Niveles de presión de compresión*

Descripción	Presión aplicada	
Muy baja	1 a 2 N/mm <sup>2</sup>	10.2 a 20.4 kg-f/cm <sup>2</sup>
Baja	2 a 4 N/mm <sup>2</sup>	20.4 a 40.8 kg-f/cm <sup>2</sup>
Media	4 a 6 N/mm <sup>2</sup>	40.8 a 61.2 kg-f/cm <sup>2</sup>
Alta	6 a 10 N/mm <sup>2</sup>	61.2 a 102 kg-f/cm <sup>2</sup>
Hiperpresión	10 a 20 N/mm <sup>2</sup>	102 a 204 kg-f/cm <sup>2</sup>
Megapresión	20 N/mm <sup>2</sup> a más	204 kg-f/cm <sup>2</sup> a más

**Nota:** las presiones de compresión más altas no son necesariamente las más eficientes (ARS 670, 1996)

**Secado.** Debido a que las UATC contienen considerable cantidad de arcilla. En la fase del secado, se tiene que tener mucho cuidado de las contracciones que pudieran sufrir las unidades, y evitar la exposición directa al sol y vientos. Las posibles fisuras de contracción afectarían en las propiedades de las UATC.

**Pruebas de control.** En esta fase se realizan las principales pruebas de calidad, como la resistencia a la compresión, flexión, absorción, variación dimensional u otros.

### 2.2.1.3. Construcciones con tierra comprimida en la actualidad

#### a) Proyecto Casa Martha

En México, a raíz de los sismos ocurridos en septiembre del 2017, se destruyó gran parte de la infraestructura como viviendas, escuelas y hospitales. Nace un proyecto llamado “Casa Martha”, proyecto apoyado por la fundación PienZa Sostenible, el cual se enfoca en ayudar a la

construcción de viviendas en México para más de 150 familias que sufrieron daños en sus hogares tras el sismo, quienes tienen como meta principal la construcción con materiales completamente sostenibles y ecológicos. Casa Martha es uno de los proyectos especiales gracias a que no sólo es un hogar sustentable, sino porque también cuenta con un diseño personalizado y espectacular. Además, esta casa es extremadamente amigable con la naturaleza, ya que se utilizó un sistema constructivo para cada parte del proyecto de reconstrucción y se basó en los *bloques de tierra compactada o Ecoblocks*, los cuales son fabricados en sitio y se pueden ver en la fachada de esta casa (ver figura 5). Casa Martha es un especial proyecto que demuestra la importancia de construir hogares tomando en cuenta las necesidades específicas de las familias y es un gran ejemplo de la arquitectura sostenible que actualmente está revolucionando a la industria. (Naso, 2022)

### **Figura 5**

#### *Casa Martha*



**Nota:** La obra de Naso en México que se creó con bloques de tierra comprimida.

### **b) Hospital Universitario y Centro de Investigación Symbiosis**

En India, en el año 2020 se inauguró la construcción de un hospital

de 5 niveles con instalaciones sanitarias de última generación y un centro de investigación para mejorar el desarrollo de habilidades, que ayudó firmemente como centro de tratamiento y cuarentena de COVID-19, lo que contribuyó a la lucha contra la pandemia en el estado de Maharashtra.

El proyecto es un ejemplo de diseño pasivo y sostenibilidad. Se produjeron *ladrillos de tierra comprimida* que se utilizan para crear una fachada de doble piel con formas en caja y proyecciones de sombra profunda para reducir la ganancia de calor (ver figura 6). Los ladrillos se produjeron in situ utilizando una máquina para fabricar bloques, lo que proporcionó oportunidades de empleo adicionales a los lugareños y garantizó emisiones mínimas de carbono. Esta es la primera vez que se utilizan *ladrillos de tierra comprimida* en un proyecto de tan gran escala. (Hana, 2020a)

### **Figura 6**

*Hospital en el estado de Maharashtra – India*



**Nota:** Edificación donde se utilizaron ladrillos de tierra comprimida a gran escala.

### **c) Escuelas primarias de AWF en Karamoja**

En Uganda, se construyeron escuelas primarias, diseñadas para

atender a aproximadamente 350 estudiantes. Están ubicadas en las inmediaciones del Parque Nacional del Valle de Kidepo en Karamoja, al noreste de Uganda. Forman parte del programa 'Classroom Africa' de la African Wildlife Foundation.

Debido a la lejanía de los sitios y los altos costos de transporte asociados, los materiales de construcción se seleccionaron cuidadosamente para obtenerlos localmente y construir con mano de obra local siempre que fuera posible. En la subestructura se utilizaron piedras que fueron recolectadas por los lugareños dentro de un radio de 3 km del sitio y dispuestas en formaciones de pilas semisecas, creando una cimentación que mitiga el agua. En los muros utilizaron *bloques de tierra comprimidos* de cara vista (ver figura 7), fabricados in situ, un material que presenta una alternativa mucho más ecológica. (Hana, 2020b)

### **Figura 7**

*Escuela rural en Karamoja - Uganda*



**Nota:** Edificación con paredes de bloques de tierra comprimida.

#### **d) Proyecto piloto, vivienda familiar en Bolivia**

En el año 2023, en Bolivia realizaron un proyecto piloto de

vivienda familiar de dos niveles, con un diseño bioclimático y el uso de *unidades de albañilería de tierra comprimida* como material ecológico y envolvente térmica (ver figura 8), en la región metropolitana de Kanata, mediante el apoyo por la Fundación Pro-Hábitat (FPH) y el financiamiento del proyecto Diálogo y Apoyo Colaborativo (DAC) de la Cooperación al Desarrollo de la Embajada de Suiza en Bolivia.

### Figura 8

#### *Vivienda familiar en Bolivia*



**Nota:** Proyecto piloto de vivienda bioclimática con paredes de UATC

El proyecto surgió para integrar medidas bioclimáticas y saludables en el campo de la vivienda popular bajo parámetros de asequibilidad, racionalidad constructiva y uso de materiales ecológicos y locales. En la cual esta investigación se desarrolló en cinco etapas: i.) diseño arquitectónico del proyecto de vivienda bioclimática experimental; ii.) estudio de las características del suelo y de la tierra; iii.) ensayos en laboratorio sobre la dosificación para la fabricación de UATC; iv.)



producción de los UATC y v.) ejecución del proyecto de vivienda. La tierra para la fabricación de UATC estabilizadas con cal se extrajo en la comunidad Alta de Sacaba, muy cerca del previo del proyecto de vivienda. La producción de los bloques se dio con la máquina modelo Cinva-Ram, una prensa manual especialmente fabricada para comprimir los UATC. A partir de esta investigación, se enfoca en optimizar la cadena de producción para reducir su costo, en vista de facilitar y ampliar su uso en el campo de la vivienda popular y de interés social. (Quiróz, 2023)

### 2.2.2. Estabilización de UATC

La norma española UNE 41410 (2008) en el anexo C, contempla dos criterios importantes sobre la estabilización del UATC. Se presenta a continuación.

- **Elección de estabilizantes:** recomienda tener información suficiente sobre el estabilizante.
  - La disponibilidad del estabilizante en el país.
  - El mínimo impacto ambiental durante su ciclo de vida del estabilizante: consumo mínimo de energía, agua y recursos renovables; emisión mínima de sustancias tóxicas al entorno desde su extracción, fabricación, transporte, aplicación y vida útil.
  - Procesos tecnológicos apropiados a la puesta en obra y al mantenimiento.
  - Evaluación económica.
- **Estabilidad de la tierra:** Entiende por una tierra estable, que presenta buena resistencia a la deformación y poco sensible a la presencia de agua. La



utilización de estabilizantes es básica para la obtención de un material de calidad que resuelva las posibles carencias del material tierra in-situ. Existen diferentes tipos de estabilización:

- *Química*: Cuando lo que añade es un producto que modifica la estructura granular a la que dota de una cohesión que no tenía o disminuye la excesiva plasticidad. Ejemplo (aceites naturales, silicatos de sosa, cal, resinas acrílicas, etilsilicatos, hidróxido de bario, yema de huevo, cementos, yesos, etc.).
- *Física*: El estabilizante mejora las propiedades físicas de la tierra. Ejemplo (modificación de la granulometría mediante combinación de suelos, uso de fibras para mejorar las tensiones y ayudando a evitar la retracción).
- *Mecánica*: Una acción mecánica aumenta la compacidad del material. Ésta puede ser estática, dinámica o mixta (proyección, amasado). La eficacia de este sistema depende de la granulometría, el grado de compactación y del grado de humedad de la mezcla. Normalmente la estabilización mecánica se consigue por compactación del suelo.

### **2.2.3. Aditivo AggreBind**

El aditivo AggreBind es un producto químico en estado líquido, amigable con el medio ambiente, que se utiliza para la estabilización de suelos en la construcción, reparación de carreteras, el control del polvo, la prevención de la erosión y la producción de materiales de construcción a partir de elementos in situ (ya sea tierra, arena o desechos de construcción/minería) y mucho más. (AggreBind Inc., 2023)



### 2.2.3.1. Antecedentes de la aplicación de AggreBind

El inicio de la aplicación del AggreBind se da en Botswana al sur de África, con la finalidad y la necesidad de hacer ladrillos con uso de arena y cenizas, la cual sentó las bases para el conocimiento actual, convirtiendo desde material local hasta desechos tóxicos en productos con un nuevo propósito, para carreteras, viviendas y lo que su imaginación pueda crear. Durante estos años de investigación nos enseñaron que se debe construir con lo que hay a la mano y en el sitio. No siempre se tiene el lujo de importar productos de construcción del primer mundo a países en desarrollo. “La construcción de casas asequibles es necesaria para criar de manera segura a la familia. Las carreteras son necesarias para mover productos al mercado, niños a la escuela y gente a los hospitales”. (AggreBind Inc., 2023)

El AggreBind tiene una fórmula propietaria que mejora significativamente las capacidades de soporte de carga de todos los suelos y también incrementa la fuerza de la resistencia de la tracción de los mismos. Así nació AggreBind, para contribuir con el desarrollo de los pueblos del mundo (Torregrosa, 2018).

La aplicación del AggreBind se remonta por más de 30 años en muchos países del mundo, destacando sobre todo en países como Nueva Zelanda, Australia, La India, Ecuador y Guatemala. En Perú, la empresa AGE Ecovias Peru SAC realizó una prueba de bacheo en el año 2015 para la municipalidad de Lima, aplicando el AggreBind para estabilización de suelos, ubicado en la Av. Argentina. Al igual que las diferentes regiones



del país: Junín, Tacna, Apurímac, Moquegua y Arequipa, usaron Aggrebind en diferentes proyectos de mantenimiento, mejoramiento y construcción de carreteras. En el año 2019, en la región de Puno se ejecutaron los proyectos “mantenimiento periódico CV Chinumani–Santa Rosa–Machamarca–Tahuaco” y “Mantenimiento periódico CV Emp. R17–Emp. R20”. Utilizaron 40520 litros y 26755 litros de aditivo AggreBind respectivamente. Ambos proyectos se desarrollaron en el distrito y provincia de Yunguyo. (AgeEcovias, 2023)

#### **2.2.3.2. Propiedades químicas del AggreBind**

Por su composición química, es un *Polímero acrílico de estireno reticulado* con trazadores propietarios.

Composición genérica es:

- Solución de Amonio <0.2% EINECS: 215-647-6 CAS: 1336-21-6 [C] R34; [N] R50
- Glicoldietileno éter monoetílico 6.0-8.0% CAS: 111-90-0 [Xi] R36

#### **2.2.3.3. Propiedades físicas del AggreBind**

- Estado: Líquido.
- Color: Natural (Transparente), Negro, Rojo, Azul, Amarillo y Verde.
- Olor: Olor característico.
- Viscosidad: No viscoso
- Solubilidad en agua: Miscible
- Punto de ebullición: 100 °C
- Densidad relativa: 1.05 @ 20 °C



- pH: 7.7 – 8.3

#### 2.2.3.4. Punto de vista normativo

Según AgeEcovias (2023) el aditivo AggreBind como producto químico cumple con las exigencias normativas a nivel nacional e internacional.

- El AggreBind cumple con las exigencias de la norma técnica peruana MTC E 1109 del Ministerio de transportes y comunicaciones.
- Cumple con las regulaciones de la EPA (Environmental Protection Agency).
- Aprobado por las listas de Nueva Zelanda y Australia – AICS (Australian Inventor of Chemical Substances) los dos países más exigentes en temas de ecología en el mundo actual.
- Es miembro del American Chemistry Council.
- El producto AggreBind recibió una constancia de calidad por parte de la municipalidad de Lima.

La norma técnica MTC E 1109 (2004) plantea: “Los estabilizadores químicos pueden tener efectos sobre una o varias de las propiedades de desempeño del suelo de acuerdo al tipo específico y condiciones de aplicación del estabilizador químico, así como del tipo de suelo tratado”. Así mismo, todo producto que se vaya a utilizar como estabilizador químico debe ir acompañado de un manual informativo (ver tabla 4), en que se haga especial referencia a los potenciales riesgos para

la salud de las personas y el medio ambiente.

**Tabla 4**

*Manual informativo*

Tema	Contenido
1. Nombre del Producto	AggreBind
2. Nombre del Fabricante	AggreBind Inc.
3. Descripción del Producto	Dispersión acuosa de polímero acrílico de estireno reticulado con rastreadores.
4. Composición Química Genérica	Solución de Amonio Glicoldietileno éter monoetílico
5. Condiciones de Manipulación	Requerimientos de manejo: Asegurarse de que exista suficiente ventilación. Empaque adecuado: Acero inoxidable, Metal cubierto, Polietileno.
6. Condiciones de Transporte	No está clasificado como producto de transporte peligroso.
7. Condiciones de Almacenamiento	Almacenar en lugar fresco y con suficiente ventilación, prevenir congelación. Mantener contenedores cerrados.
8. Recomendación de Utilización	EL suelo a estabilizar debe de tener un 35% de finos que pasen por un tamiz #200 y un índice de plasticidad menor a 15, ya sea en su estado original o con enmiendas. Se aplican 4 litros de AggreBind, mezclados con agua según lo requerido para el contenido óptimo de humedad, por metro cúbico de suelo a estabilizar.

**Fuente:** Manual informativo, (AgeEcovias, 2023)

## 2.2.4. Características de la tierra para UATC

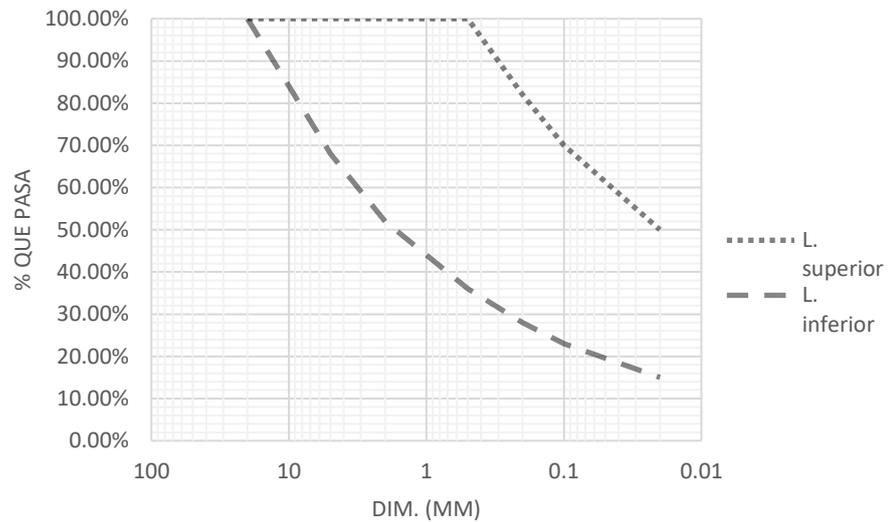
### 2.2.4.1. Granulometría.

Las normas UNE 41410 (2008), XP P 13-901 (2001) y NTC 5324 (2004) recomiendan que para la producción de UATC, la granulometría de

la tierra utilizada esté inscrita dentro de los límites del uso del diagrama de textura (ver figura 9).

### Figura 9

#### *Granulometria recomendada para la produccion de UATC*



**Nota:** Huso del diagrama de texturas de las tierras a utilizarse para la fabricación de UATC

Los límites del huso recomendado son aproximados. Los materiales cuya textura esté inscrita en el huso recomendado dan resultados satisfactorios en la mayoría de casos. No se admitirán tierras con contenido de arcillas menor al 10 %. (Ibídem)

#### **2.2.4.2. Límites de consistencia**

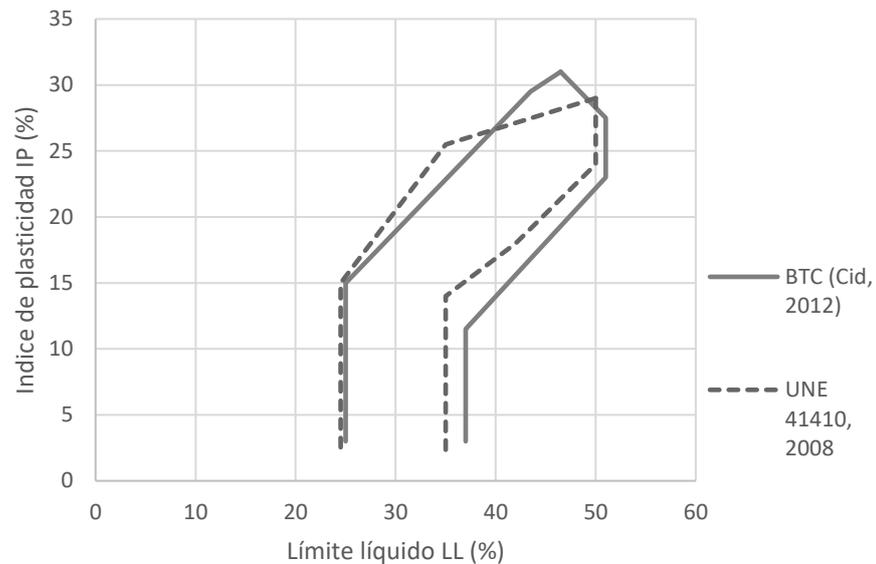
La norma UNE 41410 (2008) y Cid (2012) recomiendan que la plasticidad del material esté comprendida preferentemente en los límites del diagrama de plasticidad (ver figura 10).

Los límites recomendados son aproximados. Los materiales cuya

plasticidad queda inscrita en los límites recomendados en la mayoría de casos dan resultados satisfactorios. (Ibídem)

**Figura 10**

*Diagrama de plasticidad*



**Nota:** Zona recomendada de plasticidad según (Cid, 2012) & (UNE 41410, 2008)

### 2.2.4.3. Clasificación e identificación de suelos

- **Sistema AASHTO** (Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y del Transporte).

Este método divide a los suelos en dos grandes grupos (ver tabla 5): una formada por los suelos granulares y otra constituida por los suelos de granulometría fina. Estos a su vez son clasificados en subgrupos, basándose en la composición granulométrica, el límite líquido y el índice de plasticidad.

**Tabla 5**

*Clasificación de suelos sistema AASHTO*

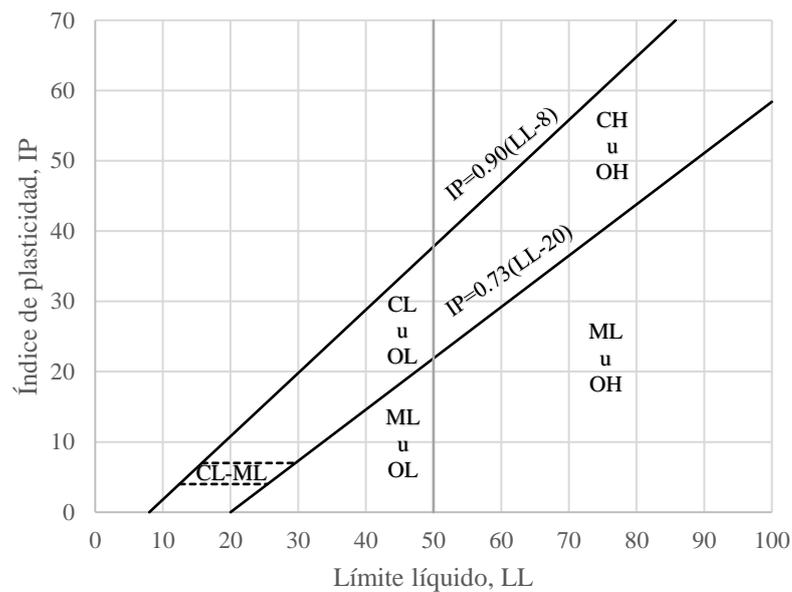
Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total pasa el tamiz N 200)						Materiales limo-arcillosos (más del 35% del total pasa el tamiz N 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
% de material que pasa el tamiz											
N 10	50 máx.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N 40	30 máx.	51 máx.	51 máx.	-	-	-	-	-	-	-	-
N 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción que pasa el tamiz N 40											
Límite Líquido, LL	-	-	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	41 mín.
Índice Plástico, IP	50 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	11 mín.
Tipo de material	Fragmentos pétreos de gravas y arenas		Arena fina	Gravas y arenas, limosas y arcillosas			Suelos limosos		Suelos arcillosos		

**Nota:** El IP del subgrupo A-7-5,  $\leq LL-30$ ; El IP del subgrupo A-7-6,  $> LL-30$

- **Sistema SUCS** (Clasificación Unificada de Suelos)

**Figura 11**

*Carta de plasticidad para clasificación de suelos de partículas finas*



Este sistema, como la clasificación anterior, divide a los suelos en dos grandes grupos (ver tabla 6 y figura 11): granulares y finos. Un suelo se considera grueso si más del 50% de sus partículas se retienen en el tamiz N 200, y se considera fino, si más de la mitad de sus partículas pasan el tamiz N 200.

**Tabla 6**

*Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)*

Finos $\geq$ 50 % pasa Malla N 200				Gruesos < 50 % pasa Malla N 200						
Tipo de suelo	Símbolo	LL	*IP	Tipo de suelo	Símbolo	*% RET Malla N 4	% pasa Malla N 200	CU	CC	**IP
Limos inorgánicos	ML	<50	<0.73(LL-20) ó <4	Gravas	GW			>4	1 a 3	
	MH	>50	<0.73(LL-20)		GP	>50%	<5	$\leq$ 6	<1 ó >3	
Arcillas inorgánicas	CL	<50	>0.73(LL-20) y >7		GM					<0.73(LL-20) ó <4
	CH	>50	>0.73(LL-20)		GC		>12			>0.73(LL-20) y >7
Limos o Arcillas orgánicos	OL	<50	**LL seco al horno $\leq$ 75% del LL seco al aire	Arenas	SW			>4	1 a 3	
	OH	>50			SP	<50%	<5	$\leq$ 6	<1 ó >3	
Altamente orgánicos	P <sub>1</sub>		Materia orgánica fibrosa se carboniza, se quema o se pone incandescente		SM					<0.73(LL-20) ó <4
					SC		>12			>0.73(LL-20) y >7
*Si IP $\approx$ 0.73(LL-20) ó si IP entre 4 y 7 e IP>0.73(LL-20), usar símbolo doble: CL-ML, CH-OH				* Entre 5 y 12% usar símbolo doble como GW-GC, GP-GM, SW-SM, SP-SC						
** Si tiene olor orgánico debe determinarse adicionalmente LL seco al horno				** Si IP $\approx$ 0.73(LL-20) ó si IP entre 4 y 7 e IP>0.73(LL-20), usar símbolo doble: GM-GC, SM-SC						
En casos dudosos favorecer clasificación más plástica Ej: CH-MH en vez de CL-ML				CU=D60/D10						
Si LL=50; CL-CH ó ML-MH										



## 2.2.5. Propiedades física y mecánica de UATC

### 2.2.5.1. Absorción en UATC

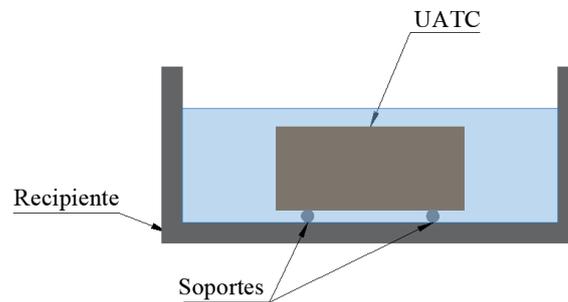
La absorción está definida como la medida de la impermeabilidad de una unidad de albañilería. Según la norma NTP 331.017 (2015), la absorción es el incremento en la masa de la unidad seca cuando es sumergido en agua durante 24 horas (ver figura 12), a temperatura ambiente. Este aumento de masa tiene lugar debido al agua que se introduce en los poros de la unidad no incluye el agua adherida a la superficie, la cual se expresa en porcentaje.

Este ensayo nos da a conocer la durabilidad de las unidades de albañilería. A nivel de intemperismo, es la transferencia de agua del exterior al interior del ladrillo que nos indica que, a mayor índice de absorción, la unidad es más porosa; esto quiere decir que es menos resistente al intemperismo. (Ibídem)

Según la norma brasileña NBR 8491 (2012), los resultados del ensayo de absorción para unidades de albañilería de tierra comprimida recomiendan que no excedan el límite máximo de 22% de absorción. Al igual que la NTP E.070, la absorción no será mayor que 22% en las unidades de albañilería de arcilla cocida. Pero, según la norma india IS 1725 (1982), después de la inmersión en frío agua durante 24 horas, la absorción promedio de agua no será mayor de más del 15% para bloques de tierra comprimida.

**Figura 12**

*Configuración del ensayo de absorción de UATC*



Fórmula para el cálculo de la absorción de cada unidad según la norma (NTP 399.613, 2005).

$$\text{Absorcion \%} = \frac{(W_s - W_d)}{W_d} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

$W_d$  : Peso seco de UATC (g).

$W_s$  : Peso saturado de UATC (g).

#### **2.2.5.2. Rapidez inicial de absorción (succión) en UATC**

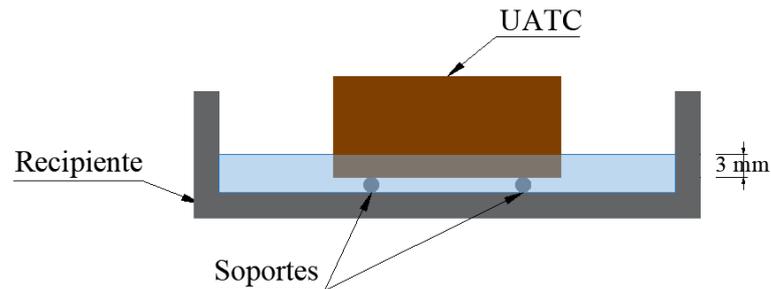
La norma NTP 399.613 (2005) le denomina como la rapidez inicial de absorción, que es la capacidad de imbibición de agua por capilaridad mediante inmersión parcial de la unidad de albañilería de tierra comprimida en un período corto de tiempo (ver figura 13). En la construcción de muros, se tiene que cuidar la succión, ya que con la rapidez con la que una unidad de albañilería absorbe agua del mortero, puede afectar la resistencia a compresión y otras propiedades del mortero.

La norma técnica E.070 indica que, al momento del asentado de la unidad de albañilería, la succión esté por debajo de 20 gramos por minuto

en un área de 200 cm<sup>2</sup>. Este dato es para ladrillos de arcillas cocida; sin embargo, adoptan como dato referencial para unidades de albañilería de tierra comprimida.

### Figura 13

*Configuración del ensayo de succión de UATC*



Fórmula del coeficiente de succión (NTP 399.613, 2005):

$$\text{Succión} = 200 \frac{(P_{inicial} - P_{final})}{LA} = \frac{200W}{LA} \quad ( 2 )$$

Donde:

Succión : Diferencia de pesos, sobre la base de 200 cm<sup>2</sup> (g/200cm<sup>2</sup>-min)

W : Diferencia de pesos de UATC (g).

L : Longitud de la UATC (cm).

A : Ancho de la UATC (cm).

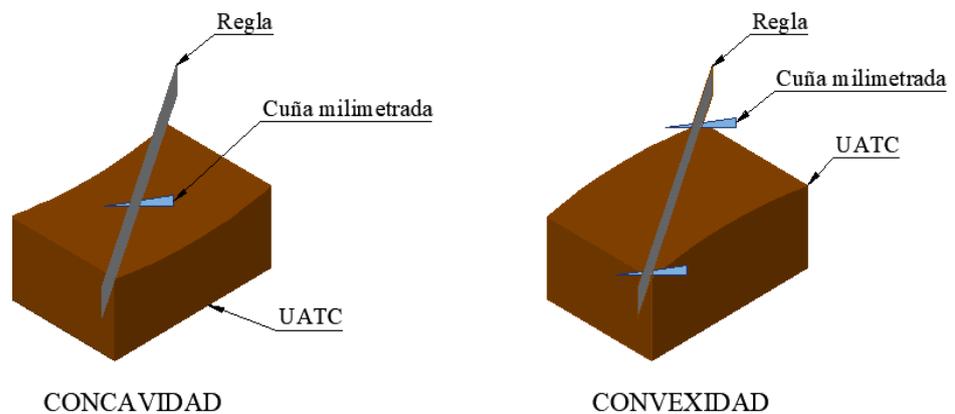
#### 2.2.5.3. Alabeo en UATC

La definición del alabeo se adopta por su semejanza según la norma NTP 399.613 (2005) de ladrillos cocidos. El alabeo es la concavidad o convexidad que tiene la unidad de albañilería en la superficie de asiento (ver figura 14). El mayor alabeo de la UATC conduce a un mayor espesor

de la junta y disminuye la adherencia mortero-unidad al formarse vacíos en las zonas más alabeadas. Incluso puede producir fallas de tracción por flexión en la UATC. La concavidad y convexidad son calculadas con una regla metálica y una cuña graduada; el resultado se da en milímetros.

### Figura 14

*Configuración del ensayo de alabeo de UATC*



Superficies cóncavas, es la distorsión que pertenece a una superficie cóncava; en el ensayo se coloca la regla de forma longitudinal o diagonal sobre la superficie a medir, y se escoge la mayor distancia entre la superficie y la regla y se procede a medir con la cuña u otra regla. Y las superficies convexas, se obtiene colocando la cara convexa contra una superficie plana, utilizando la regla metálica o la cuña se procede a medir la distancia entre la superficie plana y cada esquina; el resultado se obtiene del promedio de los 4 datos. (Ibídem)

#### 2.2.5.4. Variación dimensional de UATC

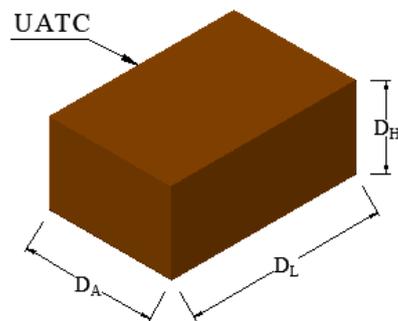
La variación dimensional son los cambios de medida sobre la unidad de albañilería, tanto en la longitud, altura y ancho (ver figura 15).

Esta variación es debido a cambios de humedad y/o temperatura. Aumentan su tamaño en función de que absorban humedad o de que aumente su temperatura. Sin embargo, estas dilataciones se recuperan al perder la humedad o disminuir la temperatura. (San Bartolomé, 1994)

La prueba de variación dimensional es necesario efectuarla para determinar el espesor de las juntas de la albañilería. Debe hacerse notar que por cada incremento de 3 mm en el espesor de las juntas horizontales (adicionales al mínimo requerido de 10 mm), la resistencia a compresión de la albañilería disminuye en 15%; asimismo, disminuye la resistencia al corte. (Ibídem)

### Figura 15

*Configuración del ensayo de variación dimensional de UATC*



La manera como se calcula la variación dimensional ( $V$ , en porcentaje) según la norma (NTP 399.613, 2005), la dimensión de cada arista de la unidad ( $D=L, b, h$ ) se toma como el promedio de 4 medidas en (mm) en la parte media de cada cara, en seguida se calcula el valor promedio ( $D_p$ ), a este valor se resta la dimensión especificada ( $D_e$ ) y luego se divide entre ( $D_e$ ).

$$V_{L,H,A}(\%) = \frac{(De - Dp)}{De} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

$V_{L,H,A}(\%)$  : Variación dimensional de longitud, altura y ancho (%)

$De$  : Dimensión especificada o dimensión del molde (mm)

$Dp$  : Dimensión de la unidad de albañilería promedio de cada arista (mm)

Las tolerancias de la variación dimensional para bloques de tierra comprimida según la norma francesa (XP P 13-901, 2001) y la norma colombiana (NTC 5324, 2004) son similares, se ilustra en la tabla 7.

**Tabla 7**

*Tolerancias de las dimensiones para bloques de tierra comprimida*

Designación de dimensiones	Tolerancia	
	en (mm)	en (%)
Longitud (L)	$\pm 3$	$\pm 1$
Altura (H)	Entre +5 y -2	Entre +5 y -2
Ancho (A)	$\pm 3$	$\pm 2$

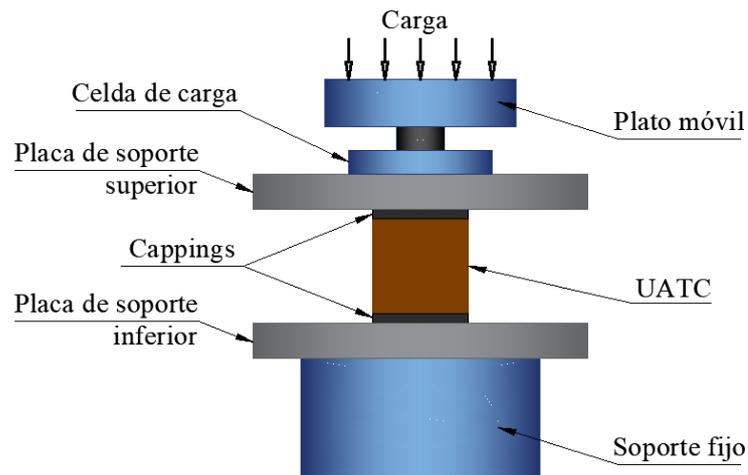
#### 2.2.5.5. Resistencia a la compresión de UATC

Según NTP 399.613 (2005), la resistencia a la compresión es la propiedad mecánica más importante de una unidad de albañilería, ya que con esta característica podemos ver y encontrar la resistencia del elemento estructural. La compresión también se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en  $\text{kg/cm}^2$  y MPa (ver figura 16). Cuando los valores sean más altos significa una buena calidad para todos los fines

estructurales y de exposición; si los valores son más bajos indican que las unidades de albañilería que producirán serán poco resistentes y poco durables, muros no portantes o de división.

### Figura 16

*Configuración del ensayo de compresión de UATC*



Fórmula para el cálculo de la resistencia a la compresión según la norma. (NTP 399.613, 2005)

$$C = \frac{Q}{A_s} \quad (4)$$

Donde:

C : Resistencia a la compresión de UATC (kg/cm<sup>2</sup>)

Q : Máxima carga en la UATC (kg)

A<sub>s</sub> : Promedio del área de UATC de las caras superior e inferior de contacto (cm<sup>2</sup>)

La resistencia a la compresión mínima para la aceptación de UATC, está especificada en las diferentes normativas internacionales vigente (ver tabla 8).

**Tabla 8***Resistencia a la compresión mínima requerida según normativas*

Norma	País	Resistencia a la compresión		Observación
		Mpa	kg/cm <sup>2</sup>	
UNE 41410 (2008)	España	1.3	13	UATC
		3	31	
		5	51	
NTC 5324 (2004)	Colombia	2	20	UATC secos
		4	41	
		6	61	
XP P 13-901 (2001)	Francia	2	20	UATC secos
		4	41	
		6	61	
NBR 8491 (2012)	Brasil	2	20	UATC
ARS 674 (1996)	África regional	2	20	UATC secos
		4	41	
		6	61	
IS 1725 (1982)	India	2	20	UATC
NTP E-070 (2019)	Perú	2	20	Bloque NP <sup>(1)</sup>

**Nota:** <sup>(1)</sup> Bloque usado en la construcción de muros no portantes

#### 2.2.5.6. Resistencia a flexión de UATC

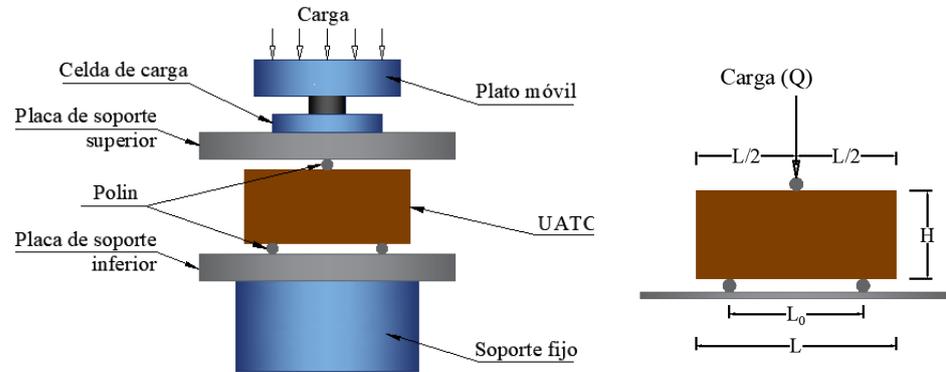
En ingeniería se denomina flexión al tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. El término "alargado" se aplica cuando una dimensión es preponderante frente a las otras. Un caso típico son las vigas que están diseñadas para trabajar, principalmente por flexión. Igualmente, el concepto de flexión se extiende a elementos estructurales superficiales como placas o láminas. (ASTM C67 - 01)

El ensayo de resistencia a flexión es una propiedad importante como criterio de durabilidad y para entender el mecanismo de falla de la albañilería cuando se solicitan esfuerzos de compresión y flexión, casos

muy comunes en la albañilería (ver figura 17). (Ibídem)

### Figura 17

*Configuración del ensayo de flexión en UATC, de tres puntos*



Es un sistema de una sola carga aplicada (Q), cuando la falla se da en la cara de tensión próxima al centro de luz y por debajo de la carga aplicada:

Fórmula para el cálculo de la resistencia a flexión según la norma.  
(NTP 399.613, 2005)

$$\text{Flexión } S = \frac{3QL_0}{2AH^2} \quad (5)$$

Donde:

S : Resistencia a flexión de UATC (kg/cm<sup>2</sup>)

Q : Máxima carga aplicada en la UATC (kg)

L<sub>0</sub> : Distancia entre apoyos (cm)

A : Ancho neto (cara a cara) de la UATC en el plano de falla (cm)

H : Espesor de UATC en el plano de falla (cm)

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN DEL ESTUDIO

La tierra a extraerse para la experimentación de unidades de albañilería es de la cantera Collana (ver figura 18), ubicada en el distrito de Paucarcolla, con coordenadas UTM Norte 8°256,725.00 m, Este 386,121.00 m, ubicada a 30 minutos aproximadamente desde el centro de la ciudad de Puno; posteriormente este material (muestra alterada) es trasladado a un laboratorio particular, para dar inicio con todas las pruebas contempladas en el proyecto de investigación.

#### Figura 18

*Extracción de muestra a pie de la cantera Collana*



**Fuente:** Google Earth.



## 3.2. METODOLOGÍA

### 3.2.1. Enfoque de investigación

Es *Cuantitativa*. Hernández et al. (2014) nos dice que cuando una investigación es de enfoque cuantitativo es porque durante el proceso los fenómenos que se observan o se miden no serán afectados por los investigadores. En la presente tesis se realizan diferentes ensayos estandarizados por las normativas nacionales e internacionales para determinar las propiedades físicas y mecánicas de las UATC aplicadas con aditivo AggreBind, donde se recolectan datos que permitan comprobar las hipótesis, en base a una medición numérica y análisis estadístico.

### 3.2.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación es *básica o pura, transversal y prospectivo*. Según Suca, (2020) nos dice que la investigación pura "tiene como objeto el estudio de un problema destinado exclusivamente al progreso o a la simple búsqueda del conocimiento". También Rojas (2016) nos dice que una investigación básica, pura o fundamental, es trabajar en su mayor tiempo en los laboratorios. Su principal aporte hace al conocimiento científico, explorando nuevas teorías y transformando las que ya existen. 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 prospectivo según la planificación de las mediciones con datos primarios y mediciones precisas y exactas.



### 3.2.3. Niveles de investigación

El nivel de investigación es *explicativo*. Según Hernández et al. (2014), una investigación de carácter explicativa pretende establecer las causas de los sucesos o fenómenos que se estudian. En el presente estudio se realiza la manipulación intencional de la variable independiente que es la adición del aditivo AggreBind con la combinación del suelo, buscando los cambios que estos generan en las propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería de tierra comprimida.

### 3.2.4. Diseño de investigación

El diseño de investigación es *cuasi experimental*. Según Arbulú (2024), es cuasi experimental, cuando un verdadero diseño experimental no está disponible, por ejemplo, cuando ya se han formado grupos intactos, cuando no se puede negar el tratamiento a un grupo, o cuando no se dispone de grupos de control y/o de comparación adecuados, el investigador puede utilizar un diseño cuasi-experimental. Al igual que en el caso del verdadero diseño experimental, los cuasi-experimentos implican la manipulación de una o más variables independientes y la medición de una variable dependiente.

En nuestro estudio se manipulan las variables independientes para el control, medición y comparación de resultados entre grupos que no fueron asignados aleatoriamente. Se observaron cambios en las variables dependientes en función de la manipulación de la variable independiente, siendo la hipótesis el enfoque central de este diseño de investigación. (Gutierrez, 2023)

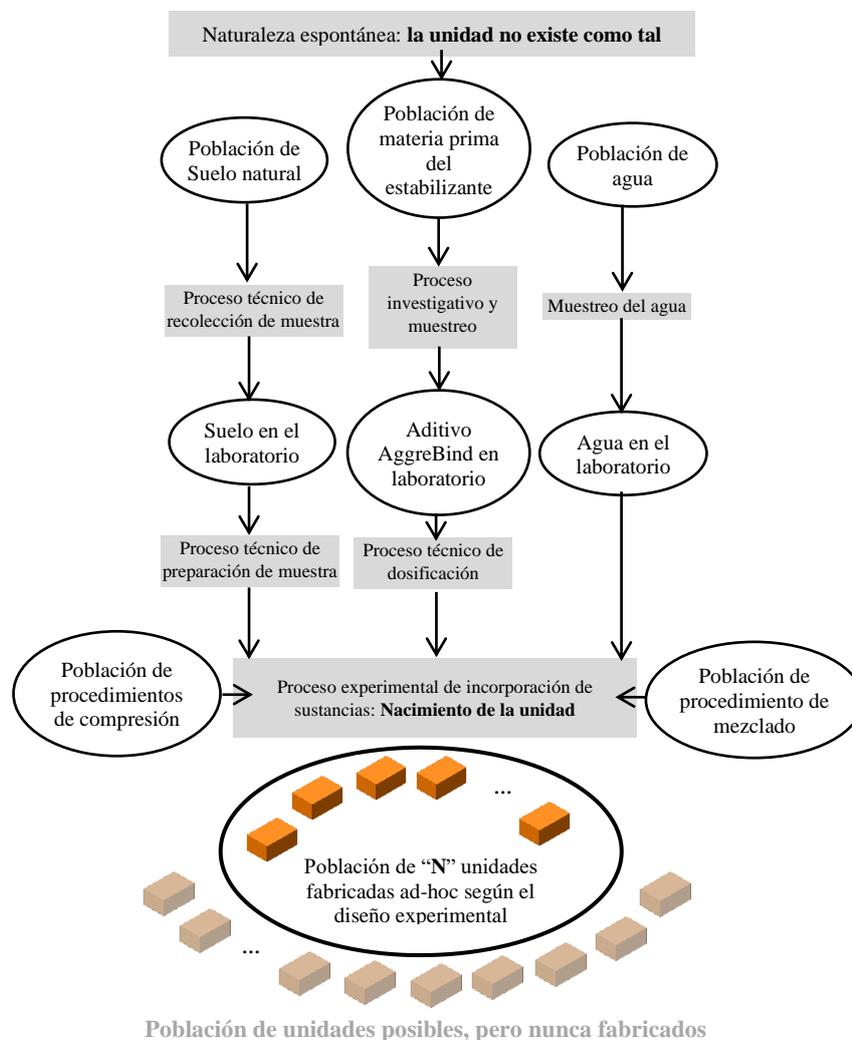
### 3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

#### 3.3.1. Población

Población de unidades de albañilería de tierra comprimida (UATC) como tal no existe; para esta investigación se consideró una población finita. Para conseguir que la unidad de albañilería sea fabricada se requiere una serie de sustancias que pueden tener un origen, ya sea natural o procesado. (Arbulú, 2023)

**Figura 19**

*Proceso de creación de UATC*



**Nota:** Proceso de creación de una unidad UATC experimental, adaptado de procesos experimentales geotécnicos según (Arbulú, 2023)

La figura 19 nos aclara sobre la materialidad de unidades de albañilería, si bien las sustancias que lo compondrán están siempre presentes en el mundo físico, no es sino hasta que se inicia la investigación y las operaciones de laboratorio, que una unidad de albañilería se convierte en tal cosa. (Ibídem)

El diseño experimental y la cuantificación de unidades de albañilería se muestra en la tabla 9, y el número mínimo de ensayos a realizar se tomó bajo el criterio de la norma (NTP 399.613, 2005) ilustrada en la tabla 10.

**Tabla 9**

*Diseño experimental y cuantificación de unidades de albañilería*

Cod.	Composición de UATC		Ensayos					
	Dosis de Aggre Bind	Tierra arena arcillosa	10 ensayos de Alabeo	10 ensayos de Var. Dim.	05 ensayos de Absorción	05 ensayos de Succión	05 ensayos de Flexión	05 ensayos de compresión y densidad
1	0 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01	01			
2	0 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01	01			
3	0 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01	01			
4	0 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01	01			
5	0 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01	01			
6	0 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01		01	01	
7	0 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01		01	01	
8	0 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01		01	01	
9	0 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01		01	01	
10	0 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01		01	01	
11	0 l/m <sup>3</sup>	100%						01
12	0 l/m <sup>3</sup>	100%						01
13	0 l/m <sup>3</sup>	100%						01
14	0 l/m <sup>3</sup>	100%						01
15	0 l/m <sup>3</sup>	100%						01
16	2 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01	01			
17	2 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01	01			
18	2 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01	01			



Cod.	Composición de UATC		Ensayos					
	Dosis de Aggre Bind	Tierra arena arcillosa	10 ensayos de Alabeo	10 ensayos de Var. Dim.	05 ensayos de Absorción	05 ensayos de Succión	05 ensayos de Flexión	05 ensayos de compresión y densidad
19	2 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01	01			
20	2 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01	01			
21	2 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01		01	01	
22	2 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01		01	01	
23	2 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01		01	01	
24	2 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01		01	01	
25	2 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01		01	01	
26	2 l/m <sup>3</sup>	100%						01
27	2 l/m <sup>3</sup>	100%						01
28	2 l/m <sup>3</sup>	100%						01
29	2 l/m <sup>3</sup>	100%						01
30	2 l/m <sup>3</sup>	100%						01
31	3 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01	01			
32	3 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01	01			
33	3 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01	01			
34	3 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01	01			
35	3 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01	01			
36	3 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01		01	01	
37	3 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01		01	01	
38	3 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01		01	01	
39	3 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01		01	01	
40	3 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01		01	01	
41	3 l/m <sup>3</sup>	100%						01
42	3 l/m <sup>3</sup>	100%						01
43	3 l/m <sup>3</sup>	100%						01
44	3 l/m <sup>3</sup>	100%						01
45	3 l/m <sup>3</sup>	100%						01
46	4 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01	01			
47	4 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01	01			
48	4 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01	01			
49	4 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01	01			
50	4 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01	01			
51	4 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01		01	01	



Cod.	Composición de UATC		Ensayos					
	Dosis de Aggre Bind	Tierra arena arcillosa	10 ensayos de Alabeo	10 ensayos de Var. Dim.	05 ensayos de Absorción	05 ensayos de Succión	05 ensayos de Flexión	05 ensayos de compresión y densidad
52	4 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01		01	01	
53	4 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01		01	01	
54	4 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01		01	01	
55	4 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01		01	01	
56	4 l/m <sup>3</sup>	100%						01
57	4 l/m <sup>3</sup>	100%						01
58	4 l/m <sup>3</sup>	100%						01
59	4 l/m <sup>3</sup>	100%						01
60	4 l/m <sup>3</sup>	100%						01
61	5 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01	01			
62	5 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01	01			
63	5 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01	01			
64	5 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01	01			
65	5 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01	01			
66	5 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01		01	01	
67	5 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01		01	01	
68	5 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01		01	01	
69	5 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01		01	01	
70	5 l/m <sup>3</sup>	100%	01	01		01	01	
71	5 l/m <sup>3</sup>	100%						01
72	5 l/m <sup>3</sup>	100%						01
73	5 l/m <sup>3</sup>	100%						01
74	5 l/m <sup>3</sup>	100%						01
75	5 l/m <sup>3</sup>	100%						01
			50	50	25	25	25	25
Total, unidades de albañilería = 75								
Total, ensayos = 200								

Según el diseño experimental en la tabla 9, nos indica la elaboración de 15 unidades con la dosis de 0 l/m<sup>3</sup>, 15 unidades con la dosis de 2 l/m<sup>3</sup>, 15 unidades con la dosis de 3 l/m<sup>3</sup>, 15 unidades con la dosis de 4 l/m<sup>3</sup> y 15 unidades con la

dosis de  $5 \text{ l/m}^3$ . En total 75 unidades de UATC. Y un total de 200 ensayos a realizar en el laboratorio.

### 3.3.2. Muestra

El muestreo es *no probabilístico por conveniencia*. Para el número de pruebas de unidades de albañilería se empleó la norma técnica peruana (NTP 399.613, 2005), donde nos indica el número de muestras mínimas a realizar para cada ensayo; en resumen, se ilustra en la tabla 10. También se describe el número de pruebas para cada ensayo.

Ensayo de alabeo: Se utiliza un mínimo de diez unidades enteras y secas, para cada grupo de estudio, de acuerdo a los requerimientos en el apartado 14.2 de la NTP 399.613 (2005). Este ensayo es no destructivo, y se pueden realizar otros ensayos con las mismas unidades.

Ensayo de absorción: Se utilizan como mínimo cinco unidades, para cada grupo de estudio, según los requerimientos indicados en la sección 9.2 de la norma técnica (Ibídem).

**Tabla 10**

*Muestreo de UATC para cada dosis de 0, 2, 3, 4 y  $5 \text{ l/m}^3$*

Ensayos	Muestreo según (NTP 399.613, 2005)
- Variación dimensional	10 unidades
- Alabeo	10 unidades
- Succión	5 unidades
- Absorción	5 unidades
- Resistencia a flexión	5 unidades
- Resistencia a la compresión y densidad	5 unidades



Ensayo de succión: Se utilizan cinco unidades enteras, para cada grupo de estudio, de acuerdo a los requerimientos en el apartado 11.2 de la NTP 399.613 (2005). Este ensayo es no destructivo, y se pueden realizar otros ensayos con las mismas unidades.

Ensayo de variación dimensional: Se utilizan diez unidades enteras y secas, para cada grupo de estudio, al igual que del ensayo de alabeo. Este ensayo es no destructivo, y se pueden realizar otros ensayos con las mismas unidades.

Ensayo a la compresión: Se utilizan cinco unidades secas, para cada grupo de estudio, de acuerdo a los requerimientos en el apartado 8.1.1 de la norma técnica (Ibídem). Igual número de unidades para determinar la densidad.

Ensayo de flexión: Se utilizan cinco unidades completamente secas, para cada grupo de estudio, de acuerdo a los requerimientos en el apartado 7.1 de la norma técnica (Ibídem).

### **3.4. VARIABLES**

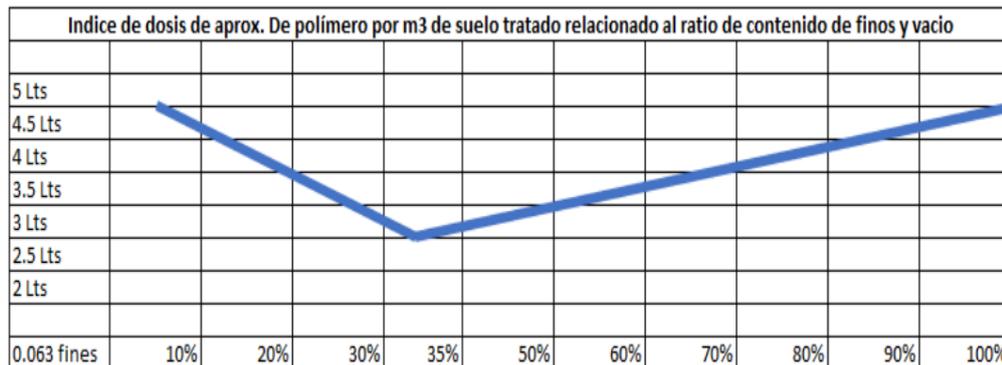
#### **3.4.1. Variable independiente**

Según AgeEcovias (2023), la dosificación adecuada de AggreBind es fundamental para lograr resultados óptimos en la estabilización de suelos. Se recomienda seguir la gráfica de dosificación proporcionada por AggreBind (ver figura 20), la cual ha sido desarrollada por el fabricante en función, donde los porcentajes de finos obtenidos del ensayo de granulometría nos indicarán la dosificación adecuada para la mezcla. Esta gráfica, como se muestra en la figura 20, es una guía confiable para determinar la cantidad necesaria de AggreBind por cada metro cúbico (m<sup>3</sup>) de suelo compactado o prensado. Al utilizar la gráfica

proporcionada por el fabricante, se garantiza una dosificación aproximada que mejora la resistencia y cohesión del suelo, resultando materiales de construcción más duraderos y confiables. (Arroyo & Casas, 2023)

## Figura 20

### Gráfica de dosis de AggreBind



**Nota:** La figura muestra la gráfica de dosis de AggreBind (AggreBind Inc., 2023).

En la presente investigación, no se limita únicamente a la dosificación recomendada por la gráfica proporcionada por AggreBind (ver figura 20). Se realizan ensayos con dosificaciones que contengan tanto una mayor como una menor cantidad de aditivo de AggreBind.

Según Arroyo & Casas (2023) la variación en la dosificación nos permite evaluar diversos escenarios e inclusive la determinación de la dosis óptima en la estabilización de la tierra comprimida. Al considerar diferentes dosis del aditivo, no ayuda a entender la influencia del AggreBind en las calidades de unidades de albañilería de tierra comprimida.

Por lo cual nuestra variable independiente es las diferentes dosificaciones del aditivo AggreBind; bajo las recomendaciones de AggreBind Inc. (2023) y el criterio del investigador, se proponen las siguientes dosis (ver tabla 11).

**Tabla 11**

*Dosis de AggreBind (VI)*

VI	Dosis
Adición del aditivo AggreBind	0 litro por un metro cúbico de tierra comprimida
	1 litro por un metro cúbico de tierra comprimida
	2 litros por un metro cúbico de tierra comprimida
	3 litros por un metro cúbico de tierra comprimida
	4 litros por un metro cúbico de tierra comprimida
	5 litros por un metro cúbico de tierra comprimida

### 3.4.2. Variables dependientes

La variable dependiente son las propiedades físico-mecánicas de la UATC. Es importante evaluar estas variables para tener mucha precaución por la resistencia y durabilidad de cada material que vamos a usar en la albañilería. Esta investigación se divide en dos dimensiones.

Propiedades Físicas: se basa principalmente en la estructura del objeto, sustancia o materia que es visible y medible, ensayos de absorción, succión, alabeo, variación dimensional y densidad.

Propiedades Mecánicas: es el comportamiento mecánico de las UATC, ensayos de resistencia a la compresión y resistencia a flexión.

### 3.4.3. Operacionalización de variables

**Tabla 12**

*Operacionalización de variables*

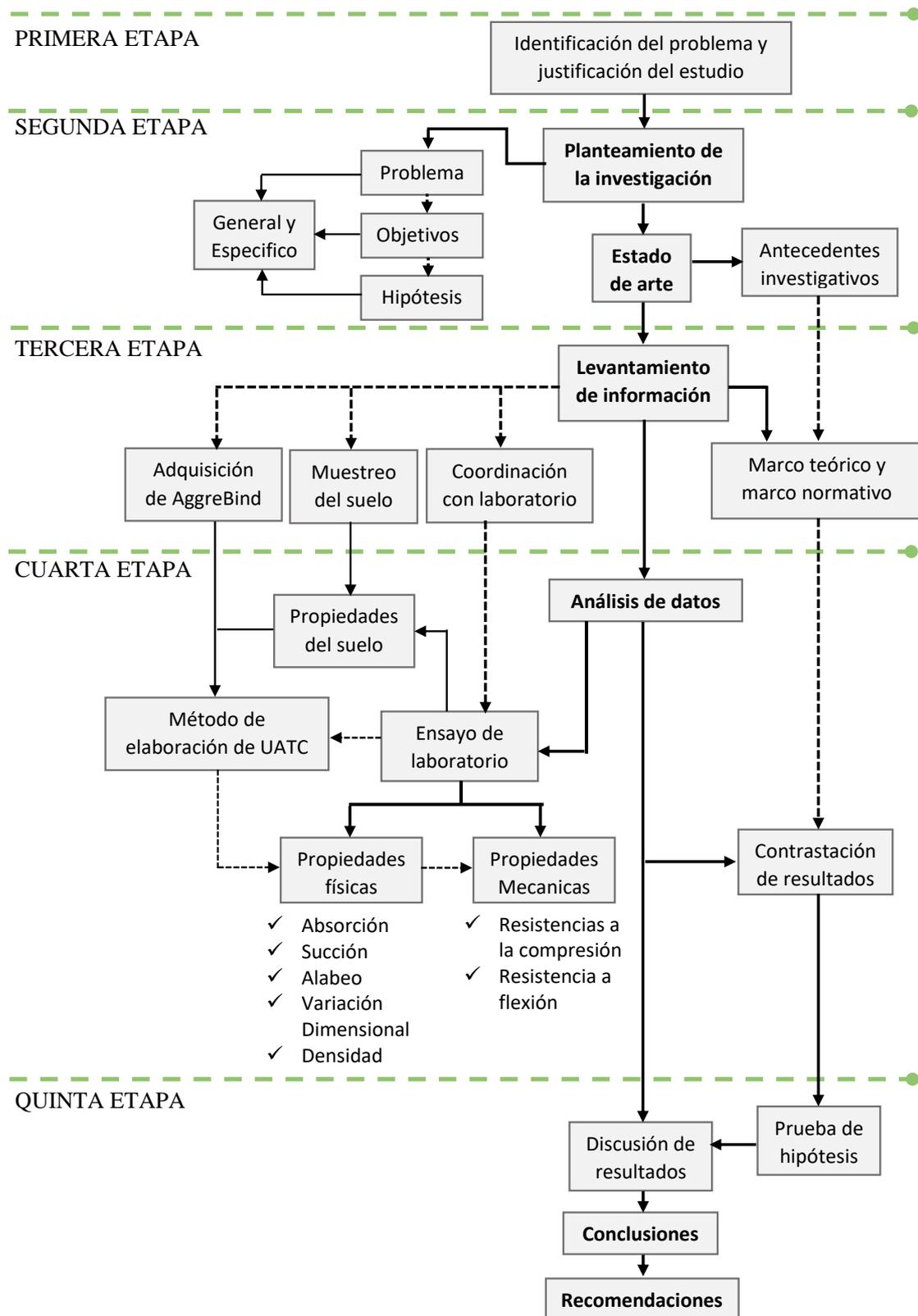
Variables	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos de medidas	Escala de medición
<b>Independiente</b>				
Adición del aditivo AggreBind	Dosificación	0 l/m <sup>3</sup>	Balanza (precisión 0.1g) y jeringa milimetrada	Numérica Continua
		2 l/m <sup>3</sup>		
		3 l/m <sup>3</sup>		
		4 l/m <sup>3</sup>		
		5 l/m <sup>3</sup>		
<b>Dependiente</b>				
Propiedades físico-mecánicas	Físicas	- Absorción - Succión - Alabeo - Variación dimensional - Densidad	Balanza (precisión 0.1g), cuñas (precisión 1mm) y regla metálica (precisión 1mm)	Nominal Politómica
	Mecánicas	- Resistencia a la compresión - Resistencia a la flexión	Equipo de compresión	Numérica Razón Continua

### 3.5. ETAPAS PARA EL DESARROLLO DEL ESTUDIO

Las etapas del desarrollo en la presente investigación se dividen en cinco etapas (ver figura 21); en la primera etapa es donde se identifica el problema y nace la necesidad de investigar. En la segunda etapa es donde se plantea la investigación, y el estado arte nos ayuda a seleccionar información según nuestras variables que será de utilidad en la investigación. En la tercera etapa, se enfoca en el levantamiento de información, definiciones, marcos normativos y obtención de muestreo de materiales.

**Figura 21**

*Identificación de etapas para el desarrollo del estudio*



En la cuarta etapa se realiza el análisis de datos obtenidos de los ensayos de laboratorio especificados en nuestros objetivos y la contrastación de resultados. En la última etapa se comprueban las hipótesis planteadas, la discusión, conclusiones y recomendaciones.

### 3.6. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

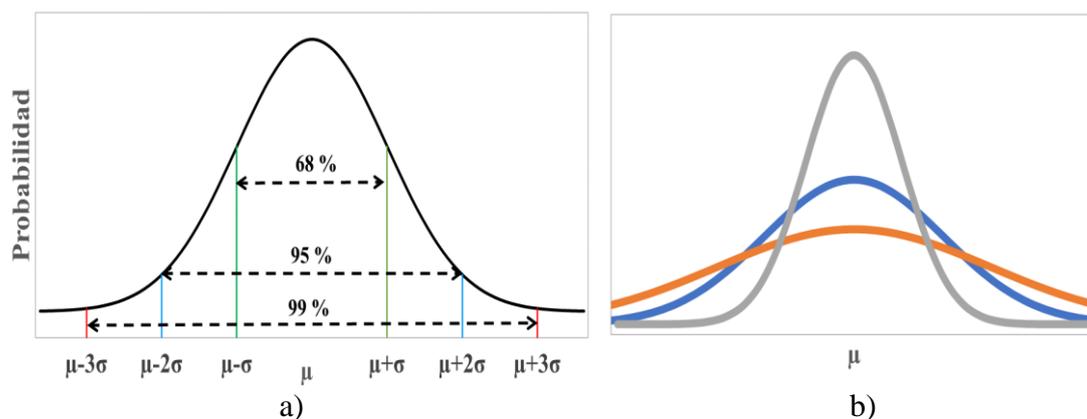
Hoy en día, la estadística es una herramienta que no puede faltar para analizar los datos de una investigación, porque permite describir, analizar e interpretar datos, para obtener información verídica y confiable. Las herramientas utilizadas en la presente investigación son MS Excel, XLSTAT y SPSS. (Ortega, 2024)

#### 3.6.1. La distribución normal

La distribución normal es un modelo teórico que aproxima el comportamiento de una variable aleatoria a una situación ideal, utilizando la media y la desviación típica como parámetros clave. (Rodó, 2024)

**Figura 22**

*Distribución normal o campana de Gauss*



**Nota:** a) Distribución de probabilidad normal, b) Diferentes formas de funciones normales según el valor de su parámetro (Canal, 2006)

Es decir, que la mayoría de las observaciones se agrupan en entorno a la media, y los valores se vuelven progresivamente menos comunes a medida que se van alejando del punto medio (ver figura 22). La distribución toma la forma de una campana, es conocida como la campana de Gauss o distribución normal. (Canal, 2006)

### **3.6.2. Contraste de la normalidad de las muestras**

El contraste de la normalidad nos permite verificar si los datos de la muestra proceden de una distribución normal. (Romero M., 2016)

#### **3.6.2.1. Shapiro-Wilk**

La prueba de Shapiro-Wilk es utilizada para probar o refutar la normalidad de los resultados, que es restringido para tamaños de muestra menores o iguales a 50 datos (Carmona & Carrión, 2015). En la presente investigación se tienen datos de cinco y diez observaciones en los diferentes ensayos, en la cual se cumplen las restricciones de Shapiro-Wilk. La postulación de hipótesis a contrastar es de la siguiente manera:

$H_0$ : El hallazgo de datos tiene una distribución normal.

$H_1$ : El hallazgo de datos no tiene una distribución normal.

### **3.6.3. Prueba de homocedasticidad**

La prueba de homocedasticidad de los residuos es también conocida como homogeneidad de varianzas, es uno de los supuestos que se verifica antes de realizar el ANOVA. Este supuesto es decisivo para avalar la calidad de los procedimientos estadísticos utilizados en la prueba de hipótesis. En esta



investigación se aplicó el test de Levene. (Correa et al., 2006)

### 3.6.3.1. Test de Levene

Esta prueba evalúa la homocedasticidad de los residuos de la varianza, para una variable calculada de dos o más grupos. Se utiliza a menudo antes de una comparación de medias, como es el caso de nuestra investigación. Cuando la prueba de Levene muestra significación, se debe cambiar a pruebas generalizadas (pruebas no paramétricas), libre de supuestos de homocedasticidad. (Levene, 1960)

La postulación de hipótesis a contrastar es de la siguiente manera:

$H_0$ : Los residuos son homocedásticos.

$H_1$ : Los residuos son heterocedásticos.

### 3.6.4. Prueba De Hipótesis

La prueba de hipótesis es una regla esencial para la toma de decisiones. Para la comprobación se toma una muestra aleatoria de la población de estudio y se utilizan los datos que contiene tal muestra para proporcionar evidencias que confirmen o no la hipótesis. Si la evidencia de la muestra es inconsistente con la hipótesis planteada, entonces esta se rechaza y si la evidencia apoya a la hipótesis planteada, entonces esta se acepta. (Dagnino, 2014)

#### 3.6.4.1. ANOVA

Análisis de Varianzas (ANOVA) es una prueba paramétrica que compara las medias de tres o más indicadores independientes (en la presente investigación se tiene cinco indicadores) para determinar si existe

una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de la población correspondiente (ver tabla 13). Si el valor p del ANOVA es menor que algún nivel de significancia elegido, podemos rechazar la hipótesis nula y concluir que tenemos suficiente evidencia para decir que al menos una de las medias de los grupos es diferente de las otras. (Ortega, 2024)

Para realizar el ANOVA se tienen que cumplir los siguientes supuestos.

- Los datos siguen la distribución normal, se comprueba mediante la prueba de Shapiro-Wilk.
- Las varianzas de los indicadores (dosis) son homocedásticos, se comprueba mediante el test de Levene.

Se han planteado las siguientes hipótesis estadísticas:

- $H_0$ :  $u_1 = u_2 = u_3 = \dots = u_k$  (todas las medias poblacionales son iguales, hipótesis nula)
- $H_1$ : al menos una media es diferente de la otra (hipótesis alternativa)

### Tabla 13

*Formato del cálculo de ANOVA*

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	p-valor	Valor critico F
Modelo (entre grupos)	GLr	SSR	MSR	f	p	Tabla Anexo 4
Error (dentro de grupos)	GLe	SSE	MSE			
Total corregido	GLt	SST				



$$SST = SSR + SSE \quad (6)$$

$$MSR = SSR / GLr \quad (7)$$

$$MSE = SSE / GLe \quad (8)$$

$$f = MSR / MSE \quad (9)$$

Donde:

SSR : suma de cuadrados de regresión

SSE : error suma de cuadrados

SST : suma total de cuadrados

GLr : grados de libertad de regresión (GLr = k-1)

GLe : grados de libertad de error (GLe = n-k)

GLt : grados de libertad totales (GLt = n-1)

K : número total de grupos

n : total de observaciones

MSR : cuadrado medio de regresión

MSE : error cuadrático medio

F : el estadístico de la prueba F

p : El valor p que corresponde a F, GLr, GLe

Si el p-valor es inferior al nivel de significancia elegido (en la presente investigación  $\alpha = 0.05$ ), se refuta la hipótesis nula y se concluye que al menos una de las medias de la población es diferente de las demás.

(Ibídem)

Sin embargo, cuando se tiene un resultado estadísticamente significativo, el análisis de varianzas no identifica entre qué grupos las diferencias de medias son significativas. Para ello se realiza un análisis

post-hoc. (Ibídem)

Una prueba post hoc se utiliza solo después de encontrar un resultado estadísticamente significativo y la necesidad de determinar de dónde provienen realmente nuestras diferencias. El término “post hoc” proviene del latín para “después del evento”. Hay muchas pruebas post hoc diferentes que se han desarrollado, la prueba de Bonferroni, Tukey, LSD de Fisher, La mayoría de ellas nos darán respuestas similares (Foster et al., 2018).

#### **3.6.4.2. Prueba de LSD de Fisher**

El test LSD (Least significant difference) de Fisher es un test de comparaciones múltiples de parejas. Es la más precisa que las pruebas de Tukey. Nos permite realizar las comparaciones de medias de los indicadores (dosis de AGB en la presente investigación) de un ensayo después de haber admitido la hipótesis alternativa de igualdad de medias mediante la técnica ANOVA. Todos los test de comparaciones múltiples son test que tratan de perfilar, especificar, concretar una hipótesis alternativa del ANOVA. (Llopis, 2024)

Los paquetes estadísticos calculan el valor común de LSD y a partir de él, calculan todas las diferencias de medias posibles. Los valores que estén por encima significa que existe una diferencia de medias significativa y cuando estén por debajo indica que la diferencia no es significativa). (Ibídem)



### **3.7. DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

OE<sub>1</sub>: Para determinar las propiedades físicas de las UATC adicionadas con AggreBind, se emplearon las normas técnicas vigentes, tanto nacionales e internacionales, para la producción de las unidades de albañilería de tierra comprimida y para realizar los ensayos en el laboratorio (absorción, succión, alabeo, variación dimensional y densidad). Los datos reflejan cuan influyente es el aditivo AggreBind en las UATC.

OE<sub>2</sub>: Para determinar las propiedades mecánicas de las unidades de albañilería de tierra comprimida estabilizadas con AggreBind, al igual que en el primer objetivo específico se emplearon las normas técnicas vigentes tanto nacionales e internacionales relacionadas a las propiedades de resistencia a la compresión y flexión, en los resultados se evidencia el efecto del AggreBind.

OE<sub>3</sub>: Para determinar el costo de cada unidad de albañilería de tierra comprimida estabilizadas con AggreBind, se realiza el análisis de precios unitarios (APU), teniendo la cotización de los insumos, rendimiento y la determinación del costo hora-hombre y hora-máquina. De esa manera se precisa el costo directo de una unidad de UATC con dosis de 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup>.

### **3.8. MATERIALES Y EQUIPOS**

#### **3.8.1. Características de la tierra (cantera Collana)**

##### **3.8.1.1. Materiales y equipos para la caracterización de la tierra**

En la tabla 14 se describen los materiales y equipos utilizados en los ensayos para determinar las propiedades físicas de la tierra.

**Tabla 14**

*Uso de materiales y equipos, en la caracterización de la tierra*

Descripción	Detalles del uso
<b>Materiales</b>	
Tierra	Es el material de ensayo, material procedente de la cantera Collana (muestra alterada). Para conservar la humedad original, un porcentaje de la muestra se almacenó en una bolsa de polietileno.
Agua	Se utilizó agua potable en los diferentes ensayos.
<b>Equipos y herramientas</b>	
Horno eléctrico	Se usa para los ensayos de límites de consistencia y el Proctor modificado para el cálculo de la densidad máxima. Marca METROTEST, modelo MS-H1, serie 839.
Horno microondas	Específicamente se utilizó para determinar el contenido natural de humedad.
Tamices	Los tamices que se utilizaron en el análisis granulométrico, fueron tamiz N 10, 20, 40, 60, 140, 200 y la cazuela.
Balanza	Se usa en múltiples ensayos. Precisión de 0.1 gramo.
Equipo de Proctor	Se usa los moldes de Proctor modificados.
Martillo de goma	Para desmoronar los terrones de la tierra.
Cucharada de metal	Se usa en múltiples ensayos.
Copa Casa Grande	Se utiliza para realizar el ensayo de límite líquido, marca PINZUAR, modelo PS11, serie 1846.
Cápsulas metálicas	Se usa en múltiples ensayos.
Vidrio grueso esmerilado	Se usa en el ensayo de límite plástico.
Cronometro	Se utiliza en el ensayo de contenido natural de humedad, precisión de 1 segundo.
Plato de porcelana	Se utilizó en el ensayo de contenido natural de humedad y límites de consistencia.
Recipientes	Se usa en múltiples ensayos.

### 3.8.1.2. Ensayo de contenido natural de humedad

#### a) Norma técnica empleada

La norma empleada para el ensayo de contenido natural de humedad es:

- ASTM D4643-17

#### b) Ensayo

Este ensayo nos determina el contenido de agua de la tierra del suelo mediante el secado gradual en un horno microondas según la norma ASTM D4643-17; el tiempo del ensayo es aproximadamente de 10 minutos.

### Figura 23

*Secado de muestra en microondas*



El ensayo se realiza en el laboratorio de suelos; en un plato de

porcelana se colocan 245 gramos de suelos húmedos, al cual se determina su masa. Colocamos la muestra en el horno microondas para someterla a secamiento por un intervalo de tres minutos (ver figura 23); se saca del horno y nuevamente se determina su masa; los siguientes procesos deben repetirse por un intervalo de 1 minuto, hasta que la diferencia de masas sea menor de 1% (ver tabla 15). Formula 10 según ASTM D4643-17.

$$W\%nat = \frac{Ppsh - Ppss}{Ppss - Pp} \times 100 \quad (10)$$

Donde:

W%nat : Contenido natural de humedad (%).

Ppsh : Peso del plato más el suelo húmedo (g).

Ppss : Peso del plato más el suelo seco (g).

Pp : Peso del plato (g)

### c) Registro de datos

**Tabla 15**

*Contenido natural de humedad de la tierra*

Nº	Peso Plato (g)	Peso Plato + Sh (g)	Tiempo (min)	DIF (%)
1	233.1	478.8		
2		451.9	3	5.62
3		444.1	1	1.73
4		435.9	1	1.85
5		428.3	1	1.74
6		422.6	1	1.33
		419.4	1	0.76
W%nat=				31.88

En la tabla 15 se muestra la determinación del contenido natural de humedad, donde se realizaron 6 repeticiones y el resultado final del

contenido natural de humedad, lo cual es de 31.88%.

### 3.8.1.3. Ensayo de análisis granulométrico

#### a) Norma técnica empleada

La norma empleada para el ensayo de análisis granulométrico es:

- NTP 400.012
- ASTM C136

#### b) Ensayo

El ensayo se realiza en el laboratorio de suelos, se usó la muestra seca del anterior ensayo (ver ítem 3.7.1.2) y mediante una comba de goma se desmenuza los terrones, luego se vertió en los tamices y se procedió a agitar por 30 minutos de manera constante. Los resultados se ilustran en la tabla 16.

**Figura 24**

*Ensayo de granulometría*



**c) Registro de datos****Tabla 16***Análisis granulométrico*

Peso inicial de la muestra:					184.3	G			
Malla	Dim. (mm)	Peso retenido (g)	Peso corregido (g)	% de peso retenido	Peso retenido acumulado (g)	% de peso retenido acumulado	Peso que pasa (g)	% que pasa	
N 10	2	0	0.0	0.0 %	0.0	0.0 %	184.3	100.0	
N 20	0.841	3.3	3.3	1.8 %	3.3	1.8 %	181.0	98.2	
N 40	0.4	11.5	11.6	6.3 %	14.9	8.1 %	169.4	91.9	
N 60	0.25	12.9	13.0	7.1 %	27.9	15.1 %	156.4	84.9	
N 140	0.105	35.1	35.4	19.2 %	63.3	34.3 %	121.0	65.7	
N 200	0.074	29.1	29.3	15.9 %	92.6	50.2 %	91.7	49.8	
Cazuela		91	91.7	49.8 %	184.3	100.0 %	0.0	0.0	
Total:		182.9	184.3	100.0 %					
Corrección:		1.4	dif. Peso	0.8 %					

**3.8.1.4. Límites de consistencia****a) Norma técnica empleada**

La norma empleada para los ensayos de límite líquido y límite plástico es:

- NTP 339.129
- ASTM D4318-10

**b) Ensayo límite líquido**

Se tomó el material pasante por el tamiz N 60 del anterior ensayo (ver ítem 3.8.1.3), se colocó la muestra sobre una vasija de porcelana, y se le añadió agua (15 a 20 ml), se amasó la muestra hasta lograr que ésta sea uniforme y se dejó reposar la masa por 4 horas. Luego se colocó una

porción de la muestra en la cazuela de bronce y se dividió en dos partes iguales con un ranurador. Posteriormente se elevó y golpeó la taza de bronce, girando la manija, hasta cerrar la ranura a lo largo de aproximadamente 13 mm.

### c) Registro de datos

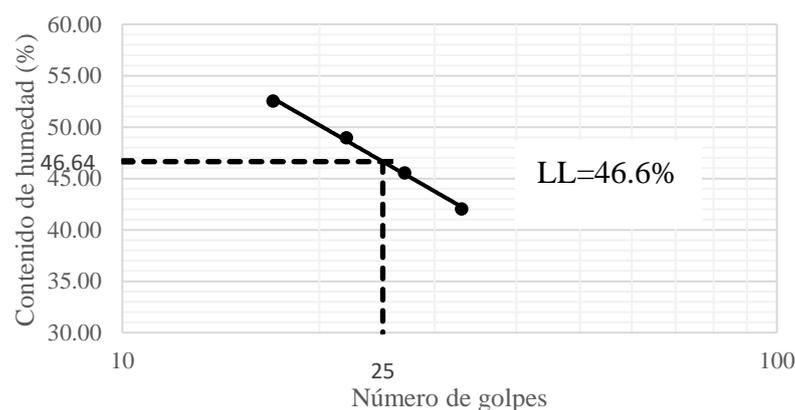
**Tabla 17**

*Límite líquido (NTP 339.129)*

Ensayo	1	2	3	4
Código de cápsula	118	115	105	106
Número de golpes	17	22	27	33
Peso cápsula (g)	47.80	48.20	47.90	48.00
Peso suelo húmedo + cápsula (g)	61.85	62.01	61.80	61.72
Peso suelo seco + cápsula (g)	57.01	57.47	57.45	57.66
Peso de agua (g)	4.84	4.54	4.35	4.06
Peso suelo seco (g)	9.21	9.27	9.55	9.66
Contenido de humedad (%)	52.6	49.0	45.5	42.0

**Figura 25**

*Límite líquido (25 golpes)*



### d) Ensayo de límite plástico

Se toma 20 g de la muestra preparada para el límite líquido; se



amasa formando una esfera. Luego se moldea la muestra formando un elipsoide y se rueda con los dedos sobre el vidrio esmerilado hasta que se desmorone en un diámetro aproximado de 1/8”.

#### e) Registro de datos

**Tabla 18**

*Límite plástico*

Ensayo	1	2	3
Código de cápsula	119	116	109
Peso cápsula (g)	47.50	48.30	47.10
Peso suelo húmedo + cápsula (g)	51.52	52.08	50.88
Peso suelo seco + cápsula (g)	50.75	51.37	50.16
Peso de agua (g)	0.77	0.71	0.72
Peso suelo seco (g)	3.25	3.07	3.06
Contenido de humedad (%)	23.70	23.10	23.50
Desviación estándar		0.31	
Límite plástico (%)		23.4	

#### 3.8.1.5. Ensayo de compactación Proctor modificado.

##### a) Norma técnica empleada

El ensayo de Proctor modificado se realiza con la intención de obtener el contenido de humedad óptima (ver figura 27). La norma empleada para este ensayo es:

- NTP 339.141

##### b) Ensayo

El ensayo se desarrolla en el laboratorio de suelos. Se prepararon 4 bandejas con muestras de 2.5 kg aproximadamente en estado semi seco, semi húmedo, húmedo y muy húmedo. Se inició con la primera muestra,

se dividió en 5 porciones equivalentes, colocando cada porción en el molde, se compactó con 25 golpes por cada capa, y se pesó dicho molde con la muestra enrazada luego, se muestrea el material compactado de la parte superior e inferior del molde. Estas se colocaron en cápsulas, se registraron los respectivos pesos y se llevaron al horno.

**Figura 26**

*Ensayo de compactación Proctor modificado*



**c) Registro de datos**

**Tabla 19**

*Proctor modificado*

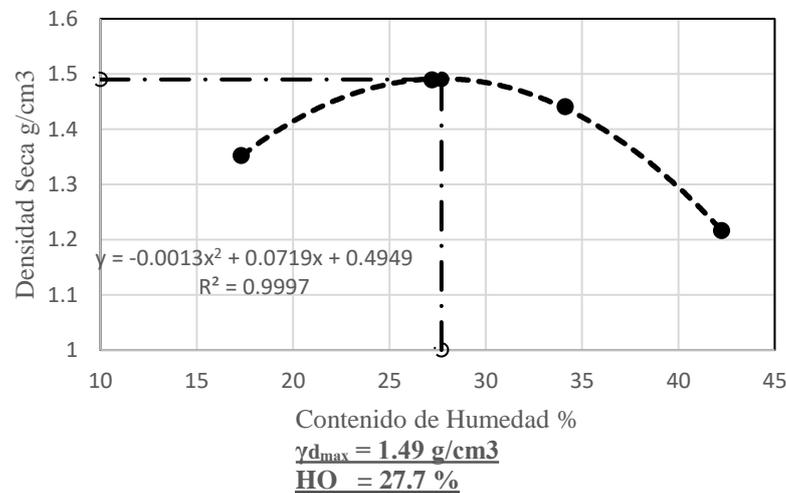
Ensayo N°	1	2	3	4
Cálculo de densidad:				
Peso molde + suelo húmedo (g)	5260.0	5552.0	5588.0	5396.0
Peso molde (g)	3757.0	3757.0	3757.0	3757.0
Peso suelo húmedo (g)	1503.0	1795.0	1831.0	1639.0
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	947.87	947.87	947.87	947.87
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.59	1.89	1.93	1.73
Cálculo de humedad:				
Código de cápsula	108	117	113	107
Peso cápsula (g)	47.70	47.10	48.10	47.40
Peso suelo húmedo + cápsula (g)	78.20	121.90	159.70	174.0

Ensayo N°	1	2	3	4
Peso suelo seco + cápsula (g)	73.70	105.90	131.30	136.4
Peso de agua (g)	4.50	16.00	28.40	37.60
Peso suelo seco (g)	26.00	58.80	83.20	89.00
Contenido de humedad (%)	17.31	27.21	34.13	42.25
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.35	1.49	1.44	1.22

#### d) Cálculo de densidad máxima y humedad óptima

**Figura 27**

*Contenido de humedad óptima*



En la figura 27 se aprecia la densidad seca máxima de 1.49 y el contenido de humedad óptima de 27.7%. Estos datos son usados en el método de producción de unidades de albañilería de tierra comprimida.

#### 3.8.1.6. Clasificación e identificación de suelos

Para la clasificación e identificación de la tierra, se usaron los resultados de los ensayos de granulometría (ver ítem 3.8.1.3) y límites de consistencia (ver ítem 3.8.1.4). La clasificación AASTHO se realiza según la tabla 5. El resultado es un suelo arcilloso de clasificación A-7-6. La

clasificación SUCS se realizó según la tabla 6 y figura 11. Se concluye que es un suelo arena arcillosa de baja plasticidad (SC).

### 3.8.2. Características del aditivo AggreBind

La información del material y las propiedades físicas y químicas se describen en el ítem 2.2.3. Las especificaciones técnicas del aditivo AggreBind según AgeEcovias (2023) se detallan en la tabla 20.

**Tabla 20**

*Especificaciones técnicas de AggreBind*

Característica	Detalle
Descripción del producto	Polímero Acrílico de Estireno Reticulado, concentrado.
Requiere de Cemento y/o Arcilla?	No
¿Tiene trazadores propietarios?	Si, este indicador ofrece a los ingenieros y los clientes una oportunidad única para evaluar la cantidad de polímero presente en el material tratado; incluso, después de varios años de su instalación.
¿Es Ecológico?	Si
¿Es biodegradable?	No
¿Lixivia?	No
¿Es Resistente al Agua?	SI, Mediante el sellado, puede llegar a ser impermeable.
¿Cuál es la Garantía de Fabrica del Producto?	84 meses (7 años) de Garantía Estructural, bajo estricto cumplimiento de los Protocolos de Aplicación. 18 meses de Almacenamiento, respetando estrictamente las indicaciones sobre las condiciones adecuadas de almacenamiento que, se le entregara oportunamente.
¿Tiene la capacidad de adherencia? Es decir, ¿Sus Partículas se enlazan entre ellas?	Si, tiene la propiedad de que sus partículas se enlazan entre ellas, proporcionando una unión permanente, que elimina el riesgo de una laminación o separación.



Característica	Detalle
¿Qué % de Agua está incluido en el producto ofrecido?	El contenido de agua es insignificante. Se vende en su forma concentrada más alta permitida
¿Es una Solución temporal o permanente?	Permanente
¿Se Degrada?	No, no se degrada en el tiempo
¿Causa algún Impacto ambiental?	No Se puede moler y cultivar encima de él. Su composición no es peligrosa. No hay problemas de filtración de agua por lluvia
¿Mejora la capacidad de tracción?	Si
¿Resiste Pruebas de Congelación?	Si, mientras el estabilizador se encuentra en su estado líquido sin diluir soportará por lo menos cinco (5) pruebas de congelación/descongelación manteniendo sus propiedades químicas.
¿Resistencia a los Rayos UV?	Si, ha sido probado por 12 años
¿Requiere mano de Obra calificada para su aplicación?	No Se puede usar mano de obra NO CALIFICADA para su instalación.
¿Período de tiempo para alcanzar su máxima resistencia?	28 días
¿El producto es para caminos, bloques, ladrillos, adoquines y control del polvo? Por favor Especifique	Para todos Para caminos, bloques, ladrillos, adoquines y control del polvo
¿Se utiliza un sólo producto o múltiples productos para lograr la estabilización del suelo?	Un solo producto
¿Requiere de la utilización de materiales adicionales?	No, no es necesario utilizar materiales adicionales como base para su funcionamiento tales como cemento, arcilla, cal u otros
¿Tipos y condición del líquido para diluir el polímero?	Se aplica con el agua existente en la zona, agua de río, agua dulce, agua salada e inclusive agua de mar con hasta 4% de salinidad.
¿Soporta daños por derrames de petróleo y aceites?	Si, es resistente a derrames viales tales como: aceites, gasolina, petróleo, comida, bebidas, la mayoría de los ácidos.

Característica	Detalle
¿Es Inflamable?	No
¿Es Volátil?	No
¿Cuenta con Certificados de empresas extranjeras?	Si
¿Tiene un representante en el Perú?	Si

Fuente: (AgeEcovias, 2023)

Según el gerente general, Ing. Julio Ernesto Guardia Romaní, el producto es distribuido en el Perú por la empresa AGE ECOVIAS PERU SAC, que son los representantes oficiales de la empresa norteamericana AggreBind Inc.

### Figura 28

#### *Formas de importación del AggreBind*



También son las encargadas de proporcionar las especificaciones técnicas correspondientes a las diversas empresas. El producto AggreBind se importa a través de pallets de 4 cilindros (820 litros) o en lotes de 1000 litros. Para nuestra investigación se nos proporcionó en un bidón de 5 galones como se muestra en la figura 28.

### 3.8.3. Producción de UATC

#### 3.8.3.1. Materiales y equipos para la fabricación de UATC

**Tabla 21**

*Uso de materiales y equipos, en la fabricación de UATC*

Descripción	Detalles del uso
<b>Materiales</b>	
Tierra	La tierra es el principal material en la fabricación de UATC. Las características de la tierra se aprecian en el ítem 3.8.1
Agua	Se usa agua potable en la fabricación de UATC.
Aditivo AggreBind	Es el estabilizante que se utiliza en la fabricación de UATC con diferentes dosis. Las características del material se aprecian en el ítem 2.2.3 y el ítem 3.8.2.
<b>Equipos y herramientas</b>	
Prensa hidráulica de compresión	Se usó para el prensado de UATC. Donde se aplicó una carga de 1000 +/- 10 kg sobre las UATC.
Molde metálico	Es un molde prefabricado con medidas internas de 9.4mm ancho, 9.5mm longitud, se ilustra en la figura 29, para el moldeo de UATC.
Ranurador metálico	Se usa para ranurar la cara superior de las capas inferiores, para garantizar la adherencia entre las capas.
Recipiente	Se usa para la dosificación de los materiales.
Cuchara metálica	Se usa para el mezclado de los materiales.
Gata hidráulica	Se utiliza para el desmolde de las UATC, ver figura 31.
Balanza	Se usa para la dosificación exacta de los materiales, precisión de 0.1 gramo.
Cronómetro	Se utiliza para medir el tiempo de mezclado de los materiales.
Regla metálica	Para medir las dimensiones del molde.
Jeringa	Se usa una jeringa de 60 ml, para la dosificación exacta del aditivo AggreBind.



### 3.8.3.2. Proceso de producción de UATC en laboratorio

#### a) Norma técnica empleada:

Al no contar con una norma guía en el Perú, se tomó como referencia a las normas internacionales.

- UNE 41410 (2008)
- NTC 5324 (2004)
- ARS 670 (1996)

#### b) Datos preliminares:

- Contenido natural de humedad: 31.8 % (ver ítem 3.8.1.2)
- Contenido de humedad óptima: 27.7 % (ver ítem 3.8.1.5)
- Densidad seca máxima: 1.49 g/cm<sup>3</sup> (ver ítem 3.8.1.5)
- Densidad húmeda máxima: 1.902 g/cm<sup>3</sup> (calculado según la ecuación 15)

$$\gamma_h = \gamma_{smax} * (1 + HO) \quad ( 11 )$$

Donde:

$\gamma_h$  : Densidad húmeda

$\gamma_{smax}$  : Densidad seca máxima

HO : Humedad óptima

#### c) Dimensiones del molde:

Las dimensiones internas del molde metálico (prefabricado) son: 95 mm de longitud, 94 mm de ancho y 110 mm de altura. La altura de la UATC es 85 mm.

**Figura 29**

*Molde metálico para UATC*



**d) Composición de la unidad de albañilería de tierra comprimida:**

**1. Tierra (arena arcillosa)**

Para una unidad de albañilería. Primero, la muestra de la tierra se deja secar u orear hasta que la humedad sea igual a la humedad óptima de 27.7 %. Luego se determina el peso de una unidad de UATC.

- Volumen de la UATC:  $9.5 * 9.4 * 8.5 = 759.05 \text{ cm}^3$
- Peso de la tierra húmeda:  $1.902 * 759.05 = 1444 \text{ g} \approx 1450 \text{ g}$   
para una unidad de UATC.

**2. Aditivo AggreBind por dosis:** para una unidad de albañilería (volumen compactado  $759.05 \text{ cm}^3$ , peso de la tierra 1450 g).

- Dosis 0 l/m<sup>3</sup>: 0 ml
- Dosis 2 l/m<sup>3</sup>:  $2 * 759.05 / 1000 = 1.5 \text{ ml}$
- Dosis 3 l/m<sup>3</sup>:  $3 * 759.05 / 1000 = 2.3 \text{ ml}$
- Dosis 4 l/m<sup>3</sup>:  $4 * 759.05 / 1000 = 3.1 \text{ ml}$
- Dosis 5 l/m<sup>3</sup>:  $5 * 759.05 / 1000 = 3.8 \text{ ml}$

### e) Mezclado:

Primero se inicia con el pesaje de la muestra de 1450 g de tierra en una bandeja y se adiciona el aditivo AggreBind según la dosis especificada; el mezclado se realiza de forma manual con un cucharón metálico durante 3 minutos hasta que la mezcla quede homogénea (ver figura 30).

### Figura 30

*Dosificación y mezclado de tierra – AggreBind*



### f) Prensado:

### Figura 31

*Equipos, herramientas y moldes para el prensado de UATC*



En el prensado se utiliza una prensa hidráulica de compresión como se aprecia en la figura 31, la mezcla homogénea se divide en tres partes iguales; la primera porción es llenada en el molde metálico, luego es comprimida con la prensa hidráulica aplicando una fuerza de presión 1000 de +/- 10 kg. Con la segunda parte, primero se realiza el ranurado de la cara superior de la primera capa y se procede al llenado de la segunda parte o capa; de igual forma se aplica la compresión. Con la tercera capa se realizan los mismos procedimientos.

- g) **Desmolde:** Para el desmolde se utiliza una gata hidráulica, como se aprecia en la figura 31.
- h) **Secado:** En el momento del desmolde, las unidades de albañilería de tierra comprimida se codifican según el diseño experimental en la tabla 9. Las UATC son almacenadas en andamios (ver figura 32). Se dejaron secar por 28 días según las especificaciones técnicas del AggreBind.

### Figura 32

*Secado al aire de las UATC*



### 3.8.3.3. Resumen de la composición de las UATC, por indicador

**Tabla 22**

*Composición para una unidad de UATC, por indicador*

Indicadores	Tierra húmeda en (g)	AggreBind en (ml)	Agua en (ml)	N de unidades fabricadas
0 l/m <sup>3</sup>	1450	0	0	15
2 l/m <sup>3</sup>	1450	1.5	0	15
3 l/m <sup>3</sup>	1450	2.3	0	15
4 l/m <sup>3</sup>	1450	3.1	0	15
5 l/m <sup>3</sup>	1450	3.8	0	15

### 3.8.4. Materiales y equipos objetivo específico (OE<sub>1</sub>)

**Tabla 23**

*Uso de materiales, equipos y herramientas, utilizados para el OE<sub>1</sub>*

Descripción	Detalles del uso
<b>Materiales</b>	
UATC	Es el material de ensayo (muestra), UATC con dosis de 0 l/m <sup>3</sup> , 2 l/m <sup>3</sup> , 3 l/m <sup>3</sup> , 4 l/m <sup>3</sup> y 5 l/m <sup>3</sup> . El proceso de producción se detalla en el ítem 3.8.3.
Agua	Se usa agua potable para los ensayos de absorción y succión.
<b>Equipos y herramientas</b>	
Balanza	Se usa para medir el peso de la UATC seco y saturado, precisión de un gramo.
Cronómetro	Principalmente se usó en el ensayo de succión y absorción, precisión de un segundo.
Bandeja	Se usa para el ensayo de succión, bandeja de vidrio transparente de base plana.
Recipiente	Se usa únicamente en el ensayo de absorción, capacidad de 80 litros.

Descripción	Detalles del uso
Varillas metálicas	Se usa para el apoyo de las UATC en los ensayos de succión y absorción.
Brocha	Para limpiar alguna partícula adherida en la UATC.
Jara de 1 litro	Se usa para verter el agua en los recipientes.
Cuña de medición, de 1 mm.	Esta herramienta se utilizó en la medición del alabeo de las UATC.
Regla metálica	Se usa en múltiples ensayos.
Vernier	Se usa para la medición de la altura, longitud y ancho de las UATC.

### 3.8.5. Materiales y equipos objetivo específico (OE<sub>2</sub>)

**Tabla 24**

*Uso de materiales, equipos y herramientas, utilizados para el OE<sub>2</sub>*

Descripción	Detalles del uso
<b>Materiales</b>	
UATC	Es el material de ensayo (muestra), UATC con dosis de 0 l/m <sup>3</sup> , 2 l/m <sup>3</sup> , 3 l/m <sup>3</sup> , 4 l/m <sup>3</sup> y 5 l/m <sup>3</sup> . El proceso de producción se detalla en el ítem 3.8.3.
<b>Equipos y herramientas</b>	
Prensa hidráulica	El uso de esta máquina se dio en los ensayos de resistencia a la compresión y flexión, de marca ARSOU, modelo PR701, serie 2138, y la última fecha de calibración fue 30/03/2022. Los ensayos de laboratorio se realizaron en el mes de agosto del año 2023.
Regla metálica	Se usa en múltiples ensayos.
Brocha	Para limpiar alguna partícula adherida en la UATC.
Plancha metálica	Se usa como apoyo y soporte en los ensayos.
Polín o varilla lisa	Es utilizado en el ensayo de flexión, diámetro de la varilla ½”.

### 3.9. ENSAYO REALIZADO PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO (OE<sub>1</sub>)

#### 3.9.1. Ensayo de absorción

##### a) Norma técnica empleada

La norma empleada para el ensayo de absorción es:

- NTP 339.613

##### b) Ensayo

El ensayo se realiza en el laboratorio de materiales. Se utilizaron unidades completamente secas, se registró el peso de cada unidad, y en un recipiente con agua se sumergen por un periodo de 24 horas. Pasado el tiempo específico, las unidades se desintegraron dentro de recipientes, a excepción de las unidades con dosis altas de AggreBind que conservaron su forma (ver figura 33), pero perdieron material en las aristas. Esto dificulta el registro del peso de las unidades saturadas.

#### Figura 33

*Ensayos de absorción de muestras de UATC*



##### c) Registro de datos



**Tabla 25**

*Datos obtenidos en el ensayo de absorción*

Dosis	Wd (g)	Ws (g)	Absorción (%)	Observación
0 l/m <sup>3</sup>	1175.0	-	-	
0 l/m <sup>3</sup>	1163.0	-	-	
0 l/m <sup>3</sup>	1150.0	-	-	Se desintegraron
0 l/m <sup>3</sup>	1164.0	-	-	
0 l/m <sup>3</sup>	1152.0	-	-	
2 l/m <sup>3</sup>	1155.0	-	-	
2 l/m <sup>3</sup>	1164.0	-	-	
2 l/m <sup>3</sup>	1161.0	-	-	Se desintegraron
2 l/m <sup>3</sup>	1152.0	-	-	
2 l/m <sup>3</sup>	1160.0	-	-	
3 l/m <sup>3</sup>	1133.0	-	-	
3 l/m <sup>3</sup>	1130.0	-	-	
3 l/m <sup>3</sup>	1130.0	-	-	Se desintegraron
3 l/m <sup>3</sup>	1131.0	-	-	
3 l/m <sup>3</sup>	1132.0	-	-	
4 l/m <sup>3</sup>	1171.0	-	-	
4 l/m <sup>3</sup>	1148.0	-	-	
4 l/m <sup>3</sup>	1145.0	-	-	Se desintegraron
4 l/m <sup>3</sup>	1150.0	-	-	
4 l/m <sup>3</sup>	1176.0	-	-	
5 l/m <sup>3</sup>	1175.0	-	-	
5 l/m <sup>3</sup>	1162.0	-	-	Se desintegraron
5 l/m <sup>3</sup>	1166.0	-	-	parcialmente
5 l/m <sup>3</sup>	1153.0	-	-	
5 l/m <sup>3</sup>	1157.0	-	-	

### 3.9.2. Ensayo de rapidez inicial de absorción (succión)

#### a) Norma técnica empleada

La norma empleada para el ensayo de succión es:

- NTP 339.613

#### b) Ensayo

La prueba se realiza similar a lo descrito en la norma NTP 339.613 “ensayo de rapidez inicial de absorción (succión) – prueba de campo”. Para el desarrollo del ensayo se utilizó un recipiente de base plana más dos varillas metálicas no corrosibles. Se añade agua al recipiente hasta sobrepasar 3mm  $\pm$  0.25mm de la varilla, luego se coloca la unidad sobre las barras de acero que permitieron el contacto de la cara inferior de la unidad con el agua por un periodo de un minuto  $\pm$  1 s, se pasa a retirar la unidad y se limpia el agua excedente. El registro del nuevo peso se realiza dentro de los 10 primeros segundos tras haberlo retirado del recipiente.

#### Figura 34

*Ensayos de succión de muestras de UATC*



#### c) Registro de datos

**Tabla 26**

*Datos obtenidos en el ensayo de succión*

Dosis	L (cm)	A (cm)	P_inicial (g)	P_final (g)	W (g)	SUCCION (g/200cm <sup>2</sup> -min)	Desviación estándar
0 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.4	1152	1179	27	60.47	15.77
0 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	1146	1165	19	42.11	
0 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.4	1164	1201	37	82.87	
0 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.4	1149	1173	24	53.75	
0 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.4	1175	1207	32	71.67	
2 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.4	1154	1173	19	42.55	11.40
2 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.4	1159	1172	13	29.12	
2 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.4	1157	1184	27	60.26	
2 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.4	1150	1167	17	37.94	
2 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.4	1143	1163	20	44.79	
3 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.4	1126	1139	13	29.22	5.19
3 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.4	1135	1143	8	17.92	
3 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.4	1133	1145	12	26.88	
3 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.4	1140	1151	11	24.64	
3 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.4	1134	1142	8	17.92	
4 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.4	1168	1173	5	11.20	4.86
4 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.4	1177	1186	9	20.16	
4 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.4	1183	1190	7	15.68	
4 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.4	1220	1230	10	22.40	
4 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.4	1198	1208	10	22.40	
5 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.4	1161	1168	7	15.68	4.00
5 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.4	1164	1169	5	11.20	
5 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.4	1165	1168	3	6.74	
5 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.4	1151	1158	7	15.68	
5 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.4	1161	1165	4	8.96	

### 3.9.3. Ensayo de variación dimensional

#### a) Norma técnica empleada

La norma empleada para el ensayo de variación dimensional es:

- NTP 339.604
- NTP 339.613

#### b) Ensayo

En el ensayo, primero se realizó la limpieza de las unidades con una brocha, para eliminar cualquier partícula que pueda interferir con la medición; luego se procedió a medir con la regla graduada, entre los puntos medios de las aristas opuestas, cuatro mediciones para el largo, cuatro para el ancho, de igual forma para la altura (ver figura 35). Los datos registrados se aprecian en la tabla 27.

#### Figura 35

*Ensayo de variación dimensional de muestras de UATC*



#### c) Registro de datos

**Tabla 27**

*Datos obtenidos en el ensayo de variación dimensional*

Dosis	Longitud					Altura					Ancho					Desv. estándar					
	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L4 (mm)	Lp (mm)	VL (%)	Desv. estándar	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	H4 (mm)	Hp (mm)	VH (%)	Desv. estándar	A1 (mm)		A2 (mm)	A3 (mm)	A4 (mm)	Ap (mm)	VA (%)
0 l/m <sup>3</sup>	95.5	95.0	95.5	95.5	95.4	-0.39		85.5	85.5	86.0	86.0	85.8	-0.88		94.0	95.0	94.5	94.0	94.4	94.4	-0.40
0 l/m <sup>3</sup>	95.5	95.0	95.0	95.0	95.1	-0.13		85.0	85.0	85.5	85.5	85.3	-0.29		94.0	94.5	94.0	94.0	94.1	94.1	-0.13
0 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.5	95.0	95.5	95.3	-0.26		85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	0.00		94.0	94.5	94.5	94.0	94.3	94.3	-0.27
0 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	0.00		85.0	86.0	85.5	85.0	85.4	-0.44		94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	0.00
0 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	0.00	0.14	86.0	86.0	85.5	86.0	85.9	-1.03		94.5	94.0	94.0	94.0	94.1	94.1	-0.13
0 l/m <sup>3</sup>	95.5	95.5	95.0	95.0	95.3	-0.26		85.0	86.0	86.0	85.0	85.5	-0.59	0.40	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	0.00
0 l/m <sup>3</sup>	95.5	95.0	95.0	95.0	95.1	-0.13		85.0	86.0	86.0	85.0	85.5	-0.59		94.0	95.0	94.5	94.5	94.5	94.5	-0.53
0 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	0.00		86.5	86.0	86.5	85.0	86.0	-1.18		94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	0.00
0 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	0.00		86.0	85.0	86.0	85.0	85.5	-0.59		94.5	94.5	94.0	94.0	94.3	94.3	-0.27
0 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.5	95.0	95.0	95.1	-0.13		85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	0.00		94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	0.00
2 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	0.00		85.0	86.0	85.0	85.5	85.4	-0.44		94.0	94.0	94.5	94.0	94.1	94.1	-0.13
2 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.5	95.5	95.5	95.4	-0.39		85.0	86.0	85.0	85.5	85.4	-0.44		94.0	94.5	95.0	94.0	94.4	94.4	-0.40
2 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.0	95.5	95.0	95.1	-0.13		84.5	85.0	85.0	85.0	84.9	0.15		94.5	94.5	94.0	94.0	94.3	94.3	-0.27
2 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.0	94.5	94.5	94.8	0.26		85.0	85.0	85.5	85.0	85.1	-0.15		94.0	94.0	94.5	94.0	94.1	94.1	-0.13
2 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.5	95.0	95.0	95.1	-0.13	0.19	85.0	85.5	85.0	85.0	85.1	-0.15	0.27	94.0	94.0	94.0	93.5	93.9	93.9	0.13
2 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	0.00		85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	0.00		94.0	94.0	94.5	94.5	94.3	94.3	-0.27
2 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.5	95.0	95.5	95.3	-0.26		84.5	84.5	85.5	85.5	85.0	0.00		94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	0.00
2 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	0.00		85.0	86.0	86.0	85.0	85.5	-0.59		94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	0.00
2 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.0	95.0	94.5	94.9	0.13		86.0	86.0	85.0	85.0	85.5	-0.59		94.5	94.5	94.0	94.0	94.3	94.3	-0.27
2 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.5	95.0	95.0	95.1	-0.13		85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	0.00		94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	0.00

Dosis	Longitud						Desv. estándar (%)	Altura						Desv. estándar (%)	Ancho					Desv. estándar (%)
	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L4 (mm)	Lp (mm)	VL (%)		H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	H4 (mm)	Hp (mm)	VH (%)		A1 (mm)	A2 (mm)	A3 (mm)	A4 (mm)	Ap (mm)	
3 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.5	95.0	95.0	95.1	-0.13	85.0	86.0	86.0	85.0	85.5	-0.59	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	0.00		
3 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.5	95.0	95.5	95.3	-0.26	85.0	85.5	86.0	85.0	85.4	-0.44	94.0	94.0	94.5	94.5	94.3	-0.27		
3 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	0.00	85.0	85.5	85.0	85.0	85.1	-0.15	94.5	94.5	94.5	94.0	94.4	-0.40		
3 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	0.00	85.0	85.5	85.5	85.0	85.3	-0.29	94.0	95.0	94.0	94.0	94.3	-0.27		
3 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	0.00	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	0.00	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	0.00		
3 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	0.00	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	0.00	94.0	94.5	94.0	94.0	94.1	-0.13		
3 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.5	95.5	95.0	95.3	-0.26	85.0	85.0	84.5	84.5	84.8	0.29	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	0.00		
3 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	0.00	85.0	85.5	85.5	85.0	85.3	-0.29	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	0.00		
3 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.5	95.0	95.0	95.1	-0.13	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	0.00	94.0	94.0	93.5	94.0	93.9	0.13		
3 l/m <sup>3</sup>	94.5	95.0	95.0	95.0	94.9	0.13	85.0	86.0	86.0	85.0	85.5	-0.59	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	0.00		
4 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	0.00	85.0	86.0	86.0	85.0	85.5	-0.59	94.0	94.0	94.5	94.0	94.1	-0.13		
4 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	0.00	85.0	85.0	85.5	85.5	85.3	-0.29	94.0	94.5	95.0	94.0	94.4	-0.40		
4 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.5	95.0	95.0	95.1	-0.13	84.5	85.0	85.0	84.5	84.8	0.29	94.5	94.5	94.0	94.0	94.3	-0.27		
4 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	0.00	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	0.00	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	0.00		
4 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.5	95.5	95.0	95.3	-0.26	85.0	86.0	86.0	85.0	85.5	-0.59	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	0.00		
4 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.5	95.0	95.0	95.1	-0.13	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	0.00	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	0.00		
4 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	0.00	85.0	85.0	86.0	85.0	85.3	-0.29	94.0	94.0	94.0	94.5	94.1	-0.13		
4 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	0.00	84.0	85.0	85.0	85.0	84.8	0.29	94.0	93.5	93.5	94.0	93.8	0.27		
4 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.0	95.0	95.5	95.1	-0.13	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	0.00	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	0.00		
4 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.0	94.5	95.0	94.9	0.13	86.0	86.0	86.0	86.0	86.0	-1.18	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	0.00		
5 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	0.00	85.5	85.5	85.5	85.5	85.5	-0.59	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	0.00		
5 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.0	95.5	95.0	95.1	-0.13	86.0	85.0	85.0	85.0	85.3	-0.29	94.0	94.5	94.5	94.0	94.3	-0.27		

Dosis	Longitud							Desv. estándar (muestra)	Altura							Desv. estándar (muestra)	Ancho					Desv. estándar (muestra)
	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L4 (mm)	Lp (mm)	VL (%)	H1 (mm)		H2 (mm)	H3 (mm)	H4 (mm)	Hp (mm)	VH (%)	A1 (mm)	A2 (mm)		A3 (mm)	A4 (mm)	Ap (mm)	VA (%)		
5 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.0	95.5	95.0	95.1	-0.13	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	0.00	94.0	94.5	94.5	94.5	94.4	-0.40				
5 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	0.00	86.0	86.0	86.0	86.0	86.0	-1.18	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	0.00				
5 l/m <sup>3</sup>	95.5	95.0	95.0	95.5	95.3	-0.26	86.0	86.0	86.0	86.0	86.0	-1.18	94.5	94.0	94.0	94.0	94.1	-0.13				
5 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	0.00	86.0	86.0	86.0	86.0	86.0	-1.18	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	0.00	0.17			
5 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.5	95.0	95.0	95.1	-0.13	85.0	85.0	85.0	84.5	84.9	0.15	94.0	94.0	94.5	94.0	94.1	-0.13	0.54			
5 l/m <sup>3</sup>	95.0	94.5	95.0	95.0	94.9	0.13	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	0.00	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	0.00				
5 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	0.00	85.0	86.0	86.0	85.0	85.5	-0.59	94.0	94.0	93.5	94.0	93.9	0.13				
5 l/m <sup>3</sup>	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	0.00	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	0.00	93.5	94.0	94.0	94.0	93.9	0.13				

### 3.9.4. Ensayo de alabeo

#### a) Norma técnica empleada

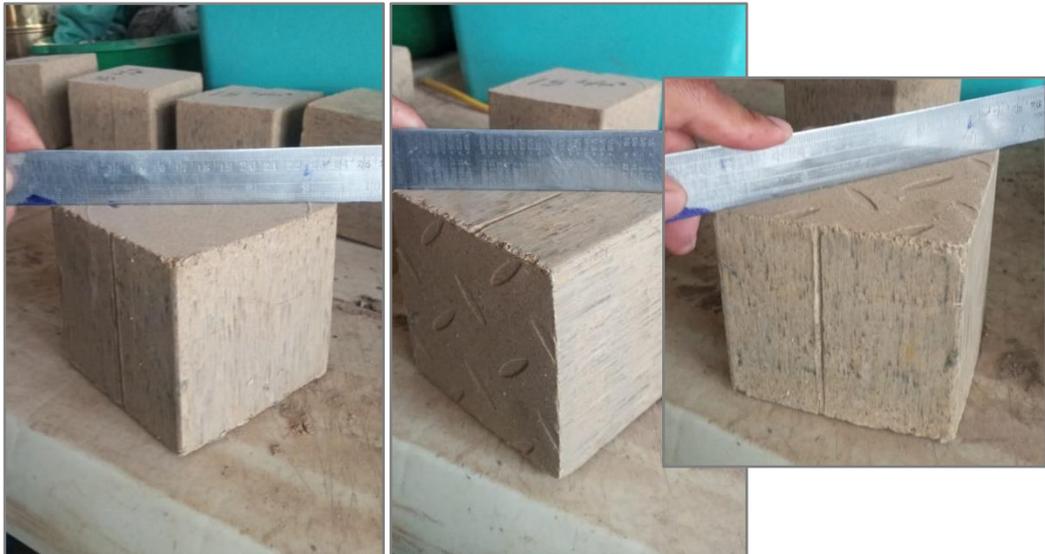
La norma empleada para el ensayo de alabeo es:

- NTP 339.613

#### b) Ensayo

### Figura 36

*Ensayo de alabeo de muestras de UATC*



En el ensayo se utilizó una regla metálica para medir el alabeo de la superficie, adoptando la posición longitudinal o diagonal, que dé la mayor desviación de la línea recta. No fue necesario utilizar la cuña milimetrada debido a que no se apreció ninguna abertura tanto en la superficie cóncavo y convexo (ver figura 36). Esta apreciación se dio en todas las UATC con diferentes dosis.

**Tabla 28***Datos obtenidos en el ensayo de alabeo*

Dosis	Cara 1		Cara 2		Lateral 1		Lateral 2	
	Concava (mm)	Convexa (mm)	Concava (mm)	Convexa (mm)	Concava (mm)	Convexa (mm)	Concava (mm)	Convexa (mm)
0 l/m <sup>3</sup> (En las 10 muestras)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2 l/m <sup>3</sup> (En las 10 muestras)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3 l/m <sup>3</sup> (En las 10 muestras)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4 l/m <sup>3</sup> (En las 10 muestras)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5 l/m <sup>3</sup> (En las 10 muestras)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

### 3.9.5. Ensayo de densidad

#### a) Norma técnica empleada

La norma empleada para el ensayo de densidad es:

- NTP 331.017

#### b) Ensayo

En el ensayo se realizan los registros de las dimensiones de la altura, ancho y longitud para el cálculo del volumen de la UATC y su peso seco, respectivamente. Los datos se aprecian en la tabla 29.

#### c) Registro de datos

**Tabla 29**

*Datos obtenidos en el ensayo de densidad*

Dosis	L1 (cm)	L2 (cm)	L3 (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)	H3 (cm)	A1 (cm)	A2 (cm)	A3 (cm)	W (g)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Desviación estándar
0 l/m <sup>3</sup>	9.6	9.6	9.5	8.7	8.7	8.7	9.5	9.5	9.5	1177	1.49	
0 l/m <sup>3</sup>	9.6	9.6	9.5	8.6	8.7	8.7	9.5	9.5	9.5	1172	1.49	
0 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	8.7	8.7	8.6	9.5	9.5	9.5	1157	1.48	0.01
0 l/m <sup>3</sup>	9.6	9.6	9.5	8.7	8.7	8.7	9.5	9.5	9.5	1167	1.48	
0 l/m <sup>3</sup>	9.6	9.6	9.5	8.7	8.7	8.7	9.5	9.5	9.5	1166	1.47	
2 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	8.6	8.6	8.6	9.4	9.4	9.4	1155	1.50	
2 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	8.5	8.5	8.5	9.4	9.4	9.4	1158	1.53	
2 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	8.5	8.5	8.5	9.4	9.4	9.5	1158	1.52	0.02
2 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	8.5	8.6	8.6	9.5	9.5	9.4	1146	1.49	
2 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.6	9.5	8.6	8.5	8.6	9.4	9.4	9.4	1151	1.50	
3 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	8.4	8.5	8.5	9.4	9.4	9.3	1148	1.52	
3 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.6	9.5	8.5	8.5	8.5	9.4	9.4	9.4	1137	1.49	
3 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	8.4	8.5	8.5	9.4	9.4	9.4	1162	1.54	0.02
3 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	8.5	8.5	8.5	9.4	9.4	9.4	1153	1.52	
3 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	8.5	8.6	8.6	9.4	9.4	9.4	1166	1.52	
4 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	8.5	8.5	8.5	9.4	9.4	9.4	1189	1.57	
4 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	8.5	8.5	8.5	9.4	9.3	9.3	1166	1.55	
4 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	8.5	8.5	8.5	9.4	9.4	9.4	1172	1.54	0.02
4 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	8.5	8.4	8.5	9.5	9.5	9.4	1153	1.51	
4 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	8.5	8.5	8.5	9.4	9.4	9.4	1190	1.57	
5 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	8.6	8.5	8.6	9.5	9.5	9.4	1162	1.51	
5 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	8.6	8.6	8.6	9.4	9.4	9.4	1179	1.54	
5 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	8.6	8.7	8.6	9.4	9.3	9.4	1172	1.53	0.01
5 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	8.6	8.6	8.6	9.4	9.3	9.3	1148	1.51	
5 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	8.6	8.6	8.5	9.3	9.3	9.3	1140	1.51	

### 3.10. ENSAYO REALIZADO PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO (OE<sub>2</sub>)

#### 3.10.1. Ensayo de resistencia a la compresión

a) **Norma técnica empleada:** La norma empleada para el ensayo de resistencia

a la compresión fue:

- NTP 339.613

## b) Ensayo

- Se ensayaron cinco unidades secas por cada dosis.
- Antes del ensayo se procedió a tomar las medidas de las caras superior e inferior de mayor dimensión, medidas necesarias para el cálculo de la resistencia máxima.

### Figura 37

*Ensayo de resistencia a la compresión de muestras de UATC*



- No fue necesario utilizar planchas rectangulares de acero u otro como cappings en la superficie de la unidad, debido a que las UATC presentan superficies completamente planas (ver figura 37).
- Se procedió a colocar la unidad de albañilería en la prensa hidráulica de compresión y se el inicio del ensayo de resistencia a la compresión a una velocidad constante, posteriormente se registró la resistencia máxima que llegó a obtener cada unidad de albañilería y se registraron los resultados obtenidos (ver tabla 30).

c) Registro de datos

**Tabla 30**

*Datos obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión*

Dosis	L1 (cm)	L2 (cm)	L3 (cm)	A1 (cm)	A2 (cm)	A3 (cm)	As (cm <sup>2</sup> )	Q (kg)	C (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar
0 l/m <sup>3</sup>	9.6	9.6	9.5	9.5	9.5	9.5	90.9	1590	17.49	0.81
0 l/m <sup>3</sup>	9.6	9.6	9.5	9.5	9.5	9.5	90.9	1580	17.38	
0 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	90.3	1630	18.06	
0 l/m <sup>3</sup>	9.6	9.6	9.5	9.5	9.5	9.5	90.9	1450	15.95	
0 l/m <sup>3</sup>	9.6	9.6	9.5	9.5	9.5	9.5	90.9	1610	17.72	
2 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	9.4	9.4	9.4	89.3	1760	19.71	0.57
2 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	9.4	9.4	9.4	89.3	1850	20.72	
2 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	9.4	9.4	9.5	89.6	1840	20.53	
2 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.4	89.9	1740	19.35	
2 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.6	9.5	9.4	9.4	9.4	89.6	1790	19.97	
3 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	9.4	9.4	9.3	89.0	1920	21.58	0.65
3 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.6	9.5	9.4	9.4	9.4	89.6	1900	21.20	
3 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	9.4	9.4	9.4	89.3	1810	20.27	
3 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	9.4	9.4	9.4	89.3	1800	20.16	
3 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	9.4	9.4	9.4	89.3	1810	20.27	
4 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	9.4	9.4	9.4	89.3	1880	21.05	0.55
4 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	9.4	9.3	9.3	88.7	1880	21.20	
4 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	9.4	9.4	9.4	89.3	1870	20.94	
4 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.4	89.9	2007	22.32	
4 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	9.4	9.4	9.4	89.3	1900	21.28	
5 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.4	89.9	2190	24.35	1.15
5 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	9.4	9.4	9.4	89.3	1910	21.39	
5 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	9.4	9.3	9.4	89.0	1980	22.25	
5 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	9.4	9.3	9.3	88.7	2010	22.67	
5 l/m <sup>3</sup>	9.5	9.5	9.5	9.3	9.3	9.3	88.4	2080	23.54	

**3.10.2. Ensayo de resistencia a flexión**

a) **Norma técnica empleada:** La norma empleada para el ensayo de resistencia

a flexión es:

- NTP 339.613
- ASTM C67 - 01

### b) Ensayo

- Al igual que los ensayos de compresión, se utilizaron unidades secas.
- Se colocaron apoyos según lo especificado en la (ASTM C67 - 01), que indica que el apoyo superior debía ubicarse al medio de la unidad de albañilería, y los apoyos inferiores son ubicados a no menos de 2.5 cm hacia adentro de los extremos de la unidad.

### Figura 38

*Ensayo de resistencia a flexión de muestras de UATC*



- Se registró la altura de la unidad y la distancia entre los apoyos antes del ensayo. Se colocó la unidad de albañilería en el equipo de compresión; posteriormente se registró la resistencia máxima que llegó a obtener la unidad. El ensayo culmina cuando la unidad llega a

una falla completa. Los resultados obtenidos se ilustran en la tabla 31.

**c) Registro de datos**

**Tabla 31**

*Datos obtenidos en el ensayo de resistencia a flexión*

Dosis	A (cm)	H (cm)	L <sub>0</sub> (cm)	Q (kg)	Flexión S (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar
0 l/m <sup>3</sup>	9.4	8.6	3.2	160	1.10	0.22
0 l/m <sup>3</sup>	9.5	8.6	3.2	80	0.55	
0 l/m <sup>3</sup>	9.4	8.6	3.2	90	0.62	
0 l/m <sup>3</sup>	9.4	8.6	3.2	100	0.69	
0 l/m <sup>3</sup>	9.4	8.5	3.2	120	0.85	
2 l/m <sup>3</sup>	9.4	8.5	3.2	130	0.92	0.16
2 l/m <sup>3</sup>	9.4	8.5	3.2	150	1.06	
2 l/m <sup>3</sup>	9.4	8.6	3.2	130	0.89	
2 l/m <sup>3</sup>	9.4	8.6	3.2	190	1.31	
2 l/m <sup>3</sup>	9.4	8.5	3.2	150	1.06	
3 l/m <sup>3</sup>	9.4	8.5	3.2	180	1.27	0.11
3 l/m <sup>3</sup>	9.4	8.5	3.2	200	1.41	
3 l/m <sup>3</sup>	9.4	8.5	3.2	160	1.13	
3 l/m <sup>3</sup>	9.4	8.5	3.2	180	1.27	
3 l/m <sup>3</sup>	9.4	8.6	3.2	200	1.38	
4 l/m <sup>3</sup>	9.4	8.5	3.2	200	1.41	0.12
4 l/m <sup>3</sup>	9.4	8.5	3.2	210	1.48	
4 l/m <sup>3</sup>	9.4	8.5	3.2	220	1.55	
4 l/m <sup>3</sup>	9.4	8.5	3.2	230	1.63	
4 l/m <sup>3</sup>	9.4	8.6	3.2	190	1.31	
5 l/m <sup>3</sup>	9.4	8.6	3.2	260	1.80	0.12
5 l/m <sup>3</sup>	9.4	8.5	3.2	240	1.70	
5 l/m <sup>3</sup>	9.4	8.5	3.2	240	1.70	
5 l/m <sup>3</sup>	9.4	8.6	3.2	230	1.59	
5 l/m <sup>3</sup>	9.4	8.5	3.2	270	1.91	

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA TIERRA

En la tabla 32 se detallan los resultados de los ensayos de la caracterización de la tierra muestreada de la cantera Collana, Paucarcolla-Puno. El porcentaje de finos que pasa la malla N 200, límites de consistencia, tipo de suelo, densidad seca máxima y contenido de humedad óptima. En estos resultados no se realiza el análisis estadístico, debido a que son datos puntuales.

**Tabla 32**

*Resumen de resultados de caracterización de la tierra*

Descripción	Resultado
Contenido natural de humedad	31.88 %
% que pasa la malla N 200	49.80 %
Límite plástico	23.40 %
Límite líquido	46.60 %
Índice de plasticidad	23.20 %
Clasificación AASTHO	A-7-6 (Suelo Arcilloso)
Clasificación SUCS	SC (Arena arcillosa de baja plasticidad)
Densidad máxima seca	1.49 g/cm <sup>3</sup>
Humedad óptima	27.70 %

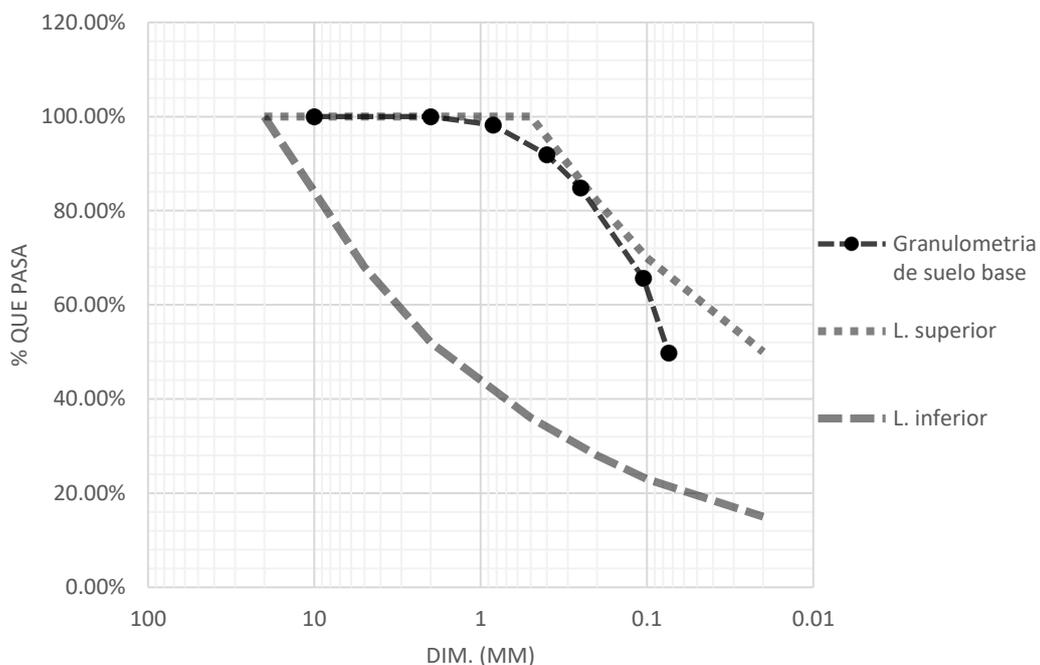
En la granulometría, según el manual informativo de AggreBind (ver tabla 4), recomienda tener un 35 % de finos que pasen por el tamiz N 200, en comparación con nuestro resultado que se cumple (ver tabla 32). De igual forma, el manual informativo de AggreBind recomienda un índice de plasticidad menor a 15 %; en el presente estudio no

se cumple.

La norma española UNE 41410 (2008) recomienda, para la fabricación de UATC, que la curva granulométrica del suelo esté inscrita dentro de los límites superiores e inferiores (ver figura 9). En nuestra investigación, la curva granulométrica se encuentra inscrita dentro de los márgenes, como se aprecia en la figura 39, lo cual concluye que la tierra cumple como material para la fabricación de unidades de albañilería de tierra comprimida.

### Figura 39

*Curva granulométrica de la tierra*

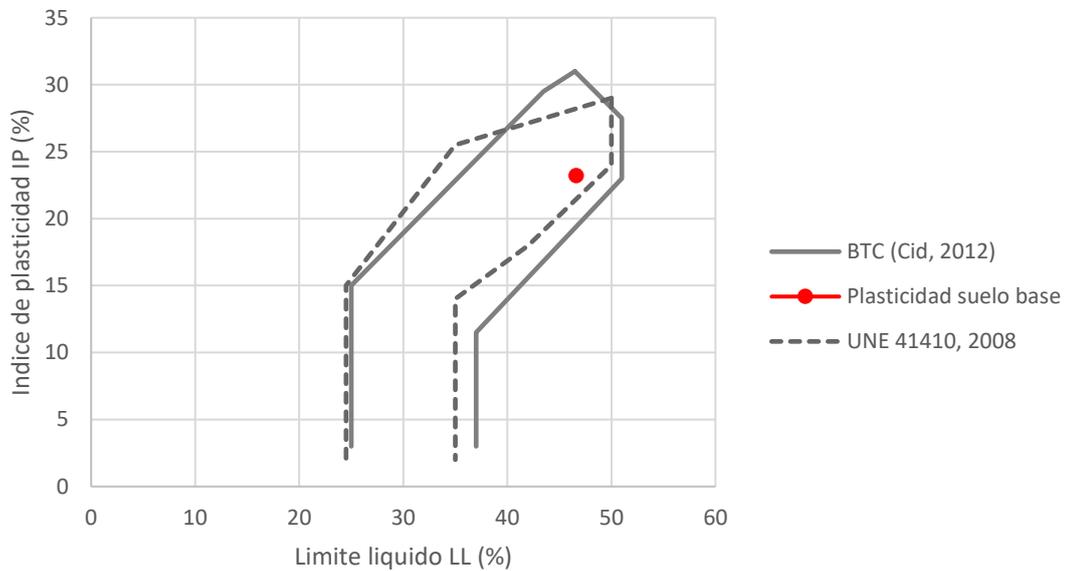


Nota: límite superior e inferior, según la norma UNE 41410 (2008)

En cuanto a la plasticidad de los suelos, la norma UNE 41410 (2008) y Cid (2012) recomiendan que esté dentro de los límites de plasticidad (ver figura 10). En la presente investigación se demuestra que sí se cumple con la plasticidad del suelo, como se aprecia en la figura 40.

**Figura 40**

*Plasticidad del suelo*



Nota: límites de plasticidad para UATC

## 4.2. RESULTADOS DE PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS UATC

### 4.1.1. Resultados de absorción

**Tabla 33**

*Resultado de absorción*

Indicadores	Observación	Prom. (%)	Descripción
0 l/m <sup>3</sup>	- - - - -	-	Se desintegraron
2 l/m <sup>3</sup>	- - - - -	-	Se desintegraron
3 l/m <sup>3</sup>	- - - - -	-	Se desintegraron
4 l/m <sup>3</sup>	- - - - -	-	Se desintegraron
5 l/m <sup>3</sup>	- - - - -	-	Se desintegraron parcialmente

Nota: no se registraron datos ver tabla 25

Como se aprecia en la tabla 33, no se tienen resultados del ensayo de absorción en diferentes series de UATC. Se presentan evidencias fotográficas en la figura 41.

## Figura 41

### *Evidencia de ensayo de absorción*



Nota: fotos del ensayo, UATC saturadas y se desintegraron

En la figura 41 se muestran que las UATC producidas con 0, 2, 3 y 4 l/m<sup>3</sup> de AGB, sumergidas en agua por 24 horas, se descompusieron por completo, demostrando que no son resistentes al agua. La aplicación de la dosis más alta de 5 l/m<sup>3</sup> de AGB, las UATC se desmoronaron parcialmente; esto indica que a mayor dosis de AGB las unidades pueden ser resistentes al agua.

Por lo tanto, se *rechaza* la hipótesis planteada en la presente investigación.

HE<sub>1</sub>: *La aplicación del aditivo AggreBind mejora significativamente la propiedad de absorción de unidades de albañilería de tierra comprimida.*

#### **4.1.1.1. Análisis estadístico de absorción**

Debido a que no se cuenta con los datos de absorción. En todas las series de UATC, no se realiza ningún análisis estadístico ni comprobación de hipótesis.

**Tabla 34***Cuadro estadístico de absorción con 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	Absorción (x <sub>i</sub> )	Desviación estándar (σ)	Media (u)
01	-		
02	-		
03	-	-	-
04	-		
05	-		

Nota: no se cuenta con datos para realizar el análisis estadístico

**4.1.2. Resultados de rapidez inicial de absorción (succión)****Tabla 35***Resultados de succión*

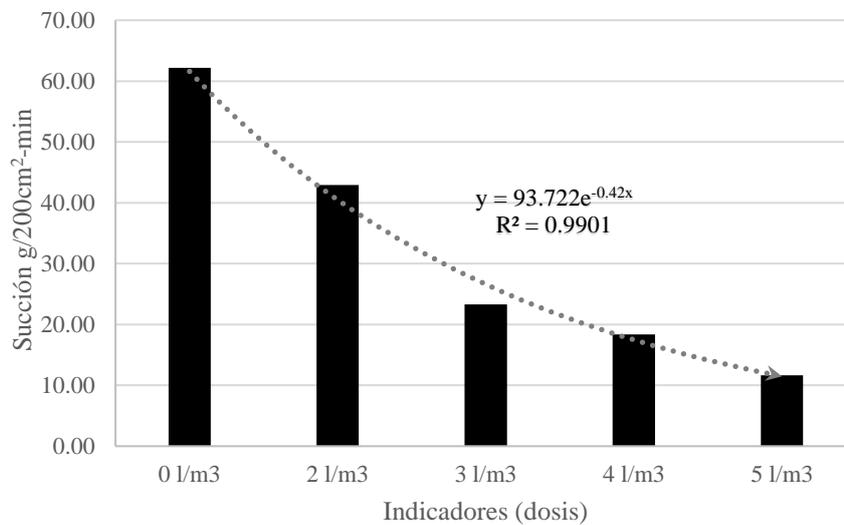
Indicadores	Observación					Prom. (g/200cm <sup>2</sup> -min)
0 l/m <sup>3</sup>	60.47	42.11	82.87	53.75	71.67	62.17
2 l/m <sup>3</sup>	42.55	29.12	60.26	37.94	44.79	42.93
3 l/m <sup>3</sup>	29.22	17.92	26.88	24.64	17.92	23.31
4 l/m <sup>3</sup>	11.20	20.16	15.68	22.40	22.40	18.37
5 l/m <sup>3</sup>	15.68	11.20	6.74	15.68	8.96	11.65

Nota: datos obtenidos de la tabla 26

La tabla 35 muestra los hallazgos de la rapidez inicial de absorción (succión). Se tiene registro de cinco observaciones por cada indicador de 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup>. Y los resultados promedios son 62.17, 42.93, 23.31, 18.37 y 11.65 g/200cm<sup>2</sup>-min, respectivamente. Con los datos obtenidos en la succión se efectúa una comparación referencial con la norma técnica NTP E-070 (2019), donde indica que en las unidades de albañilería (ladrillo) la succión esté comprendida entre 10 a 20 g/200cm<sup>2</sup>-min; en la presente investigación se cumple con UATC estabilizadas con 4 y 5 l/m<sup>3</sup> de AGB.

**Figura 42**

*Gráfico de resultado de succión*



Nota: rapidez inicial de absorción (succión) de UATC

En la figura 42, que muestra el comparativo gráfico de la succión promedio de las unidades de albañilería de tierra comprimida con diferentes dosis, se puede apreciar que en la succión la regresión se ajusta a una curva exponencial negativa con tendencia a cero al incorporar gradualmente el aditivo AggreBind en las UATC. En fin, la adición de AggreBind disminuye exponencialmente de 62.17 a 11.65 g/200cm<sup>2</sup>-min y hace que tenga una reducción de succión del 81.3% respecto a la succión de las unidades de albañilería de tierra comprimida sin aditivo.

#### 4.1.2.1. Análisis estadístico de succión

##### 4.1.2.1.1. Distribución normal de succión

- **Distribución normal de succión para UATC con 0 l/m<sup>3</sup> de AGB**

En la tabla 36 se muestra el análisis estadístico de UATC adicionadas con 0 l/m<sup>3</sup> de AggreBind.

**Tabla 36**

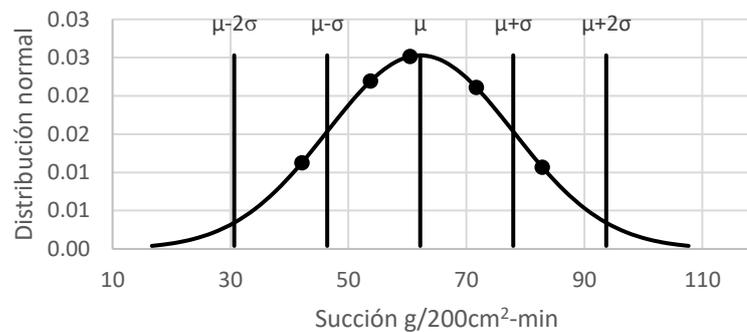
*Cuadro estadístico de succión - UATC con 0 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	Succión (Xi)	Desviación estándar ( $\sigma$ )	Media (u)	Coefficiente de variación (%)
01	60.47			
02	42.11			
03	82.87	15.77	62.17	25.37
04	53.75			
05	71.67			

Nota: datos estadísticos para el indicador de 0 l/m<sup>3</sup>

**Figura 43**

*Distribución normal de succión - UATC con 0 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 0 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

- **Distribución normal de succión para UATC con 2 l/m<sup>3</sup> de AGB**

**Tabla 37**

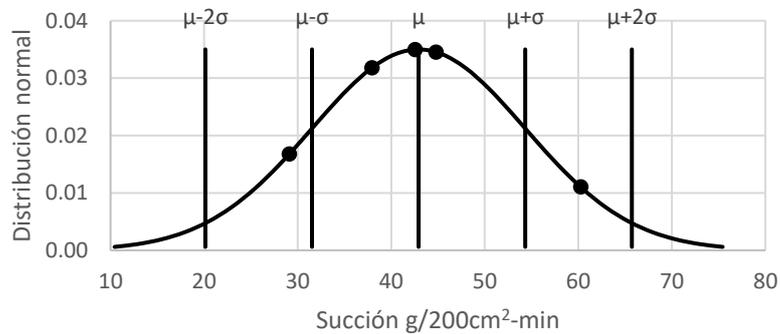
*Cuadro estadístico de succión - UATC con 2 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	Succión (Xi)	Desviación estándar ( $\sigma$ )	Media (u)	Coefficiente de variación (%)
01	42.55			
02	29.12			
03	60.26	11.40	42.93	26.55
04	37.94			
05	44.79			

Nota: datos estadísticos para el indicador de 2 l/m<sup>3</sup>

**Figura 44**

*Distribución normal de succión - UATC con 2 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 2 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

• **Distribución normal de succión para UATC con 3 l/m<sup>3</sup> de AGB**

**Tabla 38**

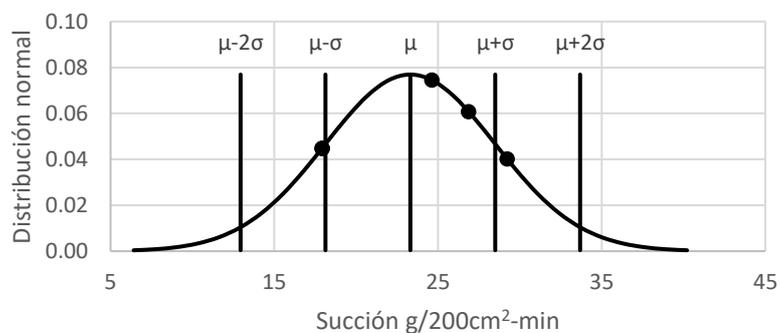
*Cuadro estadístico de succión - UATC con 3 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	Succión (Xi)	Desviación estándar (σ)	Media (u)	Coefficiente de variación (%)
01	29.22			
02	17.92			
03	26.88	5.19	23.31	22.24
04	24.64			
05	17.92			

Nota: datos estadísticos para el indicador de 3 l/m<sup>3</sup>

**Figura 45**

*Distribución normal de succión - UATC con 3 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 3 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

- **Distribución normal de succión para UATC con 4 l/m<sup>3</sup> de AGB**

**Tabla 39**

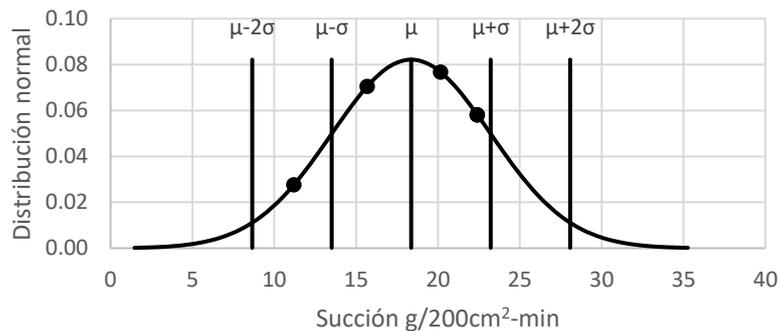
*Cuadro estadístico de succión - UATC con 4 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	Succión (Xi)	Desviación estándar ( $\sigma$ )	Media (u)	Coefficiente de variación (%)
01	11.20			
02	20.16			
03	15.68	4.86	18.37	26.44
04	22.40			
05	22.40			

Nota: datos estadísticos para el indicador de 4 l/m<sup>3</sup>

**Figura 46**

*Distribución normal de succión - UATC con 4 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 4 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

- **Distribución normal de succión para UATC con 5 l/m<sup>3</sup> de AGB**

**Tabla 40**

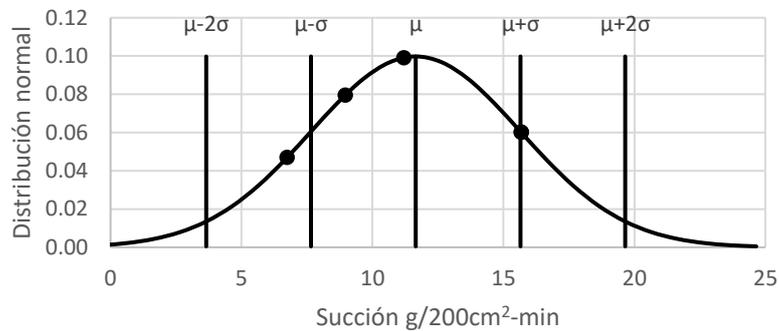
*Cuadro estadístico de succión - UATC con 5 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	Succión (Xi)	Desviación estándar ( $\sigma$ )	Media (u)	Coefficiente de variación (%)
01	15.68			
02	11.20			
03	6.74	4.00	11.65	34.32
04	15.68			
05	8.96			

Nota: datos estadísticos para el indicador de 5 l/m<sup>3</sup>

**Figura 47**

*Distribución normal de succión - UATC con 5 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 5 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

#### 4.1.2.1.2. Comprobación de normalidad de succión

La comprobación de la normalidad se realiza en los resultados de tabla 26. Son datos hallados en el laboratorio respecto al ensayo de succión de UATC estabilizadas con 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup> de AGB; para tal fin se utiliza la prueba de Shapiro-Wilk, una prueba que demuestra si los datos provienen de una distribución normal o no. Para ellos se postulan las siguientes hipótesis estadísticas:

$H_0$ : Los resultados hallados en el ensayo de succión tienen una distribución normal.

$H_1$ : Los resultados hallados en el ensayo de succión no tienen una distribución normal.

**Tabla 41**

*Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) - succión.*

Indicadores	W	w crítico (ver anexo 4)	Distribución Normal
0 l/m <sup>3</sup>	0.992	0.762	SI

Indicadores	W	w crítico (ver anexo 4)	Distribución Normal
2 l/m <sup>3</sup>	0.961	0.762	SI
3 l/m <sup>3</sup>	0.870	0.762	SI
4 l/m <sup>3</sup>	0.871	0.762	SI
5 l/m <sup>3</sup>	0.893	0.762	SI

Nota: Para nivel de significación 0.05

Si el valor estadístico de Shapiro-Wilk (W) es superior sobre el valor crítico, se admite la hipótesis nula; si sucede lo contrario, se refuta la misma.

La tabla 41 muestra los resultados de la prueba de normalidad para los datos del ensayo de succión de la UATC; se evidencia que todos los valores estadísticos de Shapiro-Wilk (para una significancia de 0.05) son mayores al valor crítico (valor obtenido del anexo 4). Por estas consideraciones se admite el  $H_0$ ; por lo tanto, se afirma con certeza que los datos del ensayo de succión de la UATC con adición de AGB provienen de una distribución normal.

#### 4.1.2.1.3. Prueba de homocedasticidad de succión

La comprobación de la homocedasticidad es realizada en los resultados de succión de UATC con dosis de 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup> de AGB (ver tabla 26). Para ello se aplicó el test de Levene, para conocer con certeza la aplicación de pruebas paramétricas o no. Postulando como hipótesis estadística lo siguiente:

$H_0$ : Los residuos son homocedásticos.

$H_1$ : Los residuos son heterocedásticos.

**Tabla 42**

*Prueba de homocedasticidad (Levene) - succión*

Estadístico de Levene	p-valor	Significativo
2.538	0.072	NO

Nota: nivel de significación 0.05

Si el P-valor calculado de la prueba de homocedasticidad es mayor que el nivel de significación  $\alpha=0.05$ , no se puede rechazar la hipótesis nula  $H_0$ .

Como se muestra en la tabla 42, la prueba de homocedasticidad para los datos del ensayo de succión de diferentes dosificaciones 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup> de AGB en la UATC, el P-valor de Levene es mayor al nivel de significancia  $\alpha=0.05$ ; por estas consideraciones, se admite el  $H_0$ ; por lo tanto, se afirma con certeza que los residuos son homocedásticos, que confirma la aplicación de pruebas paramétricas para el contraste de hipótesis.

#### **4.1.2.2. Prueba de hipótesis de succión**

La prueba de hipótesis se analiza con los resultados que se observan en la tabla 26 de ensayo de succión de UATC estabilizadas con 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup> de AGB; se realiza mediante el ANOVA, una prueba paramétrica que compara las medias de los cinco indicadores de succión. Se comprueba si existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de la población correspondiente. Para ello, primero se verifican los supuestos, la prueba de normalidad: si cumple (ver tabla 41) y la prueba de homocedasticidad: si cumple (ver tabla 42). Se plantean las siguientes

hipótesis estadísticas.

$$H_0: u_0 = u_2 = u_3 = u_4 = u_5$$

La aplicación del aditivo AggreBind en las UATC, no influye significativamente en la propiedad física de succión.

$$H_1: \text{al menos una media es diferente de la otra}$$

La aplicación del aditivo AggreBind en las UATC, sí influye significativamente en la propiedad física de succión.

**Tabla 43**

*ANOVA – succión*

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	f Critico	p-valor	Significativo
Modelo	4	8524.22	2131.05	23.94	2.866	2.20E-07	SI
Error	20	1780.33	89.02				
Total	24	10304.55					

Nota: nivel de significación 0.05

La tabla 43 muestra que el valor de la probabilidad para el ensayo de succión  $p=0.00000218$  es menor al nivel de significancias 0.05; por lo tanto, se refuta la hipótesis nula y se admite la hipótesis alternativa.

Según los resultados del ANOVA, el aditivo AggreBind influye significativamente en la propiedad de succión en una o varias categorías de UATC.

Decisión final: debido a que se admite la  $H_1$ , es necesario realizar la prueba post-hoc, para determinar en cuál de los indicadores se presentan

diferencias significativas. Se realiza la prueba de LSD de Fisher.

- **Prueba Post-Hoc**

**Tabla 44**

*Análisis de la prueba LSD de Fisher - succión*

Contraste	Medias	Diferencia	Valor crítico	Diferencia crítica	Significativo
5 l/m <sup>3</sup> vs 0 l/m <sup>3</sup>	11.65 62.17	50.52	2.086	12.45	SI
5 l/m <sup>3</sup> vs 2 l/m <sup>3</sup>	11.65 42.93	31.28	2.086	12.45	SI
5 l/m <sup>3</sup> vs 3 l/m <sup>3</sup>	11.65 23.31	11.66	2.086	12.45	NO
5 l/m <sup>3</sup> vs 4 l/m <sup>3</sup>	11.65 18.37	6.71	2.086	12.45	NO
4 l/m <sup>3</sup> vs 0 l/m <sup>3</sup>	18.37 62.17	43.81	2.086	12.45	SI
4 l/m <sup>3</sup> vs 2 l/m <sup>3</sup>	18.37 42.93	24.57	2.086	12.45	SI
4 l/m <sup>3</sup> vs 3 l/m <sup>3</sup>	18.37 23.31	4.95	2.086	12.45	NO
3 l/m <sup>3</sup> vs 0 l/m <sup>3</sup>	23.31 62.17	38.86	2.086	12.45	SI
3 l/m <sup>3</sup> vs 2 l/m <sup>3</sup>	23.31 42.93	19.62	2.086	12.45	SI
2 l/m <sup>3</sup> vs 0 l/m <sup>3</sup>	42.93 62.17	19.24	2.086	12.45	SI

En la tabla 44, resalta que las diferencias de las medias de los contrastes 5 l/m<sup>3</sup> vs 3 l/m<sup>3</sup>, 5 l/m<sup>3</sup> vs 4 l/m<sup>3</sup> y 4 l/m<sup>3</sup> vs 3 l/m<sup>3</sup> estadísticamente no presentan diferencias significativas, a diferencia de las demás comparaciones que sí tienen diferencias significativas.

**Tabla 45**

*Resumen de la prueba de LSD de Fisher - succión*

Indicadores	Medias	SubGrupos	
5 l/m <sup>3</sup>	11.65	A	11.65 a
4 l/m <sup>3</sup>	18.37	A	18.37 a
3 l/m <sup>3</sup>	23.31	A	23.31 a
2 l/m <sup>3</sup>	42.93	B	42.93 b
0 l/m <sup>3</sup>	62.17	C	62.17 c

Según el resumen de la prueba de LSD de Fisher, determina si la influencia es negativa o positiva del aditivo AggreBind en la propiedad de succión. Como se aprecia en la tabla 45, las dosis de 3 l/m<sup>3</sup>, 4 l/m<sup>3</sup> y 5 l/m<sup>3</sup> presentan mayor influencia significativa positiva en las UATC respecto al ensayo de succión.

Por lo tanto, se *acepta* la hipótesis planteada en la presente investigación.

HE<sub>1</sub>: *La aplicación del aditivo AggreBind mejora significativamente la propiedad de succión de unidades de albañilería de tierra comprimida.*

#### 4.1.3. Resultados de alabeo

**Tabla 46**

*Resultados de alabeo*

Dosis	Cara 1		Cara 2		Lateral 1		Lateral 2	
	Concava (mm)	Convexa (mm)						
0 l/m <sup>3</sup>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2 l/m <sup>3</sup>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3 l/m <sup>3</sup>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4 l/m <sup>3</sup>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5 l/m <sup>3</sup>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Nota: datos obtenidos de la tabla 28

En la tabla 46, se muestran los resultados promedios de alabeo de las unidades de albañilería de tierra comprimida fabricadas con diferentes dosis de AGB. Las unidades no presentan concavidad en la cara 1, cara 2, lateral 1 y lateral

2 de las UATC. De igual formas no se tiene convexidad en las caras 1, 2 y laterales 1, 2. Se demuestra que las unidades de albañilería de tierra comprimida adicionadas con aditivo AggreBind no presentan alabeos.

Por lo tanto, se *rechaza* la hipótesis planteada en la presente investigación.

HE<sub>1</sub>: *La aplicación del aditivo AggreBind mejora significativamente la propiedad de alabeo de unidades de albañilería de tierra comprimida.*

#### 4.1.3.1. Análisis estadístico de alabeo

En la tabla 47 se aprecia que todos los datos son constantes. Por lo tanto, no se puede calcular el análisis estadístico correspondiente.

**Tabla 47**

*Cuadro estadístico de alabeo con 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	Alabeo (x <sub>i</sub> )	Desviación estándar (σ)	Media (u)
01 02	0 0	0	0
03 04	0 0		
05 06	0 0		
07 08	0 0		
09 10	0 0		

Nota: valores constantes en los cinco indicadores

#### 4.1.4. Resultados de variación dimensional de longitud

Los resultados de la variación dimensional respecto a la longitud, en la tabla 48 se muestra las 10 observaciones de las UATC con dosis de 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup>, los promedios de la variación son -0.13%, -0.07%, -0.07%, -0.05% y -0.05% respectivamente.

**Tabla 48**

*Resultados de variación dimensional - largo*

Indicadore s	Observación										Prom. (%)
0 l/m <sup>3</sup>	-0.39	-0.13	-0.26	0.00	0.00	-0.26	-0.13	0.00	0.00	0.13	-0.13
2 l/m <sup>3</sup>	0.00	-0.39	-0.13	0.26	-0.13	0.00	-0.26	0.00	0.13	0.13	-0.07
3 l/m <sup>3</sup>	-0.13	-0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.26	0.00	-0.13	0.13	-0.07
4 l/m <sup>3</sup>	0.00	0.00	-0.13	0.00	-0.26	-0.13	0.00	0.00	-0.13	0.13	-0.05
5 l/m <sup>3</sup>	0.00	-0.13	-0.13	0.00	-0.26	0.00	-0.13	0.13	0.00	0.00	-0.05

Nota: datos obtenidos de la tabla 27

Según las normas XP P 13-901 (2001) y NTC 5324 (2004), la tolerancia de la variación dimensional respecto a la longitud para UATC es +/- 1.0% (ver tabla 7). En la presente investigación, los resultados encontrados en el ensayo de variación dimensional respecto a la longitud son menores al 1%; por lo tanto, se cumple con estas exigencias.

#### 4.1.4.1. Análisis estadístico de variación dimensional de longitud

##### 4.1.4.1.1. Distribución normal de VD-longitud

- **Distribución normal de VD-longitud para UATC con 0 l/m<sup>3</sup>**

**Tabla 49**

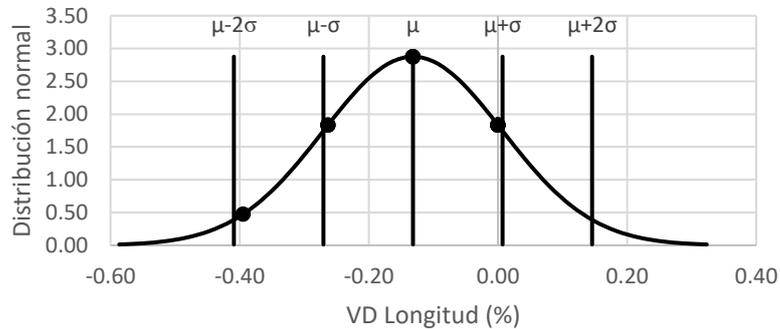
*Cuadro estadístico de VD-longitud, de UATC con 0 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	VD-longitud (Xi)	Desviación estándar ( $\sigma$ )	Media (u)	Coficiente de variación (%)
01	02	-0.39	-0.26	
03	04	-0.13	-0.13	
05	06	-0.26	0.00	0.14
07	08	0.00	0.00	-0.13
09	10	0.00	-0.13	-105.41

Nota: datos estadísticos para el indicador de 0 l/m<sup>3</sup>

**Figura 48**

*Distribución normal de VD-longitud - UATC con 0 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 0 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

• **Distribución normal de VD-longitud para UATC con 2 l/m<sup>3</sup>**

**Tabla 50**

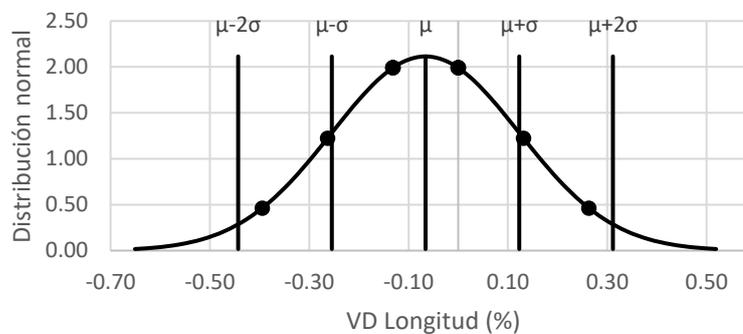
*Cuadro estadístico de VD-longitud - UATC con 2 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	VD-longitud (Xi)	Desviación estándar (σ)	Media (u)	Coefficiente de variación (%)
01 02	0.00 0.00			
03 04	-0.39 -0.26			
05 06	-0.13 0.00	0.19	-0.07	-286.74
07 08	0.26 0.13			
09 10	-0.13 -0.13			

Nota: datos estadísticos para el indicador de 2 l/m<sup>3</sup>

**Figura 49**

*Distribución normal de VD-longitud - UATC con 2 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 2 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

- **Distribución normal de VD-longitud para UATC con 3 l/m<sup>3</sup>**

**Tabla 51**

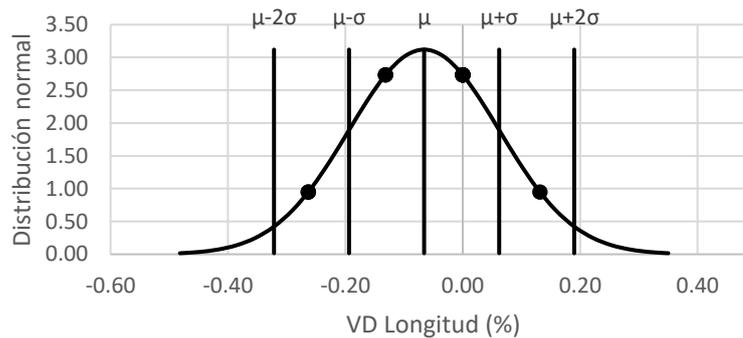
*Cuadro estadístico de VD-longitud - UATC con 3 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	VD-longitud (Xi)	Desviación estándar ( $\sigma$ )	Media (u)	Coficiente de variación (%)
01 02	-0.13 0.00			
03 04	-0.26 -0.26			
05 06	0.00 0.00	0.13	-0.07	-194.37
07 08	0.00 -0.13			
09 10	0.00 0.13			

Nota: datos estadísticos para el indicador de 3 l/m<sup>3</sup>

**Figura 50**

*Distribución normal de VD-longitud - UATC con 3 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 3 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

- **Distribución normal de VD-longitud para UATC con 4 l/m<sup>3</sup>**

**Tabla 52**

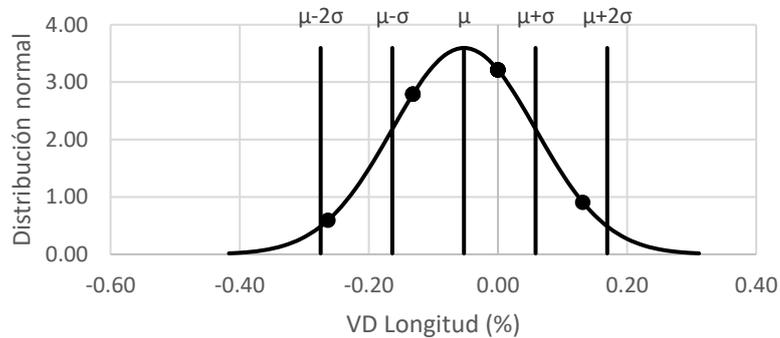
*Cuadro estadístico de VD-longitud - UATC con 4 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	VD-longitud (Xi)	Desviación estándar ( $\sigma$ )	Media (u)	Coficiente de variación (%)
01 02	0.00 -0.13			
03 04	0.00 0.00			
05 06	-0.13 0.00	0.11	-0.05	-210.82
07 08	0.00 -0.13			
09 10	-0.26 0.13			

Nota: datos estadísticos para el indicador de 4 l/m<sup>3</sup>

**Figura 51**

*Distribución normal de VD-longitud - UATC con 4 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 4 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

- **Distribución normal de VD-longitud para UATC con 5 l/m<sup>3</sup>**

**Tabla 53**

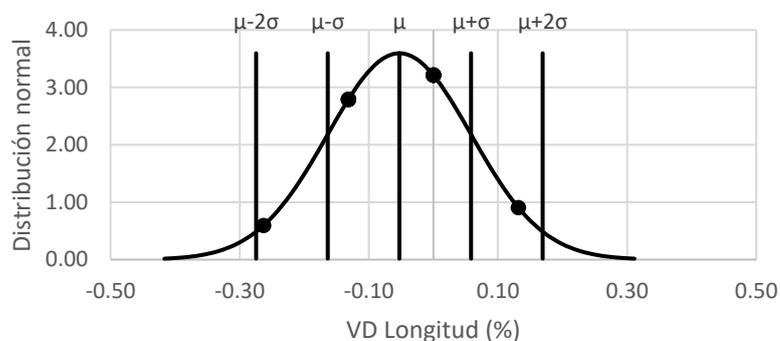
*Cuadro estadístico de VD-longitud - UATC con 5 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	VD-longitud (Xi)	Desviación estándar (σ)	Media (u)	Coefficiente de variación (%)
01	02	0.00	0.00	
03	04	-0.13	-0.13	
05	06	-0.13	0.13	0.11
07	08	0.00	0.00	-210.82
09	10	-0.26	0.00	

Nota: datos estadísticos para el indicador de 5 l/m<sup>3</sup>

**Figura 52**

*Distribución normal de VD-longitud - UATC con 5 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 5 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

#### 4.1.4.1.2. Comprobación de normalidad de VD-longitud

La comprobación de la normalidad se realiza en los resultados de tabla 48. Son datos hallados en el laboratorio respecto al ensayo de variación dimensional - longitud de UATC estabilizadas con 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup> de AGB. Para verificar la normalidad se utiliza la prueba de Shapiro-Wilk, una prueba que comprueba si los datos provienen o no de una distribución normal. Para ellos se postulan las siguientes hipótesis estadísticas:

$H_0$ : Los resultados hallados en el ensayo de variación dimensional-longitud tienen una distribución normal.

$H_1$ : Los resultados hallados en el ensayo de variación dimensional-longitud no tienen una distribución normal.

**Tabla 54**

*Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) - longitud*

Indicadores	W	w critico	Distribución Normal
0 l/m <sup>3</sup>	0.859	0.842	SI
2 l/m <sup>3</sup>	0.969	0.842	SI
3 l/m <sup>3</sup>	0.868	0.842	SI
4 l/m <sup>3</sup>	0.891	0.842	SI
5 l/m <sup>3</sup>	0.891	0.842	SI

Nota: Para nivel de significación 0.05

Según los resultados de la tabla 54, se demuestra que los datos obtenidos en cada una de las diferentes dosificaciones en el ensayo de variación dimensional-longitud tienen una distribución normal. Teniendo en cuenta que los valores estadísticos de Shapiro-Wilk (para una

significancia de 0.05) son mayores al valor crítico (valor obtenido del anexo 4), por estas consideraciones se acepta la  $H_0$ . Por lo tanto, se afirma con certeza que los datos del ensayo de variación dimensional-longitud de la UATC con adición de AGB provienen de una distribución normal.

#### 4.1.4.1.3. Prueba de homocedasticidad de VD-longitud

La comprobación de la homocedasticidad de los datos de la variación dimensional-longitud de UATC con dosis de 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup> de AGB (ver tabla 48), es uno de los supuestos del ANOVA. Para ello se utiliza el test de Levene. Proponiendo las siguientes hipótesis estadísticas:

$H_0$ : Los residuos son homocedásticos.

$H_1$ : Los residuos son heterocedásticos.

**Tabla 55**

*Prueba de homogeneidad (Levene) - longitud*

Estadístico de Levene	p-valor	Significativo
0.849	0.502	NO

Nota: nivel de significación 0.05

La tabla 55 muestra que el p-valor de Levene es mayor al nivel de significancia  $\alpha=0.05$ ; por estas consideraciones se admite la  $H_0$ , por lo tanto, se afirma con certeza que los residuos son homocedásticos, y se confirma la aplicación de pruebas paramétricas para el contraste de hipótesis mediante el ANOVA.

#### 4.1.4.2. Prueba de hipótesis de variación dimensional de longitud

La prueba de hipótesis se analiza en los resultados que se observan en la tabla 48 del ensayo de variación dimensional-longitud de UATC. Se realiza mediante el ANOVA, una prueba paramétrica, en la que se compara las medias de los cinco grupos de variación dimensional - longitud (0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup>), para evaluar si existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de la población correspondiente. Para ello, primero se verifican los supuestos, la prueba de normalidad: si cumple (ver tabla 54) y la prueba de homocedasticidad: si cumple (ver tabla 55). Se plantean las siguientes hipótesis estadísticas.

$$H_0: u_0 = u_2 = u_3 = u_4 = u_5$$

La aplicación del aditivo AggreBind en las UATC no influye significativamente en la propiedad variación dimensional - longitud.

$$H_1: \text{al menos una media es diferente de la otra.}$$

La aplicación del aditivo AggreBind en las UATC sí influye significativamente en la propiedad variación dimensional - longitud.

**Tabla 56**

*ANOVA de variación dimensional - longitud*

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	f Crítico	p-values	Significativo
Modelo	4	0.044	0.011	0.569	2.58	0.686	NO
Error	45	0.862	0.019				
Total	49	0.906					

Nota: nivel de significación 0.05

En la tabla 56 se aprecia que el valor de la probabilidad 0.686 es

mayor al nivel de significancias  $\alpha = 0.05$ . Se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

Según los resultados del ANOVA, el aditivo AggreBind no influye significativamente en la propiedad de variación dimensional en ninguna de las categorías de UATC.

Por lo tanto, se *rechaza* la hipótesis planteada en la presente investigación.

HE<sub>1</sub>: *La aplicación del aditivo AggreBind mejora significativamente la propiedad de variación dimensional – longitud de unidades de albañilería de tierra comprimida.*

#### 4.1.5. Resultados de variación dimensional de altura

**Tabla 57**

*Resultados de variación dimensional – altura*

Indicadores	Observación										Prom. (%)
0 l/m <sup>3</sup>	-0.88	-0.29	$\frac{0.0}{0}$	-0.44	-1.03	-0.59	-0.59	-1.18	-0.59	0.00	-0.56
2 l/m <sup>3</sup>	-0.44	-0.44	$\frac{0.1}{5}$	-0.15	-0.15	0.00	0.00	-0.59	-0.59	0.00	-0.22
3 l/m <sup>3</sup>	-0.59	-0.44	$\frac{0.1}{5}$	-0.29	0.00	0.00	0.29	-0.29	0.00	-0.59	-0.21
4 l/m <sup>3</sup>	-0.59	-0.29	$\frac{0.2}{9}$	0.00	-0.59	0.00	-0.29	0.29	0.00	-1.18	-0.24
5 l/m <sup>3</sup>	-0.59	-0.29	$\frac{0.0}{0}$	-1.18	-1.18	-1.18	0.15	0.00	-0.59	0.00	-0.49

Nota: datos obtenidos de la tabla 27

En la tabla 57, se muestran los hallazgos de la variación dimensional- altura. Los resultados son -0.56, -0.22, -0.21, -0.24 y -0.49 % para los indicadores

de 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup>, respectivamente. Según las normas XP P 13-901 (2001) y NTC 5324 (2004), la tolerancia de la variación dimensional respecto a la altura para UATC es +5 % y -2 % (ver tabla 7); en la presente investigación los resultados encontrados son menores al 2 %; por lo tanto, se cumple con los requerimientos de estas normas.

#### 4.1.5.1. Análisis estadístico de variación dimensional de altura

##### 4.1.5.1.1. Distribución normal de VD-altura

- Distribución normal de VD-altura para UATC con 0 l/m<sup>3</sup>

**Tabla 58**

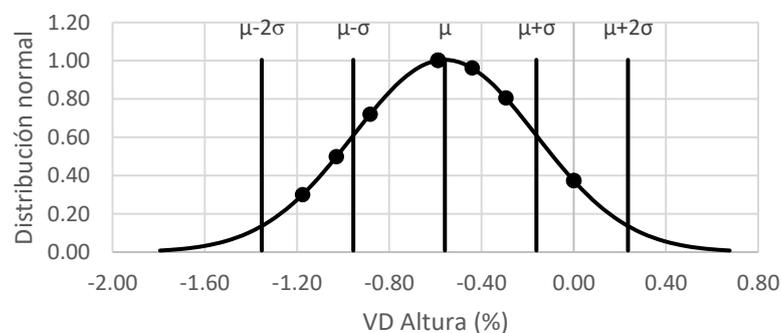
*Cuadro estadístico de VD-altura - UATC con 0 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	VD-altura (Xi)	Desviación estándar (σ)	Media (u)	Coficiente de variación (%)
01	02	-0.88	-0.59	
03	04	-0.29	-0.59	
05	06	0.00	-1.18	0.40
07	08	-0.44	-0.59	
09	10	-1.03	0.00	

Nota: datos estadísticos para el indicador de 0 l/m<sup>3</sup>

**Figura 53**

*Distribución normal de VD-altura - UATC con 0 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 0 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

- **Distribución normal de VD-altura para UATC con 2 l/m<sup>3</sup>**

**Tabla 59**

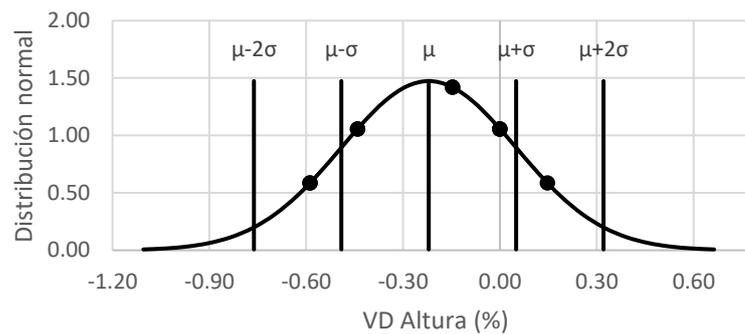
*Cuadro estadístico de VD-altura - UATC con 2 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	VD-altura (Xi)	Desviación estándar ( $\sigma$ )	Media (u)	Coefficiente de variación (%)
01	02	-0.44	0.00	
03	04	-0.44	0.00	
05	06	0.15	-0.59	0.27
07	08	-0.15	-0.59	-122.73
09	10	-0.15	0.00	

Nota: datos estadísticos para el indicador de 2 l/m<sup>3</sup>

**Figura 54**

*Distribución normal de VD-altura - UATC con 2 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 2 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

- **Distribución normal de VD-altura para UATC con 3 l/m<sup>3</sup>**

**Tabla 60**

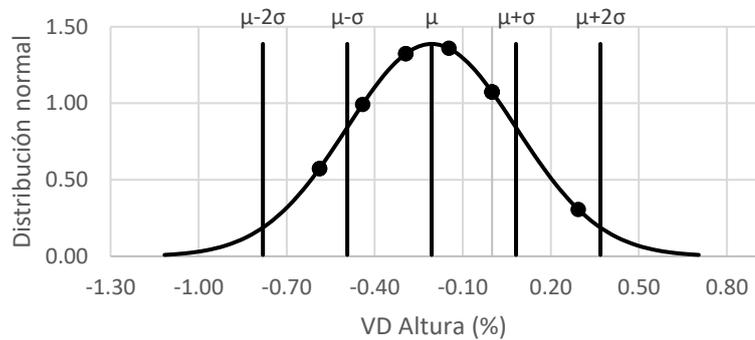
*Cuadro estadístico de VD-altura - UATC con 3 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	VD-altura (Xi)	Desviación estándar ( $\sigma$ )	Media (u)	Coefficiente de variación (%)
01	02	-0.59	0.00	
03	04	-0.44	0.29	
05	06	-0.15	-0.29	0.29
07	08	-0.29	0.00	-139.65
09	10	0.00	-0.59	

Nota: datos estadísticos para el indicador de 3 l/m<sup>3</sup>

**Figura 55**

*Distribución normal de VD-altura - UATC con 3 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 3 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

• **Distribución normal de VD-altura para UATC con 4 l/m<sup>3</sup>**

**Tabla 61**

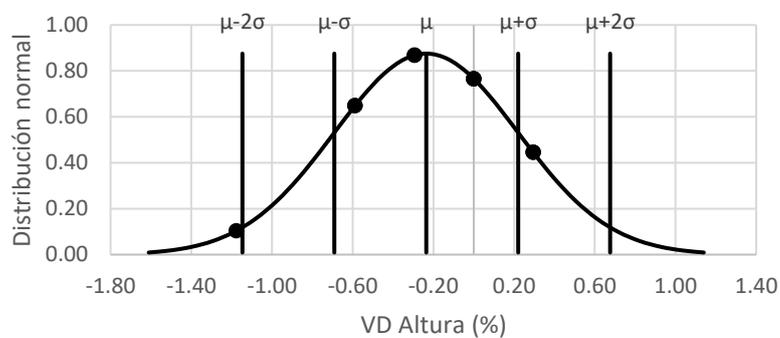
*Cuadro estadístico de VD-altura - UATC con 4 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	VD-altura (Xi)	Desviación estándar (σ)	Media (u)	Coefficiente de variación (%)
01	02	-0.59	0.00	
03	04	-0.29	-0.29	
05	06	0.29	0.29	0.46
07	08	0.00	0.00	-0.24
09	10	-0.59	-1.18	-193.65

Nota: datos estadísticos para el indicador de 4 l/m<sup>3</sup>

**Figura 56**

*Distribución normal de VD-altura - UATC con 4 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 4 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

- **Distribución normal de VD-altura para UATC con 5 l/m<sup>3</sup>**

**Tabla 62**

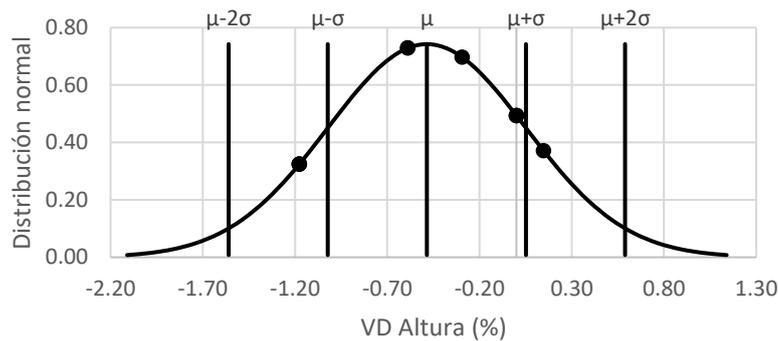
*Cuadro estadístico de VD-altura - UATC con 5 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	VD-altura (Xi)	Desviación estándar ( $\sigma$ )	Media ( $\mu$ )	Coefficiente de variación (%)
01	02	-0.59	-1.18	
03	04	-0.29	0.15	
05	06	0.00	0.00	0.54
07	08	-1.18	-0.59	-110.70
09	10	-1.18	0.00	

Nota: datos estadísticos para el indicador de 5 l/m<sup>3</sup>

**Figura 57**

*Distribución normal de VD-altura - UATC con 5 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 5 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

#### 4.1.5.1.2. Comprobación de normalidad de VD-altura

La comprobación de la normalidad se realiza en los resultados de tabla 57. Son datos hallados en el laboratorio respecto al ensayo de variación dimensional-altura de UATC estabilizadas con 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup> de AGB. El supuesto de la normalidad se verifica mediante la prueba de Shapiro-Wilk, una prueba que comprueba si los datos provienen o no de una distribución normal. Para ellos se postulan las siguientes hipótesis estadísticas:

$H_0$ : Los resultados hallados en el ensayo de variación dimensional– altura, tienen una distribución normal.

$H_1$ : Los resultados hallados en el ensayo de variación dimensional– altura, no tienen una distribución normal.

### Tabla 63

#### *Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) - altura*

Indicadores	W	w critico	Distribución Normal
0 l/m <sup>3</sup>	0.945	0.842	SI
2 l/m <sup>3</sup>	0.885	0.842	SI
3 l/m <sup>3</sup>	0.940	0.842	SI
4 l/m <sup>3</sup>	0.916	0.842	SI
5 l/m <sup>3</sup>	0.846	0.842	SI

Nota: nivel de significación 0.05

Según los resultados de la tabla 63, se demuestra que los datos obtenidos en cada una de las diferentes dosificaciones en el ensayo de variación dimensional-altura tienen una distribución normal. Los valores estadísticos de Shapiro-Wilk (para una significancia de 0.05) son mayores al valor crítico (valor obtenido del anexo 4). Por estas consideraciones se acepta la  $H_0$ ; por lo tanto, se afirma con certeza que los datos del ensayo de variación dimensional-altura de la UATC con adición de AGB provienen de una distribución normal.

#### **4.1.5.1.3. Prueba de homocedasticidad de VD-altura**

Esta prueba es realizada a los resultados de variación dimensional-longitud de UATC con dosis de 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup> de AGB (ver tabla 57). Se aplicó el test de Levene, para conocer con certeza la aplicación de

pruebas paramétricas o no. Postulando como hipótesis estadística lo siguiente:

$H_0$ : Los residuos son homocedásticos.

$H_1$ : Los residuos son heterocedásticos.

#### Tabla 64

##### *Prueba de homogeneidad (Levene) - altura*

Estadístico de Levene	p-values	Significativo
1.967	0.116	NO

Nota: nivel de significación 0.05

Según la tabla 64, la varianza residual de los datos obtenidos en las diferentes dosificaciones del ensayo de variación dimensional-altura no es significativa. El p-valor 0.116 de Levene es mayor al nivel de significancia  $\alpha=0.05$ ; por estas consideraciones se acepta la  $H_0$ ; por lo tanto, se afirma con certeza que los residuos son homocedásticos, y confirma la aplicación de pruebas paramétricas para el contraste de hipótesis.

#### 4.1.5.2. Prueba de hipótesis de variación dimensional de altura

La prueba de hipótesis se analiza a los resultados que se observan en la tabla 57 del ensayo de variación dimensional-altura de UATC con 0, 2, 3, 4 y 5  $l/m^3$  de AGB. Se realiza mediante el ANOVA, una prueba paramétrica, en la que compararemos las medias de los cinco indicadores de variación dimensional - altura, para determinar si existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de la población correspondiente. Para ello, primero se verifican los supuestos, la prueba de

normalidad: si cumple (ver tabla 63) y la prueba de homocedasticidad: si cumple (ver tabla 64). Se plantean las siguientes hipótesis estadísticas.

$$H_0: u_0 = u_2 = u_3 = u_4 = u_5$$

La aplicación del aditivo AggreBind en las UATC, no influye significativamente en la propiedad variación dimensional - altura.

$$H_1: \text{al menos una media es diferente de la otra.}$$

La aplicación del aditivo AggreBind en las UATC, si influye significativamente en la propiedad variación dimensional - altura.

**Tabla 65**

*ANOVA de variación dimensional - altura*

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	f Critico	p-values	Significativo
Modelo	4	1.122	0.280	1.732	2.58	0.160	NO
Error	45	7.288	0.162				
Total	49	8.410					

Nota: nivel de significancia 0.05

En la tabla 65 se presenta el valor de la probabilidad para el ensayo de variación dimensional-altura  $p=0.160$  es mayor al nivel de significancias 0.05, por lo tanto, se admite la hipótesis nula y se refuta la hipótesis alternativa.

Según los contrastes del ANOVA, el aditivo AggreBind no influye significativamente en la propiedad de variación dimensional - altura de UATC. Por lo tanto, no es necesario realizar la prueba post-hoc.

Por lo tanto, se *rechaza* la hipótesis planteada en la presente

investigación.

HE<sub>1</sub>: *La aplicación del aditivo AggreBind mejora significativamente la propiedad de variación dimensional – altura de unidades de albañilería de tierra comprimida.*

#### 4.1.6. Resultados de variación dimensional de ancho

**Tabla 66**

*Resultados de variación dimensional – ancho*

Indicadores	Observación										Prom. (%)
0 l/m <sup>3</sup>	-0.40	-0.13	-0.27	0.00	-0.13	0.00	-0.53	0.00	-0.27	0.00	-0.17
2 l/m <sup>3</sup>	-0.13	-0.40	-0.27	-0.13	0.13	-0.27	0.00	0.00	-0.27	0.00	-0.13
3 l/m <sup>3</sup>	0.00	-0.27	-0.40	-0.27	0.00	-0.13	0.00	0.00	0.13	0.00	-0.09
4 l/m <sup>3</sup>	-0.13	-0.40	-0.27	0.00	0.00	0.00	-0.13	0.27	0.00	0.00	-0.07
5 l/m <sup>3</sup>	0.00	-0.27	-0.40	0.00	-0.13	0.00	-0.13	0.00	0.13	0.13	-0.07

Nota: datos obtenidos de la tabla 27

La tabla 66 presenta los hallazgos de la variación dimensional respecto al ancho. Los resultados de la variación son -0.17, -0.13, -0.09, -0.07 y -0.07 % para dosis de 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup> respectivamente. Según las normas XP P 13-901 (2001) y NTC 5324 (2004), la tolerancia de la variación dimensional respecto al ancho para UATC es +/- 2.0 % (ver tabla 7). En la presente investigación, los resultados encontrados en el ensayo de variación dimensional respecto a la longitud son menores al 2 %; por lo tanto, se cumple con estas exigencias.

#### 4.1.6.1. Análisis estadístico de variación dimensional de ancho

##### 4.1.6.1.1. Distribución normal de VD-ancho

- **Distribución normal de VD-ancho para UATC con 0 l/m<sup>3</sup>**

**Tabla 67**

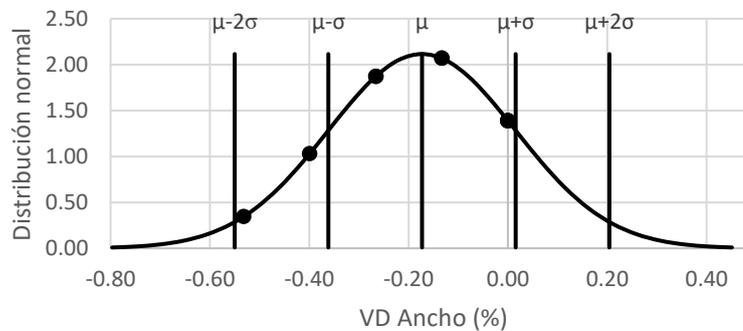
*Cuadro estadístico de VD-ancho - UATC con 0 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	VD-ancho (Xi)	Desviación estándar ( $\sigma$ )	Media (u)	Coefficiente de variación (%)
01 02	-0.40 0.00			
03 04	-0.13 -0.53			
05 06	-0.27 0.00	0.19	-0.17	-109.09
07 08	0.00 -0.27			
09 10	-0.13 0.00			

Nota: datos estadísticos para el indicador de 0 l/m<sup>3</sup>

**Figura 58**

*Distribución normal de VD-ancho - UATC con 0 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 0 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

- **Distribución normal de VD-ancho para UATC con 2 l/m<sup>3</sup>**

**Tabla 68**

*Cuadro estadístico de VD-ancho - UATC con 2 l/m<sup>3</sup> de AGB*

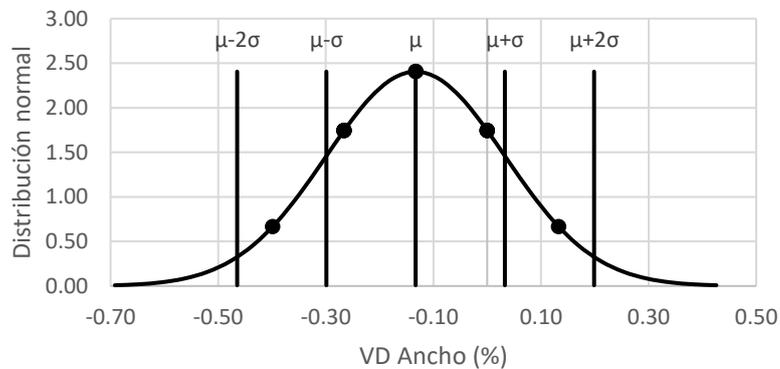
Muestra	VD-ancho (Xi)	Desviación estándar ( $\sigma$ )	Media (u)	Coefficiente de variación (%)
01 02	-0.13 -0.27	0.17	-0.13	-124.72

Muestra	VD-ancho (Xi)	Desviación estándar ( $\sigma$ )	Media (u)	Coefficiente de variación (%)
03 04	-0.40 0.00			
05 06	-0.27 0.00			
07 08	-0.13 -0.27			
09 10	0.13 0.00			

Nota: datos estadísticos para el indicador de 2 l/m<sup>3</sup>

### Figura 59

*Distribución normal de VD-ancho - UATC con 2 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 2 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

- **Distribución normal de VD-ancho para UATC con 3 l/m<sup>3</sup>**

### Tabla 69

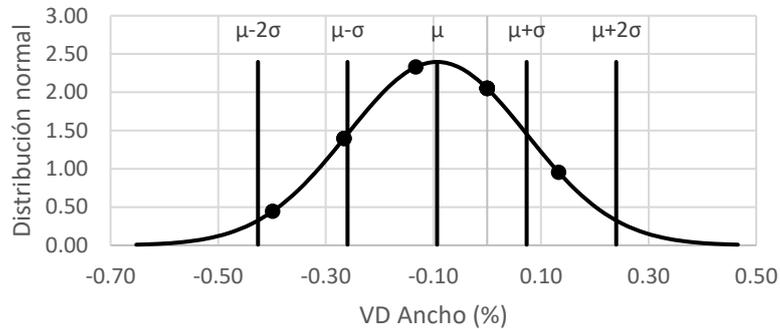
*Cuadro estadístico de VD-ancho - UATC con 3 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	VD-ancho (Xi)	Desviación estándar ( $\sigma$ )	Media (u)	Coefficiente de variación (%)
01 02	0.00 -0.13			
03 04	-0.27 0.00			
05 06	-0.40 0.00	0.17	-0.09	-178.81
07 08	-0.27 0.13			
09 10	0.00 0.00			

Nota: datos estadísticos para el indicador de 3 l/m<sup>3</sup>

**Figura 60**

*Distribución normal de VD-ancho - UATC con 3 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 3 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

- **Distribución normal de VD-ancho para UATC con 4 l/m<sup>3</sup>**

**Tabla 70**

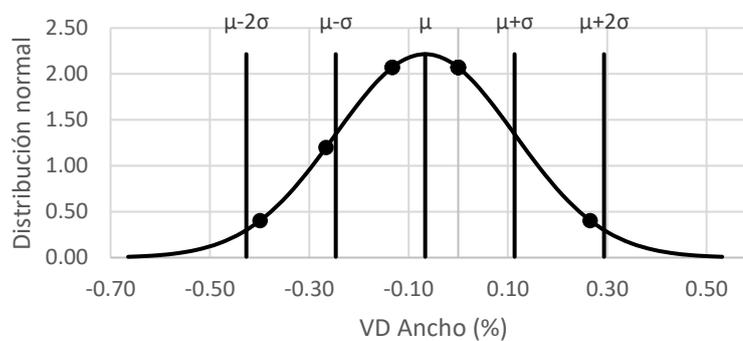
*Cuadro estadístico de VD-ancho - UATC con 4 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	VD-ancho (Xi)	Desviación estándar (σ)	Media (u)	Coficiente de variación (%)
01	02	-0.13	0.00	
03	04	-0.40	-0.13	
05	06	-0.27	0.27	0.18
07	08	0.00	0.00	-0.07
09	10	0.00	0.00	-270.80

Nota: datos estadísticos para el indicador de 4 l/m<sup>3</sup>

**Figura 61**

*Distribución normal de VD-ancho - UATC con 4 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 4 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

- **Distribución normal de VD-ancho para UATC con 5 l/m<sup>3</sup>**

**Tabla 71**

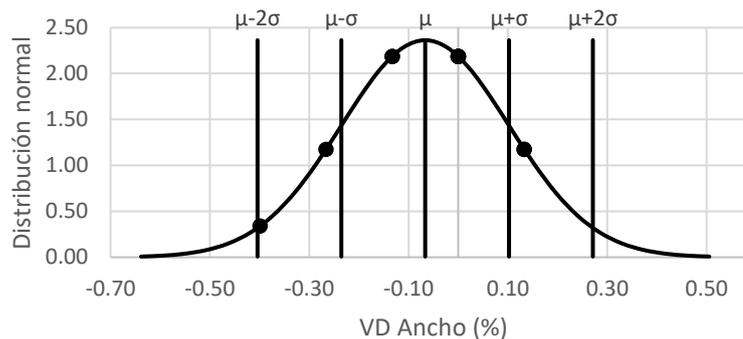
*Cuadro estadístico de VD-ancho - UATC con 5 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	VD-ancho (Xi)	Desviación estándar ( $\sigma$ )	Media ( $\mu$ )	Coefficiente de variación (%)
01 02	0.00 0.00			
03 04	-0.27 -0.13			
05 06	-0.40 0.00	0.17	-0.07	-253.86
07 08	0.00 0.13			
09 10	-0.13 0.13			

Nota: datos estadísticos para el indicador de 5 l/m<sup>3</sup>

**Figura 62**

*Distribución normal de VD-ancho - UATC con 5 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 5 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

#### 4.1.6.1.2. Comprobación de normalidad de VD-ancho

La comprobación de la normalidad se realiza en los resultados de la tabla 66, datos hallados en el laboratorio. El supuesto de la normalidad es uno de los requisitos previos a realizar el ANOVA; para tal fin se utiliza la prueba de Shapiro-Wilk, una prueba que comprueba si los datos provienen o no de una distribución normal. Para ellos se postulan las siguientes hipótesis estadísticas:

$H_0$ : Los resultados hallados en el ensayo de variación dimensional-ancho, tienen una distribución normal.

$H_1$ : Los resultados hallados en el ensayo de variación dimensional-ancho, no tienen una distribución normal.

### **Tabla 72**

#### *Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) - ancho*

Indicadores	W	w critico	Distribución Normal
0 l/m <sup>3</sup>	0.865	0.842	SI
2 l/m <sup>3</sup>	0.940	0.842	SI
3 l/m <sup>3</sup>	0.871	0.842	SI
4 l/m <sup>3</sup>	0.905	0.842	SI
5 l/m <sup>3</sup>	0.904	0.842	SI

Nota: nivel de significancia 0.05

Según los resultados de la tabla 72, en los cinco indicadores los valores estadísticos de Shapiro-Wilk son mayores al valor crítico; por estas consideraciones se admite la hipótesis nula  $H_0$ ; por lo tanto, se afirma con certeza que los datos del ensayo de variación dimensional-ancho de la UATC con adición de AGB proceden de una distribución normal.

#### **4.1.6.1.3. Prueba de homocedasticidad de VD-ancho**

Esta prueba es realizada en los resultados de variación dimensional-longitud de UATC con dosis de 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup> de AGB (ver tabla 66). Se aplicó el test de Levene, para conocer con certeza la aplicación de pruebas paramétricas o no. Postulando como hipótesis estadística lo siguiente:

$H_0$ : Los residuos son homocedásticos.

$H_1$ : Los residuos son heterocedásticos.

**Tabla 73**

*Prueba de homogeneidad (Levene) - ancho*

Estadístico de Levene	p-values	Significativo
0.094	0.984	NO

Nota: nivel de significancia 0.05

En la tabla 73, se muestra que la varianza residual de los datos obtenidos en las diferentes dosificaciones del ensayo de variación dimensional-ancho no es significativa. La homocedasticidad para los datos con diferentes dosificaciones 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup> de AGB en la UATC, el P-valor 0.984 es mayor al nivel de significancia  $\alpha=0.05$ ; por estas consideraciones se acepta la  $H_0$ ; por lo tanto, se afirma con seguridad que los residuos son homocedásticos, y confirma la aplicación de pruebas paramétricas para el contraste de hipótesis mediante el ANOVA.

#### **4.1.6.2. Prueba de hipótesis de variación dimensional de ancho**

La prueba de hipótesis se analiza en los resultados que se observan en la tabla 66 del ensayo de variación dimensional - ancho de UATC. Se realiza mediante el ANOVA, una prueba paramétrica, en la que compararemos las medias de los cinco indicadores de variación dimensional - ancho (0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup>), para determinar si existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de la población correspondiente. Para ello, primero se verifican los supuestos, la prueba de normalidad: si cumple (ver tabla 72) y la prueba de homocedasticidad: si

cumple (ver tabla 73). Se plantean las siguientes hipótesis estadísticas.

$$H_0: u_0 = u_2 = u_3 = u_4 = u_5$$

La aplicación del aditivo AggreBind en las UATC, no influye significativamente en la propiedad variación dimensional - ancho.

$$H_1: \text{al menos una media es diferente de la otra.}$$

La aplicación del aditivo AggreBind en las UATC, si influye significativamente en la propiedad variación dimensional - ancho.

**Tabla 74**

*ANOVA de los resultados de variación dimensional - ancho*

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	f Critico	p-values	Significativo
Modelo	4	0.085	0.021	0.699	2.58	0.596	NO
Error	45	1.365	0.030				
Total	49	1.450					

Nota: nivel de significancia 0.05

Como el valor de la probabilidad  $p=0.596$  es mayor al nivel de significancias  $\alpha = 0.05$ , se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

Según los resultados del ANOVA, el aditivo AggreBind no influye significativamente en la propiedad de variación dimensional - ancho en ninguna de las UATC estabilizadas con 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup>.

Por lo tanto, se *rechaza* la hipótesis planteada en la presente investigación.

HE<sub>1</sub>: *La aplicación del aditivo AggreBind mejora significativamente la propiedad de variación dimensional – ancho de unidades de albañilería de tierra comprimida.*

#### 4.1.7. Resultados de densidad

**Tabla 75**

*Resultados del ensayo de densidad*

Indicadores	Observación					(g/cm <sup>3</sup> )
0 l/m <sup>3</sup>	1.49	1.49	1.48	1.48	1.47	1.48
2 l/m <sup>3</sup>	1.50	1.53	1.52	1.49	1.50	1.51
3 l/m <sup>3</sup>	1.52	1.49	1.54	1.52	1.52	1.52
4 l/m <sup>3</sup>	1.57	1.55	1.54	1.51	1.57	1.55
5 l/m <sup>3</sup>	1.51	1.54	1.53	1.51	1.51	1.52

Nota: datos obtenidos de la tabla 29

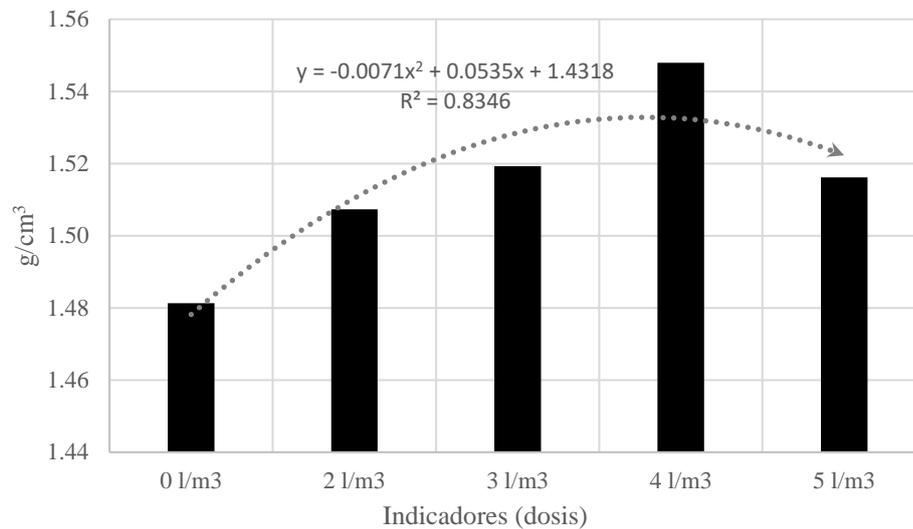
En la tabla 75, se muestran las cinco observaciones de densidad para cada indicador de 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup>. Los resultados promedios son 1.48, 1.51, 1.52, 1.55 y 1.52 g/cm<sup>3</sup> respectivamente. Se observa que la densidad de la UATC sin aditivo 1.48 g/cm<sup>3</sup> es muy similar a la densidad seca máxima obtenida en el ensayo de Proctor modificado de 1.49 g/cm<sup>3</sup> (ver figura 27). El hecho de adicionar aditivo AggreBind en la producción de unidades de albañilería de tierra comprimida incrementa la densidad en 4.7 %.

En la figura 63, se ilustra el comparativo gráfico de los resultados de la densidad en diferentes series de UATC; se aprecia que los resultados de la densidad se ajustan a la regresión de una curva cuadrática con un punto máximo sobre la barra de 4 l/m<sup>3</sup>. Según estos resultados, se encuentra la adición óptima del aditivo AggreBind para la producción de unidades de albañilería de tierra

comprimida, que es 4 l/m<sup>3</sup> con una densidad de 1.55 g/cm<sup>3</sup>. Estas afirmaciones son comprobadas estadísticamente.

**Figura 63**

*Gráfico de resistencia de la densidad*



#### 4.1.5.1. Análisis estadístico de densidad

##### 4.1.5.1.1. Distribución normal de densidad

- **Distribución normal de densidad para UATC con 0 l/m<sup>3</sup> de AGB**

**Tabla 76**

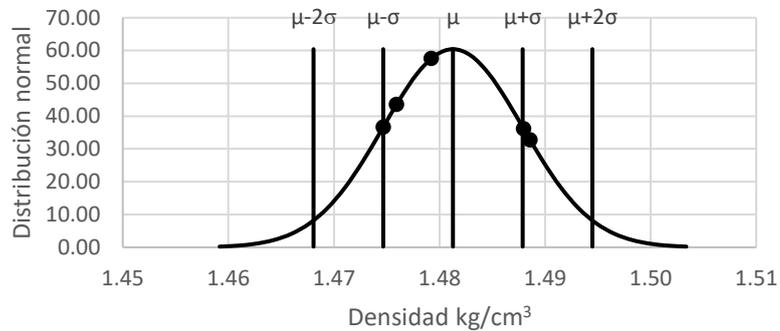
*Cuadro estadístico de densidad - UATC con 0 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	Densidad (Xi)	Desviación estándar ( $\sigma$ )	Media (u)	Coficiente de variación (%)
01	1.49	0.01	1.48	0.45
02	1.49			
03	1.48			
04	1.48			
05	1.47			

Nota: datos estadísticos para el indicador de 0 l/m<sup>3</sup>

**Figura 64**

*Distribución normal de densidad - UATC con 0 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 0 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

• **Distribución normal de densidad para UATC con 2 l/m<sup>3</sup> de AGB**

**Tabla 77**

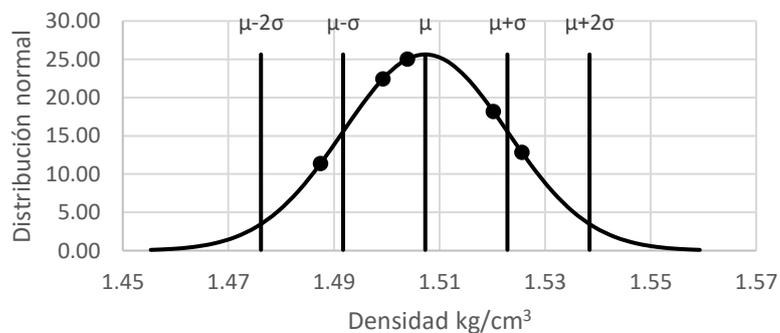
*Cuadro estadístico de densidad - UATC con 2 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	Densidad (Xi)	Desviación estándar (σ)	Media (u)	Coefficiente de variación (%)
01	1.50			
02	1.53			
03	1.52	0.02	1.51	1.03
04	1.49			
05	1.50			

Nota: datos estadísticos para el indicador de 2 l/m<sup>3</sup>

**Figura 65**

*Distribución normal de densidad - UATC con 2 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 2 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

- **Distribución normal de densidad para UATC con 3 l/m<sup>3</sup> de AGB**

**Tabla 78**

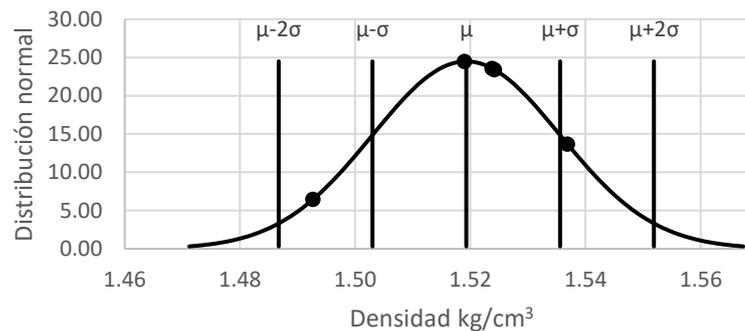
*Cuadro estadístico de densidad - UATC con 3 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	Densidad (Xi)	Desviación estándar ( $\sigma$ )	Media (u)	Coefficiente de variación (%)
01	1.52			
02	1.49			
03	1.54	0.02	1.52	1.07
04	1.52			
05	1.52			

Nota: datos estadísticos para el indicador de 3 l/m<sup>3</sup>

**Figura 66**

*Distribución normal de densidad - UATC con 3 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 3 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

- **Distribución normal de densidad para UATC con 4 l/m<sup>3</sup> de AGB**

**Tabla 79**

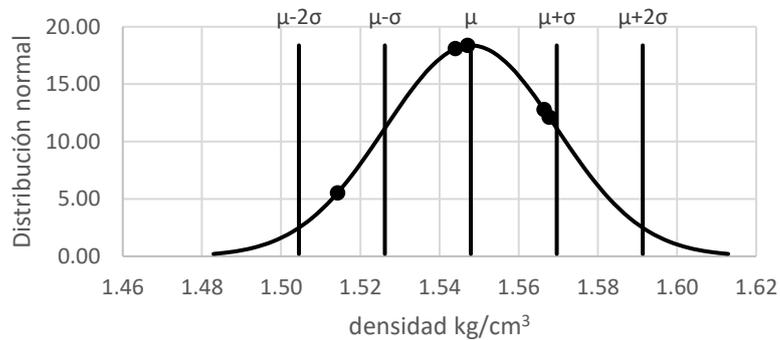
*Cuadro estadístico de densidad - UATC con 4 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	Densidad (Xi)	Desviación estándar ( $\sigma$ )	Media (u)	Coefficiente de variación (%)
01	1.57			
02	1.55			
03	1.54	0.02	1.55	1.40
04	1.51			
05	1.57			

Nota: datos estadísticos para el indicador de 4 l/m<sup>3</sup>

**Figura 67**

*Distribución normal de densidad - UATC con 4 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 4 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

• **Distribución normal de densidad para UATC con 5 l/m<sup>3</sup> de AGB**

**Tabla 80**

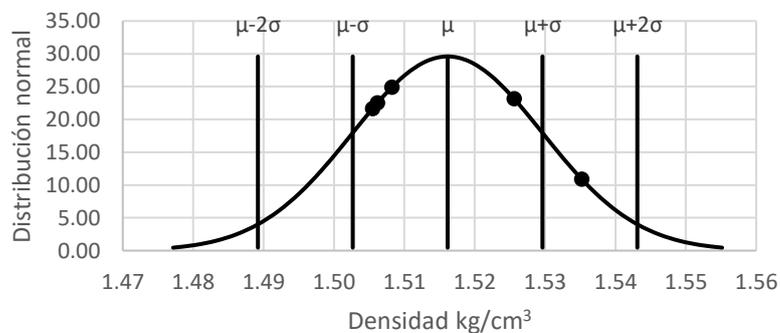
*Cuadro estadístico de densidad - UATC con 5 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	Densidad (Xi)	Desviación estándar (σ)	Media (u)	Coefficiente de variación (%)
01	1.51			
02	1.54			
03	1.53	0.01	1.52	0.89
04	1.51			
05	1.51			

Nota: datos estadísticos para el indicador de 5 l/m<sup>3</sup>

**Figura 68**

*Distribución normal de densidad - UATC con 5 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 5 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

#### 4.1.5.1.2. Comprobación de normalidad de densidad

La comprobación de la normalidad se realiza en los resultados de la tabla 75, datos hallados en el laboratorio. Antes de realizar el ANOVA de la densidad de UATC estabilizadas con 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup> de AGB, primero se verifica el supuesto de la normalidad; para tal fin se utiliza la prueba de Shapiro-Wilk, una prueba que comprueba si los datos provienen o no de una distribución normal. Para ellos se postulan las siguientes hipótesis estadísticas:

$H_0$ : Los resultados hallados en el ensayo de densidad, tienen una distribución normal.

$H_1$ : Los resultados hallados en el ensayo de densidad, no tienen una distribución normal.

**Tabla 81**

*Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para densidad*

Grupo (Dosis)	W	w crítico (ver anexo 4)	Distribución Normal
0 l/m <sup>3</sup>	0.846	0.762	SI
2 l/m <sup>3</sup>	0.952	0.762	SI
3 l/m <sup>3</sup>	0.884	0.762	SI
4 l/m <sup>3</sup>	0.890	0.762	SI
5 l/m <sup>3</sup>	0.820	0.762	SI

Nota: Para nivel de significación 0.05

Según los resultados de la tabla 81, demuestran que los datos obtenidos en cada una de las diferentes dosificaciones en el ensayo de densidad tienen una distribución normal. Según los valores estadísticos de

Shapiro-Wilk (para una significancia de 0.05), son mayores al valor crítico (valor obtenido del anexo 4). Por estas consideraciones se acepta la  $H_0$ ; por lo tanto, se afirma con certeza que los datos del ensayo de densidad de la UATC con adición de AGB provienen de una distribución normal.

#### 4.1.5.1.3. Prueba de homocedasticidad de densidad

Esta prueba es realizada en los resultados de la densidad de UATC con dosis de 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup> de AGB (ver tabla 75). Se aplicó el test de Levene, para conocer con certeza la aplicación de pruebas paramétricas o no. Postulando como hipótesis estadística lo siguiente:

$H_0$ : Los residuos son homocedásticos.

$H_1$ : Los residuos son heterocedásticos.

**Tabla 82**

*Prueba de homogeneidad (Levene) - densidad*

Estadístico de Levene	p- values	Significativo
0.853	0.509	NO

Nota: Para nivel de significación 0.05

En la tabla 82, se demuestra que la varianza residual de los datos obtenidos en las diferentes dosificaciones de 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup> de AGB en la UATC del ensayo de densidad no es significativa. Asimismo, el P-valor de Levene es mayor al nivel de significancia  $\alpha=0.05$ . Por estas consideraciones, se acepta la  $H_0$ ; por lo tanto, se afirma con certeza que los residuos son homocedásticos, y confirma la aplicación de pruebas paramétricas para el contraste de hipótesis.

#### 4.1.5.6. Prueba de hipótesis de densidad

La prueba de hipótesis se analiza en los resultados que se observan en la tabla 75 del ensayo de densidad de UATC con indicadores de 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup> de AGB. Se realiza mediante el ANOVA, una prueba paramétrica en la que compararemos las medias de los cinco grupos de densidad (0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup>), para determinar si existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de la población correspondiente. Para ello, primero se verifican los supuestos, la prueba de normalidad: si cumple (ver tabla 81) y la prueba de homocedasticidad: si cumple (ver tabla 82). Se plantean las siguientes hipótesis estadísticas.

$$H_0: u_0 = u_2 = u_3 = u_4 = u_5$$

La aplicación del aditivo AggreBind en las UATC, no influye significativamente en la propiedad física de densidad.

$$H_1: \text{al menos una media es diferente de la otra.}$$

La aplicación del aditivo AggreBind en las UATC, si influye significativamente en la propiedad física de densidad.

**Tabla 83**

*ANOVA de densidad*

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	f Crítico	p-valor	Significativo
Modelo	4	0.0115	0.0029	11.926	2.866	4.070E-05	SI
Error	20	0.0048	0.0002				
Total	24	0.0163					

Nota: Para nivel de significación 0.05

El valor de la probabilidad  $p=0.0000407$  es menor al nivel de significancias  $\alpha = 0.05$ . Se rechaza la hipótesis nula y se admite la hipótesis alternativa. Por lo tanto, el aditivo AggreBind influye significativamente en las UATC estabilizadas con AGB, respecto a la densidad.

Decisión: debido a que se admite la  $H_1$ , es necesario realizar la prueba post-hoc. Para determinar en cuál de las muestras se presentan diferencias significativas, se realiza la prueba de LSD de Fisher.

- **Prueba Post-Hoc**

**Tabla 84**

*Análisis de la prueba de LSD de Fisher de resultados de la densidad*

Contraste	Medias	Diferencia	Valor crítico	Diferencia crítica	Significativo
5 l/m <sup>3</sup> vs 0 l/m <sup>3</sup>	1.52 1.48	0.035	2.086	0.020	SI
5 l/m <sup>3</sup> vs 2 l/m <sup>3</sup>	1.52 1.51	0.009	2.086	0.020	NO
5 l/m <sup>3</sup> vs 3 l/m <sup>3</sup>	1.52 1.52	0.003	2.086	0.020	NO
5 l/m <sup>3</sup> vs 4 l/m <sup>3</sup>	1.52 1.55	0.032	2.086	0.020	SI
4 l/m <sup>3</sup> vs 0 l/m <sup>3</sup>	1.55 1.48	0.067	2.086	0.020	SI
4 l/m <sup>3</sup> vs 2 l/m <sup>3</sup>	1.55 1.51	0.041	2.086	0.020	SI
4 l/m <sup>3</sup> vs 3 l/m <sup>3</sup>	1.55 1.52	0.029	2.086	0.020	SI
3 l/m <sup>3</sup> vs 0 l/m <sup>3</sup>	1.52 1.48	0.038	2.086	0.020	SI
3 l/m <sup>3</sup> vs 2 l/m <sup>3</sup>	1.52 1.51	0.012	2.086	0.020	NO
2 l/m <sup>3</sup> vs 0 l/m <sup>3</sup>	1.51 1.48	0.026	2.086	0.020	SI

En la tabla 84, resalta la diferencia de las medias de los contrastes entre las dosis 5 vs 2 l/m<sup>3</sup>, 5 vs 3 l/m<sup>3</sup> y 3 vs 2 l/m<sup>3</sup> que estadísticamente no tienen diferencias significativas, a diferencia de los demás contrastes que sí tienen diferencias significativas.

**Tabla 85***Resumen de la prueba de LSD de Fisher – densidad*

Indicadores	Medias	Grupos	
4 l/m <sup>3</sup>	1.55	A	1.55 a
5 l/m <sup>3</sup>	1.52	B	1.52 b
3 l/m <sup>3</sup>	1.52	B	1.52 b
2 l/m <sup>3</sup>	1.51	B	1.51 b
0 l/m <sup>3</sup>	1.48	C	1.48 c

La tabla 85 ilustra la posición de los indicadores de mayor a menor de las medias de la densidad; la adición de la dosis de 4 l/m<sup>3</sup> muestra mayor influencia significativa positiva en la densidad de UATC, los indicadores 5, 3 y 2 l/m<sup>3</sup> entre ellas no se tienen diferencias significativas y la densidad mínima se registra en el indicador de 0 l/m<sup>3</sup>.

Por lo tanto, se *acepta* la hipótesis planteada en la presente investigación.

HE<sub>1</sub>: *La aplicación del aditivo AggreBind mejora significativamente la propiedad de densidad de unidades de albañilería de tierra comprimida.*

#### 4.3. RESULTADOS DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE UATC

##### 4.2.1. Resultados de resistencia a la compresión

Los resultados de resistencia a la compresión se presentan en la tabla 86. Se tienen cinco observaciones para cada indicador de 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup>. Las resistencias promedias son 17.32, 20.06, 20.69, 21.36 y 22.84 kg/cm<sup>2</sup>. Resaltando el indicador 4 l/m<sup>3</sup>, donde se registró la densidad máxima de la unidad de

albañilería, su resistencia es de 21.36 kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 86**

*Resultados del ensayo de resistencia a la compresión*

Indicadores	Observación					Prom. (kg/cm <sup>2</sup> )
0 l/m <sup>3</sup>	17.49	17.38	18.06	15.95	17.72	17.32
2 l/m <sup>3</sup>	19.71	20.72	20.53	19.35	19.97	20.06
3 l/m <sup>3</sup>	21.58	21.2	20.27	20.16	20.27	20.69
4 l/m <sup>3</sup>	21.05	21.2	20.94	22.32	21.28	21.36
5 l/m <sup>3</sup>	24.35	21.39	22.25	22.67	23.54	22.84

Nota: datos obtenidos de la tabla 30

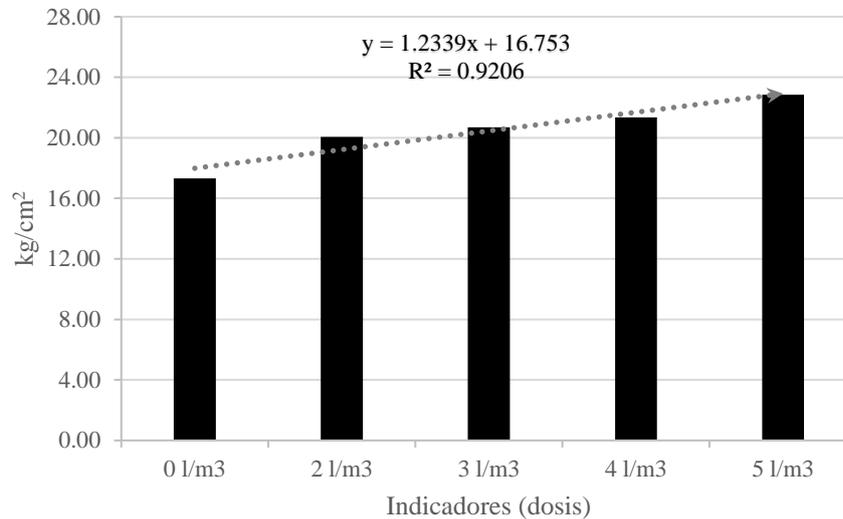
Según las normas NBR 8491 (2012), IS 1725 (1982), ARS 674 (1996), XP P 13-901 (2001) y NTC 5324 (2004), la resistencia a la compresión mínima para UATC es 20 kg/cm<sup>2</sup>; en nuestra investigación, los indicadores de 2, 3, 4, y 5 l/m<sup>3</sup> cumplen con estas exigencias. También se realiza una comparación de forma referencial con la normativa peruana NTP E-070 (2019), donde indica que la resistencia mínima para bloques no portantes es de 20 kg/cm<sup>2</sup>. En cambio, la norma española UNE 41410 (2008) muestra que la resistencia mínima para UATC es de 13 kg/cm<sup>2</sup>; en este escenario los resultados obtenidos cumplen en todos los indicadores.

En la figura 69, muestra el comparativo gráfico de promedios de la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería de tierra comprimida a la edad de 28 días, podemos ver que la resistencia de las unidades con dosis 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup> es mayor a la resistencia de la unidad sin aditivo. La aplicación del AggreBind incrementa la resistencia a la compresión simple de forma lineal positiva, llevándola desde 17.32 kg/cm<sup>2</sup> hasta 22.84 kg/cm<sup>2</sup>, ganando un

incremento 31.9%.

**Figura 69**

*Gráfico de resistencia a la compresión*



#### 4.2.1.1. Análisis estadístico de resistencia a la compresión

##### 4.2.1.1.1. Distribución normal de resistencia a la compresión

- **Distribución normal de compresión para UATC con 0 l/m<sup>3</sup>**

**Tabla 87**

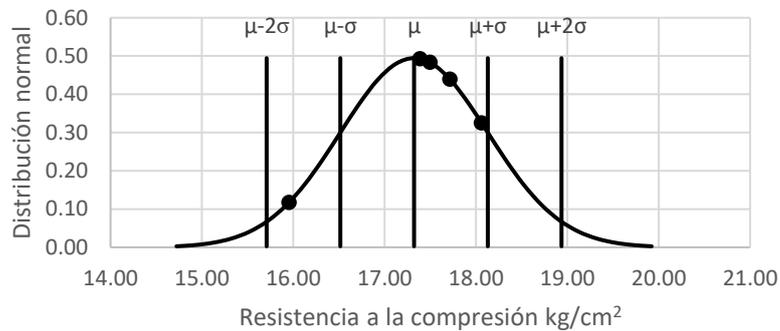
*Cuadro estadístico de compresión - UATC con 0 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	Compresión (Xi)	Desviación estándar (σ)	Media (u)	Coefficiente de variación (%)
01	17.49			
02	17.38			
03	18.06	0.81	17.32	4.66
04	15.95			
05	17.72			

Nota: datos estadísticos para el indicador de 0 l/m<sup>3</sup>

**Figura 70**

*Distribución normal de compresión - UATC con 0 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 0 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

• **Distribución normal de compresión para UATC con 2 l/m<sup>3</sup>**

**Tabla 88**

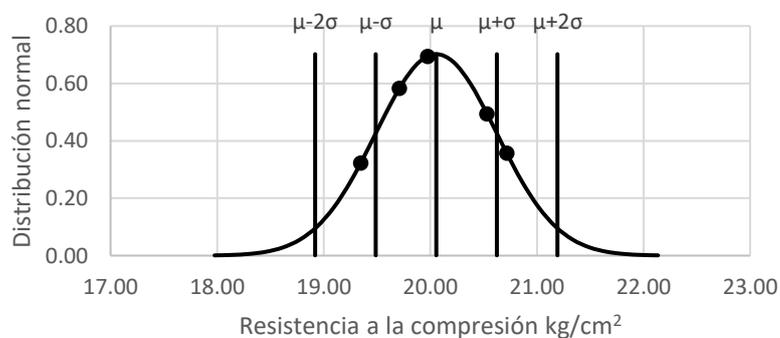
*Cuadro estadístico de compresión - UATC con 2 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	Compresión (Xi)	Desviación estándar (σ)	Media (u)	Coefficiente de variación (%)
01	19.71			
02	20.72			
03	20.53	0.57	20.06	2.83
04	19.35			
05	19.97			

Nota: datos estadísticos para el indicador de 2 l/m<sup>3</sup>

**Figura 71**

*Distribución normal de compresión - UATC con 2 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 2 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

- **Distribución normal de compresión para UATC con 3 l/m<sup>3</sup>**

**Tabla 89**

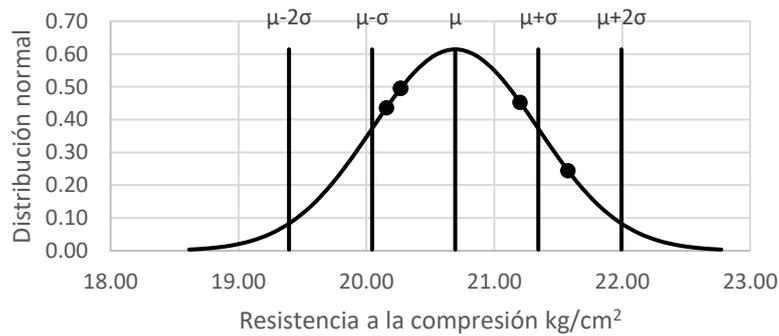
*Cuadro estadístico de compresión - UATC con 3 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	Compresión (Xi)	Desviación estándar ( $\sigma$ )	Media (u)	Coefficiente de variación (%)
01	21.58			
02	21.20			
03	20.27	0.65	20.69	3.14
04	20.16			
05	20.27			

Nota: datos estadísticos para el indicador de 3 l/m<sup>3</sup>

**Figura 72**

*Distribución normal de compresión - UATC con 3 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 3 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

- **Distribución normal de compresión para UATC con 4 l/m<sup>3</sup>**

**Tabla 90**

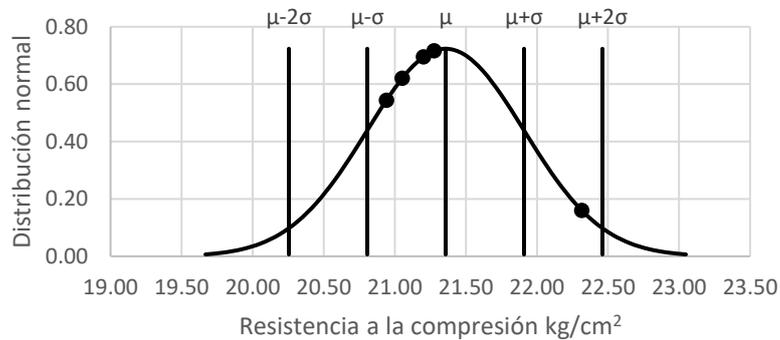
*Cuadro estadístico de compresión - UATC con 4 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	Compresión (Xi)	Desviación estándar ( $\sigma$ )	Media (u)	Coefficiente de variación (%)
01	21.05			
02	21.20			
03	20.94	0.55	21.36	2.58
04	22.32			
05	21.28			

Nota: datos estadísticos para el indicador de 4 l/m<sup>3</sup>

**Figura 73**

*Distribución normal de compresión - UATC con 4 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 4 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

• **Distribución normal de compresión para UATC con 5 l/m<sup>3</sup>**

**Tabla 91**

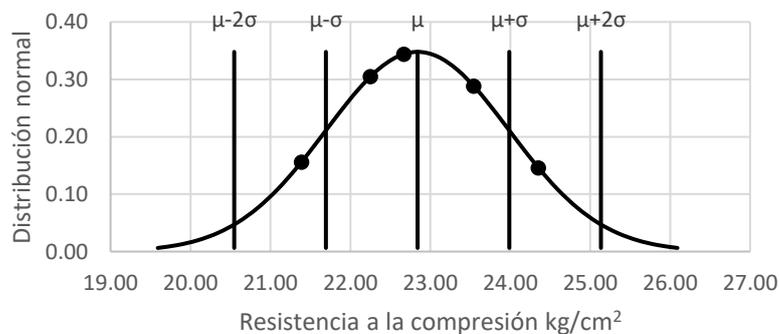
*Cuadro estadístico de compresión - UATC con 5 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	Compresión (Xi)	Desviación estándar (σ)	Media (u)	Coefficiente de variación (%)
01	24.35			
02	21.39			
03	22.25	1.15	22.84	5.02
04	22.67			
05	23.54			

Nota: datos estadísticos para el indicador de 5 l/m<sup>3</sup>

**Figura 74**

*Distribución normal de compresión - UATC con 5 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 5 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

#### 4.2.1.1.2. Comprobación de normalidad de la compresión

La comprobación de la normalidad se realiza en los resultados de la tabla 86. Previo a realizar la prueba de hipótesis mediante el ANOVA. Para tal fin se utiliza la prueba de Shapiro-Wilk, una prueba que comprueba si los datos provienen o no de una distribución normal. Se postulan las siguientes hipótesis estadísticas:

$H_0$ : Los resultados hallados en el ensayo de resistencia a la compresión, tienen una distribución normal.

$H_1$ : Los resultados hallados en el ensayo de resistencia a la compresión, no tienen una distribución normal.

**Tabla 92**

*Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para la compresión*

Indicadores	Estadístico	valor crítico (ver anexo 4)	Distribución Normal
0 l/m <sup>3</sup>	0.841	0.762	SI
2 l/m <sup>3</sup>	0.951	0.762	SI
3 l/m <sup>3</sup>	0.810	0.762	SI
4 l/m <sup>3</sup>	0.771	0.762	SI
5 l/m <sup>3</sup>	0.989	0.762	SI

Nota: Para nivel de significación 0.05

La tabla 92 indica que los valores estadísticos de Shapiro-Wilk (para una significancia de 0.05) son mayores al valor crítico (valor obtenido del anexo 4). Por estas consideraciones se acepta la  $H_0$ ; por lo tanto, se afirma con certeza que los datos del ensayo de la resistencia a la compresión de la UATC con adición de AGB provienen de una

distribución normal.

#### 4.2.1.1.3. Prueba de homocedasticidad de la compresión

Esta prueba es realizada en los resultados de la resistencia a la compresión de UATC con dosis de 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup> de AGB (ver tabla 86). Se aplicó el test de Levene previo al contraste de hipótesis (ANOVA) de la resistencia a la compresión. Postulando como hipótesis estadística lo siguiente:

$H_0$ : Los residuos son homocedásticos.

$H_1$ : Los residuos son heterocedásticos.

#### Tabla 93

*Prueba de homogeneidad (Levene) - compresión*

Estadístico de Levene	p-valor	Significativo
1.110	0.379	NO

Nota: Para nivel de significación 0.05

En la tabla 93, se aprecia que la varianza residual de los datos obtenidos del ensayo de la resistencia a la compresión no es significativa. Donde el p-valor de Levene es mayor al nivel de significancia  $\alpha=0.05$ ; por estas consideraciones se acepta la  $H_0$ ; por lo tanto, se afirma con certeza que los residuos son homocedásticos, y se confirma la aplicación de pruebas paramétricas para el contraste de hipótesis.

#### 4.2.1.2. Prueba de hipótesis de resistencia a la compresión

Esta comprobación se analiza en los resultados que se observan en la tabla 86 del ensayo de resistencia a la compresión de UATC con 0, 2, 3,

4 y 5 l/m<sup>3</sup> de AGB. Se realiza mediante el ANOVA, una prueba paramétrica en la que compararemos las medias de los cinco indicadores, para comprobar si existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de la población correspondiente. Para ello, primero se verifican los supuestos, la prueba de normalidad: si cumple (ver tabla 92) y la prueba de homocedasticidad: si cumple (ver tabla 93). Se plantean las siguientes hipótesis estadísticas.

$$H_0: u_0 = u_2 = u_3 = u_4 = u_5$$

La aplicación del aditivo AggreBind en las UATC, no influye significativamente en la propiedad mecánica de resistencia a la compresión.

$$H_1: \text{al menos una media es diferente de la otra.}$$

La aplicación del aditivo AggreBind en las UATC, si influye significativamente en la propiedad mecánica de resistencia a la compresión.

**Tabla 94**

*ANOVA de resistencia a la compresión*

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	f Critico	p-valor	Significativo
Modelo	4	82.692	20.673	34.278	2.866	1.087E-08	SI
Error	20	12.062	0.603				
Total	24	94.754					

Nota: Para nivel de significación 0.05

En la tabla 94 se aprecia que el valor de la probabilidad para los datos de la resistencia a la compresión es  $p < 0.001$ . Este valor es menor al nivel de significancias 0.05; por lo tanto, se refuta la hipótesis nula y se admite la hipótesis alternativa.

Se confirma que, según los resultados del ANOVA, el aditivo AggreBind influye significativamente en la propiedad de resistencia a la compresión de UATC estabilizadas con diferentes dosis de AGB.

Decisión: debido a que se admite la hipótesis alternativa, es obligatorio realizar pruebas post-hoc, para determinar en cuál de los contrastes se presentan diferencias significativas. Esto se realiza mediante la prueba de LSD de Fisher.

- **Prueba Post-Hoc**

**Tabla 95**

*Análisis de la prueba de LSD de Fisher de resultados de compresión*

Contraste	Medias	Diferencia	Valor crítico	Diferencia crítica	Significativo
5 l/m <sup>3</sup> vs 0 l/m <sup>3</sup>	22.84 17.32	5.52	2.086	1.02	SI
5 l/m <sup>3</sup> vs 2 l/m <sup>3</sup>	22.84 20.06	2.78	2.086	1.02	SI
5 l/m <sup>3</sup> vs 3 l/m <sup>3</sup>	22.84 20.69	2.15	2.086	1.02	SI
5 l/m <sup>3</sup> vs 4 l/m <sup>3</sup>	22.84 21.36	1.48	2.086	1.02	SI
4 l/m <sup>3</sup> vs 0 l/m <sup>3</sup>	21.36 17.32	4.04	2.086	1.02	SI
4 l/m <sup>3</sup> vs 2 l/m <sup>3</sup>	21.36 20.06	1.30	2.086	1.02	SI
4 l/m <sup>3</sup> vs 3 l/m <sup>3</sup>	21.36 20.69	0.66	2.086	1.02	NO
3 l/m <sup>3</sup> vs 0 l/m <sup>3</sup>	20.69 17.32	3.37	2.086	1.02	SI
3 l/m <sup>3</sup> vs 2 l/m <sup>3</sup>	20.69 20.06	0.64	2.086	1.02	NO
2 l/m <sup>3</sup> vs 0 l/m <sup>3</sup>	20.06 17.32	2.73	2.086	1.02	SI

En la tabla 95, se ilustra el contraste total de parejas posibles, resaltando las parejas  $4 \text{ l/m}^3$  vs  $3 \text{ l/m}^3$  y  $3 \text{ l/m}^3$  vs  $2 \text{ l/m}^3$  que estadísticamente no tienen unas diferencias significativas, a diferencia de los demás contrastes que sí presentan diferencias significativas.

**Tabla 96**

*Resumen de la prueba de LSD de Fisher – compresión*

Indicadores	Medias	SubGrupos		
$5 \text{ l/m}^3$	22.84	A		22.84 a
$4 \text{ l/m}^3$	21.36	B		21.36 b
$3 \text{ l/m}^3$	20.69	B	C	20.69 bc
$2 \text{ l/m}^3$	20.06	C		20.06 c
$0 \text{ l/m}^3$	17.32	D		17.32 d

El resumen de la prueba de LSD de Fisher nos ayuda a determinar si la influencia del aditivo AggreBind en UATC es en forma negativa o positiva. En la tabla 96 se ilustra la determinación de subgrupos para cada tratamiento ordenada de mayor a menor de las medias de la resistencia a la compresión. Se puede verificar que las UATC estabilizadas con  $5 \text{ l/m}^3$  de AGB presentan máxima influencia significativamente positiva.

Por lo tanto, se *acepta* la hipótesis planteada en la presente investigación.

HE<sub>2</sub>: *La aplicación del aditivo AggreBind incrementa significativamente la resistencia a la compresión de unidades de albañilería de tierra comprimida.*

#### 4.2.2. Resultados de resistencia a flexión

**Tabla 97**

*Resultados de resistencia a flexión*

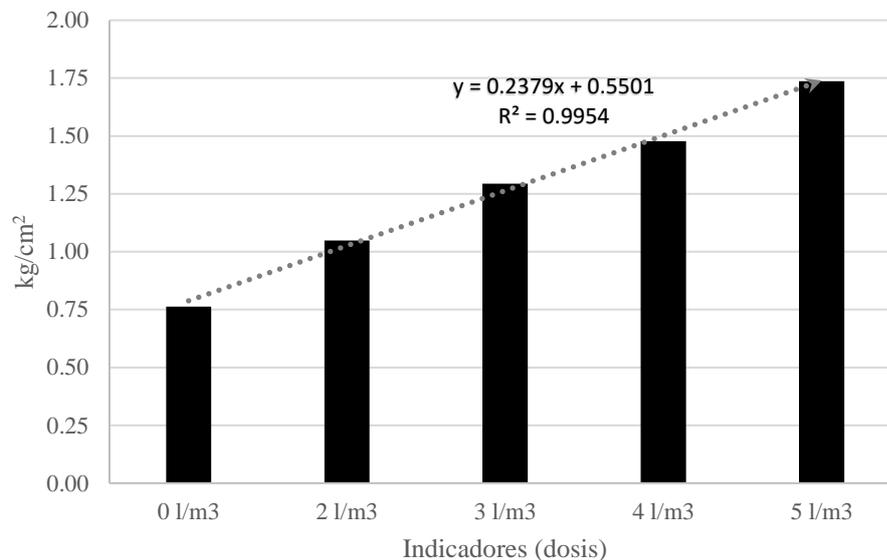
Indicadores	Observación					Prom. (kg/cm <sup>2</sup> )
0 l/m <sup>3</sup>	1.10	0.55	0.62	0.69	0.85	0.76
2 l/m <sup>3</sup>	0.92	1.06	0.89	1.31	1.06	1.05
3 l/m <sup>3</sup>	1.27	1.41	1.13	1.27	1.38	1.29
4 l/m <sup>3</sup>	1.41	1.48	1.55	1.63	1.31	1.48
5 l/m <sup>3</sup>	1.80	1.70	1.70	1.59	1.91	1.74

Nota: datos obtenidos de la tabla 31

En la tabla 97, se aprecian las cinco observaciones de resistencia a flexión para cada serie de UATC con dosis de 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup>. Los resultados promedios son 0.76, 1.05, 1.29, 1.48 y 1.74 kg/cm<sup>2</sup>.

**Figura 75**

*Gráfico de resistencia a flexión*



En la figura 75, que muestra el comparativo gráfico de promedios de la

resistencia a flexión de las unidades de albañilería de tierra comprimida a la edad de 28 días, el hecho de incorporar el aditivo AggreBind incrementa la resistencia de forma lineal, desde 0.76 kg/cm<sup>2</sup> hasta 1.74 kg/cm<sup>2</sup>. Al adicionar la dosis más alta de 5 l/m<sup>3</sup> en la unidad de albañilería de tierra comprimida, se tenga una ganancia de resistencia de 128.9% respecto a la resistencia de la dosis 0 l/m<sup>3</sup>.

#### 4.2.2.1. Análisis estadístico de resistencia a flexión

##### 4.2.2.1.1. Distribución normal de resistencia a flexión

- Distribución normal de flexión para UATC con 0 l/m<sup>3</sup> de AGB

#### Tabla 98

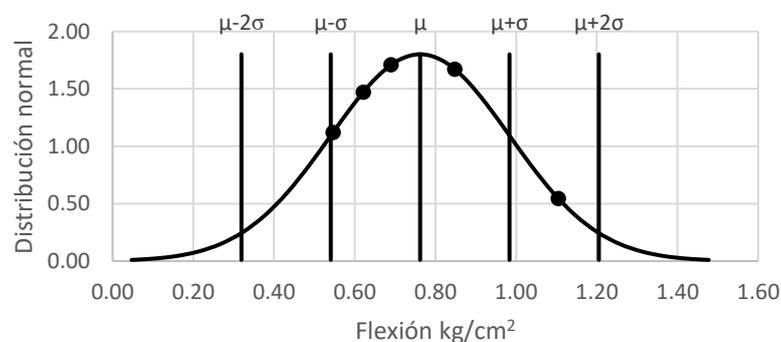
Cuadro estadístico de flexión - UATC con 0 l/m<sup>3</sup> de AGB

Muestra	Flexión (Xi)	Desviación estándar ( $\sigma$ )	Media ( $\mu$ )	Coefficiente de variación (%)
01	1.10			
02	0.55			
03	0.62	0.22	0.76	29.05
04	0.69			
05	0.85			

Nota: datos estadísticos para el indicador de 0 l/m<sup>3</sup>

#### Figura 76

Distribución normal de flexión - UATC con 0 l/m<sup>3</sup> de AGB



Nota: datos de UATC con 0 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

- **Distribución normal de flexión para UATC con 2 l/m<sup>3</sup> de AGB**

**Tabla 99**

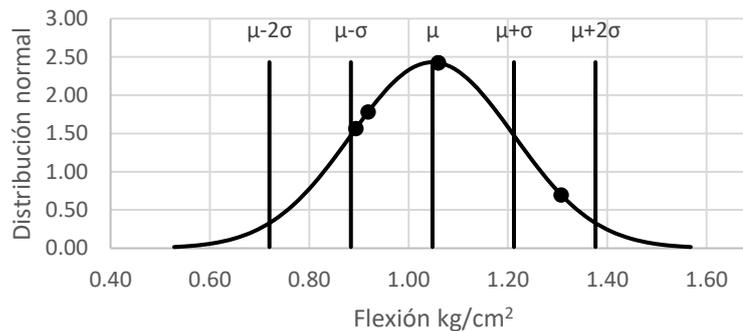
*Cuadro estadístico de flexión - UATC con 2 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	Flexión (Xi)	Desviación estándar ( $\sigma$ )	Media (u)	Coefficiente de variación (%)
01	0.92			
02	1.06			
03	0.89	0.16	1.05	15.66
04	1.31			
05	1.06			

Nota: datos estadísticos para el indicador de 2 l/m<sup>3</sup>

**Figura 77**

*Distribución normal de flexión - UATC con 2 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 2 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

- **Distribución normal de flexión para UATC con 3 l/m<sup>3</sup> de AGB**

**Tabla 100**

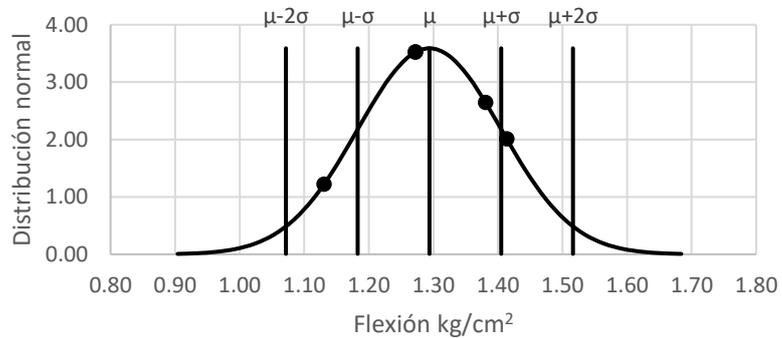
*Cuadro estadístico de flexión - UATC con 3 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	Flexión (Xi)	Desviación estándar ( $\sigma$ )	Media (u)	Coefficiente de variación (%)
01	1.27			
02	1.41			
03	1.13	0.11	1.29	8.59
04	1.27			
05	1.38			

Nota: datos estadísticos para el indicador de 3 l/m<sup>3</sup>

**Figura 78**

*Distribución normal de flexión - UATC con 3 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 2 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

• **Distribución normal de flexión para UATC con 4 l/m<sup>3</sup> de AGB**

**Tabla 101**

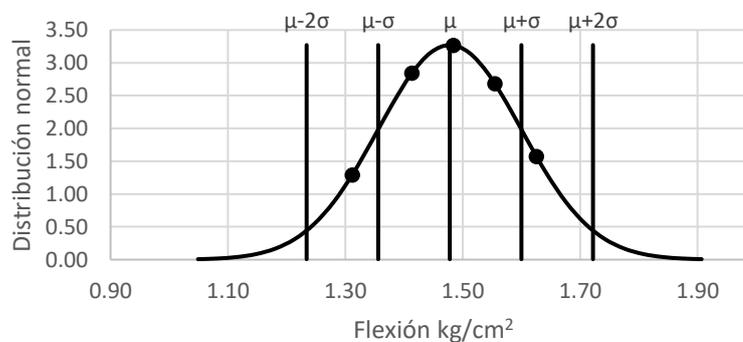
*Cuadro estadístico de flexión - UATC con 4 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	Flexión (Xi)	Desviación estándar (σ)	Media (u)	Coefficiente de variación (%)
01	1.41			
02	1.48			
03	1.55	0.12	1.48	8.25
04	1.63			
05	1.31			

Nota: datos estadísticos para el indicador de 4 l/m<sup>3</sup>

**Figura 79**

*Distribución normal de flexión - UATC con 4 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 4 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

- **Distribución normal de flexión para UATC con 5 l/m<sup>3</sup> de AGB**

**Tabla 102**

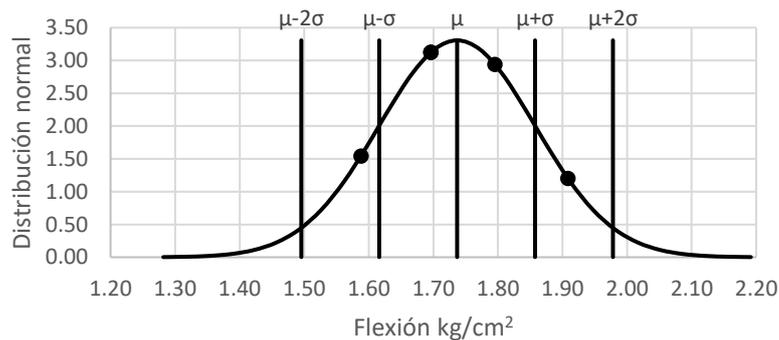
*Cuadro estadístico de flexión - UATC con 5 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Muestra	Flexión (Xi)	Desviación estándar ( $\sigma$ )	Media (u)	Coficiente de variación (%)
01	1.80			
02	1.70			
03	1.70	0.12	1.74	6.95
04	1.59			
05	1.91			

Nota: datos estadísticos para el indicador de 5 l/m<sup>3</sup>

**Figura 80**

*Distribución normal de flexión - UATC con 5 l/m<sup>3</sup> de AGB*



Nota: datos de UATC con 5 l/m<sup>3</sup>, distribuidos en la forma de campana de Gauss

#### 4.2.2.1.2. Comprobación de normalidad de resistencia flexión

La comprobación de la normalidad se realiza en los resultados de tabla 97. Antes de realizar el ANOVA de los datos hallados en el laboratorio respecto al ensayo de resistencia a flexión de UATC estabilizadas con 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup> de AGB, primero se verifica el supuesto de la normalidad; para tal fin se utiliza la prueba de Shapiro-Wilk, una prueba que comprueba si los datos provienen o no de una distribución normal. Para ellos se postulan las siguientes hipótesis estadísticas:

$H_0$ : Los resultados hallados en el ensayo de resistencia a flexión, tienen una distribución normal.

$H_1$ : Los resultados hallados en el ensayo de resistencia a flexión, no tienen una distribución normal.

**Tabla 103**

*Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) – flexión*

Indicadores	W	w critico	Distribución Normal
0 l/m <sup>3</sup>	0.924	0.762	SI
2 l/m <sup>3</sup>	0.883	0.762	SI
3 l/m <sup>3</sup>	0.928	0.762	SI
4 l/m <sup>3</sup>	0.989	0.762	SI
5 l/m <sup>3</sup>	0.962	0.762	SI

Nota: Para nivel de significación 0.05

Según los resultados de la tabla 103, se observa que los datos obtenidos en cada una de las diferentes dosificaciones en el ensayo de la resistencia a flexión de la UATC, tienen una distribución normal.

Los valores estadísticos de Shapiro-Wilk (para una significancia de 0.05) son mayores al valor crítico (valor obtenido del anexo 4). Por estas consideraciones se acepta la  $H_0$ , por lo tanto, se afirma con certeza que los datos del ensayo de la resistencia a flexión de la UATC con adición de AGB provienen de una distribución normal.

#### **4.2.2.1.3. Prueba de homocedasticidad de la resistencia a flexión**

Esta prueba es realizada en los resultados de la resistencia a flexión de UATC con dosis de 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup> de AGB (ver tabla 97). Se aplicó

el test de Levene, para conocer con certeza la aplicación de pruebas paramétricas o no. Postulando como hipótesis estadística lo siguiente:

$H_0$ : Los residuos son homocedásticos.

$H_1$ : Los residuos son heterocedásticos.

#### Tabla 104

*Prueba de homogeneidad de varianzas (Levene) – flexión*

Estadístico de Levene	p-valor	Significativo
0.914	0.475	NO

Nota: nivel de significación 0.05

En la tabla 104, se ilustra que la varianza residual de los datos obtenidos en las diferentes dosificaciones 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup> de AGB en la UATC del ensayo de la resistencia a flexión no es significativa. Puesto que el p-valor = 0.475 de Levene es mayor al nivel de significancia alfa = 0.05, por estas consideraciones se acepta la  $H_0$ . Por lo tanto, se afirma con certeza que los residuos son homocedásticos, y confirma la aplicación de pruebas paramétricas para el contraste de hipótesis.

#### 4.2.2.2. Prueba de hipótesis de resistencia a flexión

La prueba de hipótesis se analiza en los resultados que se observan en la tabla 97 del ensayo de resistencia a flexión de UATC con 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup> de AGB. Se realiza mediante el análisis de varianzas (ANOVA), una prueba paramétrica que compara las medias de los cinco indicadores de flexión (0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup>), para determinar si existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de la población

correspondiente. Para ello, primero se verifican los supuestos, la prueba de normalidad: si cumple (ver tabla 103) y la prueba de homocedasticidad: si cumple (ver tabla 104). Se plantean las siguientes hipótesis estadísticas.

$$H_0: u_0 = u_2 = u_3 = u_4 = u_5$$

La aplicación del aditivo AggreBind en las UATC, no influye significativamente en la propiedad mecánica de resistencia a flexión.

$$H_1: \text{al menos una media es diferente de la otra.}$$

La aplicación del aditivo AggreBind en las UATC, si influye significativamente en la propiedad mecánica de resistencia a flexión.

**Tabla 105**

*ANOVA de los resultados de resistencia a flexión*

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	f Critico	p-valor	Significativo
Modelo	4	2.843	0.711	30.174	2.866	3.227E-08	SI
Error	20	0.471	0.024				
Total	24	3.314					

Nota: nivel de significación 0.05

Como el valor de la probabilidad  $p < 0.001$  es menor al nivel de significancias  $\alpha = 0.05$ , se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y se acepta la hipótesis alternativa  $H_1$ .

La prueba de hipótesis mediante el ANOVA confirma que el aditivo AggreBind influye significativamente en la propiedad de resistencia a flexión de las UATC.

Decisión: es necesario realizar la prueba post-hoc, para determinar en cuál de las muestras se presentan diferencias significativas; para esto se utiliza la prueba de LSD de Fisher.

- **Prueba Post-Hoc**

**Tabla 106**

*Análisis de la prueba de LSD de Fisher de resultados de flexión*

Contraste	Medias	Diferencia	Valor crítico	Diferencia crítica	Significativo	
5 l/m <sup>3</sup> vs 0 l/m <sup>3</sup>	1.74	0.76	0.97	2.086	0.20	SI
5 l/m <sup>3</sup> vs 2 l/m <sup>3</sup>	1.74	1.05	0.69	2.086	0.20	SI
5 l/m <sup>3</sup> vs 3 l/m <sup>3</sup>	1.74	1.29	0.44	2.086	0.20	SI
5 l/m <sup>3</sup> vs 4 l/m <sup>3</sup>	1.74	1.48	0.26	2.086	0.20	SI
4 l/m <sup>3</sup> vs 0 l/m <sup>3</sup>	1.48	0.76	0.72	2.086	0.20	SI
4 l/m <sup>3</sup> vs 2 l/m <sup>3</sup>	1.48	1.05	0.43	2.086	0.20	SI
4 l/m <sup>3</sup> vs 3 l/m <sup>3</sup>	1.48	1.29	0.18	2.086	0.20	NO
3 l/m <sup>3</sup> vs 0 l/m <sup>3</sup>	1.29	0.76	0.53	2.086	0.20	SI
3 l/m <sup>3</sup> vs 2 l/m <sup>3</sup>	1.29	1.05	0.25	2.086	0.20	SI
2 l/m <sup>3</sup> vs 0 l/m <sup>3</sup>	1.05	0.76	0.29	2.086	0.20	SI

Según la tabla 106, se resalta que la diferencia de las medias de los tratamientos 4 l/m<sup>3</sup> vs 3 l/m<sup>3</sup> estadísticamente no tiene una diferencia significativa; los demás contrastes de pareja si presentan diferencias significativas.

En la tabla 107 se ilustra la determinación de subgrupos para cada indicador. Las UATC estabilizadas con 5 l/m<sup>3</sup> de AGB presentan mayor influencia significativa positiva.

**Tabla 107***Resumen de la prueba de LSD de Fisher – flexión*

Indicadores	Medias	SubGrupos	
5 l/m <sup>3</sup>	1.74	A	1.74 a
4 l/m <sup>3</sup>	1.48	B	1.48 b
3 l/m <sup>3</sup>	1.29	B	1.29 b
2 l/m <sup>3</sup>	1.05	C	1.05 c
0 l/m <sup>3</sup>	0.76	D	0.76 d

Según el análisis observado en la tabla 107. Se *acepta* la hipótesis planteada en la presente investigación.

HE<sub>2</sub>: *La aplicación del aditivo AggreBind incrementa significativamente la resistencia a flexión de unidades de albañilería de tierra comprimida.*

#### 4.4. RESULTADOS DE ANÁLISIS ECONÓMICO DE UATC (OE<sub>3</sub>)

Se realiza el Análisis de Precios Unitarios (APU) de UATC con dosificaciones de AggreBind de 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup>. Cada uno de estos análisis se ilustra en las tablas 109, 110, 111, 112 y 113. Los datos del rendimiento, hora-hombre, hora-máquina y el precio de los materiales se describen a continuación.

**Materiales:** El costo del aditivo AggreBind se obtiene de la cotización en la empresa distribuidora AgeEcovias s.a.c. en la ciudad de Lima. El precio de 20 litros de AggreBind es \$ 250 sin IGV. El análisis de acopio de tierra se aprecia en la tabla 108, el costo por metro cúbico de la tierra es S/ 17.10 sin IGV.

**Agua:** En la presente investigación no se requiere adicionar agua, debido a que el

contenido natural de humedad del suelo es similar al contenido de humedad óptima. Si se aplica esta metodología en suelos con poca humedad, se tendrá que adicionar agua hasta llegar al contenido de humedad óptima.

### Tabla 108

*Sub partida: Excavación y acopio de tierra*

Rendimiento	m <sup>3</sup> /dia	4	<b>S/17.10</b>		
Descripción	Und.	Cuad.	Cant.	PU S/	Parcial S/
<b>Mano de obra</b>					
Peón	hh	1	2.000	8.30	16.60
<b>Equipos</b>					
Herramientas manuales	%mo		3.000		0.50

Mano de obra: Las remuneraciones para los trabajadores se consideraron según (FTCCP, 2024), vigencia del 01.06.2023 al 31.05.2024.

- Jornal básico para operarios: S/ 84.70 en hh = S/ 10.60
- Jornal básico para oficial: S/ 66.45 en hh = S/ 8.30
- Jornal básico para peón: S/ 59.80 en hh = S/ 7.50

En la producción de UATC no se requiere mano de obra calificada; por ello, se consideraron 3 peones. La cantidad del personal se determinó según el análisis de C.U. de Rodríguez (2021).

Equipo: en el análisis se considera una máquina importada de marca Donyue modelo QTS2-40 (ver figura 81). Es una prensa manual hidráulica de dos piezas, capacidad de producción de 1920 unidades, el precio de la máquina es \$ 1100 sin IGV, número de uso 115000 veces dentro de su garantía (Donyue, 2024), la hora-máquina se estima de S/ 9.45.

En la presente investigación, se considera el rendimiento 1500 und/día (80 % del rendimiento de la maquina) para fabricar UATC de longitud 25 cm, altura 7.5 cm y ancho 12.5 cm.

**Figura 81**

*Máquina de moldeo, modelo QTS2-40*



- **Análisis de precios unitarios**

**Tabla 109**

*Partida: Elaboración de UATC con dosis 0 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Rendimiento	und/día	1500				<b>S/0.21</b>
Descripción	Und.	Cuad.	Cant.	PU S/	Parcial S/	
<b>Mano de obra</b>						
Peón	hh	3	0.016	7.50	0.120	
<b>Materiales</b>						
Agua potable	1		0.000	0.00	0.00	
Aditivo AggreBind	1		0.000	46.90	0.000	
<b>Equipos</b>						
Herramientas manuales	%mo		3.000		0.004	
Máquina de moldeo QTS2-40	hm	1	0.005	9.45	0.027	
<b>Subpartida</b>						
Excavación y acopio de Tierra	m <sup>3</sup>		0.002	17.10	0.040	

**Tabla 110**

*Partida: Elaboración de UATC con dosis 2 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Rendimiento	und/día	1500	<b>S/0.43</b>		
Descripción	Und.	Cuad.	Cant.	PU S/	Parcial S/
<b>Mano de obra</b>					
Peón	Hh	3	0.016	7.50	0.120
<b>Materiales</b>					
Agua potable	1		0.000	0.00	0.00
Aditivo AggreBind	1		0.005	46.90	0.220
<b>Equipos</b>					
Herramientas manuales	%mo		3.000		0.004
Máquina de moldeo QTS2-40	Hm	1	0.005	9.45	0.027
<b>Subpartida</b>					
Excavación y acopio de Tierra	m <sup>3</sup>		0.002	17.10	0.040

**Tabla 111**

*Partida: Elaboración de UATC con dosis 3 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Rendimiento	und/día	1500	<b>S/0.54</b>		
Descripción	Und.	Cuad.	Cant.	PU S/	Parcial S/
<b>Mano de obra</b>					
Peón	Hh	3	0.016	7.50	0.120
<b>Materiales</b>					
Agua potable	1		0.000	0.00	0.00
Aditivo AggreBind	1		0.007	46.90	0.330
<b>Equipos</b>					
Herramientas manuales	%mo		3.000		0.004
Máquina de moldeo QTS2-40	hm	1	0.005	9.45	0.027
<b>Subpartida</b>					
Excavación y acopio de Tierra	m <sup>3</sup>		0.002	17.10	0.040

**Tabla 112**

*Partida: Elaboración de UATC con dosis 4 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Rendimiento	und/día	1500	<b>S/0.65</b>		
Descripción	Und.	Cuad.	Cant.	PU S/	Parcial S/
<b>Mano de obra</b>					
Peón	hh	3	0.016	7.50	0.120
<b>Materiales</b>					
Agua potable	1		0.000	0.00	0.00
Aditivo AggreBind	1		0.009	46.90	0.440
<b>Equipos</b>					
Herramientas manuales	%mo		3.000		0.004
Máquina de moldeo QTS2-40	hm	1	0.005	9.45	0.027
<b>Subpartida</b>					
Excavación y acopio de Tierra	m <sup>3</sup>		0.002	17.10	0.040

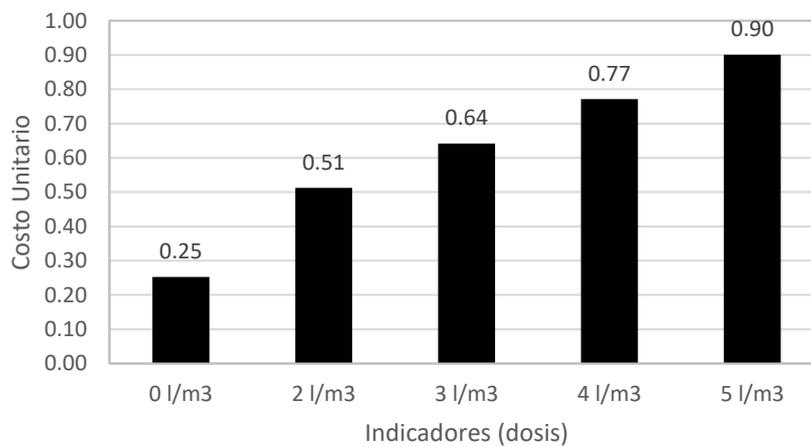
**Tabla 113**

*Partida: Elaboración de UATC con dosis 5 l/m<sup>3</sup> de AGB*

Rendimiento	und/día	1500	<b>S/0.76</b>		
Descripción	Und.	Cuad.	Cant.	PU S/	Parcial S/
<b>Mano de obra</b>					
Peón	hh	3	0.016	7.50	0.120
<b>Materiales</b>					
Agua potable	1		0.000	0.00	0.00
Aditivo AggreBind	1		0.012	46.90	0.550
<b>Equipos</b>					
Herramientas manuales	%mo		3.000		0.004
Máquina de moldeo QTS2-40	hm	1	0.005	9.45	0.027
<b>Subpartida</b>					
Excavación y acopio de Tierra	m <sup>3</sup>		0.002	17.10	0.040

**Figura 82**

*Resumen de Análisis de precios unitarios incluido IGV*



En la figura 82, se muestra el comparativo de promedios de costo directo (incluye IGV) de las unidades de albañilería de tierra comprimida en los diferentes indicadores; por lo tanto, podemos concluir que el hecho de incorporar el aditivo AggreBind incrementa el costo, desde 0.25 soles hasta 0.90 soles. Al incorporar la dosis más alta, el costo de la unidad se incrementa en un 260% respecto al costo de la unidad sin AggreBind.

Por lo tanto, se *acepta* la hipótesis planteada en la presente investigación.

HE<sub>3</sub>: *La aplicación del aditivo AggreBind eleva el costo de producción de unidades de albañilería de tierra comprimida.*

#### **4.5. RESUMEN DE LOS RESULTADOS**

En la Tabla 114 se detallan el resumen total de los resultados de los ensayos propuestos en cada uno de los objetivos en la presente investigación, el resultado estadístico p-valor del ANOVA y los contrastes de comparaciones de parejas de LSD de Fisher, divididos por subgrupos.

**Tabla 114**

*Resumen total de los resultados de cada serie de UATC*

Factor analizado	Indicadores (Dosis AGB)	Medias			ANOVA			Hipótesis	
					p-valor	LSD de Fisher			
Absorción (%)	5 l/m <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	-		
	4 l/m <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	-		
	3 l/m <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	-		
	2 l/m <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	-		
	0 l/m <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	-		
Succión (g/200cm <sup>2</sup> -min)	5 l/m <sup>3</sup>	11.65			< 0.001	A		H <sub>1</sub>	
	4 l/m <sup>3</sup>	18.37				A			
	3 l/m <sup>3</sup>	23.31				A			
	2 l/m <sup>3</sup>	42.93				B			
	0 l/m <sup>3</sup>	62.17				C			
Alabeo (mm)	5 l/m <sup>3</sup>	0.00			-	A			
	4 l/m <sup>3</sup>	0.00				A			
	3 l/m <sup>3</sup>	0.00				A			
	2 l/m <sup>3</sup>	0.00				A			
	0 l/m <sup>3</sup>	0.00				A			
Variación Dimensional (%)		(L)	(H)	(A)	0.686 (L) 0.160 (H) 0.596 (A)	(L)	(H)	(A)	H <sub>0</sub>
	5 l/m <sup>3</sup>	-0.05	-0.49	-0.07		A	A	A	
	4 l/m <sup>3</sup>	-0.05	-0.24	-0.07		A	A	A	
	3 l/m <sup>3</sup>	-0.07	-0.21	-0.09		A	A	A	
	2 l/m <sup>3</sup>	-0.07	-0.22	-0.13		A	A	A	
	0 l/m <sup>3</sup>	-0.13	-0.56	-0.17	A	A	A		
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	4 l/m <sup>3</sup>	1.55			< 0.001	A		H <sub>1</sub>	
	5 l/m <sup>3</sup>	1.52				B			
	3 l/m <sup>3</sup>	1.52				B			
	2 l/m <sup>3</sup>	1.51				B			
	0 l/m <sup>3</sup>	1.48				C			
Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	5 l/m <sup>3</sup>	22.84			< 0.001	A		H <sub>1</sub>	
	4 l/m <sup>3</sup>	21.36				B			
	3 l/m <sup>3</sup>	20.69				BC			
	2 l/m <sup>3</sup>	20.06				C			
	0 l/m <sup>3</sup>	17.32				D			

Factor analizado	Indicadores (Dosis AGB)	Medias	ANOVA		Hipótesis
			p-valor	LSD de Fisher	
Resistencia a flexión (kg/cm <sup>2</sup> )	5 l/m <sup>3</sup>	1.74	< 0.001	A	H <sub>1</sub>
	4 l/m <sup>3</sup>	1.48		B	
	3 l/m <sup>3</sup>	1.29		B	
	2 l/m <sup>3</sup>	1.05		C	
	0 l/m <sup>3</sup>	0.76		D	
APU C/IGV de UATC 25x12.5x7 cm (S/)	0 l/m <sup>3</sup>	0.25	-	-	
	2 l/m <sup>3</sup>	0.51		-	
	3 l/m <sup>3</sup>	0.64		-	
	4 l/m <sup>3</sup>	0.77		-	
	5 l/m <sup>3</sup>	0.90		-	

La tabla 114 ilustra el total de resultados obtenidos en la presente investigación. Según el análisis de varianza (ANOVA), la influencia del AggreBind tuvo efecto en las propiedades de rapidez inicial de absorción (succión), densidad, resistencia a la compresión y flexión. Los hallazgos más resaltantes corresponden a los subgrupos “A” de LSD de Fisher en cada factor analizado. Los indicadores 4 y 5 l/m<sup>3</sup> se presentan como las más influyentes en las propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería de tierra comprimida. Sin embargo, estos indicadores tienen los costos más altos. En conclusión, el indicador 4 l/m<sup>3</sup> es elegible como la dosis óptima para la mejora de las UATC.

Por lo tanto, se *acepta de forma parcial* la hipótesis planteada en la presente investigación.

HG: *La aplicación del aditivo AggreBind influye significativamente positiva en las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra comprimida.*

## 4.6. DISCUSIÓN

### 4.6.1. Según los componentes utilizados en las UATC

**Tabla 115**

*Discusión de la composición de UATC.*

Autor	Estabilizante	Ubicación de la cantera	Tipo de suelo
La presente investigación	AggreBind	Paucarcolla, Puno, Perú	Arena arcillosa de baja plasticidad (SC)
Cabrera et al. (2020)	Cemento y cal	Monte Vera, Santa Fé, Argentina	Limo arcilloso de baja plasticidad (CL-ML)
Torres (2021)	Ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBA) y cemento	Catamayo, Loja, Ecuador	Arena limosa y arcillosa (SC-SM)
Cañola et al. (2018)	Emulsión asfáltica y cemento	El Retiro, Antioquia, Colombia	Limo inorgánico de alta plasticidad (MH)
Velásquez & Avalos (2018)	Aditivo C-444 y aditivo Solidry	Santiago y San Sebastián, Cusco, Perú	Arcillas inorgánicas de baja plasticidad (CL) y Arcillas inorgánicas de mediana plasticidad (CL)
Cuno & Hallasi (2021)	Cemento	Chimpahuaylla, Cusco, Perú	Arena limosa y arcillosa (SM-SC)
Rodríguez (2021)	Cemento y arena	La Rinconada, Puno, Perú	Arcilla de baja plasticidad (CL)
Gallegos (2023)	Cemento	San Miguel, Juliaca, Perú	Limos y arcillas de baja plasticidad (ML-CL) y arenas pobremente gradadas (SP)

Según la tabla 115, se analiza la composición utilizada para la elaboración de las unidades de albañilería de tierra comprimida por diferentes autores. En la presente investigación, el tipo de suelo es SC y el estabilizante aditivo AggreBind. A nivel internacional, los autores Cabrera et al. (2020), Torres (2021) y Cañola et al. (2018) usaron suelos tipo CL-ML, SC-SM y MH, y los estabilizantes utilizados

son cemento y cal; ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBA) más cemento y emulsión asfáltica más cemento, respectivamente. A nivel nacional, los autores Velásquez & Avalos (2018) y Cuno & Hallasi (2021) emplearon suelos tipo CL y SM-SC, y los estabilizantes que usaron fueron aditivo C-444 más aditivo Solidry y cemento. De igual forma, a nivel local los autores Rodríguez (2021) y Gallegos (2023) utilizaron suelos tipos CL y ML-CL, y en cuanto a estabilizantes ambos autores usaron cemento. Desde el punto general, los tipos de suelos usados para fabricar las UATC contienen arcilla, limo y arena, y el estabilizante más usado es el cemento.

#### 4.6.2. Según el objetivo específico (OE<sub>1</sub>)

**Tabla 116**

*Discusión de resultados de absorción*

Autor	Estabilizante	%	Observación
La presente investigación	0 l/m <sup>3</sup> AggreBind	-	Se desintegraron en todas las dosis
	2 l/m <sup>3</sup> AggreBind	-	
	3 l/m <sup>3</sup> AggreBind	-	
	4 l/m <sup>3</sup> AggreBind	-	
	5 l/m <sup>3</sup> AggreBind	-	
Velásquez & Avalos (2018)	Sin aditivo (Suelo Santiago)	-	Se desintegraron
	2.75 l/m <sup>3</sup> C-444 + 50 kg/m <sup>3</sup> Solidry	10.1	
	Sin aditivo (Suelo San Sebastián)	-	Se desintegraron
Cuno & Hallasi (2021)	1.40 l/m <sup>3</sup> C-444 + 10 kg/m <sup>3</sup> Solidry	-	Se desintegraron
	10 % cemento	15.7	
	12 % cemento	14.0	
Gallegos (2023)	15 % cemento	12.4	
	15 % cemento Rumi	14.6	
	19 % cemento Rumi	16.4	
	15 % cemento Wari	15.0	
	19 % cemento Wari	15.8	

En la tabla 116 se presentan los resultados de la propiedad de absorción. Los autores Velázquez & Avalos (2018) en la dosificación de 2.75 l/m<sup>3</sup> aditivo C-444 más 50 kg/m<sup>3</sup> aditivo Solidry tuvieron una absorción de 10.1 %, en las demás dosificaciones no lograron registrar datos debido a que sus unidades se desintegraron. Los autores Cuno & Hallasi (2021) obtuvieron una absorción de 15.7, 14 y 12.4 % con la adición de 10, 12 y 15 % de cemento; de igual manera, Gallegos (2023) obtuvo resultados similares al adicionar 15 % de cemento, registrando 15 y 14.6 % de absorción. Sin embargo, en la presente investigación, de forma similar que los autores Velázquez & Avalos (2018), las unidades de albañilería de tierra comprimida estabilizadas con aditivos C444, Solidry y AggreBind no son resistentes al agua. Resaltando en este análisis al cemento como un estabilizante apropiado en las UATC.

**Tabla 117***Discusión de resultados de succión*

Autor	Estabilizante	g/200cm <sup>2</sup> -min	Observación
La presente investigación	0 l/m <sup>3</sup> AggreBind	62.17	
	2 l/m <sup>3</sup> AggreBind	42.93	
	3 l/m <sup>3</sup> AggreBind	23.31	
	4 l/m <sup>3</sup> AggreBind	18.37	
	5 l/m <sup>3</sup> AggreBind	11.65	
Velásquez & Avalos (2018)	Sin aditivo (Suelo Santiago)	-	Se desintegró
	2.75 l/m <sup>3</sup> aditivo C-444 + 50 kg/m <sup>3</sup> aditivo Solidry	21.28	
	Sin aditivo (Suelo San Sebastián)	-	Se desintegró
	1.40 l/m <sup>3</sup> aditivo C-444 + 10 kg/m <sup>3</sup> aditivo Solidry	-	Se desintegró

En la tabla 117 se observan los resultados obtenidos en el ensayo de rapidez inicial de absorción (succión); en la presente investigación los resultados son 11.65 y 18.37 g/200cm<sup>2</sup>-min con las dosis de 4 y 5 l/m<sup>3</sup> respectivamente. Estos datos difieren con los resultados obtenidos por los autores Velázquez & Avalos (2018), donde registraron una succión de 21.28 g/200cm<sup>2</sup>-min con la dosificación 2.75 l/m<sup>3</sup> de aditivo C-444 más 50 kg/m<sup>3</sup> de aditivo Solidry, y con el resto de las dosificaciones, al igual que en el ensayo de absorción, no pudieron registrar datos debido a que las unidades se desintegraron.

**Tabla 118**

*Discusión de resultados de alabeo*

Autor	Estabilizante	cóncavo (mm)	convexo (mm)
La presente investigación	0 l/m <sup>3</sup> AggreBind	0	0
	2 l/m <sup>3</sup> AggreBind	0	0
	3 l/m <sup>3</sup> AggreBind	0	0
	4 l/m <sup>3</sup> AggreBind	0	0
	5 l/m <sup>3</sup> AggreBind	0	0
Velásquez & Avalos (2018)	Sin aditivo (Suelo Santiago)	0	2
	2.75 l/m <sup>3</sup> aditivo C-444 + 50 kg/m <sup>3</sup> aditivo Solidry	0	2
	Sin aditivo (Suelo San Sebastián)	0	3
	1.40 l/m <sup>3</sup> aditivo C-444 + 10 kg/m <sup>3</sup> aditivo Solidry	0	2
Cuno & Hallasi (2021)	10 % cemento	0	0
	12 % cemento	0	0
	15 % cemento	0	0
Gallegos (2023)	15 % cemento Rumi	2	1
	19 % cemento Rumi	2	1
	15 % cemento Wari	2	1
	19 % cemento Wari	2	1

Los hallazgos obtenidos por los diferentes autores del ensayo de alabeo se aprecian en la tabla 118. No registraron concavidad en los resultados obtenidos por los autores Velásquez & Avalos (2018) y Cuno & Hallasi (2021), al igual que en la presente investigación, a excepción del autor Gallegos (2023) que observó una concavidad de 2 mm. En los resultados de la convexidad, los autores Velásquez & Avalos (2018) y Gallegos (2023) registraron un máximo de 3 mm y 1 mm de convexidad respectivamente. En la presente investigación, de manera similar que los autores Cuno & Hallasi (2021), obtuvieron una convexidad de 0 mm. Con estos contrastes se demuestra que las UATC presentan mínimas deflexiones tanto en la concavidad como en la convexidad.

**Tabla 119**

*Discusión de resultados de variación dimensional*

Autor	Estabilizante	Longitud (%)	Altura (%)	Ancho (%)
La presente investigación	0 l/m <sup>3</sup> AggreBind	-0.1	-0.6	-0.2
	2 l/m <sup>3</sup> AggreBind	-0.1	-0.2	-0.1
	3 l/m <sup>3</sup> AggreBind	-0.1	-0.2	-0.1
	4 l/m <sup>3</sup> AggreBind	-0.1	-0.2	-0.1
	5 l/m <sup>3</sup> AggreBind	-0.1	-0.5	-0.1
Velásquez & Avalos (2018)	Sin aditivo (Suelo Santiago)	1.5	1.9	0.5
	2.75 l/m <sup>3</sup> C-444 + 50 kg/m <sup>3</sup> Solidry	0.3	3.7	2.5
	Sin aditivo (Suelo San Sebastián)	0.0	0.0	0.0
	1.40 l/m <sup>3</sup> C-444 + 10 kg/m <sup>3</sup> Solidry	0.0	0.0	0.0
Cuno & Hallasi (2021)	10 % cemento	0.8	-0.5	-0.2
	12 % cemento	0.8	-0.2	-0.1
	15 % cemento	0.8	-0.2	-0.1

Respecto al ensayo de variación dimensional (ver tabla 119), los autores Velásquez & Avalos (2018) en la dimensión de longitud obtuvieron una variación máxima de 1.5 %, en altura 3.7 % y en ancho 2.5 %. Los autores Cuno & Hallasi (2021) y en la presente investigación se tienen resultados similares, donde la variación dimensional son menores al 1 % en la altura, ancho y largo de las UATC.

#### 4.6.3. Según el objetivo específico (OE<sub>2</sub>)

**Tabla 120**

*Discusión de resultados de resistencia a la compresión*

Autor	Estabilizante	kg/cm <sup>2</sup>
La presente investigación	0 l/m <sup>3</sup> AggreBind	17.3
	2 l/m <sup>3</sup> AggreBind	20.1
	3 l/m <sup>3</sup> AggreBind	20.7
	4 l/m <sup>3</sup> AggreBind	21.4
	5 l/m <sup>3</sup> AggreBind	22.8
Cabrera et al. (2020)	0 % cemento	7.7
	2.5 % cemento	8.3
	5 % cemento	14.2
	10 % cemento	51.9
	15 % cemento	62.0
	20 % cemento	75.7
	0 % cal	5.8
	2.5 % cal	5.8
	5 % cal	5.8
	10 % cal	6.7
15 % cal	6.1	
20 % cal	5.5	
Torres (2021)	0 % CBA + 15 % cemento	27.5
	25 % CBA + 15 % cemento	27.5
	50 % CBA + 15 % cemento	35.7
Cañola et al. (2018)	0 % emulsión asfáltica + 8 % cemento	34.7
	25 % emulsión asfáltica + 8 % cemento	25.5
	50 % emulsión asfáltica + 8 % cemento	23.5
	75 % emulsión asfáltica + 8 % cemento	21.4
	100 % emulsión asfáltica + 8 % cemento	21.4

Autor	Estabilizante	kg/cm <sup>2</sup>
Velásquez & Avalos (2018)	Sin aditivo (Suelo Santiago)	18.9
	2.75 l/m <sup>3</sup> aditivo C-444 + 50 kg/m <sup>3</sup> aditivo Solidry	20.3
	Sin aditivo (Suelo San Sebastián)	30.4
	1.40 l/m <sup>3</sup> aditivo C-444 + 10 kg/m <sup>3</sup> aditivo Solidry	22.6
Cuno & Hallasi (2021)	10 % cemento	23.1
	12 % cemento	33.9
	15 % cemento	59.7
Rodríguez (2021)	15 % cemento + 5 % arena	38.3
	15 % cemento + 10 % arena	40.0
	15 % cemento + 15 % arena	42.4
	20 % cemento + 5 % arena	39.2
	20 % cemento + 10 % arena	40.5
	20 % cemento + 15 % arena	42.8
Gallegos (2023)	15 % cemento Rumi	49.5
	19 % cemento Rumi	52.2
	15 % cemento Wari	48.9
	19 % cemento Wari	50.0

En la tabla 120 se presentan los resultados de la resistencia a la compresión obtenidos por diversos autores. A nivel internacional, el autor Cabrera et al. (2020) uso el cemento y la cal como estabilizante, donde el cemento mejora considerablemente la resistencia llegando a obtener 75.7 kg/cm<sup>2</sup>, en cambio la cal no influye en la resistencia a la compresión de la unidad. Mientras que el autor Torres (2021) adicionó al suelo 15 % de cemento más ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBA) con dosis de 0, 25 y 50 %; con la dosis más alta de CBA obtuvo una resistencia de 35.7 kg/cm<sup>2</sup>. Y los autores Cañola et al. (2018) utilizaron 8 % de cemento más emulsión asfáltica de 0, 25, 50, 75 y 100% respecto al agua. Los resultados obtenidos por estos autores demuestran que la emulsión asfáltica influye negativamente en la resistencia a la compresión, disminuyendo 39 % respecto a la unidad sin emulsión asfáltica. A nivel nacional, los autores Velásquez



& Avalos (2018) usaron los aditivos C-444 y Solidry en dos suelos diferentes. En el primer suelo, arcillas inorgánicas de baja plasticidad obtuvieron una ganancia de resistencia de 7 %, y en el segundo suelo, arcillas inorgánicas de mediana plasticidad registraron una disminución de 26 %. De igual forma, los autores Cuno & Hallasi (2021) adicionaron cemento al suelo, llegando a registrar una resistencia a la compresión de 59.7 kg/cm<sup>2</sup> con la adición de 15 % de cemento. A nivel local, el autor Rodríguez (2021) uso 15 y 20 % de cemento más 5, 10 y 15% arena; los mejores resultados que obtuvo fueron de 42.4 y 42.8 kg/cm<sup>2</sup> con dosis de 15 % cemento más 15 % arena y 20 % cemento más 15 % arena respectivamente, resaltando al cemento y arena que influye positivamente en la estabilización del suelo. De igual forma, el autor Gallegos (2023) utilizó cemento de dos diferentes marcas (Rumi y Wari) en la estabilización de suelo; los mejores resultados que obtuvo fueron 52.5 y 50.0 kg/cm<sup>2</sup> con dosis de 19 % cemento Rumi y 19 % cemento Wari. El cemento Rumi incrementa 5 % más la resistencia respecto al cemento Wari. En la presente investigación, la resistencia a la compresión de 22.8 kg/cm<sup>2</sup> obtenida en las UATC adicionada con 5 l/m<sup>3</sup> de AggreBind se asemeja a los resultados obtenidos por los autores Cuno & Hallasi (2021) con la adición de 10 % de cemento; también es similar a los datos de Velásquez & Avalos (2018) con la adición de 1.40 l/m<sup>3</sup> de aditivo C-444 más 10 kg/m<sup>3</sup> de aditivo Solidry y, por último, se asemeja a la resistencia obtenida por los autores Cañola et al. (2018) utilizando 8 % de cemento más 50 % de emulsión asfáltica. Según estos contrastes, se evidencia que el uso del cemento como estabilizante tiene una resistencia a la compresión muy superior, en comparación con la resistencia de UATC estabilizadas con AggreBind, cal, emulsión asfáltica y aditivos C-444 más Solidry.

**Tabla 121***Discusión de resultados de resistencia a flexión*

Autor	Estabilizante	kg/cm <sup>2</sup>
La presente investigación	0 l/m <sup>3</sup> AggreBind	0.8
	2 l/m <sup>3</sup> AggreBind	1.1
	3 l/m <sup>3</sup> AggreBind	1.3
	4 l/m <sup>3</sup> AggreBind	1.5
	5 l/m <sup>3</sup> AggreBind	1.7
Torres (2021)	0 % CBA + 15% cemento	12.2
	25 % CBA + 15% cemento	12.2
	50 % CBA + 15% cemento	17.3
Velásquez & Avalos (2018)	Sin aditivo (Suelo Santiago)	8.3
	2.75 l/m <sup>3</sup> aditivo C-444 + 50 kg/m <sup>3</sup> aditivo Solidry	6.8
	Sin aditivo (Suelo San Sebastián)	3.5
	1.40 l/m <sup>3</sup> aditivo C-444 + 10 kg/m <sup>3</sup> aditivo Solidry	4.9
Cuno & Hallasi (2021)	10% cemento	15.0
	12% cemento	17.6
	15% cemento	24.6

Los resultados de la resistencia a flexión (ver tabla 121). En la presente investigación, se tiene una resistencia máxima alcanzada de 1.7 kg/cm<sup>2</sup>. Mientras el autor Torres (2021) en su investigación obtuvo resistencias de 12.2 y 17.3 kg/cm<sup>2</sup>. De igual forma, los autores Velásquez & Avalos (2018) registraron resistencias a flexión de 8.3, 6.8, 3.5 y 4.9 kg/cm<sup>2</sup>, y los autores Cuno & Hallasi (2021) en el estudio que realizaron encontraron resistencias de 15.0, 17.6, 24.6 kg/cm<sup>2</sup>. Se puede apreciar que, igual que en los resultados de la resistencia a la compresión, las UTAC estabilizadas con cemento predominan sobre los estabilizantes de AggreBind y los aditivos C-444 más Solidry.

#### 4.6.4. Según el uso de AggreBind en otros ensayos

**Tabla 122**

*Discusión de resultados del uso de AggreBind en otros ensayos*

Autor	Dosis (AggreBind)	Densidad UATC (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad seca max (Proctor) (g/cm <sup>3</sup> )	CBR 100 % de Dsm (%)
La presente investigación	0 l/m <sup>3</sup>	1.48	1.49	
	2 l/m <sup>3</sup>	1.51		
	3 l/m <sup>3</sup>	1.52		
	4 l/m <sup>3</sup>	1.55		
	5 l/m <sup>3</sup>	1.52		
Ortiz (2021)	0 l/m <sup>3</sup>		2.07	25.67
	3 l/m <sup>3</sup>		2.15	35.67
	5 l/m <sup>3</sup>		2.21	47.60
	7 l/m <sup>3</sup>		2.30	65.20
Arroyo & Casas (2023)	0 l/m <sup>3</sup>			90.10
	4 l/m <sup>3</sup>			94.80
	4.5 l/m <sup>3</sup>			93.90
	5 l/m <sup>3</sup>			92.00

En la tabla 122, se evidencian resultados de ensayos que no están estipulados para unidades de albañilería como los ensayos de Proctor modificada (Densidad seca máxima) y CBR, pero es necesario verificar la influencia del aditivo AggreBind en la mejora del suelo. El autor Ortiz (2021) en su investigación realizó el ensayo Proctor modificado para calcular la densidad seca máxima, que obtuvo como resultado 2.07, 2.15, 2.21 y 2.30 g/cm<sup>3</sup>, incrementado la densidad en 11 %, y en el ensayo de CBR los resultados fueron 25.67, 35.67, 47.60 y 65.20 %, mejoraron la resistencia del suelo en 154 %. La dosis aplicada por Ortiz (2021) fue de 0, 3, 5 y 7 l/m<sup>3</sup> de AggreBind. Mientras los autores Arroyo

& Casas (2023) realizaron el ensayo de CBR, los resultados registrados fueron 90.1, 94.8, 93.9 y 92 % con dosificaciones de 0, 4, 4.5 y 5 l/m<sup>3</sup>. En la presente investigación, la densidad de UATC es 1.48, 1.51, 1.52, 1.55 y 1.52 g/cm<sup>3</sup> con dosis adicionada de 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup>. Se puede evidenciar que el aditivo AggreBind influye en la mejora del suelo; y las dosis aplicadas son similares entre los autores.

#### 4.6.5. Según la norma E-070, unidades de albañilería No Portante

**Tabla 123**

*Resistencia a la compresión de UATC vs NTP E-070*

Dosis AggreBind	Resistencia a la compresión (UATC) kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia a la compresión (para bloques No Portante, NTP E-070) kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia alcanzada
0 l/m <sup>3</sup>	17.3	20	87 %
2 l/m <sup>3</sup>	20.1	20	100 %
3 l/m <sup>3</sup>	20.7	20	103 %
4 l/m <sup>3</sup>	21.4	20	107 %
5 l/m <sup>3</sup>	22.8	20	114 %

En la tabla 123, se observa la comparación indirecta de la resistencia de UATC realizada en la presente investigación versus la resistencia a compresión requerida por la NTP E-070 para bloques de albañilería No Portante. La cual evidencia que la resistencia alcanzada con las dosis 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup> es 87, 100, 103, 107 y 114 % respectivamente. Se concluye de manera referencial que las UATC cumplen con el requisito de la resistencia a la compresión para muros No Portantes, a partir de la dosis añadida en la tierra de 2 a 5 l/m<sup>3</sup> de AGB.

**Tabla 124***Propiedades físicas de UATC vs NTP E-070*

Dosis AggreBind	Alabeo (UATC)	Alabeo NTP E-070	Variación dimensional (UATC)			Variación dimensional NTP E-070		
			Long.	Altura	Ancho	Long.	Altura	Ancho
	mm	mm	%	%	%	%	%	%
0 l/m <sup>3</sup>	0	8	-0.1	-0.6	-0.2	+/-3	+/-7	+/-4
2 l/m <sup>3</sup>	0	8	-0.1	-0.2	-0.1	+/-3	+/-7	+/-4
3 l/m <sup>3</sup>	0	8	-0.1	-0.2	-0.1	+/-3	+/-7	+/-4
4 l/m <sup>3</sup>	0	8	-0.1	-0.2	-0.1	+/-3	+/-7	+/-4
5 l/m <sup>3</sup>	0	8	-0.1	-0.5	-0.1	+/-3	+/-7	+/-4

En cuanto a las propiedades físicas de alabeo y variación dimensional, los resultados de la presente investigación no presentan alabeo en ningún indicador de estudio en el cual se cumplen con los requisitos exigidos por la norma técnica peruana E-070, y los resultados de variación dimensional en la investigación en todas las dosis son menores a 1 % tanto en la longitud, altura y ancho. En conclusión, de forma referencial, las UATC estabilizadas con AggreBind cumplen con los requisitos según la NTP E-070, y pueden ser usadas en la construcción de muros No Portantes.

## 4.7. CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

### 4.7.1. Cumplimiento de los objetivos específicos

“También denominados objetivos operacionales, son las estrategias para lograr el ¿Cómo? dar cumplimiento en forma coherente y ordenada al objetivo específico”. (Vitulas, 2021)

O<sub>E1</sub>: Evaluar la influencia del aditivo AggreBind en las propiedades



físicas, absorción, succión, alabeo variación dimensional y densidad de unidades de albañilería de tierra comprimida.

Previo al cumplimiento de objetivos, primero se realizó la caracterización de la tierra, donde se determinó el contenido natural de humedad en % (ver ítem 3.8.1.2, pág. 93), para el análisis granulométrico se realiza el tamizaje en mallas N 10, N 20, N 40, N 60, N 140 y N 200 (ver tabla 16, pág. 96), en los límites de consistencia se ha determinado el LL, LP e IP en % (ver ítem 3.8.1.4, pág. 96) y se realizó el ensayo Proctor modificado para determinar la humedad óptima y la densidad seca máxima (ver ítem 3.8.1.5, pág. 98). El método de producción de unidades de albañilería de tierra comprimida (UATC) se puede apreciar en el ítem 3.8.3 (ver pág. 104). Se fabricaron 75 UATC (ver tabla 22, pág. 109).

Respecto al primer objetivo específico, se realizaron ensayos para determinar las propiedades físicas de UATC. Se determinaron la rapidez inicial de absorción (succión) de las unidades con dosis de AggreBind 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup>, donde se sumerge la cara inferior de la unidad en agua por un minuto, la unidad de medida en 200g/cm<sup>2</sup>-min (ver ítem 3.9.2, pág. 113), se realizó el ensayo de absorción donde las unidades permanecieron sumergidas en agua durante 24 horas (ver ítem 3.9.1, pág. 111), en el ensayo de análisis de variación dimensional, se determinaron las medidas de la longitud, altura y ancho, unidad de medida en mm (ver ítem 3.9.3, pág. 115), respecto al ensayo de alabeo, se determinó la concavidad y convexidad de las unidades en mm (ver ítem 3.9.4, pág. 119) y la densidad de las UATC se determinó en unidades de medida g/cm<sup>3</sup> (ver ítem 3.9.5, pág. 120).

OE2: Evaluar la influencia del aditivo AggreBind en las propiedades

mecánicas, resistencia a la compresión y resistencia a flexión de unidades de albañilería de tierra comprimida.

Respecto al cumplimiento del segundo objetivo específico, se realiza el ensayo de resistencia a la compresión de las UATC con 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup> de AGB, en kg/cm<sup>2</sup> (ver ítem 3.10.1, pág. 121), los resultados de la resistencia se aprecian en la tabla 30 (ver pág. 123), y respecto al ensayo de resistencia a flexión de las UATC con 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup> de AGB, en kg/cm<sup>2</sup> (ver ítem 3.10.2, pág. 123), los resultados de esfuerzo a flexión se aprecian en la tabla 31 (ver pág. 125).

O<sub>E3</sub>: Determinar el costo de producción de unidades de albañilería de tierra comprimida con la aplicación del aditivo AggreBind.

El cumplimiento del tercer objetivo se realiza en análisis de precios unitarios de unidades de albañilería de tierra comprimida (ver ítem 4.4, pág. 195).

#### **4.7.2. Cumplimiento del 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”. (Vitulas, 2021)

O<sub>G</sub>: Evaluar la influencia del aditivo AggreBind en las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra comprimida.

Para confirmar el cumplimiento de los resultados de las propiedades físicas y mecánicas obtenidos en el laboratorio, se realiza el análisis estadístico y la comprobación de hipótesis donde se aprecia en las diferentes tablas y figuras del



capítulo IV (ver pág. 126). La cual demuestra la influencia parcial positiva del aditivo AggreBind en las unidades de albañilería de tierra comprimida, y respecto al costo de la unidad, el aditivo AggreBind incrementa el costo (ver figura 82, pág. 199).



## V. CONCLUSIONES

### 5.1. CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

- OE<sub>1</sub>: Se concluye que el aditivo AggreBind influye significativamente de forma parcial en la mejora de las propiedades físicas de las unidades de albañilería de tierra comprimida (UATC). Según los resultados, se confirma que las UATC estabilizadas con dosis 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup> de AggreBind no son resistentes al agua. Esto se demuestra en el ensayo de absorción, en la rapidez inicial de absorción (succión) si se evidencian resultados favorables disminuyendo considerablemente la succión de 62.17 a 11.65 g/200cm<sup>2</sup>-min, las unidades de albañilería de tierra comprimida no presentan alabeo en ninguna de sus caras, en el ensayo de la variación dimensional se aprecian que las variaciones son menores al 1 % en las dimensiones de longitud, altura y ancho, y la densidad máxima obtenida es de 1.55 g/cm<sup>3</sup> en las UATC estabilizadas con la dosis de 4 l/m<sup>3</sup>.
- OE<sub>2</sub>: Se concluye que el aditivo AggreBind influye significativamente en la mejora de las propiedades mecánicas de las unidades de albañilería de tierra comprimida. Las UATC estabilizadas con 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup> de AggreBind incrementan la resistencia a la compresión desde 17.32 kg/cm<sup>2</sup> hasta 22.84 kg/cm<sup>2</sup>. Se tiene una ganancia de resistencia de 32 % con la dosis de 5 l/m<sup>3</sup> respecto a 0 l/m<sup>3</sup>. En cuanto a la resistencia a flexión, al igual que en la compresión, se tiene un incremento del esfuerzo de 0.76 kg/cm<sup>2</sup> hasta 1.74 kg/cm<sup>2</sup>, una ganancia del 129 %.
- OE<sub>3</sub>: Se concluye que el costo directo de las unidades de albañilería de tierra comprimida estabilizadas con 0, 2, 3, 4 y 5 l/m<sup>3</sup> de AggreBind es de S/ 0.25, S/ 0.51, S/ 0.64, S/ 0.77 y S/ 0.90 respectivamente. El costo de una unidad de UATC estabilizada con dosis de 5 l/m<sup>3</sup> se eleva en 260 % respecto a 0 l/m<sup>3</sup>.



## 5.2. CONCLUSIÓN GENERAL

- OG: Se concluye que la aplicación del aditivo AggreBind en las unidades de albañilería de tierra comprimida influye significativamente positiva de forma parcial en las propiedades físico-mecánicas. Las propiedades de la resistencia a la compresión y flexión son avaladas estadísticamente, que presentan incrementos significativos; de igual forma, se aprecian las mejoras significativas en las propiedades de succión y densidad. Sin embargo, respecto a las propiedades de absorción, alabeo y variación dimensional, estadísticamente se confirma que no influye significativamente la aplicación del AggreBind.



## VI. RECOMENDACIONES

- Continuar la investigación para determinar la resistencia a compresión axial en pilas y resistencia a compresión diagonal en muretes, con las unidades de albañilería de tierra comprimida estabilizadas con AggreBind.
- Evaluar las propiedades de conformidad térmica y aislamiento acústico en las unidades de albañilería de tierra comprimida estabilizadas con AggreBind.
- Se recomienda investigar la aplicación del AggreBind en suelos con diferentes curvas de granulometría o suelos con pocos finos.
- Se recomienda el uso del aditivo AggreBind en suelos de arena arcillosa de baja plasticidad. Para elaborar unidades de albañilería de tierra, se evidencia que las dosificaciones mejoran las propiedades de resistencia a la compresión, flexión y succión.
- En futuras investigaciones, combinar el aditivo AggreBind con otros estabilizantes naturales como cascaras de huevo, arroz, café o estabilizantes químicos como el cemento en la elaboración de las unidades de albañilería de tierra comprimida.
- Investigar el impacto ambiental que generan los aditivos químicos, cemento, AggreBind, cal, emulsión asfáltica, C-444 y Solidry en la producción de unidades de albañilería de tierra comprimida.
- Se recomienda a la escuela profesional de ingeniería civil implementar equipos para la elaboración de unidades de albañilería de tierra comprimida y así continuar desarrollando futuras investigaciones con mayor facilidad.
- En la práctica real o en obras de viviendas sociales, se recomienda adquirir máquinas de compresión para la producción de UATC.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afanador, N., Guerrero, G., & Monroy, R. (2021). Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería. *Ciencia e ingeniería neogranadina*, pp. 43-58.  
doi:<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91125275003>
- AgeEcovias. (2023). *AgeEcovias Peru SAC*. Obtenido de <https://ageecovias.net/home.html>
- AggreBind Inc. (2023). *Mundo de AggreBind*. Obtenido de <https://aggrebind.com/>
- Alvarez. (2018). *Comparación de las propiedades mecánicas de Unidades y prismas de bloques de tierra Comprimida estabilizada con cemento y Geopolímero de puzolana*. Lima: PUCP. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/13435>
- Alvarez, F. Y., & Sifuentes, J. M. (2021). *Influencia de la ceniza de paja de trigo en las propiedades del ladrillo de arcilla, Pomabamba, Ancash - 2021*. Lima: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/64872>
- Alvarez, S. Y. (2018). *Comparación de las propiedades mecánicas de unidades y prismas de bloques de tierra comprimida estabilizada con cemento y geopolímero de puzolana*. San Miguel: PUCP. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/13435>
- Arbulú, C. (2023). Concepto de superpoblación en el diseño de experimentos geotécnicos de laboratorio - Arbulú - 2023. p. 7.  
doi:10.13140/RG.2.2.30252.44169
- Arbulú, C. (2024). Glosario de tipos y diseños de investigación. Para tesis en distintas disciplinas (Serie Metodología de la Investigación). p. 45.  
doi:10.13140/RG.2.2.27570.21444
- Arroyo, B. L., & Casas, J. M. (2023). *Mejoramiento del comportamiento mecánico de la base de afirmado mediante la aplicación del polímero AggreBind en el Camino Vecinal MD-518: Emp. PE-30 C - Tupac Amaru - Chorrillos - Tres*



- Islas, Tambopata – Madre de Dios*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10757/670434>
- ARS 670. (1996). Compressed earth blocks standards for terminology. En A. R. Standardization, *Compressed earth blocks* (págs. 21-30). brussels: CDI .
- ASTM C67 - 01. (s.f.). *Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile*. ASTM American Society for Testing and Materials.
- Astopilco, A. J. (2015). *Comparación de las propiedades físico – mecánicas de unidades de ladrillos de concreto y otros elaborados con residuos plásticos de pvc, Cajamarca, 2015*. Cajamarca. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/6650>
- Barocio, H., Flores, A., González, J., Guzmán, D., & Padilla, J. (2017). *Autoconstrucción con BTC y Jardín Comestible*. Jalisco: Universidad Jesuita de Guadalajara. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11117/5260>
- Barrera, L. G., & Buitrago, F. N. (2014). *Fabricación y reforzamiento de bloques de tierra compactada (BTC) en Bogota bajo la reutilización de las fibras de la poli sombra*. Bogotá. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11396/5182>
- Bazán, M. D. (2019). *Mejoramiento técnico económico de pavimentos con la aplicación del polímero acrílico AggreBind en la Av. Paramonga - San Martín de Porres – Lima - 2019*. Lima: Universidad César Vallejo . Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/46838>
- Bébé Ndi, C. D., Nouaye, B., Mbessa, M., & Friedman, R. D. (2022). Geotechnical characterization of an innovative soil stabilization product (Aggrebind/Road Master) usable in the construction, rehabilitation and maintenance of road infrastructure and the construction of social housing in Cameroon. *Journal of the Cameroon Academy of Sciences*, XVII(3), pp. 257-275.  
doi:<https://dx.doi.org/10.4314/jcas.v17i3.5>
- Cabo, M. (2011). *Ladrillo ecológico como Material sostenible para La construcción*. Ekaina. Obtenido de <https://academica-e.unavarra.es/handle/2454/4504>
- Cabrera, S. P., Aranda, Y. G., Suárez, E. J., & Rotondaro, R. (2020). Compressed earth



- blocks (ceb) stabilized with lime and cement. Evaluation of both their environmental impact and compressive strength. *Hábitat Sustentable*, 10(2), pp. 70 - 81. doi:10.22320/07190700.2020.10.02.05
- Calderón, J. C. (2013). *Tecnologías para la fabricación de bloques de tierra de gran resistencia*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya. Obtenido de <http://hdl.handle.net/2099.1/19817>
- Canal, N. (2006). Distribuciones de probabilidad. El teorema central del límite. *Métodos estadísticos para enfermería nefrológica*, 8(8), pp. 107-120. Obtenido de [https://formacion.seden.org/publicaciones\\_articulodet.asp?idioma=&pg=publicaciones\\_revistadet.asp&buscar=&id=122&idarticulo=1660&Datapageid=&intInicio=](https://formacion.seden.org/publicaciones_articulodet.asp?idioma=&pg=publicaciones_revistadet.asp&buscar=&id=122&idarticulo=1660&Datapageid=&intInicio=)
- Cañola, H. D., Builes, A., Medina, C. A., & González, G. E. (2018). Bloques de Tierra Comprimida (BTC) con aditivos bituminosos. *TecnoLógicas*, 21(43), pp. 135-146. doi:10.22430/22565337.1061
- Carmona, M., & Carrión, H. (2015). *Potencia de la prueba estadística de normalidad Jarque-Bera frente a las pruebas de Anderson-Darling, Jarque-Bera Robusta, Chi-Cuadrada, Chen-Shapiro y Shapiro-Wilk*. Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.11799/94337>
- Carrasco, E. L., & Tinoco, D. C. (2018). *Elaboración de ladrillos ecológicos a partir de arena de sílice y arcillas mixtas procedentes de la Compañía Minera Sierra Central S.A.C. Chacapalpa/Oroya – Yauli - Junín*. Huancayo: UNCP. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12894/5181>
- Castagnola, G. (2022). *familias peruanas sin poder acceder a una vivienda digna*. Obtenido de <https://www.apoyoconsultoria.com/es/17-millones-de-familias-peruanas-sin-poder-acceder-a-una-vivienda-digna-y-el-gobierno-sin-una-solucion-clara/#>
- CEPLAN. (2020). *Perú 2050: tendencias nacionales*. Lima: Centro Nacional de Planeamiento Estratégico. Obtenido de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3294085/CEPLAN.%20Per%C3%BA%202050.%20Tendencias%20nacionales.pdf>



- Cid, J. J. (2012). *Durabilidad de los bloques de tierra comprimida. Evaluación y recomendaciones para la normalización de los ensayos de erosión y absorción*. Madrid: UPM. doi:10.20868/UPM.thesis.14647
- Colque, C. G. (2021). *Mejora de la calidad estructural de los ladrillos artesanales de arcilla para viviendas autoconstruidas del distrito de Puno*. Puno: UNA-Puno. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/16578>
- Cornejo, A. (2019). *Evaluación comparativa de las características físico – mecánicas de unidades de ladrillo tipo King Kong de 18 huecos elaboradas en la ladrillera Latesan con arcillas y arenas de las canteras de Piñipampa y San Jerónimo-Cusco según la norma E.070*. Cusco: Universidad Andina del Cusco. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12557/3192>
- Correa, J. C., Iral, R., & Rojas, L. (2006). Estudio de potencia de pruebas de homogeneidad de varianza. *Revista Colombiana de Estadística*, 29(1), pp. 57-76. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/40268>
- Cruz, E. (2017). *Influencia del uso del cemento en la estabilización geométrica del ladrillo de tierra comprimida en albañilería no estructural en la ciudad de Juliaca*. Juliaca: UAP. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12990/3623>
- Cuno , W. K., & Hallasi , M. O. (2021). *Evaluación de las propiedades físico mecánicas de las unidades de albañilería de suelo – cemento elaboradas con la maquinaria eco premium double para su clasificacion de acuerdo a la NTP E.070 – Cusco 2020*. Cusco: Universidad Andina del Cusco. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12557/4591>
- Da Silva, A. P. (2013). *O Uso do Tijolo de Solo-Cimento na Construção civil*. Belo Horizonte: UFMG. Obtenido de <http://hdl.handle.net/1843/41997>
- Dagnino, J. (2014). Inferencia estadística: pruebas de hipótesis. *Rev. chil. anest.*, pp. 125-128. doi:<https://doi.org/10.25237/revchilanestv43n02.10>
- Donyue. (2024). *Prensa Hidráulica interbloqueo de tierra comprimida*. Obtenido de [https://es.made-in-china.com/co\\_xrmachinery/product\\_Qts2-40-Small-Manual-Hydraulic-Press-Interlock-Interlocking-Compressed-Earth-Clay-Soil-and-](https://es.made-in-china.com/co_xrmachinery/product_Qts2-40-Small-Manual-Hydraulic-Press-Interlock-Interlocking-Compressed-Earth-Clay-Soil-and-)



Cement-Brick-Block-Making-Press\_uoursyighg.html

- Estuardo, G. A. (2012). *Estadística y Probabilidades*. Concepción: Universidad católica de la santísima concepción. Obtenido de <https://jrvargas.wordpress.com/wp-content/uploads/2010/07/estadistica-y-probabilidad.pdf>
- Foster, G., Lane, D., Scott, D., Hebl, M., Guerra, R., Osherson, D., & Zimmer, H. (2018). *An introduction to psychological statistics*. EEUU: University of Missouri-St. Louis. Obtenido de <https://irl.umsl.edu/oer/4>
- FTCCP. (2024). *TABLA SALARIOS Y BENEFICIOS SOCIALES PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIÓN CIVIL*. Obtenido de EXPEDIENTE N° 235-2023-MTPE/2.14-NEC DEL 01.06.2023 AL 31.05.2024: <https://www.ftccperu.com/images/TABLAS%20SALARIALES%20PDF/Tabla%20salarial%20%202023-2024.pdf>
- Gaitan, E. (2022). *Evaluación de bloques de tierra comprimida (BTC) con fines de albañilería, Tacabamba, Chota*. Chota: UNACH. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14142/224>
- Guillén, C. A., Muciño, A., Guerrero, L. F., & Cruz, F. J. (2021). Optimization of the process of making Compressed Earth Blocks (CEB) through the granulometric control of soil particles. (U. D. Bajío, Ed.) 3(27), pp. 1-28. doi:10.21640/ns.v13i27.2891
- Gutierrez, G. A. (2023). *Influencia de la cantidad de cemento adicionado como estabilizante en la resistencia a la erosión y la capacidad de absorción de bloques de tierra fabricados con suelos del centro poblado de Salcedo, 2022-2023*. Puno: UNA de Puno. Obtenido de <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/20670>
- Guzmán, S., & Iñiguez, M. (2016). Metodología para elección de estabilizantes químicos para bloques de tierra. *Estoa, Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 5(9). doi:10.18537/est.v005.n009.12
- Hana, A. (2020a). *Symbiosis University Hospital and Research Centre*. Obtenido de <https://www.archdaily.com/962140/symbiosis-university-hospital-and-research->



centre-imk-architects?ad\_source=myad\_bookmarks&ad\_medium=bookmark-  
show&ad\_content=other-user

Hana, A. (2020b). *AWF Primary Schools in Karamoja*. Obtenido de

[https://www.archdaily.com/973792/awf-primary-schools-in-karamoja-localworks?ad\\_source=myad\\_bookmarks&ad\\_medium=bookmark-show&ad\\_content=other-user](https://www.archdaily.com/973792/awf-primary-schools-in-karamoja-localworks?ad_source=myad_bookmarks&ad_medium=bookmark-show&ad_content=other-user)

Health, T. J. (2024). *Por qué la falta de vivienda afecta la salud*. Obtenido de

<https://www.vdh.virginia.gov/content/uploads/sites/91/2020/12/Spanish-Color-Health-and-Homelessness-Poster.pdf>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico: Interamericana Editores.

Huachohuilca, G. I. (2019). *Propuesta para la elaboración de ladrillos ecológicos a partir del cartón para el mejoramiento en losas aligeradas en la provincia de Huancayo, departamento de Junín-2017*. Huancayo: Universidad Continental. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/7141>

Humpiri, C. A. (2018). *Mejoramiento del pavimento flexible aplicando aditivo AggreBind para estabilizar suelos en la calle Los Eucaliptos, en el distrito de Chaclacayo-Lima-2018*. LIMA: Universidad Privada Telesup. Obtenido de <https://repositorio.utelesup.edu.pe/handle/UTELESUP/792>

INEI. (2017). *Instituto Nacional de Estadística e Informática*. Obtenido de <https://www.gob.pe/inei/>

INEI. (2018). *Resultados Definitivos del departamento de Puno* (Vol. XII). Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática. Obtenido de [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1563/](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1563/)

IS 1725, I. (1982). *Specification for soil based blocks used in general building construction*. New Delhi: Indian standards institution.

Levene, H. (1960). *Robust tests for equality of variances*. Recuperado el 2024, de [https://es.wikipedia.org/wiki/Prueba\\_de\\_Levene](https://es.wikipedia.org/wiki/Prueba_de_Levene)



- Llopis, J. (2024). *La matemática y la estadística: una orquesta hecha instrumento*.  
Obtenido de <https://jlllopisperez.com/2013/01/28/test-lsd-least-significant-difference/>
- López, J. C., & Guerrero, C. A. (2020). *Elaboracion De Bloques Ecologicos Implementando Sistemas De Produccion Alternativos, Para La Construcción De Viviendas Sostenibles Y Sustentables*. San Juan de Pasto: Universidad Santo Tomas. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11634/29584>
- Meza, J. M. (2018). *Evaluación en ensayos de erosión acelerada aplicados a ladrillos de tierra comprimida, para la construcción de muros perimétricos en Huancayo*. Huancayo: UNCP. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12894/4697>
- Montgomery, D. C. (2013). *Desing and analysis of experiments* (Eighth ed.). New York: Wiley.
- MTC E 1109. (2004). *Norma técnica de estabilizadores químicos*. Lima.
- Namango, S., Starovoytova, D., Makokha, A., & Ataro, E. (2015). A Model for Testing Compressive and Flexural Strength of Sisal Fibre Reinforced Compressed Earth Blocks in the Absence of Laboratory Facilities. *International Journal for Innovation Education and Research*, III(3). doi:10.31686/ijer.vol3.iss3.333
- Naso. (16 de mayo de 2022). *Casa Martha, la obra de Naso en México que se creó con bloques de tierra comprimida*. Obtenido de <https://www.admagazine.com/articulos/casa-martha-la-obra-de-naso-con-bloques-de-tierra-comprimida>
- NBR 8491, A. (2012). *Tijolo de solo-cemento - Requisitos*. Rio de Janeiro: Associacao Brasileira de Normas Técnicas.
- NTC 5324, N. (2004). *Bloques de suelo cemento para muros y divisiones*. Bogotá: ICONTEC.
- NTP 331.017. (2015). *Unidades De Albañilería. Ladrillos de arcilla usados en albañilería. Requisitos* (Segunda ed.). Lima: Inacal. Obtenido de [file:///C:/Users/OMEN/Downloads/toaz.info-ntp-331017-unidades-de-albaileria-ladrillos-de-arcilla-requisitos-1-pr\\_be9ae02db9b3af3dbc001a93b76fd40a.pdf](file:///C:/Users/OMEN/Downloads/toaz.info-ntp-331017-unidades-de-albaileria-ladrillos-de-arcilla-requisitos-1-pr_be9ae02db9b3af3dbc001a93b76fd40a.pdf)



- NTP 399.613, N. (2005). *Norma Técnica Peruana: Unidades De Albañilería. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería*. Lima.
- NTP E-070, P. (2019). *Reglamento Nacional de Edificaciones-Perú*. Lima.
- ONU-HÁBITAT. (2024). *ONU-HABITAT EN ESPAÑA*. Obtenido de ONU-Hábitat: «318 millones de personas en el mundo carecen de hogar»:  
<https://www.abc.es/antropia/onuhabitat318-millones-personas-mundo-carecen-hogar-20231004065222-nt.html>
- Ortega, C. (2024). *Análisis estadístico*. Obtenido de  
<https://www.questionpro.com/blog/es/analisis-estadistico>
- Ortiz , J. S. (2021). *Influencia de la aplicación del polímero acrílico AggreBind para estabilización de la subrasante, Jr. Brasil, Villa María, Nuevo Chimbote, 2021*. Lima: UCV. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/84978>
- Peralta, J., & Mestas, R. F. (2017). *Propuesta arquitectónica de viviendas progresivas a través del emprendimiento inmobiliaria, frente al crecimiento urbano marginal en la ciudad de Puno*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano de Puno. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/5304>
- Pérez, C. (2016). *Construcción con tierra: Analisis, conservación y mejora*. Barcelona: Departamento de Tecnología de la Arquitectura. Obtenido de <http://hdl.handle.net/2117/107822>
- Quijano, A. E., & Gamarra, H. A. (2022). *Estudio del mejoramiento de propiedades físicas y mecánicas del adobe agregando adiciones naturales en su proceso de fabricación*. Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12423/5103>
- Quiróz, I. (2023). Bloques de tierra comprimida estabilizados con cal: un proceso de investigación acción articulado y colaborativo sobre un material de construcción ecológico y la vivienda bioclimática. *Fundación Pro-Hábitat*, pp. 1-18. Obtenido de [https://prohabitatbolivia.org/fph/wp-content/uploads/2024/01/MEMORIA-BLOQUES-DE-TIERRA-COMPRIMIDA-ESTABILIZADOS-CON-CAL\\_compressed.pdf](https://prohabitatbolivia.org/fph/wp-content/uploads/2024/01/MEMORIA-BLOQUES-DE-TIERRA-COMPRIMIDA-ESTABILIZADOS-CON-CAL_compressed.pdf)



- Ramírez, M. I. (2018). *Influencia del tiempo de exposición al agua en la resistencia a la compresión ( $f'm$ ) de prismas de albañilería fabricados con ladrillos artesanales e industriales de arcilla en la ciudad de Arequipa*. Arequipa: Universidad Católica de Santa María. Obtenido de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/8381>
- Restrepo, J. C., Restrepo, O. J., & Tóbon, J. I. (2014). Reducción de CO2 en la industria cementera por medio de procesos. *Revista Colombiana de Materiales*(5), pp. 54-60. doi:<https://doi.org/10.17533/udea.rcm.19340>
- Ríos, E. Y. (2010). *Efecto de la adición de latex natural y jabón en la resistencia mecánica y absorción del adobe compactado*. Oaxaca: Instituto Politécnico Nacional. Obtenido de [http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/handle/LITER\\_CIIDIROAX/117](http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/handle/LITER_CIIDIROAX/117)
- Rivera, J. C. (2012). El adobe y otros materiales de sistemas constructivos en tierra cruda: caracterización con fines estructurales. *Estudios Sobre Patrimonio Cultural*, 25(2), pp. 164-181. Obtenido de <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/revApuntesArq/article/view/8763/6974>
- Robles, A. (2022). *Elaboración de bloques de adobe con fibras de bagazo de caña y agregado de nopal para mejorar la resistencia a compresión y durabilidad*. Villa de Álvarez: Instituto Tecnológico de Colima. Obtenido de <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/6063>
- Rodó, P. (2024). *Distribución normal*. Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/distribucion-normal.html>
- Rodríguez, S. A. (2021). *Evaluación de las propiedades mecánicas de ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida elaborados con arcillas de la ciudad de Puno*. Puno: UNA. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/17304>
- Rojas, F. (2016). *Metodología de la Investigación para Ingeniería Civil*. Puno.
- Romero, J. A., & Frías, A. X. (2021). *Determinación de la resistencia a compresión de ladrillos macizos fabricados con diferentes tipos de arcilla del Cantón Pastaza y*



- su comparación con el ladrillo común*. Ambato. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/33092>
- Romero, M. (2016). Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal. *Enfermería del Trabajo*, pp. 105-114. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5633043>
- Roux, R. S., & Espuna, J. A. (2012). *Bloques de Tierra Comprimida adicionados con fibras naturales*. Tamaulipas: PyV. Obtenido de <https://libros.uat.edu.mx/index.php/librosuat/catalog/book/29>
- San Bartolomé, A. (1994). *Construcciones de albañilería - comportamiento sísmico y diseño estructural*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Sanchez, J. E., & Vasquez, J. K. (2019). *Comparación de las propiedades físicas y mecánicas de un ladrillo de tierra comprimida cocido en horno artesanal e industrial, Trujillo 2019*. Trujillo: UPN. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/22451>
- Sharma, V., Marwaha, B., & Vinayak, H. (2016). Enhancing durability of adobe by natural reinforcement for propagating sustainable mud housing. *International Journal of Sustainable Built Environment*, pp. 141-155.  
doi:10.1016/j.ijjsbe.2016.03.004
- Statologos. (08 de 2023). *Prueba de Dunnett*. Obtenido de ANOVA: <https://statologos.com/>
- Suca, N. L. (2020). *Metodología de la investigación científica y tecnológica en la ingeniería civil*. Puno.
- Torregrosa, A. B. (2018). *Así nació AggreBind, para contribuir con el desarrollo de los pueblos del mundo*. Obtenido de <https://docplayer.es/81801049-Asi-nacio-aggrebind-para-contribuir-con-el-desarrollo-de-los-pueblos-del-mundo.html>
- Torres, W. E. (2021). *Análisis de propiedades mecánicas de bloques de tierra comprimida (btc) usando ceniza de bagazo de caña de azúcar (cba) como adición*. Loja: UIDE. Obtenido de <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/4793>



- UNE 41410, U. (2008). Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques  
Definiciones, Especificaciones y métodos de ensayo. España.
- UNESCO. (2013). *Earthen architecture in today's world. Salle XI – Paris*. Francia.
- UN-HABITAT. (1996). *United Nations Centre for Human Settlements (Hábitat):  
Informe Mundial sobre los Asentamientos Humanos*. ISBN 92-1-331015-3.
- Velásquez, O. F., & Avalos, D. H. (2018). *Evaluación de las propiedades físico-  
mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San  
Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018*.  
Cusco: Universidad Andina del Cusco. Obtenido de  
<https://hdl.handle.net/20.500.12557/2271>
- Vilcas, C. V. (2020). *Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de bloques  
de tierra comprimida con adición de mucílago de nopal*. Huancayo: Universidad  
Continental. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/8433>
- Vitulas, Y. T. (2021). *Estudio de la Ch'ampa como tecnología tradicional y  
medioambiental en la construcción de viviendas rurales tipo Putucos, región  
Puno*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano de Puno. Obtenido de  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/17513>
- Vizarreta, R. (2022). *Comparación de ladrillo artesanal en sus propiedades físico -  
mecánicas en el distrito de Juliaca – Puno, 2021*. Lima: UCV. Obtenido de  
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/87406>
- XP P 13-901, N. (2001). *Blocs de terre comprimeé pour murs et cloisons*. Saint-Denis:  
AFNOR.
- Zavaleta, D. C. (2021). *Reforzamiento estructural para muros construidos con bloques  
estabilizados de tierra comprimida: metodología para análisis experimental*.  
Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de  
<http://hdl.handle.net/20.500.12404/20137>



## ANEXOS

**ANEXO 1:** Matriz de consistencia del proyecto de investigación

**ANEXO 2:** Certificados de los ensayos realizados en laboratorio

**ANEXO 3:** Certificados de calibración de equipo

**ANEXO 4:** Tablas estadísticas

**ANEXO 5:** Certificados del aditivo AggreBind



## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Javier Limachi Choque,  
identificado con DNI 73265472 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Civil

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

"Influencia del aditivo Aggrebind en las propiedades  
Físico-mecánicas de unidades de albañilería de  
tierra comprimida, Paucarcolla, Puno 2023"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como suyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 20 de agosto del 20 24

FIRMA (obligatoria)



Huella



### AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Javier Limachi Choque,  
identificado con DNI 73265472 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Civil,  
informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“ Influencia del Aditivo AggieBind en las Propiedades Físico-mecánicas de unidades de albañilería de Tierra Comprimida, Pucallpa, Puno 2023 ”

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 20 de agosto del 20 24

FIRMA (obligatoria)



Huella