



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



**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**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. GARY ANATOLY GUTIERREZ VILLEGAS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2023



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

INFLUENCIA DE LA CANTIDAD DE CEMENTO ADICIONADO COMO ESTABILIZANTE EN LA RESISTENCIA A LA EROSIÓN Y

AUTOR

GARY ANATOLY GUTIERREZ VILLEGAS

RECuento DE PALABRAS

48385 Words

RECuento DE CARACTERES

255058 Characters

RECuento DE PÁGINAS

246 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

5.7MB

FECHA DE ENTREGA

Oct 4, 2023 9:43 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Oct 4, 2023 9:45 PM GMT-5

● 15% de similitud general

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

- 13% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 10% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)


Silvia Leonor Ingalaque Arapa
Codigo : 2170515
Director de Tesis


Ing. Silvia Leonor Ingalaque Arapa
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 2170515

V°B° 
Ing. Emilio Castillo Aroni
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 20514

Resumen



DEDICATORIA

A mi abuela Luzmila por todo su amor que desde el cielo ha sido apoyo y refugio emocional en mis momentos más difíciles.

A mi abuelo Grimaldo por toda su fuerza, responsabilidad, cariño, comprensión y apoyo en cada etapa de mi vida.

A mi madre Juana por ser el pilar familiar e impulsarme a lograr mis objetivos con responsabilidad. Por su cariño, comprensión, apoyo y sacrificios estaré eternamente agradecido.

A mi padre Abel por su cariño, guía y consejos; por la paciencia, confianza en mi juicio y sobre todo por creer en mí.

A mis hermanos Abel y Yury por ser cómplices, amigos, confidentes, guías y consejeros a lo largo de toda mi vida.

A mis sobrinas Alejandra y Mikella por ser detonantes de momentos de felicidad mostrándome el lado más dulce de la vida.

A Paola por brindarme su amistad, apoyo y motivación de manera incondicional.

A Dunia, Henry y Ronald por su amistad sincera.

Gary Anatoly Gutierrez Villegas



AGRADECIMIENTOS

Al Todopoderoso por darme salud y fuerza para culminar cada paso de esta investigación.

A mi asesora y al jurado dictaminador por su guía, recomendaciones y exigencia para el desarrollo de la presente investigación.

A los ingenieros de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por contribuir a mi formación profesional desinteresadamente.

Un agradecimiento especial a los Ing. Silvia Ingaluque, Ing. Samuel Laura, Ing. Darwin Quenta e Ing. Tania Zapata, no solo por brindarme su conocimiento y experiencia sino también por su amistad sincera.

Gary Anatoly Gutierrez Villegas



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN..... 21

ABSTRACT 22

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 24

1.1.1. Identificación del problema 24

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 25

1.2.1. Enunciados del problema 25

1.2.2. Pregunta general..... 26

1.2.3. Preguntas específicas 26

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN..... 27

1.3.1. Hipótesis General..... 27

1.3.2. Hipótesis específicas 27

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO..... 28

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 30

1.5.1. Objetivo General 30

1.5.2. Objetivos específicos 30



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO	33
2.1.1. Normativa relacionada con la construcción con tierra.....	33
2.1.2. Normatividad en la presente investigación	35
2.1.2.1. Referente al Ensayo de Erosión por pulverizado	35
2.1.2.2. Referente al Ensayo de Erosión por caída de agua	36
2.1.2.3. Referente al ensayo de Erosión por congelamiento y deshielo..	37
2.1.2.4. Referente al ensayo de Absorción capilar	37
2.1.2.5. Referente al ensayo de Absorción por inmersión.....	38
2.1.3. Antecedentes	38
2.2. MARCO CONCEPTUAL	45
2.2.1. Uso histórico de la tierra como material de construcción.....	45
2.2.2. La tierra como material de construcción en el Perú.....	49
2.2.3. Técnicas constructivas con tierra en la actualidad	56
2.2.3.1. Los bloques de tierra comprimida.....	57
2.2.3.2. Tapia o Tapial.....	58
2.2.3.3. El adobe o bloque de tierra.....	60
2.2.3.4. Extrusión	61
2.2.3.5. El Cob.....	62
2.2.4. Bloques de tierra o adobe.....	65
2.2.4.1. Composición del suelo para elaboración de bloques de tierra ...	70
2.2.4.1.1. Limos.....	71
2.2.4.1.2. Arcillas	72
2.2.4.1.3. Agua	73



2.2.4.1.4. Agregado fino (Arenas).....	75
2.2.5. Estabilización de suelos	76
2.2.5.1. Estabilización mecánica	76
2.2.5.2. Estabilización química	77
2.2.5.3. Estabilización física	78
2.2.6. Suelo-cemento en la fabricación de bloques de tierra.....	80
2.2.6.1. Cemento Portland.....	80
2.2.6.1.1. Clinker	80
2.2.6.1.2. Componentes principales del cemento portland.....	81
2.2.6.2. Suelo para fabricación de bloques de tierra estabilizados.....	83
2.2.6.2.1. Suelos finos	84
2.2.6.2.2. Suelos gruesos	84
2.2.6.2.3. Suelos aptos para la mezcla suelo-cemento.....	85
2.2.7. Durabilidad de los bloques de tierra	88
2.2.7.1. Durabilidad Física	88
2.2.7.2. Durabilidad Química	88
2.2.7.3. Durabilidad Biológica	89
2.2.8. Propiedades asociadas a la durabilidad de los bloques de tierra.....	90
2.2.8.1. Resistencia a la erosión húmeda.....	91
2.2.8.2. Resistencia a la erosión por desgaste.	91
2.2.8.3. Resistencia a la erosión congelamiento y deshielo	92
2.2.8.4. Capacidad de Absorción.....	92
2.2.8.5. Capacidad de succión capilar	93
2.2.9. Factores asociados al deterioro de los bloques de tierra	94



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO	96
3.2. PERÍODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO	97
3.3. PROCEDENCIA DEL MATERIAL UTILIZADO.....	98
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO	100
3.4.1. Población.....	100
3.4.2. Muestra.....	100
3.4.3. Elaboración y/o fabricación de las muestras.....	101
3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO.....	109
3.6. PROCEDIMIENTOS	110
3.6.1. Tipo de estudio.....	110
3.6.2. Nivel de investigación.....	110
3.6.3. Diseño del estudio.....	111
3.6.4. Fases para el desarrollo de la investigación	111
3.7. VARIABLES	113
3.7.1. Operacionalización de variables	113
3.7.2. Técnicas, estrategias, instrumentos y materiales (TEIM).....	114
3.7.3. Recolección de datos basado en objetivos específicos	115
3.8. ANÁLISIS DE RESULTADOS	118
3.8.1. Prueba de la botella (ensayo in-situ).....	118
3.8.2. Prueba de la cinta de barro (ensayo in situ)	119
3.8.3. Prueba de presencia de arcilla (ensayo in situ)	120
3.8.4. Límites de consistencia	121
3.8.4.1. Normativa de los ensayos.....	121



3.8.4.2. Fundamento matemático	121
3.8.5. Análisis granulométrico por tamizado	122
3.8.5.1. Normativa de los ensayos.....	123
3.8.5.2. Fundamento	123
3.8.6. Ensayo de erosión acelerada por pulverizado	124
3.8.6.1. Normativa relacionada	124
3.8.6.2. Fundamento	124
3.8.7. Ensayo de erosión por caída de agua	125
3.8.7.1. Normativa relacionada	125
3.8.7.2. Fundamento.....	125
3.8.8. Ensayo de erosión por ciclos de congelamiento y deshielo	126
3.8.8.1. Normativa relacionada	126
3.8.8.2. Fundamento.....	127
3.8.9. Ensayo de absorción capilar.....	127
3.8.9.1. Normativa relacionada	128
3.8.9.2. Fundamento	128
3.8.10. Ensayo de absorción por inmersión	129
3.8.10.1. Normativa relacionada	129
3.8.10.2. Fundamento.....	129

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS	131
4.1.1. Prueba de la botella (ensayo in-situ).....	131
4.1.2. Prueba de la cinta de barro (ensayo in situ)	133
4.1.3. Prueba de presencia de arcilla (ensayo in situ)	135



4.1.4. Límites de consistencia	136
4.1.4.1. Ensayo de laboratorio.....	136
4.1.5. Análisis granulométrico por tamizado	136
4.1.5.1. Ensayo de laboratorio.....	136
4.1.6. Ensayo de erosión acelerada por pulverizado	139
4.1.6.1. Ensayo de laboratorio.....	139
4.1.7. Ensayo de erosión por caída de agua	151
4.1.7.1. Ensayo de laboratorio.....	151
4.1.8. Ensayo de erosión por ciclos de congelamiento y deshielo	163
4.1.8.1. Ensayo de laboratorio.....	163
4.1.9. Ensayo de absorción capilar.....	174
4.1.9.1. Ensayo de laboratorio.....	174
4.1.10. Ensayo de absorción por inmersión total	182
4.1.10.1. Ensayo de laboratorio.....	182
4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	184
4.2.1. Límites de consistencia	184
4.2.1.1. Cumplimiento de Objetivo Específico N° 01 – 1ra parte.....	184
4.2.2. Clasificación de suelos SUCS - ASTM	186
4.2.2.1. Cumplimiento de Objetivo Específico N° 01 – 2da parte	186
4.2.2.2. Discusión de la clasificación de suelos obtenida	188
4.2.3. Resistencia a la erosión por pulverizado.....	190
4.2.3.1. Cumplimiento de Objetivo específico N° 02.....	190
4.2.3.2. Prueba de hipótesis específica N° 01.....	194
4.2.4. Resistencia a la erosión por caída de agua.....	199
4.2.4.1. Cumplimiento de Objetivo específico N° 03.....	199



4.2.4.2. Prueba de Hipótesis específica N° 02.....	202
4.2.5. Resistencia a la erosión por ciclos de congelamiento y deshielo.....	207
4.2.5.1. Cumplimiento de Objetivo específico N° 04.....	207
4.2.5.2. Prueba de Hipótesis específica N° 03.....	212
4.2.6. Capacidad de absorción capilar de agua	217
4.2.6.1. Cumplimiento de Objetivo específico N° 05.....	217
4.2.6.2. Prueba de Hipótesis específica N° 04.....	218
4.2.7. Capacidad de absorción de agua por inmersión total.....	223
4.2.7.1. Cumplimiento de Objetivo Específico N° 06.....	223
4.2.7.2. Prueba de Hipótesis Específica N° 05	224
4.2.8. Evaluación y determinación del porcentaje óptimo de cemento.....	228
4.2.8.1. Cumplimiento de Objetivo Específico N° 07	228
V. CONCLUSIONES.....	232
VI. RECOMENDACIONES	236
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	238
ANEXOS.....	246

ÁREA: Construcciones

TEMA: Durabilidad de bloques de tierra estabilizados

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Construcciones y Gerencia

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 16 de octubre del 2023



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Edificios de tierra en Fujian	46
Figura 2 Ilustración de la construcción de la muralla china	47
Figura 3 Edificaciones construidas con tierra.....	48
Figura 4 Zonas en el mundo con construcciones hechas con tierra.....	49
Figura 5 Ciudad Sagrada de Caral	51
Figura 6 Ciudadela de Chan-Chan.....	51
Figura 7 Tipología posible de viviendas de la cultura Wankarani	52
Figura 8 Chullpas de Sillustani.....	53
Figura 9 Qullcas o viviendas de Wankarani	54
Figura 10 Viviendas tipo putuco de los Chipaya.....	54
Figura 11 Viviendas de Umasuyo.....	55
Figura 12 Disco de las técnicas constructivas con tierra	56
Figura 13 Estadística de viviendas particulares según material de paredes	63
Figura 14 Material predominante en paredes exteriores 2007-2017	64
Figura 15 Evolución hipotética de las formas del adobe	66
Figura 16 Secuencia de pasos en la elaboración del adobe	66
Figura 17 Composición del suelo para extracción y uso en construcción	68
Figura 18 Perfil del suelo según horizontes.....	69
Figura 19 Estructura de partículas estabilizadas.....	84
Figura 20 Ubicación geográfica del estudio	96
Figura 21 Cronograma de avance del estudio.....	97
Figura 22 Localización del material utilizado	99
Figura 23 Ubicación de suelos para fabricación de bloques.....	99
Figura 24 Extracción de suelos para la fabricación de bloques.....	103



Figura 25 Preparación para mezcla de suelos	103
Figura 26 Mezcla seca de suelos en proporción	104
Figura 27 Hidratación para mezclado y amasado inicial.....	104
Figura 28 Estabilización física de suelos	105
Figura 29 Fraccionamiento de la masa primaria.....	105
Figura 30 Adición de cemento y amasado secundario	106
Figura 31 Masa final estabilizada y amasada	106
Figura 32 Preparación del terreno para secado de muestras.....	107
Figura 33 Moldeo de bloques	107
Figura 34 Secado de los bloques de tierra	108
Figura 35 Producción total de bloques de tierra	108
Figura 36 Fases de la Investigación.....	112
Figura 37 Criterio de evaluación visual, prueba de la botella	118
Figura 38 Prueba de presencia de arcilla	120
Figura 39 Equipo y/o accesorios para determinar la curva granulométrica.	123
Figura 40 Prueba de la botella	133
Figura 41 Prueba de cinta de barro suelos S-01, S-02 y S-03	133
Figura 42 Bolas de arcilla: S-01, S-02 y S-03	135
Figura 43 Curva Granulométrica de suelos S-01, S-02 y S-03.....	138
Figura 44 Equipo y accesorios para ensayo de erosión por pulverizado.....	140
Figura 45 Erosión por pulverizado: Bloques N Cara A.....	141
Figura 46 Erosión por pulverizado: Bloques N Cara B.....	142
Figura 47 Erosión por pulverizado: Bloques P Cara A	143
Figura 48 Erosión por pulverizado: Bloques P Cara B.....	144
Figura 49 Erosión por pulverizado: Bloques S Cara A	145



Figura 50 Erosión por pulverizado: Bloques S Cara B.....	146
Figura 51 Erosión por pulverizado: Bloques T Cara A	147
Figura 52 Erosión por pulverizado: Bloques T Cara B	148
Figura 53 Erosión por pulverizado: Bloques U Cara A	149
Figura 54 Erosión por pulverizado: Bloques U Cara B.....	150
Figura 55 Ensayo de erosión por caída de agua	152
Figura 56 Penetración por caída de agua: Bloques N cara A	153
Figura 57 Daños en Bloques N testa A.....	153
Figura 58 Penetración por caída de agua: Bloques N cara B	154
Figura 59 Daños en Bloques N testa B.....	154
Figura 60 Penetración por caída de agua: Bloques P cara A.....	155
Figura 61 Daños en Bloques P testa A	155
Figura 62 Penetración por caída de agua: Bloques P cara B	156
Figura 63 Daños en Bloques P testa B.....	156
Figura 64 Penetración por caída de agua: Bloques S cara A.....	157
Figura 65 Daños en Bloques S testa A	157
Figura 66 Penetración por caída de agua: Bloques S cara B	158
Figura 67 Daños en Bloques S testa B.....	158
Figura 68 Penetración por caída de agua: Bloques T cara A.....	159
Figura 69 Daños en Bloques T testa A	159
Figura 70 Penetración por caída de agua: Bloques T cara B	160
Figura 71 Daños en Bloques T testa B	160
Figura 72 Penetración por caída de agua: Bloques U cara A	161
Figura 73 Daños en Bloques U testa A.....	161
Figura 74 Penetración por caída de agua: Bloques U cara B	162



Figura 75 Daños en Bloques U testa B	162
Figura 76 Bloques N: ciclos de congelamiento - deshielo	166
Figura 77 Bloques P: ciclos de congelamiento - deshielo	167
Figura 78 Bloques S: ciclos de congelamiento - deshielo	168
Figura 79 Bloques T: ciclos de congelamiento - deshielo.....	169
Figura 80 Bloques U: ciclos de congelamiento – deshielo.....	170
Figura 81 Ensayo de capacidad de absorción capilar	174
Figura 82 Bloques N: Huella capilar	177
Figura 83 Bloques P: Huella capilar	178
Figura 84 Bloques S: Huella capilar	179
Figura 85 Bloques T: Huella capilar.....	180
Figura 86 Bloques U: Huella capilar	181
Figura 87 Absorción por inmersión total de Bloques N	183
Figura 88 Absorción por inmersión total de Bloques P.....	183
Figura 89 Absorción por inmersión total de Bloques S, T y U	184
Figura 90 Áreas recomendadas para selección de técnica constructiva	186
Figura 91 Carta de plasticidad según límites de Atterberg.....	188
Figura 92 Comparación de penetración por pulverizado en bloques	191
Figura 93 Comparación de penetración según la cara ensayada	192
Figura 94 Aceptación de muestras ensayadas	193
Figura 95 Pérdida de material por erosión por pulverizado	193
Figura 96 Porcentaje de bloques según índice de erosión	194
Figura 97 Penetración por pulverizado por tipo de bloque.....	198
Figura 98 Comparación de penetración por caída de agua.....	199
Figura 99 Comparación de penetración por caída de agua según la cara ensayada	200



Figura 100 Aceptación de muestra según cara ensayada.....	201
Figura 101 Comparación de porcentaje de pérdida de material por caída de agua	201
Figura 102 Penetración por caída de agua según tipo de bloque.....	206
Figura 103 Variación de peso de bloques N	207
Figura 104 Variación de peso de bloques P.....	208
Figura 105 Variación de peso de bloques S.....	209
Figura 106 Variación de peso de bloques T	210
Figura 107 Variación de peso de bloques U	211
Figura 108 Comparación de variación de peso de bloques por tipo.....	212
Figura 109 Porcentaje de material perdido según tipo de bloque.....	216
Figura 110 Coeficientes de absorción capilar por tipo de bloque	217
Figura 111 Coeficiente de absorción capilar	222
Figura 112 Absorción por inmersión total según tipo de bloques.....	223
Figura 113 Distribución de absorción por inmersión total según tipo de bloque	228
Figura 114 Desempeño por tipo de bloque.....	230



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Normativas relacionadas a materiales de tierra	34
Tabla 2 Normatividad ensayo de erosión por pulverizado	36
Tabla 3 Normatividad ensayo de erosión por caída de agua	36
Tabla 4 Normatividad ensayo de erosión por congelamiento y deshielo	37
Tabla 5 Normatividad ensayo de absorción capilar	37
Tabla 6 Normatividad ensayo de absorción por inmersión	38
Tabla 7 Requerimientos de la composición del agua.....	74
Tabla 8 Requisitos granulométricos para agregados finos	76
Tabla 9 Parámetros granulométricos para suelo-cemento	85
Tabla 10 Límites de consistencia para suelo-cemento.....	85
Tabla 11 Límites granulométricos para mezclas de suelo cemento.....	87
Tabla 12 Cuantificación de la muestra.....	100
Tabla 13 Cantidad de muestras según ensayo.....	101
Tabla 14 Operacionalización de variables	113
Tabla 15 Técnicas, estrategias y procedimientos.....	115
Tabla 16 Herramientas, materiales de control y recursos	115
Tabla 17 Recolección de datos por objetivo específico.....	116
Tabla 18 Rango de Contenido de Arcilla.....	119
Tabla 19 Normativa para ensayos de límites de consistencia.....	121
Tabla 20 Normativa para ensayos del análisis granulométrico	123
Tabla 21 Normativa para el ensayo de erosión por pulverizado.....	124
Tabla 22 Evaluación de resistencia a la erosión por pulverizado	125
Tabla 23 Normativa para el ensayo de erosión por caída de agua.....	125
Tabla 24 Evaluación de resistencia a la erosión por caída de agua	126



Tabla 25 Normativa para el ensayo de erosión por ciclos de congelamiento	127
Tabla 26 Normativa para el ensayo de absorción capilar	128
Tabla 27 Evaluación por coeficiente de capilaridad	129
Tabla 28 Normativa para el ensayo de absorción por inmersión total.....	129
Tabla 29 Evaluación de absorción por inmersión total.....	130
Tabla 30 Prueba de la botella: Suelo S-01	131
Tabla 31 Prueba de la botella: Suelo S-02	132
Tabla 32 Prueba de la botella: Suelo S-03	132
Tabla 33 Evaluación de cinta de barro: S-01	134
Tabla 34 Evaluación de cinta de barro: S-02	134
Tabla 35 Evaluación de cinta de barro: S-03	134
Tabla 36 Prueba de presencia de arcilla.....	135
Tabla 37 Resultados de los ensayos de LL, LP e IP	136
Tabla 38 Análisis granulométrico Tamiz ASTM: S-03.....	136
Tabla 39 Resumen de análisis granulométrico por hidrómetro.	137
Tabla 40 Resultados de ensayo de erosión por pulverizado	139
Tabla 41 Resultados de ensayo de erosión por caída de agua	151
Tabla 42 Resultados de ensayo de erosión por congelamiento y deshielo	164
Tabla 43 Bloques N: Duración de secado post ensayo	171
Tabla 44 Bloques P: Duración de secado post ensayo.....	171
Tabla 45 Bloques S: Duración de secado post ensayo.....	172
Tabla 46 Bloques T: Duración de secado post ensayo	172
Tabla 47 Bloques U: Duración de secado post ensayo	173
Tabla 48 Resultados de ensayo de Absorción capilar.....	175
Tabla 49 Resultados de ensayo de absorción por inmersión total	182



Tabla 50 Comparación de LL, LP e IP de investigaciones similares	185
Tabla 51 Clasificación de suelo según SUCS.....	187
Tabla 52 Contenido de finos en investigaciones de tierra cruda	189
Tabla 53 Resumen de resultados de ensayos según tipo de bloque.....	228
Tabla 54 Desempeño general por tipo de bloque.....	229
Tabla 55 Comparación de resultados con otras investigaciones similares	231



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ARS	:	African Regional Standard.
ASTM	:	American Society for Testing and Materials.
BTC	:	Bloque de Tierra Comprimida
INEI	:	Instituto Nacional de Estadística e Informática.
IBIS	:	Indian Bureau of Indian Standards.
KEBS	:	Kenya Bureau of Standards.
LL	:	Límite Líquido.
LP	:	Límite Plástico.
NBR	:	Norma Brasileira.
NTC	:	Norma Técnica Colombiana.
NTP	:	Norma Técnica Peruana.
NZS	:	Standards New Zealand.
SLS	:	Sri Lanka Standards
UNE	:	Asociación Española de Normalización
VD	:	Variable Dependiente
VI	:	Variable Independiente
VIT	:	Variable Interviniente



RESUMEN

Actualmente se vienen desarrollando y ejecutando investigaciones sobre la mejora de las propiedades mecánicas de bloques de tierra cruda adicionando estabilizantes como el cemento. Esta investigación tiene como objetivo principal evaluar la influencia de la cantidad de cemento utilizado 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, ubicado en Puno. Se plantea la hipótesis de que la cantidad de cemento ejerce un impacto significativo en estas propiedades y se busca identificar un porcentaje óptimo de cemento. El enfoque metodológico adoptado es de carácter experimental, con un diseño cuantitativo de tipo observacional, prospectivo y transversal. Se produjeron bloques de tierra utilizando cinco diferentes proporciones de cemento adicionado como estabilizante: 0%, 5%, 10%, 15% y 20%. La recolección de datos comprendió ensayos exhaustivos, incluyendo erosión por pulverizado de agua a presión, erosión por caída de agua y erosión por ciclos de congelamiento y deshielo. Además, se evaluó la capacidad de absorción capilar y por inmersión total de los bloques. Los resultados obtenidos indicaron que el porcentaje óptimo de cemento adicionado fue del 15%. Con este nivel de estabilización, se logró una reducción significativa en la erosión y la pérdida de material en comparación con los bloques convencionales. Además, estos bloques presentaron una mayor resistencia a condiciones climáticas adversas, como lluvias intensas, granizo, vientos fuertes y heladas.

Palabras claves: Durabilidad, bloques estabilizados, suelo cemento, construcción tradicional, propiedades físicas.



ABSTRACT

Currently, research is being developed and carried out on the improvement of the mechanical properties of raw earth blocks by adding stabilizers such as cement. The main objective of this research is to evaluate the influence of the amount of cement used as a stabilizer on the erosion resistance and absorption capacity of earth blocks made with soils from the Salcedo town center, located in Puno. It is hypothesized that the amount of cement has a significant impact on these properties and an optimum cement percentage is sought to be identified. The methodological approach adopted is experimental, with a quantitative observational, prospective and cross-sectional design. Soil blocks were produced using five different proportions of cement added as stabilizer: 0%, 5%, 10%, 15% and 20%. Data collection involved extensive testing, including erosion by pressurized water spray, erosion by water fall, and erosion by freeze-thaw cycles. In addition, the capillary and total immersion absorption capacity of the blocks was evaluated. The results obtained indicated that the optimum percentage of cement added was 15%. With this level of stabilization, a significant reduction in erosion and loss of material was achieved in comparison with conventional blocks. In addition, these blocks were more resistant to adverse weather conditions, such as heavy rains, hail, strong winds and frost.

Keywords: Durability, stabilized blocks, soil cement, traditional construction, physical properties.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La construcción sostenible y la búsqueda de alternativas eco amigables en el ámbito de la ingeniería civil han generado un creciente interés en los materiales de construcción naturales. En este contexto, los bloques de tierra estabilizados con cemento han surgido como una prometedora solución debido a su bajo impacto ambiental, su disponibilidad y su potencial como una opción económica en la industria de las edificaciones.

Esta investigación se centra en evaluar la influencia de la cantidad de cemento adicionado en la fabricación de bloques de tierra, específicamente la influencia de este en la condición de resistencia a la erosión y capacidad de absorción. El objetivo principal es investigar cómo la adición de diferentes cantidades de cemento influye en estas propiedades, con el fin de determinar el porcentaje óptimo que cumple con los criterios de aceptación y mejora el desempeño de los bloques de tierra.

Para analizar la resistencia a la erosión, se llevaron a cabo tres ensayos diferentes: erosión por pulverizado, erosión por caída de agua y erosión por ciclos de congelamiento. Estos ensayos permitieron evaluar el comportamiento de los bloques frente a diferentes tipos de erosión y determinar si la adición de cemento influye en la resistencia a estos procesos erosivos.

Además, se realizaron ensayos de capacidad de absorción, específicamente absorción capilar y absorción por inmersión total en agua. Estas pruebas permitieron analizar cómo la adición de cemento influye en la capacidad de los bloques para absorber agua y evaluar si se cumplen los criterios de aceptación establecidos para la elaboración de bloques de tierra.



1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1. Identificación del problema

Utilizar bloques de tierra es una práctica muy extendida en la edificación de viviendas y construcciones rurales en el Perú; al ser un material de construcción natural y sostenible que se elabora con tierra cruda, agua y fibras vegetales en algunos casos (adobe), se convierte en una alternativa económica y accesible para la población de escasos recursos. Sin embargo como lo señalan autores como Minke (2005) y Guerrero (2002) uno de los principales problemas de su uso en la construcción es la vulnerabilidad de las construcciones frente a los desastres naturales y las condiciones climatológicas extremas, por ser un material poroso que se deteriora con facilidad frente a la humedad y la lluvia, lo que reduce su vida útil.

En el Perú la presencia de climas húmedos y gélidos propios de algunas regiones además de los cambios climáticos irregulares; afectan las viviendas construidas con alguna técnica que involucra el uso de tierra cruda. Según reporte de INDECI (Instituto de Defensa Civil) entre los años 2012 – 2021 se han visto afectadas o destruidas 1 113 984 viviendas a causa de fenómenos asociados a desastres naturales de los cuales 100 029 a causa de bajas temperaturas, 288 538 por inundaciones, 583 919 por lluvias extensas y 36 573 causadas por vientos fuertes. En la región de Puno para el primer semestre del año 2022 el reporte de viviendas afectadas, inhabilitadas o destruidas a causa de los fenómenos ya mencionados fue de 1778 viviendas, lo que evidencia *la vulnerabilidad o baja resistencia de las viviendas frente a agentes externos (erosivos)*.

En su investigación Cid Falceto (2012) establece que la resistencia a la erosión y la capacidad de absorción de agua son dos propiedades asociadas a la



durabilidad y la resistencia de los bloques de tierra, por lo cual realizar ensayos para evaluar su idoneidad deberían ser normadas; y aunque la norma E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada exige lineamientos mínimos que aseguren la resistencia mecánica y la durabilidad, no brinda ningún ensayo estándar ni parámetros de control para esta última.

Es importante resaltar que si bien existen investigaciones que buscan mejorar las propiedades mecánicas de los bloques mediante el uso de aditivos (ceniza, cal, carbón, cemento, etc.), estos estudios centran su foco solamente en la mejora de las propiedades mecánicas como son resistencia a la compresión, a tracción y al comportamiento estructural de muretes frente a sismos; en ese sentido, la necesidad de realizar esta investigación que *evalúe la influencia que tiene un aditivo como es el cemento en la alta erosionabilidad por agentes climáticos y susceptibilidad al agua de bloques de tierra cruda elaborados en el centro poblado de Salcedo.*

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Enunciados del problema

Para desarrollar el enunciado se han tomado los siguientes puntos: el propósito de la investigación que es evaluar la influencia de la cantidad de cemento adicionado como estabilizante en la fabricación de bloques de tierra en las variables que serán estudiadas que son la resistencia a la erosión y la capacidad de absorción; el objeto estudiado serán los bloques de tierra fabricados con diferentes cantidades de cemento; la ubicación espacial se encuentra en el centro poblado de Salcedo y la ubicación temporal considera el periodo de la investigación 2022-2023.



1.2.2. Pregunta general

La pregunta específica referida a la investigación es:

¿Cómo influirá la cantidad de cemento adicionado como estabilizante en la resistencia a la erosión y la capacidad de absorción de los bloques de tierra fabricados con suelos del centro poblado de Salcedo, 2022-2023?

1.2.3. Preguntas específicas

Las preguntas operacionales del estudio son:

1. ¿Tendrá el suelo del centro poblado de Salcedo la clasificación granulométrica adecuada para fabricar bloques de tierra?
2. ¿La cantidad de cemento adicionado como estabilizante influirá en la resistencia a la erosión por pulverizado de los bloques de tierra fabricados en el centro poblado de Salcedo?
3. ¿La cantidad de cemento adicionado como estabilizante influirá en la resistencia a la erosión por caída de agua de los bloques de tierra fabricados en el centro poblado de Salcedo?
4. ¿La cantidad de cemento adicionado como estabilizante influirá en la resistencia a la erosión por ciclos de congelamiento y deshielo de los bloques de tierra fabricados en el centro poblado de Salcedo?
5. ¿La cantidad de cemento adicionado como estabilizante influirá en la capacidad de absorción capilar de los bloques de tierra fabricados en el centro poblado de Salcedo?
6. ¿La cantidad de cemento adicionado como estabilizante influirá en la capacidad de absorción por inmersión total de los bloques de tierra fabricados en el centro poblado de Salcedo?



7. ¿Existirá una cantidad óptima de cemento que adicionándolo al suelo para la fabricación de bloques de tierra en el centro poblado de Salcedo influya en la condición de resistencia a la erosión y la capacidad de absorción?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis General

La cantidad de cemento adicionado como estabilizante influye significativamente en la resistencia a la erosión y la capacidad de absorción de los bloques de tierra fabricados con suelos del centro poblado de Salcedo.

1.3.2. Hipótesis específicas

1. La cantidad de cemento adicionado como estabilizante influye significativamente en la resistencia a la erosión por pulverizado de los bloques de tierra fabricados con suelos del centro poblado de Salcedo.
2. La cantidad de cemento adicionado como estabilizante influye significativamente en la resistencia a la erosión por caída de agua de los bloques de tierra fabricados con suelos del centro poblado de Salcedo.
3. La cantidad de cemento adicionado como estabilizante influye significativamente en la resistencia a la erosión por ciclos de congelamiento y deshielo de los bloques de tierra fabricados con suelos del centro poblado de Salcedo.
4. La cantidad de cemento adicionado como estabilizante influye significativamente en la capacidad de absorción capilar de los bloques de tierra fabricados con suelos del centro poblado de Salcedo.



5. La cantidad de cemento adicionado como estabilizante influye significativamente en la capacidad de absorción por inmersión total de los bloques de tierra fabricados con suelos del centro poblado de Salcedo.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Los bloques de tierra presentan mediana resistencia a la compresión, pero tienen como desventaja que ser erosionables ante el contacto con el agua, pues en presencia de esta tienden a deteriorarse, desintegrarse y perder su resistencia a la compresión. Existen agentes naturales perjudiciales para los bloques de tierra como las precipitaciones, aluviones, humedecimiento y congelamiento (Ramírez, 2011).

Actualmente la mayoría de trabajos relacionados a bloques de tierra centran su atención en la mejora de la resistencia a la compresión, siendo las evaluaciones de la resistencia a la erosión y la capacidad de absorción un mero formalismo, pues solo se realiza un ensayo de absorción, en el cual los resultados son una simple estadística del porcentaje de agua absorbida por los bloques. Esta realidad es consecuencia de un vacío normativo del RNE (Reglamento Nacional de Edificaciones) E.080, pues en esta no se sugiere ningún ensayo para evaluar la durabilidad de las unidades de tierra.

Es por eso que el propósito de este trabajo busca evaluar si el cemento añadido como estabilizante influye en las propiedades relacionadas a la durabilidad (resistencia a la erosión y capacidad de absorción); las unidades de tierra serán sometidas y evaluadas mediante ensayos basados en la síntesis normativa y reglamentaria internacional de 19 países en los que la tierra es usada como material para la construcción sostenible, eco amigable, económica y social; investigación realizada por Cid (2012)



Esta investigación posee una justificación multifacética. Desde una perspectiva técnica, es esencial debido a la necesidad de generar datos científicos sólidos que respalden la eficacia y necesidad de la estabilización con cemento en los bloques de tierra. Esto a su vez puede servir como fundamento para el desarrollo de técnicas de construcción más efectivas y sostenibles, lo que mejoraría la calidad y durabilidad de las estructuras en otras regiones que comparten similares condiciones climáticas.

En el ámbito social, impacta directamente en el modo de vida de la población usuaria que aún utilizan los bloques de tierra para la construcción de sus viviendas, al usar las unidades de tierra estabilizada se puede contribuir a la construcción de viviendas más durables que promuevan un desarrollo más equitativo.

Desde una perspectiva cultural, esta investigación respalda la preservación de una técnica de construcción tradicional que utiliza materiales locales como la tierra. Al hacer que estas prácticas sean más efectivas y duraderas, se puede fortalecer y preservar el patrimonio cultural.

Económicamente la investigación puede tener un impacto significativo al proporcionar opciones de construcción más rentables. La utilización de bloques de tierra estabilizados puede reducir los costos de construcción, lo que a su vez puede beneficiar tanto a las personas como a las empresas involucradas en la industria de la construcción en áreas con suelos similares. Finalmente, desde una perspectiva ambiental, esta investigación es esencial debido a su enfoque en la construcción sostenible. Al reducir la necesidad de materiales de construcción convencionales se puede disminuir la huella de carbono y promover prácticas más respetuosas con el medio ambiente.



1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo General

También denominado como objetivo específico de estudio y es:

Evaluar la influencia de la cantidad de cemento adicionado como estabilizante en la condición de resistencia a la erosión y la capacidad de absorción de los bloques de tierra estabilizados con cemento frente a bloques de tierra fabricados convencionalmente con suelos del centro poblado de Salcedo, 2022-2023.

1.5.2. Objetivos específicos

También conocidos como los objetivos operacionales de estudio y son:

1. Determinar la clasificación granulométrica de los suelos del centro poblado de Salcedo empleados en la fabricación de bloques de tierra.
2. Determinar la condición de resistencia de los bloques de tierra adicionando cantidades de 0%, 5%, 10%, 15% y 20% de cemento como estabilizante frente al ensayo de erosión por pulverizado.
3. Determinar la condición de resistencia de los bloques de tierra adicionando cantidades de 0%, 5%, 10%, 15% y 20% de cemento como estabilizante frente al ensayo de erosión por caída de agua.
4. Determinar la condición de resistencia de los bloques de tierra adicionando cantidades de 0%, 5%, 10%, 15% y 20% de cemento como estabilizante frente al ensayo de erosión por ciclos de congelamiento y deshielo.
5. Determinar la capacidad de absorción de los bloques de tierra adicionando cantidades de 0%, 5%, 10%, 15% y 20% de cemento como estabilizante frente al ensayo de absorción capilar.



6. Determinar la capacidad de absorción de los bloques de tierra adicionando cantidades de 0%, 5%, 10%, 15% y 20% de cemento como estabilizante frente al ensayo de absorción por inmersión total.
7. Identificar la cantidad óptima de cemento de entre: 5%, 10%, 15% y 20% que adicionado como estabilizante influye óptimamente en las propiedades físicas de los bloques de tierra.

Matriz de Consistencia

PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVO	VARIABLES
<i>Problema General</i>	<i>Hipótesis General</i>	<i>Objetivo General</i>	<i>Variable Independiente</i>
<i>Problemas Específicos</i>	<i>Hipótesis Específicos</i>	<i>Objetivos Específicos</i>	<i>Variables Dependientes</i>
¿Qué influencia tendrá el cemento adicionado como estabilizante en el nivel de resistencia a la erosión y capacidad de absorción, de los bloques de tierra fabricados en el centro poblado de Salcedo?	El cemento adicionado como estabilizante mejora el nivel de resistencia a la erosión y disminuye la capacidad de absorción de los bloques de tierra fabricados en el centro poblado de Salcedo.	Comparar el nivel de resistencia a la erosión y capacidad de absorción de bloques de tierra estabilizados con cemento frente a bloques de tierra convencional.	Porcentaje de cemento adicionado como estabilizante.
¿Tendrá el suelo del centro poblado de Salcedo la clasificación granulométrica adecuada para fabricar bloques de tierra?		Determinar la clasificación granulométrica de los suelos empleados en la fabricación de bloques de tierra en el centro poblado de Salcedo.	Variable Interviniente
¿La cantidad de cemento adicionado como estabilizante influirá en la condición de resistencia a la erosión por pulverizado de los bloques de tierra fabricados en el centro poblado de Salcedo?	La cantidad de cemento adicionado como estabilizante influye significativamente en la condición de resistencia a la erosión por pulverizado de los bloques de tierra fabricados con suelos del centro poblado de Salcedo.	Determinar la condición de resistencia de los bloques de tierra adicionando cantidades de 0%, 5%, 10%, 15% y 20% de cemento como estabilizante frente al ensayo de erosión por pulverizado.	Condición de Resistencia a la erosión por pulverizado
¿La cantidad de cemento adicionado como estabilizante influirá en la condición de resistencia a la erosión por caída de agua de los bloques de tierra fabricados en el centro poblado de Salcedo?	La cantidad de cemento adicionado como estabilizante influye significativamente en la condición de resistencia a la erosión por caída de agua de los bloques de tierra fabricados con suelos del centro poblado de Salcedo.	Determinar la condición de resistencia de los bloques de tierra adicionando cantidades de 0%, 5%, 10%, 15% y 20% de cemento como estabilizante frente al ensayo de erosión por caída de agua.	Condición de resistencia a la erosión por caída de agua
¿La cantidad de cemento adicionado como estabilizante influirá en la condición de resistencia a la erosión por ciclos de congelamiento y deshielo de los bloques de tierra fabricados en el centro poblado de Salcedo?	La cantidad de cemento adicionado como estabilizante influye significativamente en la resistencia a la erosión por ciclos de congelamiento y deshielo de los bloques de tierra fabricados con suelos del centro poblado de Salcedo.	Determinar la resistencia de los bloques de tierra adicionando cantidades de 0%, 5%, 10%, 15% y 20% de cemento como estabilizante frente al ensayo de erosión por ciclos de congelamiento y deshielo.	Condición de resistencia a la erosión por ciclos de congelamiento y deshielo
¿La cantidad de cemento adicionado como estabilizante influirá en la capacidad de absorción capilar de los bloques de tierra fabricados en el centro poblado de Salcedo?	La cantidad de cemento adicionado como estabilizante influye significativamente en la capacidad de absorción capilar de los bloques de tierra fabricados con suelos del centro poblado de Salcedo.	Determinar la capacidad de absorción de los bloques de tierra adicionando cantidades de 0%, 5%, 10%, 15% y 20% de cemento como estabilizante frente al ensayo de absorción capilar.	Capacidad de absorción capilar
¿La cantidad de cemento adicionado como estabilizante influirá en la capacidad de absorción por inmersión total de los bloques de tierra fabricados en el centro poblado de Salcedo?	La cantidad de cemento adicionado como estabilizante influye significativamente en la capacidad de absorción por inmersión total de los bloques de tierra fabricados con suelos del centro poblado de Salcedo.	Determinar la capacidad de absorción de los bloques de tierra adicionando cantidades de 0%, 5%, 10%, 15% y 20% de cemento como estabilizante frente al ensayo de absorción por inmersión total.	Capacidad de absorción de inmersión total
¿Existirá una cantidad óptima de cemento que adicionándolo al suelo para la fabricación de bloques de tierra en el centro poblado de Salcedo influya en la condición de resistencia a la erosión y la capacidad de absorción?		Identificar la cantidad óptima de cemento de entre: 5%, 10%, 15% y 20% que adicionado como estabilizante influye óptimamente en las propiedades físicas de los bloques de tierra	



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Normativa relacionada con la construcción con tierra

Como lo establece Gamio (2018) las técnicas y métodos constructivos hechos con tierra han tenido presencia a lo largo de la historia, utilizándose a lo largo de miles de años hasta el presente. Por esta razón es que se han desarrollado normativas y reglamentos que establecen los procedimientos para ejecutar construcciones con tierra, estas normas son elaboradas teniendo en cuenta el entorno en el que se llevarán a cabo las construcciones, ya que cada país posee características que las hacen únicas y que son determinadas por su geografía, geomorfología, clima y necesidad socio-cultural.

En su investigación Cid Falceto (2012) realizó un análisis minucioso de los reglamentos internacionales, examinando las metodologías de evaluación de diversas Instituciones Internacionales para estimar valores de respuesta de las resistencias asociadas a la perdurabilidad de los materiales de tierra. Debido a la amplia variedad y disparidad de las especificaciones seleccionados y utilizados con el mismo propósito, desarrolló dispositivos versátiles y metodologías que permiten llevar a cabo dichos ensayos, dando como resultado una metodología para la evaluación de unidades de tierra.

Además advirtió que dada la heterogeneidad de las especificaciones encontradas en los ensayos, se dificulta la comparación directa de resultados y la obtención de conclusiones claras. Sin embargo, su análisis exhaustivo permitió identificar los ensayos más relevantes y aplicables en el estudio de la durabilidad de los materiales de tierra.



Tabla 1

Normativas relacionadas a materiales de tierra

País	Norma	Técnica	Campo de aplicación
Brasil	NBR 12023:1992	Bloques Suelo-cemento	Procedimientos de ensayos
	NBR 12024:1992		
	NBR 12025:1990		
	NBR 13554:1996		
	NBR 13555:1996		
Colombia	NTC 5324:2004	Bloques macizos de suelo-cemento para muros y divisiones	Caracterización y métodos de ensayo de bloques macizos suelo-cemento.
EE.UU.	NMAC 14.7.4:2009	Adobe, bloques de tierra comprimida y tapial	Reglamento de construcción, técnicas y ejecución.
	ASTM E2392 M-10	Adobe, tapial, Cob	Guía para construcción de sistemas de tierra
España	UNE 41410:2008	Bloques de tierra comprimida	Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo
Francia	XP P13-901:2001	Bloques de tierra comprimida	Terminología, dimensiones y métodos de ensayo
India	IS 2110:1980	Pared in-situ de suelo-cemento	Especificaciones técnicas para paredes no mayores de 3.2 m. de altura y anchura > 300 mm Muros de carga o > 200 mm particiones.
	IS 1725:1982	Bloques de tierra comprimidos estabilizados	Requisitos y pruebas para bloques de tierra de uso en construcción en general. Procedimientos de ensayos.
	IS 1382:1993	Adobe y tapial	Directrices para la mejora de la resistencia sísmica de edificios de tierra.
Kenia	KS 02-1070:1:1999	Bloques de suelo estabilizados con cemento o cal	Requisitos para la construcción con este bloque.
Nueva Zelanda	NZS 4297:1998	Adobe, bloque comprimido, tierra vertida, tapial	Diseño estructural y de durabilidad de las edificaciones de tierra.



País	Norma	Técnica	Campo de aplicación
	NZS 4298:1998		Caracterización de materiales y especificaciones de construcción para el uso de tierra cruda. Procedimientos de ensayo
	NZS 4299:1999	Adobe, bloque comprimido, tapial	Requisitos de diseño y construcción para adobe, bloques comprimidos o tapial que no necesita diseño específico.
Perú	RNE E-0.80:2000	Adobe	Reglamento nacional. Requisitos para la construcción de adobe
Regional África	ARS 683:1996	Bloques de tierra comprimida	Pruebas requeridas
Sri Lanka	SLS 1382-2:2009	Bloques de tierra comprimida	Métodos de ensayo
Túnez	NT 21.33:1996	Bloques de tierra comprimida	Especificaciones para BTC ordinarios, características geométricas, fisicoquímicas.

En la *Tabla 1* se muestra las normas seleccionadas y utilizadas en lo que respecta a materiales de tierra estabilizados y su evaluación.

2.1.2. Normatividad en la presente investigación

Para la realización de este estudio se consideraron aquellas normas que aportaran una metodología coherente a los objetivos de la investigación, los criterios de selección de normas fueron: Consideraciones técnicas para la aplicación del ensayo, tiempo de duración del ensayo, protocolo de desarrollo de ensayo, metodología de recolección de datos y sistema de evaluación de muestras ensayadas.

2.1.2.1. Referente al Ensayo de Erosión por pulverizado

En la *Tabla 2* se muestran las normas y especificaciones seleccionadas para la realización del ensayo.

Tabla 2*Normatividad ensayo de erosión por pulverizado*

Especificaciones	Normas Técnicas		
	SLS 1382	NZS 4298	IS 1725
Muestra	Integra	Integra	Integra
N° de muestras	3	-	3
Protocolo	Si	Si	-
Zona expuesta (Ø mm)	100	100	-
Tiempo de aplicación (minutos)	60	60	-
Observaciones (minutos)	15	15	-
Presión (bares)	0.5	0 - 0.5	
Boquilla de salida (Ø mm)	-	-	100
Sistema de evaluación	-	-	Si

2.1.2.2. Referente al Ensayo de Erosión por caída de agua

En la *Tabla 3* se muestran las normas y especificaciones seleccionadas para la realización del ensayo.

Tabla 3*Normatividad ensayo de erosión por caída de agua*

Especificaciones	Normas Técnicas	
	SAZS 724	UNE 41410
Muestra	Sin revestimiento	Sin revestimiento
N° de muestras	3 por lado	3
Esquema operativo	-	Si
Protocolo	Si	Si
Zona expuesta (ángulo de inclinación)	27°	27°
Tiempo de aplicación (minutos)	30	-
Observaciones (minutos)	5	-
Caída de agua (mm)	-	1000
Boquilla de salida (Ø mm)	-	5
Sistema de evaluación	-	Si

2.1.2.3. Referente al ensayo de Erosión por congelamiento y deshielo

Tabla 4

Normatividad ensayo de erosión por congelamiento y deshielo

Especificaciones	Norma Técnica
	UNE 67028:1998
Muestra	Sin revestimiento
N° de muestras	6
Temperatura de congelamiento	-15 °C hasta -21 °C
Temperatura de deshielo	15 °C hasta 21 °C
Ciclos	10
Tiempo hidratación (minutos)	1
Criterios de evaluación	Si

Particularmente para este ensayo no se tiene una normativa en todo el mundo que evalúe la resistencia a la erosión por congelamiento y deshielo; sin embargo, la norma UNE 67028:1998 (Resistencia a la helicidad para ladrillos cocidos de arcilla) es la que más se aproxima para dicho propósito. En la *Tabla 4* se muestra las consideraciones del ensayo.

2.1.2.4. Referente al ensayo de Absorción capilar

En la *Tabla 5* se muestran las normas y especificaciones seleccionadas para la realización del ensayo.

Tabla 5

Normatividad ensayo de absorción capilar

Especificaciones	Normas Técnicas		
	XP P13-901	NTC 5324	UNE 41410
N° de muestras	3 por lado	3 por lado	6
Ambiente destinado	Húmedo	Húmedo	Cara vista
Tiempo de inmersión	-	-	30
Cálculo de Coeficiente de absorción	Si	Si	Si
Sistema de evaluación	Si	Si	-



2.1.2.5. Referente al ensayo de Absorción por inmersión

En la *Tabla 6* se muestran las normas y especificaciones seleccionadas para la realización del ensayo.

Tabla 6

Normatividad ensayo de absorción por inmersión

Especificaciones	Norma Técnica
	NTP 399.613
Muestra	Sin revestimiento
N° de muestras	6
Tiempo de inmersión (horas)	24
Criterios de evaluación	Si

2.1.3. Antecedentes

Rios (2019) reconoce el problema mundial continuo de recursos para ser reutilizados como materiales de construcción que sean de bajo costo y de fácil acceso y que mejoren las resistencias a sollicitaciones externas; por lo cual en su investigación tuvo como parte de sus objetivos determinar la influencia de la ceniza y el cemento en la durabilidad de bloques ecológicos prensados. Para el desarrollo de su investigación fabrico adobes con ceniza excedente de una fábrica adicionando 5%, 10%, 15%, 20% y 25% y cemento portland tipo I en proporción de 9% y 12%, el ensayo de durabilidad al que fueron sometidas las muestras consistió en evaluar el porcentaje de pérdida de material luego de ser sumergidos en agua por 24 horas. Observo que los adobes con contenido de cemento de 12% tuvieron una pérdida de material mayor a los adobes con contenido de 9%, la mayor pérdida de material se encontró con la combinación de 12% de cemento y 25% de ceniza la cual fue en promedio de 9.23%; mientras que la menor pérdida de material la encontró con la combinación de 9% de cemento y 15% de ceniza la



cual fue en promedio de 8.06%. Finalmente concluyo que mayores contenidos de cemento producen mayores pérdidas de material.

Nureña (2017) explica que las construcciones con adobe poseen limitaciones como son la baja resistencia mecánica; vulnerabilidad a los agentes climáticos que producen un desgaste súbito; por eso como parte de su investigación evaluó como la adición de cemento en la fabricación de adobes influía en la durabilidad de estos frente al agua. Las muestras elaboradas de adobe tuvieron concentraciones de 0%, 3%, 6%, 9% y 12%; además, utilizo 3 proporciones distintos de suelos: la primera 55 - 70% de arena y 45 - 30% de limos - arcilla, la segunda proporción de 50% de arena y 50% de limos – arcilla; y la tercera 75% de arena y 25% de limos – arcilla. El ensayo de durabilidad consistió en sumergir en agua estática durante 7 días las muestras; para luego pesarlas. Observo que las muestras con 0% de cemento se deshicieron, las muestras con 3% de cemento tuvieron variaciones en su forma y peso; y solo las muestras con concentraciones de 6%, 9% y 12% conservaron su forma e incrementaron su peso ligeramente. Como conclusión final sentencio que independientemente del tipo de proporción de suelo utilizado, los adobes con 3% de cemento tuvieron la mayor pérdida de material esto fue entre 18.1% a 30.3%, mientras los adobes con concentraciones mayores de cemento incrementaron su peso inicial entre 1% a 2.4%.

Delgado y Niño (2019) describen la vulnerabilidad de las edificaciones hechas de tierra cuando son expuestas a lluvias e inundaciones en el centro poblado de Vinchamarca, las cuales causan que la resistencia de las unidades de tierra baje y eleven su permeabilidad, lo que se evidencia en aparición de fisuras, deterioro y rajaduras en los muros existentes. Es por eso que tuvieron como



objetivo investigar qué porcentaje de cemento y goma de tuna usados como aditivos en la fabricación de adobes mejorarían las propiedades de estos. Para ello usaron combinaciones de concentraciones de 10% y 15% de cemento y 75% y 100% de goma de tuna comparados con adobes sin ningún aditivo. En lo que respecta al comportamiento de los adobes frente al agua se practicaron ensayos de absorción y succión; el ensayo de absorción consistió en sumergir las muestras durante 24 horas para luego pesarlas y ver el porcentaje de agua retenida, observaron que los adobes sin aditivo y con solo adición de goma de tuna se deshicieron durante la prueba; el ensayo de succión consistió en ver cuánta agua capilar succionaban las muestras, de este ensayo observaron que las muestras con solo cemento adicionado presentaban mayor porcentaje de agua succionada. Finalmente concluyeron que los adobes con solo 10% de cemento adicionado tuvieron la mayor absorción con 20.18%; mientras que las muestras con 15% de cemento y 100% de goma de tuna presentaron una absorción de 18.23%, siendo la más baja; y en lo que respecta a la succión la mayor tasa de esta la tuvieron las muestras con 10% de cemento con 40.09%, mientras que la menor tasa la presentaron las muestras con solo 100% de goma de tuna con 16.07%.

Medina (2020) advirtió la poca difusión e investigación sobre el uso de bloques de tierra comprimida estabilizados con cemento, en su investigación tuvo como objetivo identificar la cantera idónea para la elaboración de unidades de tierra y establecer el porcentaje óptimo de cemento adicionado que mejore las características de los bloques. En la primera etapa para la selección de la cantera se realizaron ensayos de cohesión, densidad máxima y contenido de humedad óptima; siendo escogida la cantera de Lagartococha como la más adecuada con valores de: cohesión: 0.74 g/cm^2 densidad máxima: 1.81 g/cm^3 y humedad óptima:



10.30%. En la segunda etapa elaboró probetas con el suelo seleccionado adicionando concentraciones de 6%, 8%, 10% y 12% de cemento; observó que los bloques con 10% de cemento presentaron mejor resistencia a la compresión, con un valor de 119.08 kg/cm². Una vez seleccionados el suelo y el porcentaje de cemento procedió a elaborar bloques de tierra comprimida estabilizados y sin estabilizar para someterlos a ensayos de compresión, absorción, alabeo, densidad y dimensionamiento. En lo que respecta al ensayo de absorción, este consistió en sumergir en una cubeta con agua las muestras secas (previamente pesadas), durante 24 horas; para luego ser pesadas nuevamente y anotar la cantidad de agua retenida por los bloques; observó que los bloques sin estabilizar retuvieron más agua que los estabilizados. En lo que respecta a la absorción concluyó que los bloques estabilizados con 10% de cemento redujeron su porcentaje de absorción en más del 50% respecto a los bloques no estabilizados; esto fue de 9.85% a 4.67% en promedio.

García Huaynacaqui (2018) recopiló la devastación de las viviendas de barro causado por movimiento sísmico del 31 de mayo de 1970 en Yungay (Ancash) y del 15 de agosto del 2007 en Pisco (Perú), para señalar la vulnerabilidad de las viviendas de adobe frente a acciones sísmicas. Por lo cual investigó la influencia de la mezcla cal – cemento sustituyendo un porcentaje del suelo, en la fabricación de adobes artesanales. Para la realización de su investigación elaboro bloques de tierra sustituyendo el suelo en concentración de 3% (1% cal – 2% cemento), 6% (2% cal – 4% cemento), 9% (3% cal – 6% cemento) y 12% (4% cal – 8% cemento). Para medir la susceptibilidad de los bloques frente a la acción del agua realizó el ensayo de humedecido y secado; que consistía en: sumergir las muestras en agua durante 04 horas, para después



sacarlas y meterlas al horno por 48 horas a 60 °C, después de secadas se pesan y se calcula el % de material perdido. Como resultado de este ensayo observó que los bloques con sustitución de cal - cemento tuvieron menor porcentaje de material perdido y que las muestras sin material sustituido se destruyeron completamente. Finalmente concluyó que con una sustitución del 3% de suelo por cal – cemento se reduce la pérdida de material a 42.49% y con una sustitución del 12% se reduce a 23.03%.

García Valderrama (2020) referenciando el informe de investigación “Diseño sísmico de construcciones de adobe” de los ingenieros Morales, Yamashiro y Sánchez; nos aclara que en el Perú se han registrado las mayores pérdidas de viviendas a base de adobe por causa de los movimientos sísmicos y la baja resistencia frente a ellos; es por eso que en su investigación tuvo por finalidad determinar las propiedades físicas y mecánicas de unidades de tierra estabilizadas con cemento. Para el estudio y los ensayos requeridos fabricó bloques de adobe con porcentaje adicionado de cemento en concentraciones de 4% y 7%. Sobre los ensayos de absorción y succión siguió los procedimientos y parámetros de aceptación de la NTP 339.613 Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería. De los ensayos de succión y absorción observó que los adobes sin cemento adicionado retuvieron mayor cantidad de agua; y que el porcentaje de agua retenida disminuía a mayor cantidad de cemento adicionado. Concluyó que los adobes con 4% de cemento redujeron la absorción de 17% a 12.23% respecto a los adobes sin cemento, y que los adobes con 10% de cemento la redujeron hasta 10.80%; la succión también se vio reducida de 20.70 g/min/200 cm² para bloques sin cemento, hasta 15.82 g/min/200 cm² y 13.51 y 20.70 g/min/200 cm² para bloques con 4% y 7% de cemento respectivamente.



Sánchez (2020) en la búsqueda del mejoramiento de los materiales de construcción tradicionales, investigó la estabilización de bloques de adobe con cemento; que tuvo como objetivo contrastar las propiedades mecánicas de los bloques artesanales con los bloques estabilizados con cemento portland tipo I. Para la realización de la investigación uso concentraciones de cemento adicionado en 2%, 4%, 6% y 8%. Como parte de su investigación realizó el ensayo de absorción para medir la capacidad de retención de agua de los bloques artesanales y estabilizados; el ensayo consistió en sumergir los bloques en agua durante 24 horas para después sacarlas y pesarlas; todos los bloques resistieron la prueba y observó que todos los bloques estabilizados tuvieron relativamente el mismo porcentaje de absorción alrededor de 20%, mientras que los bloques sin estabilizar tuvieron porcentajes de absorción promedio de 22%. En lo que respecta al comportamiento de los bloques frente al agua concluyó que la adición de cemento no influye significativamente en la capacidad de absorción de los bloques artesanales.

Herbas y Nolasco (2021) reconociendo la vulnerabilidad sísmica y susceptibilidad frente al agua de las viviendas rurales construidas con adobe; se propusieron investigar el comportamiento mecánico y físico de adobes con adición de cal, cemento y viruta de eucalipto por separado. Las concentraciones de cal y cemento fueron de 1%, 3% y 6% y la viruta de eucalipto fue de 4%, 8% y 12%. En lo que respecta a la capacidad de absorción de los bloques se realizó un ensayo de absorción controlado que consistió en sumergir en agua los bloques durante 1 hora, para evitar la desintegración de los bloques patrón (bloques de adobe sin aditivos). Como resultado de su investigación observó que los bloques con adición de cal redujeron su absorción respecto a los bloques patrón, mientras



que los bloques con adición de cemento y los bloques con adición de viruta de eucalipto la aumentaron. Como conclusión en cuanto a la absorción dictaminaron que la inclusión de la cal reduce la capacidad de absorción en un 7% promedio respecto a los bloques patrón, mientras que los bloques con cemento la incrementan un 5% aproximadamente y que con el incremento de porcentaje de cemento también aumenta la capacidad de absorción; en lo que respecta a la viruta de eucalipto, su adición incrementa la capacidad de absorción en 1% aproximadamente y esta se mantiene relativamente constante para los 3 porcentajes de viruta adicionada.

Holgado y Prado (2015) centraron su atención sobre la problemática del desarrollo de la ingeniería sostenible y la bioconstrucción, con la mejora de materiales y técnicas antiguas de construcción. Su investigación tuvo como objetivo establecer la dosificación óptima de cemento adicionado en la fabricación de bloques de tierra comprimida y establecer como esta influye en las propiedades físicas y mecánicas de los bloques. Para la realización de la investigación trabajaron con 3 tipos de suelos a los que adicionaron cemento (G: 55% arena – 25% arcilla – 20% limo + 8% de cemento, I: 60% arena – 25% arcilla – 15% limo + 8% de cemento, J: 65% arena – 25% arcilla – 10% limo + 6% de cemento). En lo que respecta al comportamiento frente al agua realizaron ensayos de: absorción, succión, erosión por goteo y humectación-secado. El ensayo de absorción lo realizaron siguiendo lo indicado por la NTP 399.613, de este ensayo observaron que la mayor cantidad de agua absorbida se dio en los primeros 2 minutos para los tres diseños. El ensayo de succión consistió en sumergir por 10 minutos una de las caras de los bloques en agua, a una altura constante de 5 mm; de este ensayo observaron que no había diferencia significativa en la cantidad de agua absorbida.



El ensayo de erosión por goteo lo realizaron basados en la norma española UNE 41410: 2008, en la que se mide la penetración causada por caída de agua durante 10 minutos; observaron que si bien todas las muestras recibieron daños leves, fue el diseño J el que presentó mayores daños. El ensayo de humectación y secado se realizó durante seis ciclos en los que se humedecieron una cara de los bloques durante 30 segundos, para luego secarlos y observar la pérdida de material o integridad superficial; de este ensayo observaron que los bloques I y J perdieron en promedio 50 mm de material en las aristas laterales, mientras que los bloques G perdieron material superficialmente. De los ensayos respecto al comportamiento frente al agua concluyeron: que la dosificación óptima para la fabricación de BTC con cemento es el diseño G (Arena entre 55% – 65 %, Limo entre 10 – 20% y Arcilla 25%); el resultado para el ensayo de Absorción fue de 18.1 % que cumple con el valor máximo permisible de absorción es de 22% establecido por el RNE; en cuanto al ensayo de Succión obtuvieron 66 g/min. que se logró en el primer minuto, considerando a este el más crítico.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

Se ofrecen aspectos significantes relacionados a la investigación, con el propósito de dar un contexto sólido y precisar las variables que serán estudiadas.

2.2.1. Uso histórico de la tierra como material de construcción

Como lo describe Catalán (2018) el uso de la tierra en la construcción se extiende durante milenios y abarca diversas civilizaciones y culturas en todo el mundo. Desde el nacimiento de la civilización, la humanidad ha aprovechado la abundancia y la versatilidad de la tierra cruda para erigir viviendas, fortificaciones y monumentos de importancia significativa. Cuando las personas comenzaron a asentarse permanentemente en un área, no siempre tenían acceso a madera o

piedra fácilmente trabajable para la construcción, por lo que la tierra arcillosa se convirtió en un aglomerante importante para unir rocas de tamaños diversos o para dar estabilidad sólida a edificaciones hechas con vegetales.

Figura 1

Edificios de tierra en Fujian



Nota: Viviendas rurales denominadas Tulou de forma circular o rectangular. Recuperado de <https://www.shutterstock.com/es/image-photo/traditional-earthen-tulou-hinese-huts-landmark-492447484>

Los inicios primigenios de edificaciones con tierra se remontan al Neolítico y se encuentran en Mesopotamia. Con el tiempo se evolucionó hasta construir estructuras emblemáticas como la Torre de Babel, la Biblioteca de Alejandría y muchos otros en Babilonia. La tierra fue utilizada no solo para construir viviendas, sino también para fortificaciones, obras religiosas, monumentos y edificios agrícolas. En las civilizaciones antiguas, como la egipcia, la mesopotámica y la indígena americana, las técnicas de edificación con tierra, como el adobe y el tapial, fueron ampliamente utilizadas en la creación de estructuras duraderas que se han mantenido a lo largo de los siglos. Estos métodos

se caracterizan por su simplicidad y eficacia, así como por su capacidad para resistir condiciones climáticas adversas (Minke, 2005, p. 12).

Figura 2

Ilustración de la construcción de la muralla china



Nota: Recuperado de <https://www.nationalgeographic.es/historia/encuentran-un-segmento-perdido-de-la-gran-muralla-china>.

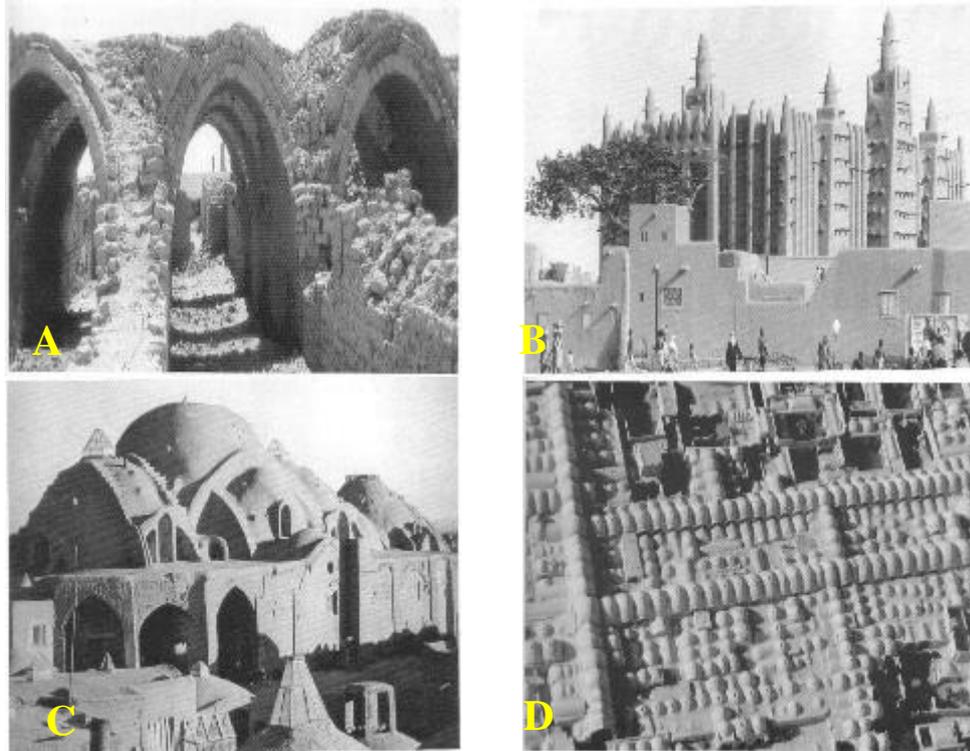
Un ejemplo destacado de viviendas de tierra de tres a cinco pisos de altura son los Fujian Tulou en China (*Figura 1*), que fueron construidos principalmente entre los siglos XII y XX, donde se usaba tierra apisonada con forma rectangular o circular rodeando un ambiente central. La Gran Muralla China (*Figura 2*) y la Pirámide del Sol en Teotihuacán, México, son ejemplos de estructuras icónicas construidas con tierra apisonada, que posteriormente fueron revestidas con piedras naturales y ladrillos (Minke, 2005, p. 13).

En climas más áridos y carentes de humedad donde la madera era escasa, se innovaron técnicas de mampostería para la construcción de cúpulas y bóvedas;

ejemplos de esto incluyen el Templo Mortuorio de Ramsés II en Gourná, Egipto y el Bazar de Sirdjan en Irán (Minke, 2005, p. 14).

Figura 3

Edificaciones construidas con tierra



Nota: (A): Almacenes, Templo de Ramsés II, Gourná, Egipto. (B): Gran Mezquita Mopti, Malí (1935). (C): Mezquita, Kazhan, Irán. (D): Bazar, Sirdjan, Irán. (Minke, 2005, pp. 13-15)

Además Minke (2005) reseña que la arquitectura de tierra también puede encontrarse en entornos urbanos, como en la ciudad de Shibam (Yemen) que cuenta con los primeros rascacielos del mundo construidos con adobes. También existen las aldeas colectivas fortificadas en Marruecos construidas con tapial y con fachadas decoradas con adobes, que cuentan con muros en declive que van de los 80 cm en la base a 60 cm en los 3 m de altura. En resumen, la tierra es un componente de construcción versátil y duradero explotado por el hombre a lo largo de la historia en una gran variedad de estructuras. (Figura 3)

Figura 4

Zonas en el mundo con construcciones hechas con tierra



Nota: Las zonas en naranja representan las regiones o localidades con tradición constructiva hecha con tierra. (Vitulas, 2021)

Como lo describe Gatti (2012) la tercera parte de la población mundial vive en edificaciones de tierra y en algunas regiones en auge esto supone más del 50%, como se puede apreciar en la *Figura 4* las edificaciones con tierra han estado presentes históricamente. El uso de elementos manufacturados como el ladrillo, concreto y acero, así como las técnicas de fabricación industrializada no han logrado satisfacer las enormes demandas de vivienda en estos países. Además, a nivel mundial no existen suficientes capacidades productivas y financieras para resolver esta situación. Por lo tanto, las necesidades habitacionales en países emergentes solo pueden ser abordadas usando materiales de construcción propios de la localidad y metodologías de construcción propios que permitan la utilización de recursos disponibles en la zona.

2.2.2. La tierra como material de construcción en el Perú.

En su investigación Gamio (2018) señala que el Perú siempre se ha caracterizado por su variedad cultural y su rico patrimonio histórico. En particular,

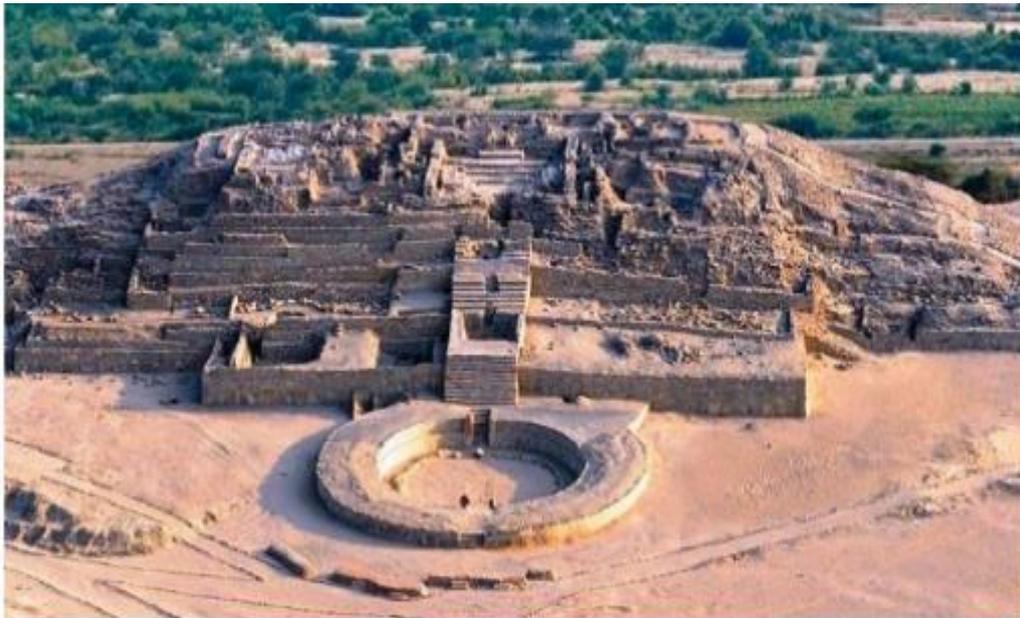


destaca la cultura Incaica considerada una "pan-cultura" debido a su expansión en otros países de Sudamérica. La religión precolombina del pasado Perú era creyente de múltiples dioses, encontraba divinidad en todo lo que lo rodeaba, y adoraba a los cuerpos celestes, entre esos dioses destacaron Wiracocha (dios creador), el Inti (dios del sol), la Quilla (diosa de la Luna), Pachamama (diosa de la tierra) y el Apu (dios de las montañas). Las culturas pre-Inca e Inca se caracterizaron por una profunda expresión religiosa, plasmada en la construcción de templos y otras edificaciones para la veneración de los dioses, así como en la construcción de fortalezas para protegerse de los ataques enemigos. Los materiales para la edificación de estructuras más utilizados en la época pre-Inca en Perú fueron el adobe, el tapial y la piedra. Las más de 21 culturas que se originaron en Perú se dividieron en cinco horizontes, cada uno con sus propias características culturales. Dos de los complejos arqueológicos más representativos de estas culturas demuestran la avanzada arquitectura e ingeniería de la época y reflejan el profundo respeto por los dioses que caracterizaba a estas sociedades agradecidas con el ecosistema.

Como evidencia del uso del barro como material constructivo tenemos La Ciudad Sagrada de Caral (cultura Caral) vista en la *Figura 5*, además se pueden ver vestigios de obras religiosas, obras públicas y viviendas. Los materiales de las obras públicas están cubiertos de barro. La ciudadela está hecha a base de pedestales superpuestos para crear altura, con piedras de diferentes alturas y dimensiones unidas mediante el barro, así como la red tejida de fibras vegetales, las denominadas Shikra. Además, aparentemente esta es una de las ciudades que usó tres de las técnicas tradicionales de construcción que aún tienen una presencia importante en el Perú: adobe, tapial y quincha (Gamio, 2018, p. 19).

Figura 5

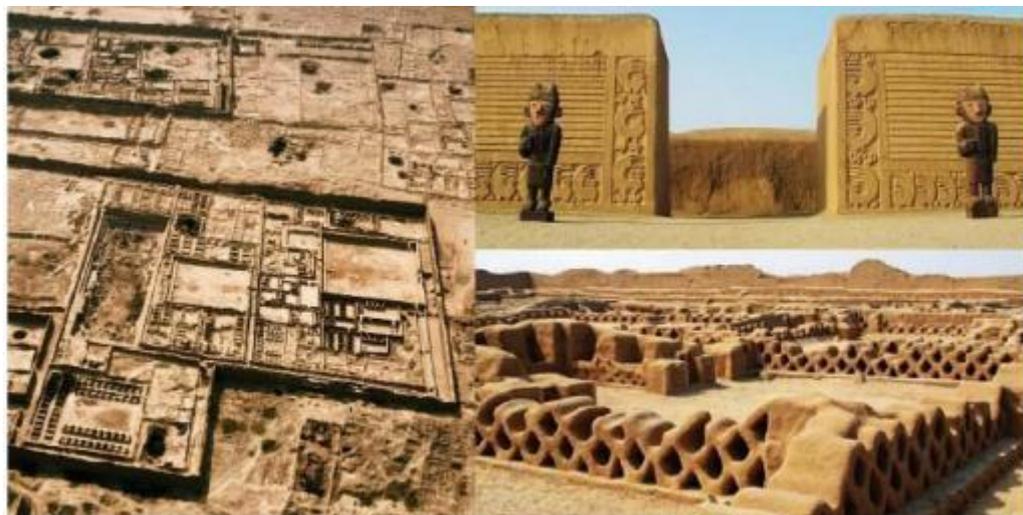
Ciudad Sagrada de Caral



Nota: Ubicado en el lado izquierdo del río Supe, norte central de la costa peruana, cerca del distrito actual de Caral. (Gamio, 2018)

Figura 6

Ciudadela de Chan-Chan



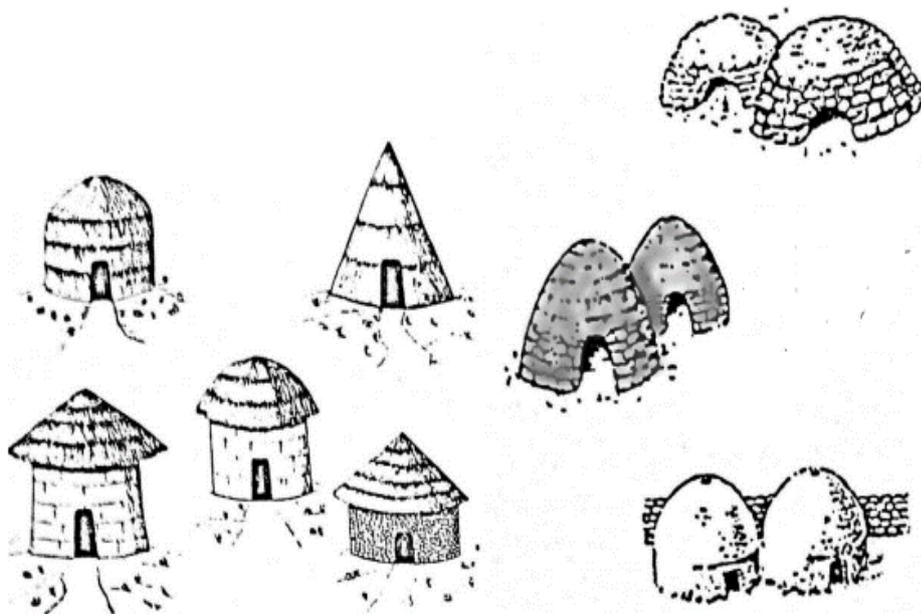
Nota: Ubicado en el Valle de Moche, con centro territorial en Chan (La Libertad). Se extiende a lo largo de Tumbes hasta Barranca. (Gamio, 2018)

La Ciudadela de Chan-Chan (Cultura Paracas) vista en la *Figura 6*, tenía una extensión de 20 km² de ancho pero solo quedan 14 km² actualmente. Su estructura tiene muros de adoquín de 50 cm de altura como cimiento de los muros

de quincha (caña de barro) y techo de material similar a la quincha con soportes de madera. Las murallas, sobrecimientos y cimientos están hechas de piedra combinada con arcilla, en los techos también se utilizan cañas y fardos de paja. El tamaño de la materia prima utilizada (adobe) en esta construcción es de 0.30 m x 0.20 m x 0.10 m, la disposición de estos bloques es en Canto (colocada en el lado más delgado), también hay plantadas cañas muy gruesas sobre el suelo llamado "caña brava" (Gamio, 2018, p. 20).

Figura 7

Tipología posible de viviendas de la cultura Wankarani



Nota: Las casas eran de adobe, de planta circular y la aldea era rodeada por una muralla. (Escalante Moscoso, 1993).

En lo que respecta a las culturas que florecieron alrededor del Lago Titicaca, Gamio (2018) reseña que: La cultura Pucará ha habitado al norte del Lago (zona peruana), al sur del lago en Bolivia la cultura Wankarani y la cultura Chiripa. La cultura que más influyo fue la cultura Tiahuanaco extendiéndose en Perú y Bolivia, entre ambas culturas pueden apreciarse construcciones de barro similares.

Los Putucos como lo explica Marussii (1999) tienen un influjo importante proveniente de la cultura Wankarani que comúnmente exhibían dos arquetipos: Viviendas con cubierta de paja y viviendas con techo en forma de cono o bóveda. (*Figura 7*), cual fuera el modelo de edificaciones se utilizaba como material la Champa (Perú) o Tepe (Bolivia). Además aclara que otras construcciones también son las Chullpas de Sillustani (*Figura 8*) ubicada en la península de Sillustani (Puno-Perú) las cuales conforman un cementerio con influencia en culturas como la Colla, Aimara e Inca.

Figura 8

Chullpas de Sillustani



Nota: Ubicado en la península de Sillustani (circundado por el Lago Titicaca), Puno - Perú. Las edificaciones son variadas. Evidencian chullpas de barro, otras de roca sobrepuesta y roca labrada.

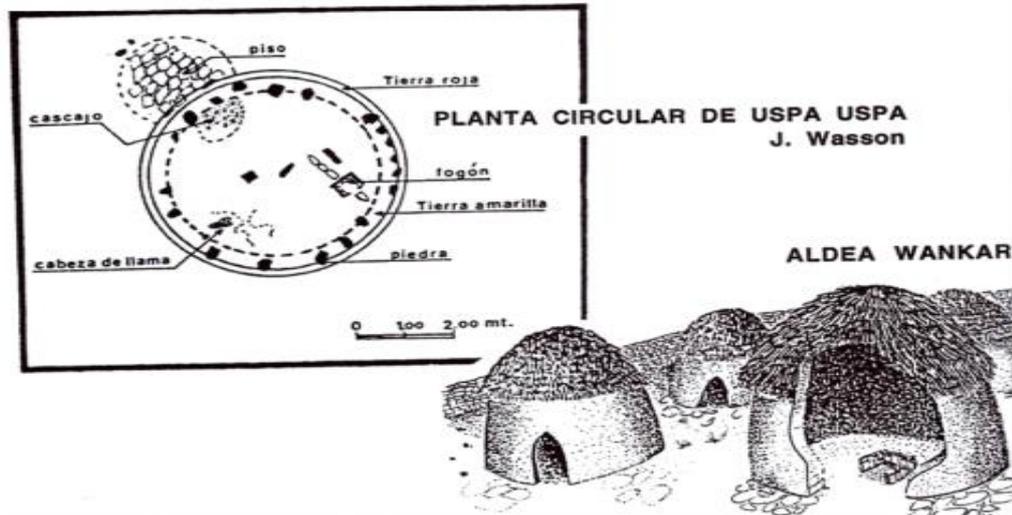
En el lado boliviano Vitulas y Reynoso (1994) reseñan que históricamente se encuentran restos de viviendas denominadas Qullcas de Wankarani (*Figura 9*), construcciones de base circular con paredes de barro; además por la zona también se encuentran los Putucos de los Chipayas (*Figura 10*), contruidos con tepes, los cuales son bloques de tierra con raíces de una gramínea presente de la zona.

Además señalan que en la zona del norte Altiplánico se ubican las viviendas de la cultura Umasuyo, construcciones de base rectangular y

terminación triangular (forma piramidal), construidas con champas y adobe (Figura 11).

Figura 9

Qullcas o viviendas de Wankarani



Nota: Los Wankarani se ubicaron en La Paz, Oruro y Cochabamba (Bolivia), en los alrededores del río Desaguadero. (Escalante, 1996).

Figura 10

Viviendas tipo putuco de los Chipaya



Nota: El t'epe la unidad constructiva es un bloque de tierra con raíces, de dimensiones: 0.43 m x 0.40 m x 0.12 m. Existen dos tipos de viviendas: las de forma "de colmena", y las de base circular, pero con techo de paja y sostenido por arcos de caña. (Gamio, 2018).

Figura 11

Viviendas de Umasuyo



Nota: Ilustración de los Putucos de Umasuyo. (Escalante Moscoso, 1993)

Como lo sostiene Cuitiño-Rosales et al. (2020) el adobe, la quincha, la tapia y el BTC (bloque de tierra comprimida) son las cuatro formas de construir con tierra más utilizadas en la edificación de viviendas; en estos sistemas habituales la gran parte de la energía de fabricación se origina del sol por la forma en que se seca o endurece sin necesidad de utilizar hornos de secado como ocurre con los ladrillos refractarios. Además de reducir las emisiones contaminantes, permite reducir el consumo de energías no renovables y el uso de sistemas naturales.

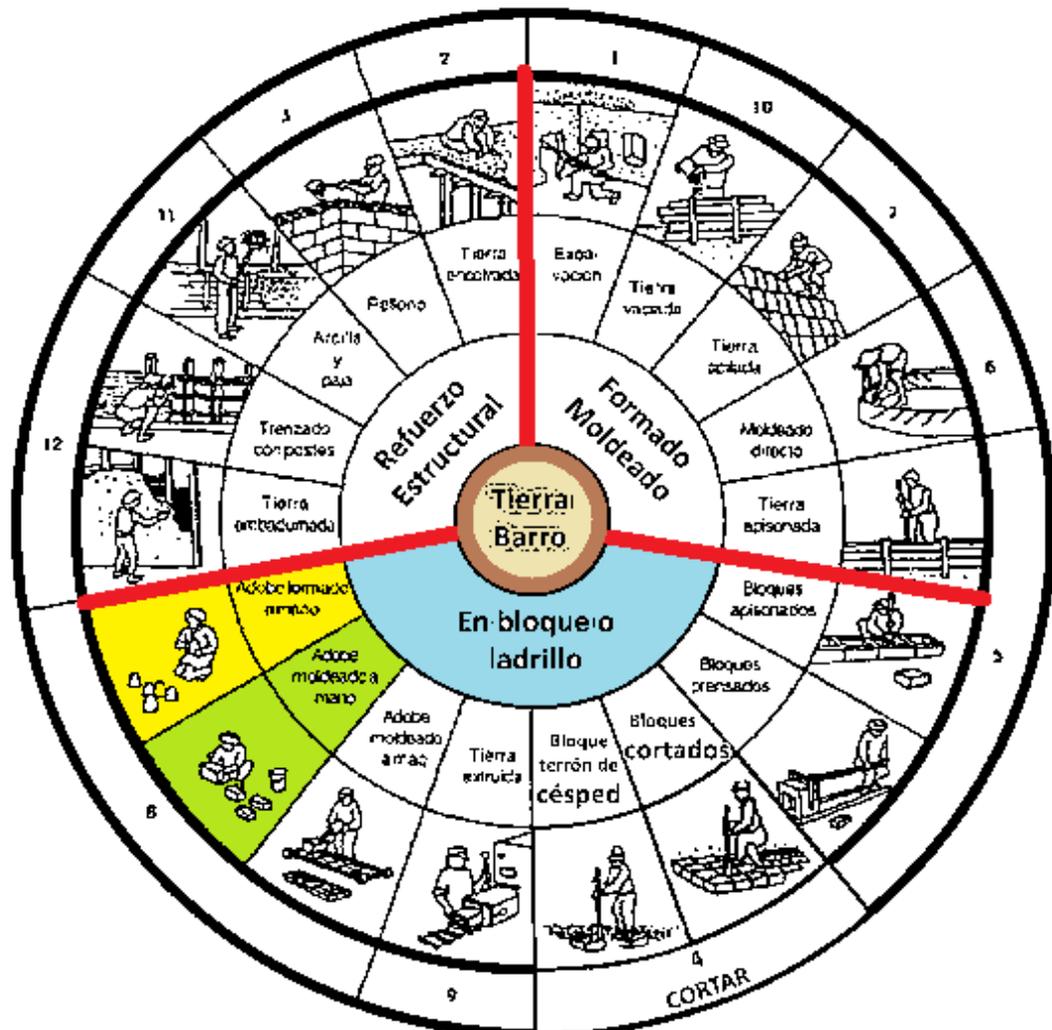
La construcción con tierra en el Perú es una técnica ancestral que ha sido utilizada desde tiempos precolombinos. Esta técnica se mantiene válida durante siglos debido a sus múltiples ventajas. Una de las ventajas más notables es su bajo costo. Los materiales necesarios para construir con tierra como la arcilla, la paja y la piedra, son abundantes en el territorio peruano, lo que reduce significativamente el costo de construcción. Además, la construcción con tierra es amigable con el entorno, pues disminuye el impacto en el ambiente generado por la producción de materiales de construcción convencionales. Los materiales de construcción con tierra son naturales y no requieren procesos de producción

intensivos, reduciendo así la propagación de gases de efecto invernadero. Otra ventaja es que la construcción con tierra permite una excelente regulación de la temperatura y humedad, lo que hace que las casas sean muy confortables en todas las estaciones del año (Rodríguez, 2021).

2.2.3. Técnicas constructivas con tierra en la actualidad

Figura 12

Disco de las técnicas constructivas con tierra



Nota: La tierra usada en la construcción es ventajosa porque puede almacenarse sin perder su composición, la cual influye en la calidad del material al que será destinado (Vitulas, 2021).

Dada la variedad de multicultural de la humanidad, las técnicas constructivas con tierra también son variadas, en su estudio Gatti (2012) nos

presenta una síntesis de las técnicas más utilizadas en forma circular, llamada “la rueda de las técnicas”; de esta última Vitulas (2021) adapto la rueda basándola en la técnica constructiva a usar, como puede apreciarse en la *Figura 12*.

De las técnicas estudiadas en la actualidad las que han tenido un posicionamiento y continuidad importante son:

2.2.3.1. Los bloques de tierra comprimida

Como lo señala Rodríguez (2021) los bloques de tierra comprimida conocidos como BTC, son elementos de albañilería fabricado mediante la compactación o prensado de tierra, seguido de su desmoldeo inmediato. Normalmente buscando la mejora de las propiedades físicas y mecánicas del BTC como son: la resistencia a la compresión, resistencia al desgaste por el viento, la impermeabilidad y la durabilidad, se aplican técnicas de estabilización granulométrica y química. El uso de estas técnicas implica mezclar proporciones de diferentes tipos de tierra y añadir aditivos químicos como cemento o cal generalmente.

También explica que los BTC se moldean mediante prensado en moldes que permiten producir piezas de diversas formas y dimensiones, existiendo una variedad de equipos para su elaboración y que puede adaptarse a los requerimientos de producción para diferentes tipos de construcciones. Además los BTC pueden ser utilizado en cualquier tipo de edificación como sustituto de las piezas de cerámicos o de concreto tradicional, ya sea en muros perimétricos o tabiquería portante, siempre y cuando se cumplan las exigencias técnicas establecidas en el diseño. Los muros pueden dejarse a la vista (si están protegidos de la lluvia) o recubrirse con mortero, pintura u otros revestimientos cerámicos. Además, presenta otros beneficios tales como:



- La utilización de equipo mecánico provee de calidad a las piezas obtenidas, tanto en términos de forma como de resistencia, lo que beneficia su puesta en obra.
- El equipo "móvil" aprovecha el suelo obtenido de la extracción del propio sitio de construcción.
- Mantiene las dimensiones de los bloques constantes y regulares.
- El bajo contenido de humedad en la mezcla permite que la etapa de curado no requiera de agentes externos (sol y viento), y los bloques tienen una estabilidad estructural inicial permitiéndoles capacidad de apilamiento, evitando el uso de grandes espacios u ambientes de secado.

Como Rodriguez (2021) lo describe: El proceso constructivo del BTC es similar al de la albañilería convencional con bloques cerámicos o de cemento. La albañilería se compone principalmente del bloque en sí y del mortero de asentamiento que forma las uniones horizontales y verticales.

2.2.3.2. Tapia o Tapial

Como lo reseñan Chuqui y Challco (2018) la técnica de construcción conocida como tapia o tierra pisada, consiste en la compactación de tierra dentro de un molde mediante impactos sucesivos con un "pisón", es una de las técnicas más antiguas y difundidas a nivel mundial". Esta técnica se desarrolla con el amasado y apisonado de tierra en un encofrado para formar muros monolíticos. El uso del tapial es beneficioso ya que consume baja energía durante el proceso de producción, generalmente no requiere transporte de materiales, pues su fabricación involucra el uso de tierra de la zona y que



puede ser reciclada ya que al demolerse las paredes vuelven prácticamente a su estado natural. Además de estas características, el tapial ofrece una inercia térmica sobresaliente y permite la circulación con el exterior de la humedad, lo que resulta en un menor o nulo consumo de energía para acondicionar los espacios construidos.

Además señalan que en regiones propensas a terremotos es necesario desarrollar diseños sismorresistentes para las estructuras de tapia, pues este método presenta bajo desempeño a las sollicitaciones de flexión y tracción. La estabilidad de muros se consigue a través de diversas estrategias, que incluyen dimensiones adecuadas, el empleo de refuerzos como contrafuertes y la combinación con otras técnicas de construcción. Además, se han introducido mejoras en la durabilidad, resistencia, acabado y métodos constructivos mediante la estabilización utilizando productos naturales o industriales, así como la compactación.

La implementación de elementos prefabricados de tapial representa una significativa evolución de esta técnica, que permite la creación de elementos de mayor calidad y la reducción de los tiempos de construcción. Sin embargo, es importante destacar que esto puede conllevar un aumento en los costos debido a los requerimientos de transporte y elevación. En el proceso de construcción tradicional, factores climáticos como la humedad, la lluvia y el viento, así como la orientación de las paredes en relación con la luz y la sombra, desempeñan un papel fundamental. La prefabricación en naves industriales ofrece la ventaja de controlar estos factores ambientales y por lo tanto, mejora la eficiencia de esta técnica de construcción (Gatti, 2012).



2.2.3.3. El adobe o bloque de tierra

El adobe es un tipo de ladrillo fabricado a partir de tierra cruda moldeada en estado plástico, secada al aire libre y posteriormente asentada en un mortero de tierra. Este método de construcción ha sido utilizado desde la antigüedad, inicialmente modelando los ladrillos a mano en forma de esferas o conos, antes de ser producidos en moldes y experimentar una industrialización notable por parte de los productores de ladrillos cocidos, que los convirtieron en una alternativa más económica (Minke, 2005).

En muchos países en vías de desarrollo la construcción con adobe es la opción de vivienda más común debido a la abundancia y bajo costo del material. Sin embargo, la construcción tradicional de viviendas de adobe se lleva a cabo de manera informal, sin asesoría técnica, esto resulta en una calidad de construcción generalmente baja. En regiones propensas a sismos donde se emplea el adobe como material de construcción, cada vez que se produce un sismo, numerosas de estas edificaciones se derrumban, generando importantes daños económicos y lamentables pérdidas de vidas humanas. En respuesta a esta seria problemática, comunidades académicas y expertas de países afectados por sismos han tomado medidas concretas. En Perú los investigadores de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) han dedicado cerca de 40 años a investigar la construcción con adobe en áreas sísmicas, obteniendo resultados invaluable. Su investigación se ha centrado en mejorar la resistencia sísmica de las estructuras de adobe, desarrollando técnicas de refuerzo y diseño adecuado que permitan aumentar la seguridad y reducir los riesgos asociados con este material de construcción (Rodríguez, 2021).



En general en la actualidad diversos investigadores han contribuido significativamente al avance y conocimiento en el campo de la construcción con adobe. Sus hallazgos y recomendaciones han sido utilizados para implementar prácticas más seguras y eficientes en la construcción de viviendas de adobe en áreas sísmicas (Rivera-Salcedo et al., 2020).

2.2.3.4. Extrusión

Como lo explica Barranzuela (2014) el proceso es similar al utilizado para fabricar ladrillos cerámicos, se emplea cuidadosamente una pasta semisólida de material seleccionado que pasa por una cánula de diseño específico por cada tipo de unidad. Esta boquilla expulsa el material en forma de un continuo "lingote" que luego se corta en piezas individuales mediante un cable de acero. Esta técnica presenta la ventaja de ser adaptable para producir una amplia variedad de elementos, como bloques huecos, bovedillas, tubos, baldosas, entre otros. Además aclara que aunque el principio es similar al de la fabricación de ladrillos cerámicos, la maquinaria utilizada en esta técnica presenta pequeñas variaciones. Debido a que la mezcla es más abrasiva que la empleada en los ladrillos cocidos, se requiere que la maquinaria sea más resistente. Por otro lado, la mezcla suele ser menos adhesiva, lo que implica un menor consumo de energía durante el proceso de extrusión.

Si bien es posible que esta técnica se haya utilizado de manera rudimentaria en épocas anteriores, la maquinaria actual ha permitido fabricar piezas muy similares a las ofrecidas por la industria cerámica o de barro cocido, con los mismos usos, especialmente en la distribución interior y el trasdosado de muros. En general, estas piezas son secadas a temperaturas entre 100 - 150 °C (grados centígrados) en lugar de ser cocidas, y son



comercializadas por empresas especializadas. La composición exacta de las mezclas utilizadas puede resultar difícil de precisar ya que, al ser una producción empresarial de aparición reciente, los fabricantes no han patentado ni revelado públicamente todos los detalles de estas "fórmulas profesionales" (Gatti, 2012).

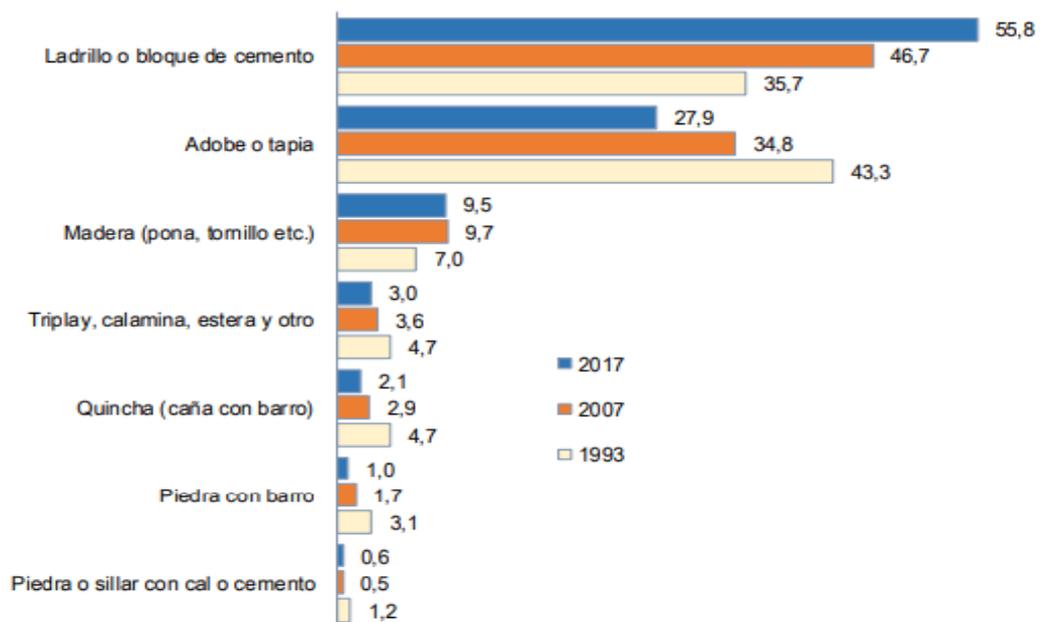
2.2.3.5. El Cob

La técnica del Cob como lo explica Castilla (2004) se basa en el apilado de "pelladas" de barro y fibras vegetales sobre el muro. Estas pelladas se amasan y secan previamente durante un día, lo que permite que tengan un volumen ligeramente superior en comparación con los casos anteriores. Las pelladas se colocan en el muro utilizando horcones y se compactan mediante pisadas. Después de dos días, cuando el material ha adquirido cierta consistencia, se corta el exceso con una pala y se nivela la superficie del muro. Este sistema permite construir muros de espesores que van desde los 40 cm hasta los 200 cm y es fácilmente adaptable para crear secciones inclinadas. En la actualidad aún se pueden encontrar construcciones de alta calidad utilizando esta técnica en el Reino Unido y en el centro de Europa. Entre las iniciativas más destacadas para la conservación de estas estructuras se encuentran las del Parc Regional des Marais du Contentin, en el noroeste de Francia, y las llevadas a cabo por English Heritage en Gran Bretaña. En diversos proyectos de construcción de viviendas unifamiliares de nueva edificación, algunos constructores han optado por recuperar la técnica del Cob. Estos proyectos ofrecen interesantes ejemplos de aplicación práctica de esta técnica tradicional. Además, se ha observado un creciente interés en el uso del Cob en la construcción sostenible y ecológica, ya que el barro utilizado es un material

localmente abundante y de bajo impacto ambiental. La combinación de barro y fibras vegetales proporciona una excelente capacidad de aislamiento térmico y acústico, y el proceso de construcción es relativamente sencillo y accesible para comunidades locales. Es importante destacar que la técnica del Cob requiere de un mantenimiento adecuado para garantizar su durabilidad a largo plazo. La protección contra la erosión y la humedad son aspectos clave a considerar, ya sea mediante el uso de revestimientos protectores o a través de un diseño adecuado que evite la exposición directa a la intemperie.

Figura 13

Estadística de viviendas particulares según material de paredes



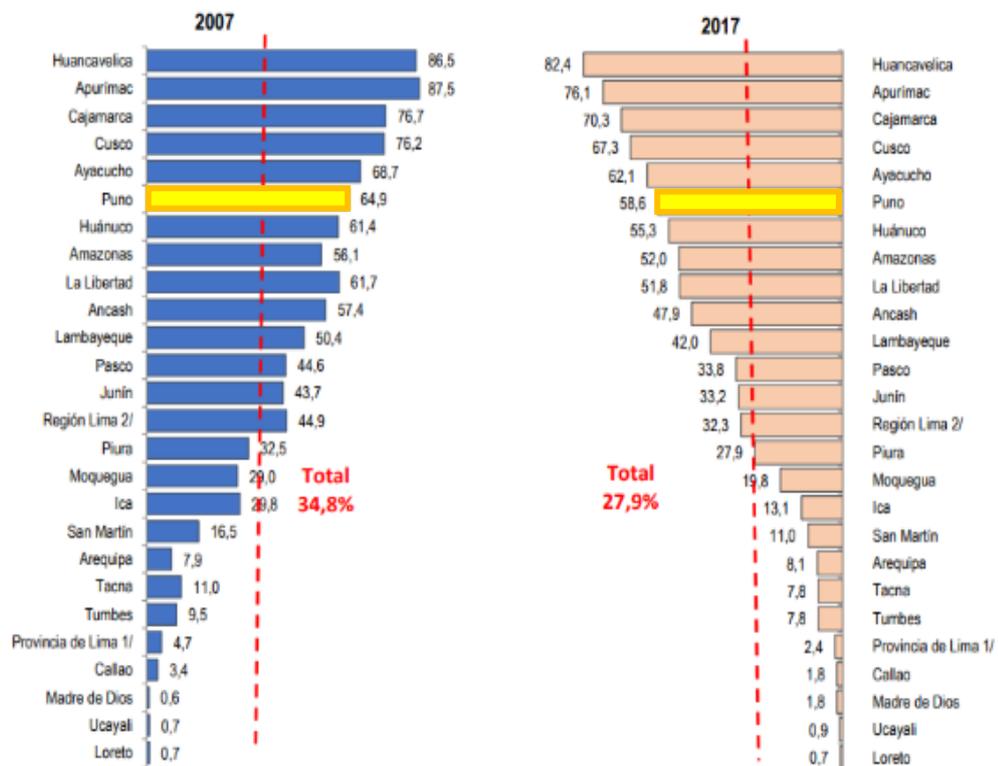
Nota: Obtenido de Reporte INEI, Censos Nacionales de Población y Vivienda 2017

De las técnicas descritas líneas arriba, en el Perú las técnicas que tienen una presencia importante en la construcción de viviendas son el Adobe y el Tapial, como lo reportó el INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) en el censo 2017 como puede verse en la *Figura 13*. Si bien es cierto que entre los años 2007 a 2017 se ve un descenso en el uso del adobe y/o tapial de 34.8% a 27.9%,

esta cifra sigue siendo significativa; pues del total de 1874 distritos existentes en el país, en 649 distritos se destaca que 714 802 viviendas particulares (equivalente a 90%) tienen predominancia de paredes exteriores hechas de adobe o tapia. Entre los distritos con mayor presencia de estas construcciones se encuentran Huacllan, Eleazar Guzmán Barrón, Cajamarquilla y Alfonso Ugarte, ubicados en el departamento de Áncash, así como el distrito de Paranday en el departamento de La Libertad, donde el 100% de las viviendas tienen este tipo de materiales en sus paredes exteriores.

Figura 14

Material predominante en paredes exteriores 2007-2017



Nota: Viviendas particulares con adobe o tapia predominante en las paredes exteriores, según departamento, 2007 y 2017. (INEI, 2018)

Según el INEI (2018) en 430 distritos se cuenta con 541 345 viviendas particulares con paredes exteriores de adobe o tapia, representado esto un rango de 70% a 89.9% de las viviendas totales en estos distritos. Además, en 165

distritos existen 282 912 viviendas que utilizan adobe o tapia en sus paredes exteriores siendo esto el 50% a 69.9% de todas las viviendas. Por otro lado, en el rango de 0% a 49.9% se registran 630 distritos con 609 435 viviendas particulares que tienen este tipo de material en sus paredes exteriores. En este último rango, hay 13 distritos en los cuales ninguna de las 6 169 viviendas particulares presenta paredes exteriores de adobe o tapia. En lo que respecta a Puno el porcentaje de viviendas de adobe respecto al total de las viviendas es de un 58.6%, y aunque este porcentaje se ve disminuido en 6.3% respecto al censo del año 2017; sigue siendo más de la mitad de viviendas presentes en el departamento, tal como se puede ver en la *Figura 14*.

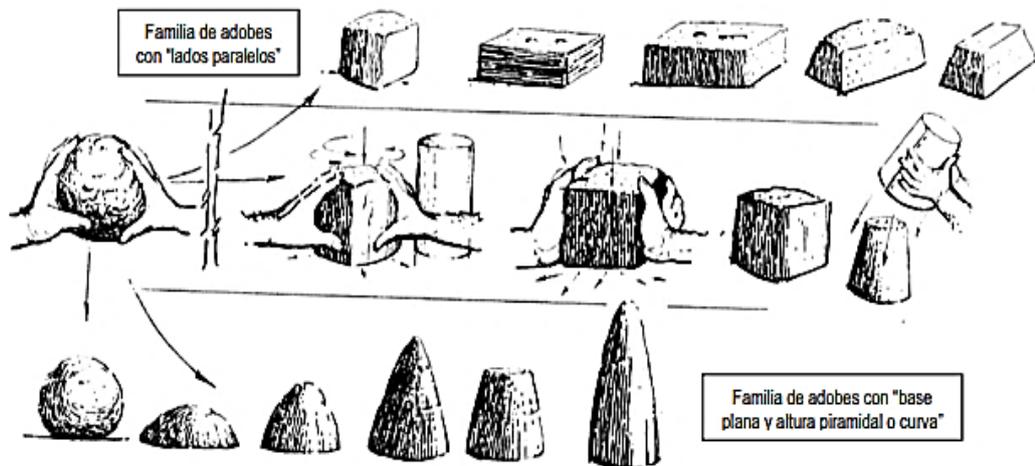
2.2.4. Bloques de tierra o adobe

Los bloques de tierra cruda o adobe se utilizan en la construcción de muchas estructuras diferentes. Se trata de un tipo de material de construcción hecho de arcilla, arena y otros materiales naturales mezclados entre sí. Por su uso extenso y variado a nivel mundial no existe una nomenclatura estricta para su denominación, sin embargo Calderon (2013) define adobe a la mezcla moldeada y seca de arena, arcilla, agua y alguna fibra vegetal (paja, heno, raíces), mientras que los bloques de tierra no poseen adición de ninguna fibra vegetal.

Como lo explica Campana (2000) a lo largo de diferentes culturas los bloques de tierra han experimentado cambios en su forma y en la manera en que se utiliza como unidad de construcción, estas variaciones han incluido formas como esferas, semiesferas, cilindros, conos y prismas. En las *Figuras 15 y 16* aparecen las dos posibles familias de adobes, mostrando hipotéticos pasos intermedios y otras formas de elaboración eventual, las que se suponen fueron evolucionando hasta tener la forma prismática predominante actualmente.

Figura 15

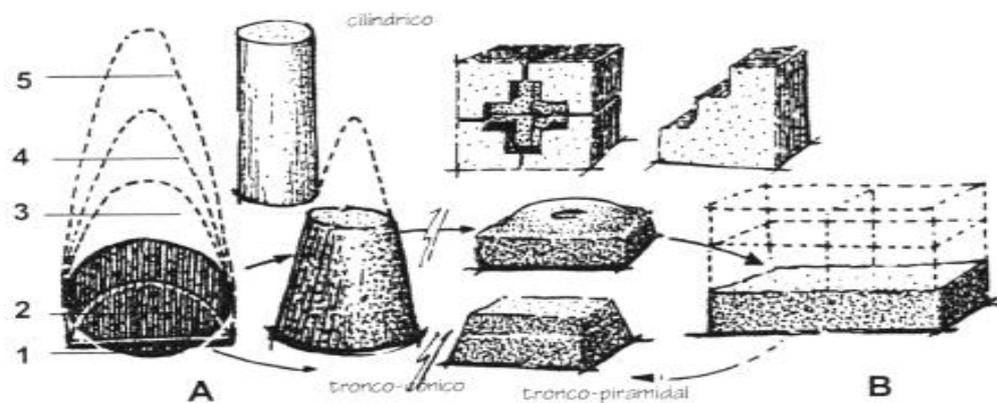
Evolución hipotética de las formas del adobe



Nota: Dibujo de elaboración y evolución posibles de las dos familias de adobes. Se supone que partiendo de una bola se podían hacer los de altura curva con solo ir amontonando más barro en la parte superior y así llegar al «cono» y al «odontiforme»; en cambio, para el de lados paralelos bastaría ir golpeando sobre una superficie plana la bola, hasta convertirlo en un «cubo». Después se inventaría la gavera. (Campana, 2000).

Figura 16

Secuencia de pasos en la elaboración del adobe



Nota: Relación entre bloques de tierra de las familias (A) «base plana-altura curva», y la de (B) «lados paralelos». La gradación se da, con el mayor uso de las líneas rectas, lo cual no implica necesariamente mayor desarrollo. (1) bola, (2) lenticular o plano convexo, (3) conoide, (4) cónico, (5) odontiforme. (Campana, 2000).

Los bloques de tierra son materiales constructivos elaborados con tierra de la corteza terrestre, concretamente por suelo que técnicamente es la parte de la



tierra libre de rocas que se puede excavar sin explosivos (Torrijo y Cortés, 2007), además es importante precisar que el suelo es una masa que se extiende vertical y horizontalmente, producida por la descomposición de las rocas a través de procesos físicos, químicos y bióticos para formar un conglomerado. (Salas, 2013).

En su investigación Fitzpatrick (1993) afirmó que los suelos son el resultado de la interacción de cinco factores: material de origen, clima, organismos, topografía y tiempo, por lo tanto a la hora de hacer construcciones con tierra no todos los tipos de tierra son adecuados para construir, es por eso que se debe seleccionar la tierra adecuada para cada técnica constructiva. En la *Figura 17* se puede observar los componentes de la tierra detalladamente.

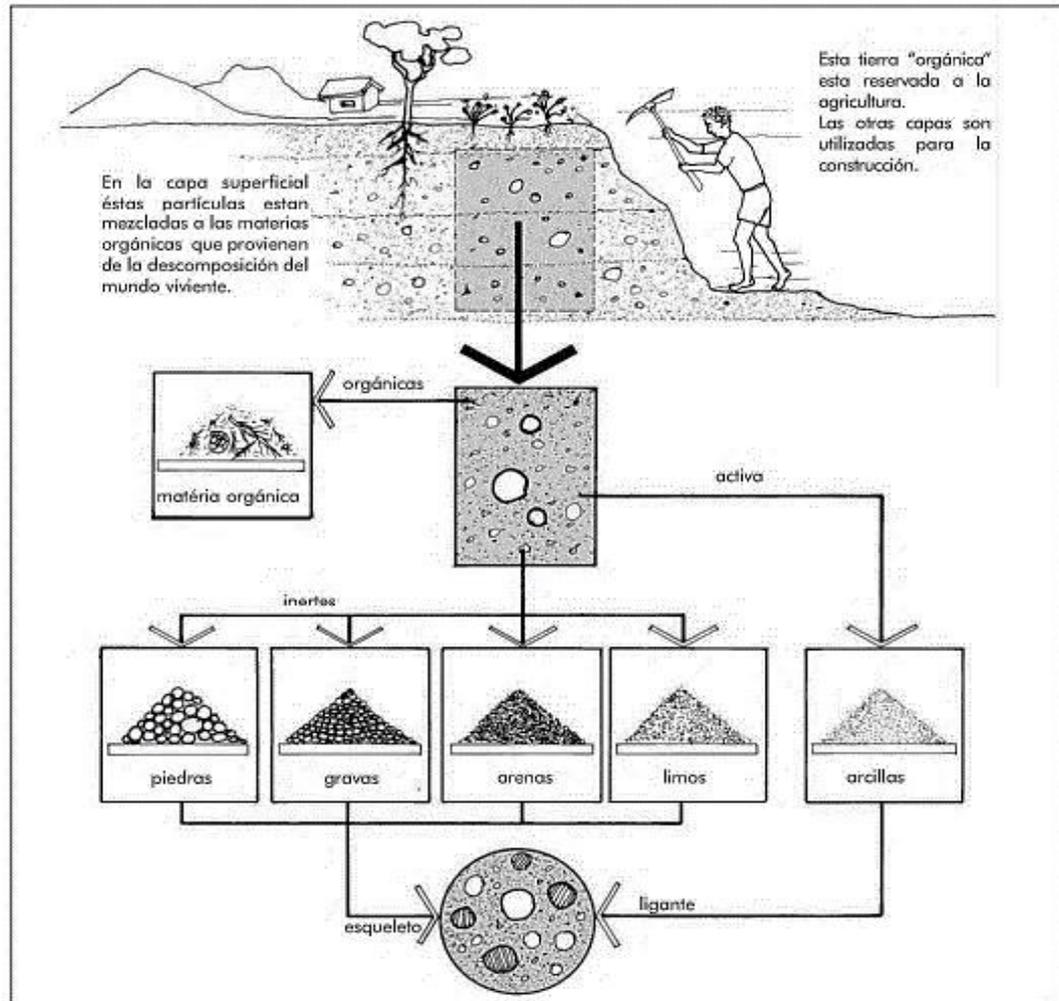
De los componentes presentes en el suelo la arcilla es el ingrediente principal de los bloques de tierra, autores como Gamio (2018) establecen un porcentaje entre 20% y el 30%, mientras que Minke (2005) establece dos granulometrías para la elaboración de adobes o bloques de tierra: la primera, considerada la típica contiene 24% arcilla, 50% limo, 23% arena y 3% grava; la segunda, la optimizada señala 14% de arcilla, 22% limo, 62% arena y 2% grava; además, señala que aunque la cantidad de arcilla en la mezcla es importante pues esta le da cohesión al bloque de tierra y lo hace más trabajable, una buena cantidad de arena es lo que permitirá tener un grado alto de porosidad que se traduce en resistencia a las heladas además de mejorar su resistencia a la compresión.

Como lo explica Sánchez (2008) el suelo terrestre se compone de diversas capas que se encuentran en paralelo a la superficie terrestre y se diferencian por sus características, como el color, la textura, la consistencia, la estructura, la presencia de material orgánico, nódulos, vacíos, pH (potencial de hidrógeno), límite y continuidad de cada capa. Cada una de estas capas se llama horizonte y

el conjunto de horizontes que conforman una exposición vertical de una porción superficial de la corteza terrestre se conoce como perfil del suelo.

Figura 17

Composición del suelo para extracción y uso en construcción



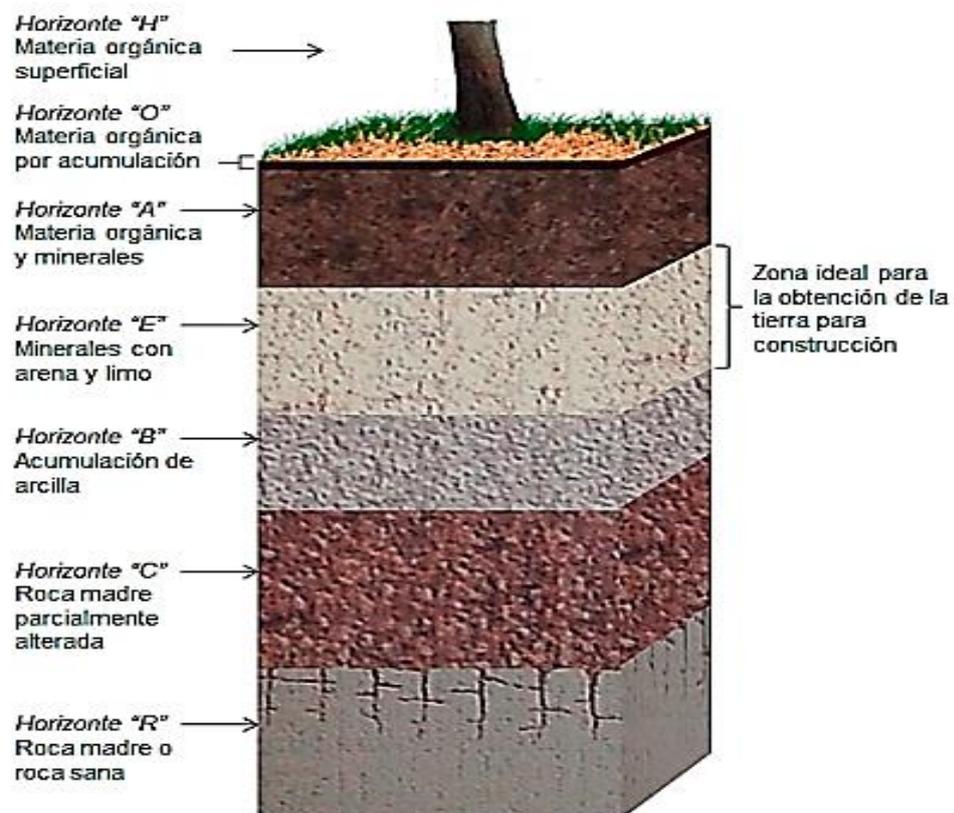
Nota: La tierra de manera general es una combinación de arcilla, limos y arena, también contiene a veces pequeñas cantidades de gravas y rocas. (Gatti, 2012).

Además Sánchez (2018) explica que la nomenclatura de cada horizonte es diferente y se delimita por letras que varían en función del material que los compone como se muestra en la *Figura 18*, en la cual se muestra un perfil del suelo compuesto por siete horizontes denominados "H, O, A, E, B, C y R". La capa "H" está compuesta por material orgánico superficial y en climas templados

es la zona en la que se encuentran los árboles, mientras que en climas secos está compuesto por cactáceas. La capa “O” se encuentra limitado por la acumulación de material orgánico en la superficie del suelo. En la capa “A” el suelo contiene materia orgánica en forma de raíces y minerales. La capa “E” en cambio, carece de material orgánico y los minerales presentes tienen un alto contenido de arena y limo. En la capa “B” se acumula arcilla que es transportada desde los horizontes superiores, y la cantidad de arcilla determina la retención de agua en el subsuelo. La roca madre parcialmente alterada de donde se extrae la grava utilizada en la construcción se encuentra en la capa “C”. La capa “R” corresponde a la roca madre inalterada y representa la capa más cercana al magma.

Figura 18

Perfil del suelo según horizontes



Nota: Para construir con tierra se extrae el material del suelo a la profundidad adecuada, lo que requiere comprender conceptos de edafología, la ciencia que estudia los suelos. (Sánchez D. A., 2008)



Autores como Aguilar (2008), Mchenry (1996), Minke (2005), Prieto y Carrillo (1978) coinciden en que la capa más adecuada para extraer tierra es la capa “E”. Esto se debe a que la capa “E” contiene una mezcla de arena, limo y arcilla, lo que la hace ideal para la elaboración de bloques. Por otro lado, la zona profunda de la capa “B” puede utilizarse como agregado en la mezcla debido a su mayor cohesividad por fricción en comparación con la arena. En cuanto a la capa “A” no es recomendable para la construcción debido a la presencia de material orgánico que puede dar lugar a la proliferación de flora y fauna parásita.

El agua es el segundo ingrediente principal de los bloques de tierra, y representa alrededor del 20% al 30% de la mezcla. La cantidad de agua utilizada en la mezcla es crucial, ya que es lo que permite que los materiales se mezclen adecuadamente y formen la masa homogénea necesaria para moldear los ladrillos de adobe (Rodríguez, 2021). La materia orgánica es el tercer ingrediente si lo que se quiere elaborar son adobes, y representa entre el 5% y el 20% de la mezcla. La materia orgánica puede ser paja, hierba o cualquier otro material vegetal que se mezcle con la arcilla y el agua. Esta materia orgánica sirve como aglutinante, aumentando la resistencia y la durabilidad del adobe (Minke, 2005).

2.2.4.1. Composición del suelo para elaboración de bloques de tierra

En el Perú actualmente el adobe está estandarizado y ha dado lugar a una norma para la correcta preparación y uso del material, en ella se explica cuanto debe ser el porcentaje adecuado de sus componentes: arena, 50-70%, se recomienda añadir un 15-18% de arcilla para maximizar su eficiencia. Y para dar flexibilidad se utiliza paja o fibras vegetales, 10-28%. El agua utilizada debe ser potable, sin residuos de sustancias orgánicas y tampoco presencia de sales, ni aceites y ácidos. (Norma E.080, 2017)

2.2.4.1.1. Limos

Los limos como lo explica Carcedo (2012) son un tipo de sedimento compuesto principalmente de partículas muy finas de arcilla, sílice y otras materias disueltas en agua. Esta mezcla se forma con el tiempo y se deposita en los fondos de los cuerpos de agua. La composición de los limos varía según la geografía y a menudo contiene minerales, incluyendo yeso, calcita, dolomita, cuarzo, feldespatos, hematita y magnetita.

Además detalla que geológicamente los limos forman capas que se pueden estudiar para conocer la historia geológica reciente de un área. Estas capas se desarrollan a medida que los ríos, arroyos y lagos transportan sedimentos desde los depósitos montañosos. Estos sedimentos se acumulan en los fondos de los cuerpos de agua y con el tiempo se compactan y forman estratos o capas. Estos estratos pueden contener información sobre el tipo de materiales y la cantidad de movimiento de la masa de agua en el área. La acumulación de limo también se usa para determinar la edad relativa de las capas rocosas cercanas.

Los limos tienen cierta plasticidad, cohesión y absorción. Están compuestos principalmente por fragmentos de cuarzo y sus partículas tienen formas irregulares y suelen ser ásperas al tacto. Existen dos tipos de limos: el limo orgánico que se forma en suelos húmedos y el limo inorgánico que está compuesto únicamente por polvo rocoso. Además puede tener una variedad de colores, desde blanco hasta negro dependiendo de la composición de los granos. Los limos ayudan a prevenir la erosión pues estos son muy impermeables, lo que hace que el suelo sea



más estable, lo que reduce la cantidad de sedimentos que se transportan con el agua (Pantoja, 2022).

2.2.4.1.2. Arcillas

Como lo indica Rhodes (1989) la arcilla está constituida por partículas minerales y sustancias coloides formadas por la desintegración química de rocas alúminas. A través de procesos geológicos de envejecimiento terrestre las rocas que conforman la corteza terrestre y que en su composición poseen feldespatos (mineral corriente y abundante); es decir, rocas feldespáticas se descomponen y dan origen a la formación de arcillas.

Las arcillas son materiales inorgánicos no-metálicos que se forman sedimentariamente, su estructura interna es la de planos superpuestos uno sobre otro, estos planos al retener agua entre ellos forman sistema arcilla – agua, dichos sistemas determinan la plasticidad de la arcilla. Los sistemas arcilla – agua al perder paulatinamente agua se contraen y van aumentando su resistencia; y luego al ser sometidos a altas temperaturas adquieren dureza y durabilidad (Valdez, 1994).

Por su naturaleza de formación (diferentes condiciones y factores), Rodríguez (2021) reseña que las arcillas poseen características propias, las cuales influirán en las propiedades que adoptará la mezcla base para la elaboración de los bloques de tierra. Así se tiene que:

- Las arcillas usadas como materia prima en la elaboración de bloques de tierra, usualmente son arcillas amarillas, rojas o marrones tendiendo a negras que son de composición heterogénea.



- Las arcillas usadas en la fabricación de bloques de tierra, deben ser plásticas al ser mezcladas con agua, esto para facilitar su moldeo cualquiera que sea el método (moldes, prensas, maquinas extrusoras, etc.).
- Las partículas constituyentes de las arcillas deben tener adhesión suficiente para conservar estabilidad en el bloque después de su moldeo; además debe tener la capacidad de fundirse uniformemente al ser cocida a temperaturas altas.

2.2.4.1.3. Agua

Al ser un componente esencial en el proceso de hidratación para la fabricación de los bloques de tierra, este debe cumplir con requisitos que le permitan activar el proceso químico que aumente las propiedades de los materiales (arcillas y limos), sin generar en estas últimas reacciones adversas (Rodríguez, 2021). Además las características de la mezcla base (suelo + agua) buscadas con la adición de agua son:

- En estado no solidificado debe ser lo suficientemente plástico para facilitar su manipulación y moldeo.
- En estado solidificado no debe verse afectado ni en propiedades ni en características producto por la pérdida de agua.

De manera general se recomienda que se puede utilizar agua para mezclado cualquiera que sea considerada potable o en su defecto aquellas que por uso zonal o experiencia son utilizadas para la fabricación de bloques de tierra, sin que haya la necesidad imperativa de realizar ensayos para verificar su calidad (Aguilar, 2008).

En lo que se refiere a requisitos normativos nacionales referidos al agua, solo se cuenta con la NTP (Norma Técnica Peruana) 339.088, la cual norma el agua empleada para la preparación y curado de concreto (Tabla 7).

Tabla 7

Requerimientos de la composición del agua

<i>Sustancias disueltas</i>	<i>Valor máximo admisible</i>
Cloruros	300 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de Magnesio	150 ppm
Sales Solubles	150 ppm
PH	Mayor de 7
Sólidos en suspensión	1500 ppm
Materia orgánica	10 ppm

Nota: NTP 339.088

Además la norma NTP 339.088 además diferencia entre cuatro tipos de agua utilizables para mezcla de concreto:

- Agua potable, la que es apta para el consumo humano.
- Agua reciclada, obtenida de la recuperación de procesos de producción de concreto, agua de lluvia o agua con partículas de concreto.
- Agua combinada, resultante de la mezcla de dos o más aguas, lo cual puede ocurrir antes o durante la mezcla de concreto.
- Agua no potable, la que no es apta para el consumo humano, generalmente con presencia de sustancias que la enturbian, decoloran y hacen que posea un olor fétido y/o sabor putrefacto.



2.2.4.1.4. Agregado fino (Arenas)

Como lo define Abanto Castillo (1994) las arenas son agregados finos compuestos por partículas de diferentes tamaños, que pueden variar desde partículas gruesas hasta partículas muy finas.

En el proceso de fabricación de bloques de tierra, las arenas se utilizan como parte de la mezcla junto con otros materiales como la tierra cruda, el cemento u otros aglomerantes y el agua. Estas arenas actúan como un elemento de relleno y refuerzo en la mezcla, proporcionando estabilidad y resistencia al bloque final (Rodríguez, 2021).

La selección adecuada de las arenas es crucial para garantizar la calidad y las propiedades deseadas en los bloques de tierra. Es importante considerar el tamaño y la granulometría de las partículas de arena; además de su función estructural, las arenas también desempeñan un papel importante en la absorción y retención de agua en la mezcla. Una adecuada proporción de arena en la mezcla ayudará a controlar la humedad y facilitará la compactación durante el proceso de moldeo de los bloques (Mchenry, 1996). Además Rivva López (2010) nos recomienda que la fracción de arena cumpla con:

- La granulometría elegida debe ser mayormente uniforme, con partículas retenidas en las mallas desde N° 4 hasta N° 100.
- Más del 45% del material no debe ser retenido en dos tamices consecutivos.
- De manera general se debe cumplir los siguientes límites de granulometría vistos en la *Tabla 8*.

Tabla 8

Requisitos granulométricos para agregados finos

Tamiz - malla	Porcentaje pasante
9.5 mm (3/8 in)	100
4.75 mm (N° 4)	95 a 100
2.36 mm (N° 8)	80 a 100
1.18 mm (N° 16)	50 a 85
600 μ m (N° 30)	25 a 60
300 μ m (N° 50)	05 a 30
150 μ m (N° 100)	0 a 10

Nota: Norma Técnica Peruana 400.037 (2002)

2.2.5. Estabilización de suelos

La estabilización de suelos es un proceso al que será sometido un suelo natural, mediante el cual después de un manipuleo o tratamiento pueda mejorar una o más de sus características o propiedades, o bien corregir una o más deficiencias. En lo que respecta a los bloques de tierra, el suelo usado para su fabricación de no cumplir con los requerimientos granulométricos mínimos o para potenciar una o más de sus características se estabiliza buscando que el producto resultante sea resistente a la retracción, erosión y corrosión (IECA et al., 2008).

Para la estabilización de suelos contamos con tres métodos a evaluar dependiendo de la necesidad del uso:

2.2.5.1. Estabilización mecánica

Rico y Del Castillo (1984) la definen como la acción mecánica que busca aumentar la compacidad del material, usualmente esta estabilización se logra mediante la compactación que depende a su vez de: la humedad del material y la granulometría de este. El proceso de compactación, lo que busca es reducir la cantidad de vacíos o aumentar el contacto entre las partículas del



suelo; este proceso también es conocido como densificación. Al usar esta estabilización lo que se logra es:

- Reducir la relación de vacíos del material, con el objetivo de disminuir la permeabilidad.
- Aumentar la resistencia a esfuerzos cortantes, lo que dará estabilidad interna al material.
- Disminuir el potencial de expansión y contracción por congelamiento y descongelamiento.
- Reducir la compresibilidad del material lo cual disminuirá los asentamientos.

2.2.5.2. Estabilización química

Rico y Del Castillo (1984) explican que en este proceso se busca mejorar el enlazamiento entre partículas del suelo, reduciendo la porosidad y por tanto un incremento en la impermeabilidad del suelo; lo que equivale a un proceso de consolidación. Dentro de este proceso también se logra una mejora de las características físicas del suelo como son:

- Aumento de la calidad de rigidez
- Mejora la resistencia a la erosión
- Disminución de la sensibilidad al agua.

De los productos utilizados para estabilización química, la cal y el cemento son los más usados comúnmente; estos mejoran la resistencia a la compresión, no obstante, para ver mejoras significativas en los suelos estabilizados se debe adicionar cantidades no menores del 5% del peso total del suelo a estabilizar (IECA et al., 2008).



En su estudio Minke (2005), afirma que la calidad de cohesión de los minerales de arcilla se ve afectado por la interferencia de las partículas de cal o cemento, además concluyo que la cantidad de cal o cemento es directamente proporcional al contenido de arcilla. Adicionalmente probó que la cal es un mejor estabilizante en suelos con abundante arcilla, mientras que lo propio para el cemento en suelo arenosos.

Respecto a la cal, esta aumenta la resistencia a los esfuerzos de compresión y corte; además de disminuir su capacidad de absorción de agua, lo cual hace de la cal mejor estabilizante por consolidación pues no modifica la porosidad del suelo ni hace que este pierda su adherencia (Arteaga et al., 2011).

Por otra parte, Toirac (2008) explica que el cemento forma enlaces mecánicamente más resistentes con las partículas más gruesas del suelo (Limos y arenas), dichos enlaces no se ven afectados por la presencia de agua, por lo cual conservan su resistencia en el proceso de compactado.

2.2.5.3. Estabilización física

En este proceso el suelo es mejorado a través de la adición de otro u otros suelos; con lo cual se busca complementar propiedades entre ellos, lo que da como resultado un suelo con mejores características (IECA et al., 2008).

La UNE 41410 establece que en este tipo de estabilización las propiedades que se buscan mejorar son los de la granulometría y/o la plasticidad; puesto que de la primera depende: La compacidad, la resistencia y la trabajabilidad, y por otro lado de la segunda dependen: la capacidad



drenante y la susceptibilidad al agua. Además Cid Falceto (2012) explica que las estabilizaciones físicas más usadas en suelos son:

- Estabilización por fibras: También conocida como Estabilización por fricción, busca incrementar las resistencias a la flexión y al corte mediante el uso de un armazón interno conformado por fibras, esto ayuda a prevenir procesos de retracción del material, lo cual mejora su secado y disminuye los efectos de la erosión.
- Las fibras al controlar la contracción previenen la fisuración, además que articulan toda la estructura y la vuelven “flexible” frente a movimientos sísmicos. Las fibras adicionadas son generalmente naturales, aunque las hay sintéticas; cuando son naturales estas deben ser añadidas secas para evitar su descomposición orgánica.
- Estabilización por compensación granulométrica: También conocida como Proceso de Homogenización, se realiza combinando dos o más suelos naturales; por decir, se puede añadir arena para mitigar o contrarrestar los efectos del exceso arcilla en un suelo, o añadir limos o arcilla para añadir o potenciar la cohesión del suelo.

Como concluyo Pinos (2015) sí un suelo posee mucha cohesión se deberá añadir arena y lo propio para un suelo de baja cohesión, se deberá añadir arcilla.



2.2.6. Suelo-cemento en la fabricación de bloques de tierra

Como define Toirac (2008) se denomina suelo-cemento a la mezcla de: suelo, cemento y agua que en dosificación a conveniencia exhibe propiedades físicas y mecánicas mejoradas. Además el material resultante al ser sometido a compactación durante su proceso de fabricación da origen al denominado suelo-cemento apisonado. También aclara que de los tres componentes del suelo-cemento, el de mayor volumen en la mezcla y más complejo de analizar es el suelo.

2.2.6.1. Cemento Portland

Se denomina cemento a aquellos materiales pulverizados que al ser combinados con una cantidad específica de agua forman una pasta con propiedades conglomerantes y que pueden endurecerse al aire y bajo el agua sin perder su estabilidad. La excepción a esta última afirmación son los yesos, cales hidratadas y cales aéreas (Abanto Castillo, 1994).

Este conglomerante está constituido por la mezcla de caliza y arcilla, las cuales son sometidas a una temperatura de fusión aproximada de 1450 °C a 1550 °C para lograr una composición química estable. Una vez calcinadas (Clinker) son molidas para lograr un material que reaccione químicamente al combinarse con agua, de manera que endurezca hasta ser una masa de piedra (Rivva López, 2010).

2.2.6.1.1. Clinker

Se denomina así al material parcialmente fundido que sale del horno, usualmente son pequeñas esferas de color gris negruzco, duros y de tamaño heterogéneo (Abanto Castillo, 1994)

La fabricación del Clinker comienza con la combinación de:



- Arcillas: Sílice (Anhidrido Silico SiO_2) entre 17% a 25% y Alúmina (Oxido aluminio Al_2O_3) entre 3% a 8%.
- Calizas: Cal (Oxido de Calcio CaO) entre 60% a 67%.
- Fuente de Hierro: (Óxido de Hierro Fe_2O_3) entre 0.5% a 6%.

Los componentes mencionados son molidos finamente en crudo, para luego ser mezclados siguiendo una dosificación adecuada; una vez combinados son calentados a temperatura alta aproximada de 1500 °C. Al material obtenido de la cocción se le conoce como Clinker de cemento, una vez enfriado el Clinker es molido y se le adiciona durante este proceso una cantidad de Yeso (Sulfato de Calcio) aproximada de 6%; este nuevo producto resultante es conocido como Cemento Portland (Rivva López, 2010).

2.2.6.1.2. Componentes principales del cemento portland

Los autores Abanto Castillo (1994) y Rivva López (2010) definen al cemento como el resultado de la combinación de varios compuestos pues este no tiene una forma práctica de ser expresada químicamente; por eso lo describen en base a los cuatro componentes que representan el 90% de su peso y siendo estos:

- Silicato Dicálcico $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (C_2S)
- Silicato Tricálcico $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (C_3S)
- Aluminato Tricálcico $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A)
- Aluminio Ferrita Tricálcica $4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$ (C_4AF)

Silicato Dicálcico (C_2S): Este compuesto es responsable de la resistencia posterior que adquiere la pasta de cemento. Si bien el C_2S es la principal fuente del desarrollo de la resistencia de la pasta de cemento, este



tiene una contribución baja a la resistencia inicial; esto debido a que el C_2S posee una lenta velocidad de hidratación, lo cual lo caracteriza como principal constituyente de cementos de endurecimiento lento.

El C_2S también es el principal contribuyente a la resistencia de la pasta de cemento frente a ciclos de congelamiento y descongelamiento, la cual mejora con el aumento del porcentaje de silicatos cálcicos en el cemento. Posee un calor de hidratación completa de 62 cal/g.

Los cementos con mayor porcentaje de Silicatos Dicálcicos son más resistentes al ataque de sulfatos, además de que son más estables químicamente lo que los hace ideal para construcciones con vaciados masivos en climas calurosos o en cualquier proyecto donde lo esencial no sea obtener resistencias iniciales veloces (Rodríguez, 2021, p. 49).

Silicato Tricálcico: Este compuesto es responsable de la alta resistencia inicial de la pasta de cemento. El C_3S al reaccionar con el agua produce gran cantidad de calor lo que se conoce como Calor de Hidratación, este último es directamente proporcional a la rapidez de endurecimiento. Este posee un calor de hidratación completa de 120 cal/g. Debido a su alta velocidad de endurecimiento como a su capacidad de generar calor cementos con mayor porcentaje de silicato tricálcico son recomendados para proyectos en zonas con temperaturas bajas; sin embargo, su uso no está recomendado para operaciones con vaciados masivos (Rodríguez, 2021, p. 50).

Aluminato Tricálcico: Este compuesto colabora con el desarrollo de la resistencia durante las primeras 24 horas, luego de ese periodo su colaboración es casi nula. La presencia de C_3A en clinker es con la misma



composición varía inversamente de acuerdo a la velocidad de enfriamiento; posee un calor de hidratación completa de 207 cal/g, la que para controlar se adiciona sulfato de calcio (yeso) cuando el Clinker está siendo molido.

Una concentración mayor de C_3A produce una disminución en la resistencia de la pasta de cemento a los ciclos de congelamiento y descongelamiento. Además el C_3A es muy susceptible a las aguas sulfatadas y aguas con cloruros, por lo que se recomienda no usar concentraciones mayores al 5%. Comparando cementos con mayor contenido de C_2S frente a cementos con mayor contenido de C_3A y C_3S ; los primeros poseen mejor resistencia frente a agentes abrasivos que los segundos; pero estos últimos dan altas resistencias en corto plazo (Rodríguez, 2021, p. 50).

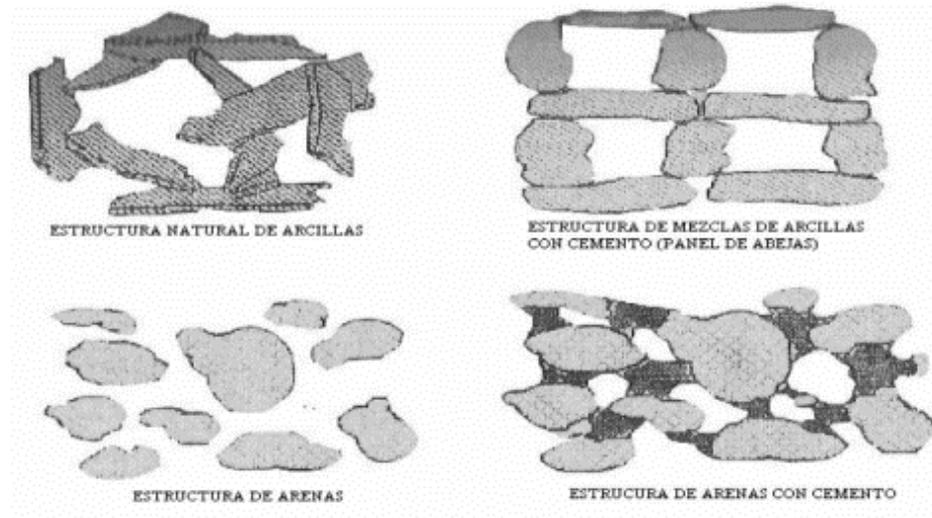
Aluminato Ferrita Tricálcica: Este compuesto posee un calor de hidratación de 100 cal/g, por lo que su principal tarea no es aportar resistencia mecánica, sino aportar durabilidad frente a agentes químicos agresivos (Rodríguez, 2021, p. 51).

2.2.6.2. Suelo para fabricación de bloques de tierra estabilizados

En su investigación Toirac (2008) basándose en su utilización como material de construcción, clasifica al suelo en dos grandes grupos: *suelos finos*, compuestos por arcillas y limos, y *suelos gruesos*, formados por arenas y gravas. Estos a su vez se dividen en subgrupos según la distribución de tamaños de partículas y la plasticidad que presentan con diferentes contenidos de humedad.

Figura 19

Estructura de partículas estabilizadas



Nota: En estado natural los suelos presentan más vacíos y dependerá de la composición del suelo su comportamiento al ser estabilizado. (Toirac, 2008).

2.2.6.2.1. Suelos finos

Son suelos de grano fino, es decir suelos arcillosos y limosos, que experimentan la formación de fuertes enlaces entre las partículas minerales durante el proceso de hidratación cuando se mezclan con cemento y agua. Esto conduce a la creación de una microestructura en forma de panel de abejas como se aprecia en la *Figura 19* (Toirac, 2008).

2.2.6.2.2. Suelos gruesos

Son suelos compuestos por arenas y gravas, constituidos por partículas resistentes y poco solubles en agua. Al añadirles pasta de cemento, no se logra una integración estructural íntima como ocurre en el caso de los suelos finos. En este tipo de suelos, la pasta de cemento forma puentes de unión entre las partículas, dejando espacios irregulares entre ellas. En aquellos casos en los que haya una fracción fina presente en la

masa de suelo grueso, se produce una combinación de microestructuras en forma de panal y aleatorias como se ve en la *Figura 19*. Cuando prevalece la fracción gruesa en un suelo, este requiere un consumo de cemento menor en comparación con suelos finos puros (Toirac, 2008).

2.2.6.2.3. Suelos aptos para la mezcla suelo-cemento

Como lo define Toirac (2008) un suelo se considera apto cuando requiere un contenido de cemento que oscila entre el 5% y el 12% en relación con el peso del suelo. Además, otro factor determinante para evaluar la idoneidad de un suelo es su trabajabilidad, es decir, su capacidad para ser moldeado y utilizado en la producción de elementos constructivos.

Tabla 9

Parámetros granulométricos para suelo-cemento

Tamiz	% que pasa
3 pulgadas	100
Malla N° 4	100 - 50
Malla N° 40	100 -15
Malla N° 200	50- 10

Por lo general, los suelos que presentan una buena proporción entre las fracciones gruesa y fina poseen una granulometría variada, lo que los convierte en suelos aptos para la mezcla con cemento. Asimismo, la plasticidad del suelo debe proporcionar una cierta cohesión al suelo-cemento, lo cual mejora su trabajabilidad.

Tabla 10

Límites de consistencia para suelo-cemento

Límites de consistencia	Valores
Límite Plástico	< 18%
Límite Líquido	< 45%



De manera general además establece que un suelo es apto si cumple con los requisitos granulométricos de la *Tabla 9*. Además de las consideraciones granulométricas, establece valores para los límites de consistencia como se detalla en la *Tabla 10*.

Dentro de los suelos aptos, se encuentran dos subtipos de suelos: los *eficientes* y los *deficientes*.

- **Suelos eficientes:** Estos suelos son aquellos que naturalmente reaccionan óptimamente ante una proporción relativamente pequeña de cemento. Entre los suelos eficientes se pueden mencionar:
 - Suelos arenosos y suelos con grava: Estos suelos, contienen aproximadamente entre un 10% y un 35% de limo y arcilla combinados, presentan características altamente favorables y, por lo general, requieren la mínima cantidad de cemento para lograr un endurecimiento adecuado.
 - Suelos arenosos con deficiencia de partículas finas: Los suelos arenosos que carecen de partículas finas, como las arenas de playas, permiten obtener una buena mezcla de suelo-cemento, aunque se necesitará una cantidad de cemento mayor que en el caso de los suelos arenosos normales.
 - Suelos limosos y arcillosos con baja plasticidad: Estos suelos ofrecen la posibilidad de preparar una mezcla de suelo-cemento satisfactoria. Sin

embargo, a medida que aumenta el contenido de finos, será necesario incrementar el porcentaje de cemento en la mezcla.

- **Suelos deficientes:** éstos son los que naturalmente no reaccionan bien ante una proporción relativamente pequeña de cemento, es decir, necesitan mucho cemento para poder endurecer y entre estos podemos citar:
 - Suelos limosos y arcillosos con alta plasticidad: estos suelos necesitan buena cantidad de cemento debido a su alta plasticidad y poca resistencia.
 - Suelos orgánicos: son suelos con mucha materia orgánica lo que dificulta mucho el proceso además de que necesitan mucho cemento para poder endurecer no son muy recomendables, es decir, sería mejor no hacerlo con este tipo de suelo.

Tabla 11

Límites granulométricos para mezclas de suelo cemento

Componentes	% Ideal
% máximo de arenas	< 80% (idóneo 55% al 75%)
% máximo de limos	< 30% (idóneo 0% al 28%)
% máximo de arcillas	< 50% (idóneo 15% al 18%)
% máximo orgánico	< 3%

Como explica Toirac (2008), un *suelo ideal* para la mezcla de suelo-cemento cumple con una serie de requisitos que permiten obtener una mezcla casi perfecta con un volumen mínimo de cemento, ya que las deficiencias del suelo también son mínimas. Las características granulométricas que debe tener un suelo ideal para lograr un buen



rendimiento en la mezcla de suelo-cemento con cantidades mínimas de cemento son las que se muestran en la *Tabla 11*.

2.2.7. Durabilidad de los bloques de tierra

En su investigación Cid Falceto (2012) define la durabilidad como la capacidad que posee un objeto para soportar durante su periodo de servicio condiciones físicas y/o químicas proyectadas. Además distingue que la durabilidad de materiales puede subdividirse en:

2.2.7.1. Durabilidad Física

Es la capacidad que tiene un cuerpo u objeto para soportar el deterioro a causa de procesos físicos como la abrasión. En lo que concierne a la durabilidad física de bloques de tierra, esta se refiere a la capacidad del bloque para resistir diferentes condiciones ambientales a lo largo del tiempo, lo cual se relaciona con su capacidad para mantener su integridad estructural, su resistencia mecánica y su apariencia estética a lo largo de su vida útil.

La durabilidad física de los bloques de tierra puede verse afectada por varios factores, uno de los aspectos más importantes es la calidad y uniformidad de los materiales utilizados en su fabricación. La composición del suelo, la proporción de estabilizantes como el cemento, la humedad y la compactación adecuada son elementos clave que influyen en la durabilidad física de los bloques. Ensayos, como la absorción de agua, la resistencia al desgaste y la estabilidad dimensional, son importantes para evaluar la durabilidad física de los bloques de tierra (Hernández, 2019).

2.2.7.2. Durabilidad Química

Es la capacidad que posee un cuerpo u objeto para soportar el deterioro a causa de procesos químicos como la alteración química por agua de lluvia.



En el caso de los bloques de tierra, la durabilidad química se relaciona principalmente con la estabilidad y resistencia del material frente a sustancias químicas corrosivas, como ácidos, sales y agentes alcalinos presentes en el suelo, el agua u otros elementos del entorno. Estas sustancias pueden afectar negativamente la integridad estructural y las propiedades físicas de los bloques de tierra, lo que puede resultar en la pérdida de resistencia mecánica y en el deterioro general del material (Hérmendez, 2019).

En lo que respecta a la durabilidad química de los bloques de tierra depende en gran medida de la selección adecuada de los materiales de construcción y de los métodos de estabilización usados. Es importante elegir suelos con una baja presencia de minerales susceptibles a la degradación química y estabilizantes adecuados que proporcionen una protección adicional contra los agentes corrosivos. Para evaluar la durabilidad química de los bloques de tierra, se realizan ensayos específicos, como la resistencia a la acción de ácidos y la resistencia a la penetración de sales. Estos ensayos ayudan a determinar la resistencia del material frente a los agentes corrosivos y a identificar la necesidad de medidas adicionales de protección o estabilización (Cid Falceto, 2012).

2.2.7.3. Durabilidad Biológica

Es la capacidad que posee un cuerpo y objeto para soportar el deterioro a causa de procesos biológicos como la descomposición orgánica. En el caso de los bloques de tierra, la durabilidad biológica puede verse afectada por diferentes factores, uno de los más importantes es la composición del suelo utilizado en la fabricación de los bloques. Algunos suelos pueden contener nutrientes y sustancias orgánicas que pueden atraer y alimentar a los



organismos biológicos, lo que aumenta el riesgo de deterioro del material. Además, las condiciones ambientales, como la humedad y la temperatura, también pueden favorecer el crecimiento de organismos biológicos y acelerar su acción destructiva sobre los bloques de tierra. La presencia de humedad constante, en combinación con una mala ventilación, puede crear un entorno propicio para el desarrollo de hongos y bacterias, que pueden causar la descomposición y el debilitamiento del material (Hé Hernández, 2019).

Por otro lado Kerali (2005) y Ahmed y Ugai (2011), verificaron que la cantidad de estabilizante influye en la durabilidad de los bloques de tierra; así como también lo hacen el grado de compactación con el que se fabrican algunos tipos de bloques y el uso de impermeabilizante que en ocasiones es aplicado para protegerlo de agentes externos. Además, establecieron que la pérdida en el comportamiento funcional de paredes de bloques de tierra se debe a un deterioro de la superficie causada por la acción física del agua (erosión por agua).

2.2.8. Propiedades asociadas a la durabilidad de los bloques de tierra

Las propiedades asociadas a la durabilidad física de los bloques de tierra son fundamentales para evaluar y garantizar su resistencia y rendimiento a largo plazo; estas propiedades como la resistencia a la erosión húmeda, la resistencia a la erosión por desgaste, la capacidad de absorción y la capacidad de succión capilar, desempeñan un papel crucial en la resistencia mecánica y en la estabilidad dimensional de los bloques (Cid Falceto, 2012). En esta investigación se comparará como el cemento influye en las propiedades que se describen a continuación:

2.2.8.1. Resistencia a la erosión húmeda

Es la capacidad que tienen los bloques de tierra para resistir la pérdida de material por un cambio en el contenido de humedad superficial (Cabrera y González, 2021).

Como lo explica Cid Falceto (2012) la resistencia a la erosión húmeda de los bloques de tierra se refiere a la capacidad del material para resistir la erosión causada por la exposición prolongada a la humedad. Esta propiedad es crítica para la durabilidad de las estructuras construidas con bloques de tierra, especialmente en áreas con fuertes lluvias o humedad constante. La resistencia a la erosión húmeda depende de varios factores, como la calidad del suelo utilizado para fabricar los bloques, la técnica de compresión utilizada y la cantidad de estabilizantes utilizados en la mezcla. Se han realizado numerosas investigaciones para evaluar la resistencia a la erosión húmeda de los bloques de tierra y se han desarrollado pruebas específicas para medir esta propiedad. La resistencia a la erosión húmeda es una propiedad crítica a considerar al seleccionar bloques de tierra para la construcción de estructuras duraderas. Una baja resistencia a la erosión húmeda puede provocar daños en la superficie de los bloques, lo que podría afectar la estabilidad de la estructura.

2.2.8.2. Resistencia a la erosión por desgaste.

Es la capacidad que tienen los bloques de tierra para resistir la pérdida de material de una superficie por estar sometida a impactos repetidos (Cabrera y González, 2021).

La resistencia a la erosión por desgaste de los bloques de tierra se refiere a la capacidad del material para resistir el desgaste causado por la



fricción o el impacto repetitivo de agua. Esta propiedad es crítica para la durabilidad de las estructuras construidas con bloques de tierra, especialmente en áreas con fuertes vientos y/o lluvias o con exposición constante a elementos abrasivos. Una baja resistencia a la erosión por desgaste puede provocar daños en la superficie de los bloques, lo que podría afectar la estabilidad de la estructura y reducir su vida útil (Cid Falceto, 2012).

2.2.8.3. Resistencia a la erosión congelamiento y deshielo

La resistencia a la erosión por ciclos de congelamiento y deshielo es una medida de la capacidad de un material para resistir el deterioro causado por los cambios repetidos entre temperaturas frías (congelación) y temperaturas más cálidas (deshielo) (Cid Falceto, 2012).

La resistencia a la erosión por ciclos de congelamiento y deshielo implica que los bloques de tierra mantienen su estructura y resistencia a pesar de las tensiones provocadas por estos cambios de temperatura. Esta propiedad es especialmente importante en regiones donde se producen cambios estacionales significativos y ciclos de congelamiento y deshielo, ya que los materiales de construcción deben ser capaces de soportar estas condiciones ambientales extremas sin degradarse rápidamente. Esta prueba evalúa cómo los ciclos de expansión y contracción que ocurren durante la congelación y el deshielo afectan la integridad y la durabilidad del material (Macías, 2017).

2.2.8.4. Capacidad de Absorción

Es la capacidad que tienen los bloques de tierra para retener agua, está relacionada con la permeabilidad que se toma como una medida de la porosidad, de manera general se considera que una unidad más porosa no ofrecerá tanta resistencia frente a otra más densa. La capacidad de absorción



es importante porque puede afectar la capacidad del bloque para resistir la humedad y la lluvia, así como para regular la temperatura y la humedad dentro de la estructura (Cabrera y González, 2021).

La capacidad de absorción de los bloques de tierra se puede evaluar mediante pruebas específicas, como la prueba de absorción de agua por inmersión. Esta prueba implica sumergir los bloques de tierra en agua durante un período de tiempo específico y medir la cantidad de agua absorbida. La capacidad de absorción también se puede evaluar visualmente, observando cómo el bloque de tierra absorbe y retiene la humedad. Una alta capacidad de absorción puede ser beneficiosa en áreas con clima seco, ya que puede ayudar a mantener la humedad y la temperatura dentro de la estructura. Sin embargo, en áreas con clima húmedo, una alta capacidad de absorción puede llevar a problemas de humedad y moho (Cid Falceto, 2012).

2.2.8.5. Capacidad de succión capilar

Es la velocidad con la que un bloque de tierra absorbe agua de manera vertical por la superficie en contacto con esta. La succión capilar es importante porque puede afectar la capacidad del bloque para regular la humedad dentro de la estructura y para mantener un ambiente interior saludable (Cabrera y González, 2021).

La capacidad de succión capilar de los bloques de tierra se puede evaluar mediante pruebas específicas, como la prueba de succión capilar; esta prueba implica sumergir una cara de los bloques de tierra en agua durante un período de tiempo específico y pesar la cantidad de agua succionada capilarmente en el bloque. La capacidad de succión capilar también se puede evaluar visualmente, observando la altura o huella de agua en bloque de tierra



resultado de la succión y retención de la humedad durante su contacto con el agua (Cid Falceto, 2012).

2.2.9. Factores asociados al deterioro de los bloques de tierra

Como lo expresa Guerrero (2002) a lo largo del mundo, existen numerosas construcciones que nos sorprenden tanto por su simplicidad como por su monumentalidad, y lo más impresionante por su capacidad para resistir el paso del tiempo. Sin embargo, las construcciones de tierra se enfrentan a las amenazas que se van acumulando con el tiempo, algunas de las cuales surgieron desde los primeros momentos en que se construyeron. Como lo explica son los primeros constructores quienes se dieron cuenta de que sus edificaciones sufrían deterioro y daños, y estos problemas parecían estar asociados con las estaciones del año. Así, se percataron de que sus construcciones requerían reparaciones para mantener las comodidades que brindaban.

Además señala que los bloques de tierra en particular son vulnerables a los elementos naturales, como el *agua en sus diferentes formas*, el *viento que erosiona la superficie* de los bloques, los efectos sísmicos que provocan roturas en los muros, el ataque de animales como roedores, arácnidos y aves, así como el crecimiento de flora silvestre. Además, existe una incompatibilidad con materiales como el concreto y el acero, lo cual representa un desafío adicional. Todas las construcciones requieren protección contra las inclemencias del clima, pero especialmente las construcciones de tierra. Se deben proporcionar cimentaciones adecuadas para evitar el *paso de la humedad del subsuelo* y prevenir *la erosión de los muros causada por las salpicaduras de lluvia* en los basamentos de la estructura. También se recomienda que las cubiertas sobresalgan de los muros para protegerlos de las precipitaciones pluviales. El agua es esencial en la



construcción de estructuras de tierra, ya que transforma el suelo natural en tierra constructiva. Sin embargo, esta transformación es reversible, lo que significa que el agua también puede revertir el proceso, convirtiendo la tierra constructiva nuevamente en suelo natural.

Es así que la humedad representa un problema recurrente en las construcciones de bloques de tierra. Las precipitaciones pluviales causan *escurrimientos en la superficie de los muros*, arrastrando partículas del material. Cuando la lluvia salpica el suelo cerca de los muros, genera humedad que puede provocar un deterioro lento pero progresivo. Los daños suelen manifestarse cuando ya es demasiado tarde para una solución efectiva. La humedad que proviene del subsuelo también es problemática, ya que *asciende capilarmente hacia los muros*, causando socavaciones graves en la base de la estructura e incluso llegando al colapso total. En climas fríos, el *agua retenida en los adobes puede congelarse*, generando expansión y grietas superficiales que comprometen la estabilidad de los muros (Guerrero, 2002)

CAPÍTULO III

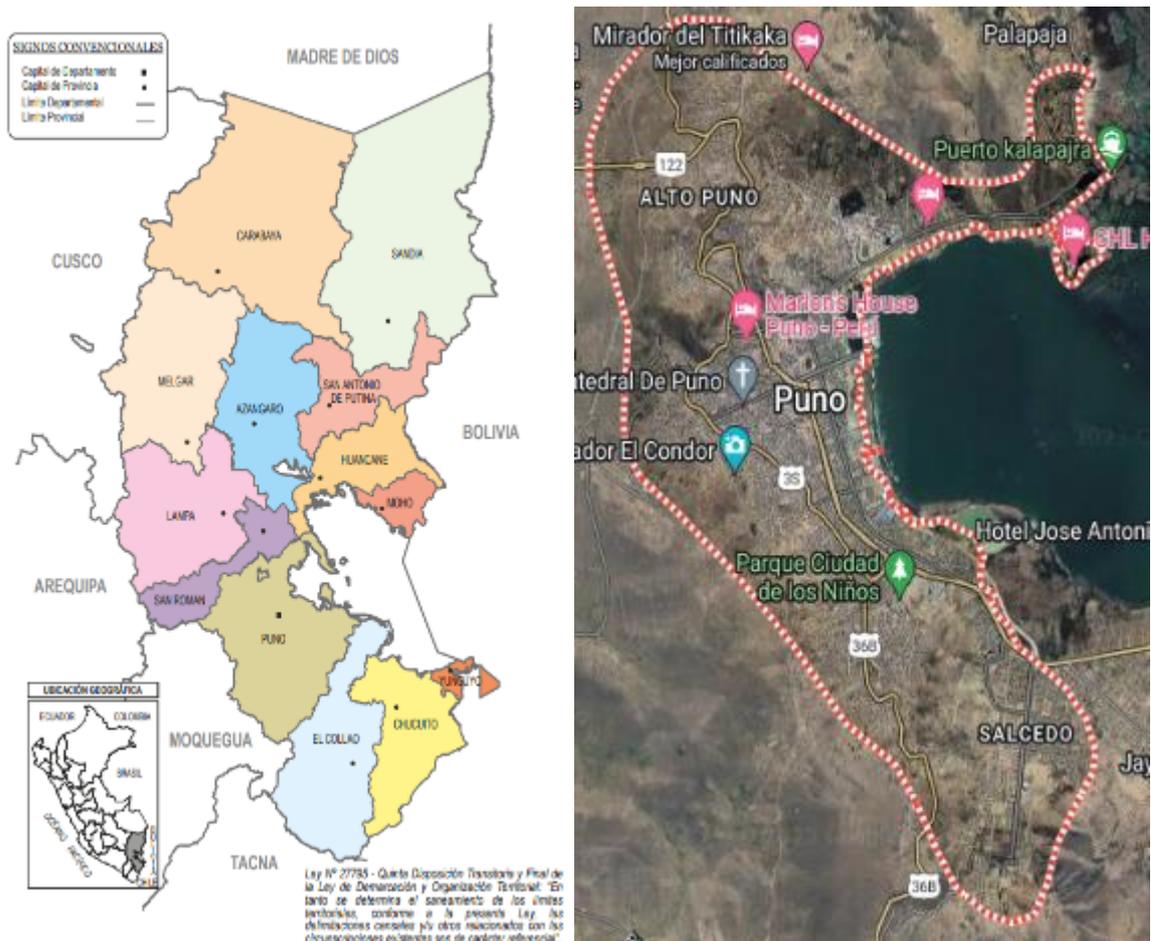
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

El estudio se realizó en el departamento, distrito y ciudad de Puno, el cual se encuentra ubicado en la zona Sureste del Perú con una extensión territorial de 71 999 km². Limita por el Oeste con los departamentos de Moquegua, Arequipa y Cuzco; por el Sur con el departamento de Tacna; por el Norte con el departamento de Madre de Dios y por el Este con el país de Bolivia.

Figura 20

Ubicación geográfica del estudio



La ciudad de Puno está ubicada junto al lago Titicaca, posee una superficie ondulada levemente y rodeada por cerros; su extensión abarca desde el centro

poblado de Uros Chulluni al noreste, la zona urbana del distrito de Paucarcolla al norte, la urbanización Ciudad de la Humanidad Totorani al noroeste (carretera a Arequipa) y se extiende hasta el centro poblado de Ichu al sur y la comunidad Mi Perú al suroeste (carretera a Moquegua) (*Figura 20*).

3.2. PERÍODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO

La duración total del estudio fue de 14 meses comprendido entre junio del 2022 hasta setiembre del 2023, detallándose en la *Figura 21* el avance detallado por cada actividad realizada.

Figura 21

Cronograma de avance del estudio

Id	Actividad	CRONOGRAMA EN MESES													
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
01	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	■	■	■											
01.01	Teoría y Metodología	■	■												
01.02	Antecedentes														
02	EJECUCIÓN DEL PROYECTO				■	■	■	■	■	■	■				
02.01	Selección de material				■	■	■	■	■	■					
02.01.01	Reconocimiento y ubicación				■										
02.01.02	Muestreo				■										
02.01.03	Análisis en laboratorio				■	■									
02.02	Elaboración de bloques														
02.02.01	Habilitación de ambientes					■		■							
02.02.02	Acarreo de material						■								
02.02.03	Fabricación de muestras						■								
02.02.04	Secado de muestras						■								
02.02.05	Almacenamiento							■	■	■					
02.03	Absorción por inmersión				■	■	■	■							
02.03.01	Plan de trabajo				■	■	■	■							
02.03.02	Implementación equipos				■	■									
02.03.03	Elaboración de Fichas						■								
02.03.04	Recolección de datos								■						
02.03.05	Consolidación y sistematización de resultados								■						
02.04	Absorción capilar					■	■	■							
02.04.01	Plan de trabajo					■	■	■							
02.04.02	Implementación equipos					■									
02.04.03	Elaboración de Fichas						■								
02.04.04	Recolección de datos								■						
02.04.05	Consolidación y								■						

Id	Actividad	CRONOGRAMA EN MESES													
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
	sistematización de resultados								■						
02.05	Erosión por pulverizado y goteo				■	■	■	■	■	■					
02.05.01	Plan de trabajo						■								
02.05.02	Implementación equipos				■	■	■	■							
02.05.03	Elaboración de Fichas						■								
02.05.04	Recolección de datos								■						
02.05.05	Consolidación y sistematización de resultados								■						
02.06	Erosión por congelamiento						■	■	■	■	■				
02.06.01	Plan de trabajo						■								
02.06.02	Implementación equipos						■	■	■	■					
02.06.03	Elaboración de Fichas						■								
02.06.04	Recolección de datos									■					
02.06.05	Consolidación y sistematización de resultados									■					
03	INTERPRETACIÓN			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
03.01	Análisis de datos											■	■		
03.02	Evaluación de resultados											■			
03.03	Cumplimiento de objetivos			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
03.04	Prueba de Hipótesis											■	■	■	
04	INFORME FINAL													■	■
04.01	Conclusiones													■	■
04.02	Redacción													■	■
04.03	Presentación de borrador													■	■

3.3. PROCEDENCIA DEL MATERIAL UTILIZADO

El suelo usado en la fabricación de bloques de tierra se encuentra ubicado en el centro poblado de Salcedo en la zona denominada como la Rinconada, en la región y ciudad de Puno. Las coordenadas UTM de la zona de extracción de material son: 392 697.60 E – 8 243 165.60 N, que se encuentra ubicado a 20 minutos aproximadamente del centro de la ciudad de Puno como se aprecia en la *Figura 22*.

La extracción de los suelos fue manual, tomando las acciones necesarias y cuidado para su análisis en laboratorio. Cabe señalar que los suelos seleccionados son los mismos con los que los artesanos locales elaboran otros tipos de bloques como son los ladrillos y bloques comprimidos; la situación legal de los suelos de la zona

permite a cada artesano la explotación exclusiva de una parte únicamente. Para el presente trabajo de investigación se trabajó con el material ubicado en el terreno del Sr. Rubén Quispe (*Figura 23*).

Figura 22

Localización del material utilizado



Figura 23

Ubicación de suelos para fabricación de bloques



3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO

3.4.1. Población

La población del presente estudio abarca a los bloques de tierra que son fabricados en el centro poblado de Salcedo, el periodo de fabricación regular de los bloques se realiza entre los meses de agosto a noviembre mientras que los demás meses del año su fabricación se realiza solamente por pedido, siendo los meses de mayo a agosto donde los bloques elevan su costo por las condiciones climáticas (temporada de heladas).

El principal uso de bloques de tierra fabricados en el centro poblado de Salcedo es para la construcción de cercos perimétricos para delimitar terrenos, construcción de apriscos y ocasionalmente módulos de almacenaje temporales o estacionarios. Las medidas de bloques de tierra que se fabrican son: 12 cm x 10 cm x 22 cm, 15 cm x 25 cm x 35 cm, 10 cm x 25 cm x 21 cm, 10 cm x 20 cm x 40 cm y 11 cm x 6 cm x 22 cm. Para la presente investigación se usaron bloques de tierra con esta última configuración.

3.4.2. Muestra

Tabla 12

Cuantificación de la muestra

	Bloques de tierra fabricados con suelos del centro poblado de Salcedo					Total de bloques
	+ 0% C	+5% C	+10% C	+15% C	+20% C	
<i>Cantidad de bloques de tierra</i>	30	30	30	30	30	150
<i>Denominación</i>	Tipo N	Tipo P	Tipo S	Tipo T	Tipo U	

Para la elección de los especímenes dada la investigación de tipo transversal y observacional; se realizó muestreos no probabilísticos y teniendo en cuenta los ensayos programados y de los objetivos de la investigación, como se

detalla en la *Tabla 12*, además se presenta el número de muestras requerido según el ensayo a realizar en la *Tabla 13*.

Tabla 13*Cantidad de muestras según ensayo*

Bloque de Tierra	%	<i>N° unidades de estudio por ensayo</i>					Subtotal
		Absorción por inmersión	Absorción capilar	Erosión por pulverizado	Erosión por caída	Erosión por congelamiento y deshielo	
<i>Convencional</i>	0%	6	6	6	6	6	30
	5%	6	6	6	6	6	30
<i>Estabilizado con cemento</i>	10%	6	6	6	6	6	30
	15%	6	6	6	6	6	30
	20%	6	6	6	6	6	30
Total		30	30	30	30	30	150

3.4.3. Elaboración y/o fabricación de las muestras

Los pasos para la elaboración o fabricación de los bloques de tierra, se hicieron siguiendo netamente las recomendaciones del artesano, respetando su criterio basado en la experiencia y la tradición con la que se trabajan este tipo de materiales y se detalla a continuación:

Procedimiento de fabricación:

- a. *Extracción de suelos:* El suelo S-01 se extrajo de la superficie del terreno y el suelo S-02 de la pared lateral del cerro. Ver *Figura 24*.
- b. *Preparación para mezcla de suelos:* Con el suelo S-02 se formó una especie de cráter para que esta pueda contener al S-01. Ver *Figura 25*.
- c. *Mezcla de suelos:* El suelo S-01 se deposita en el suelo S-02. El suelo S-01 previamente hidratado se disgregó el máximo posible para que el tiempo de reposo sea menor. Ver *Figura 26*.



- d. *Hidratación de suelos para mezclado inicial*: Se hidrató el suelo S-01 contenido en el suelo S-02, y se deja reposar hasta que tome una consistencia plástica. El tiempo aproximado para llegar a ese estado tomo alrededor de 2 horas. Ver *Figura 27*.
- e. *Estabilización física de suelos*: Una vez el suelo S-01 se encuentre en estado “plástico”, se procede al mezclado con el suelo S-02, dando como resultado el suelo S-03. Ver *Figura 28*.
- f. *Fraccionamiento de la masa primaria*: Después de la mezcla de suelos, esta se fraccionó y se amasó, para luego adicionar a cada fracción la cantidad de cemento previsto (0%, 5%, 10%, 15% y 20%). Ver *Figura 29*.
- g. *Adición de cemento*: Una fracción de la masa primaria es extendida en el suelo, para luego adicionar el porcentaje de cemento (estabilización química). Ver *Figura 30*.
- h. *Amasado final*: En esta etapa se amasa hasta lograr una mezcla fluida pero resistente, para probar si la mezcla necesita más agua o no, se presiona con el pulgar sobre la palma una pequeña porción si esta se deforma sin presentar agrietamiento la masa esta lista para el moldeo. Ver *Figura 31*.
- i. *Preparación del terreno para secado*: Mientras se amasaba el suelo antes de ser mezclado con cemento se preparó el terreno donde secarían los bloques, se hidrató para que este no absorba agua de los bloques y además, se hecho una “cama” de ceniza. Ver *Figura 32*.
- j. *Moldeo de bloques de tierra*: Se moldean los bloques en gaveras de madera en tandas de 4 bloques. Ver *Figura 33*.
- k. *Secado de bloques*: Se dejan secar los bloques al sol en hileras correspondiente a cada grupo con su respectiva dosificación. Ver *Figura 34* y *Figura 35*

Figura 24

Extracción de suelos para la fabricación de bloques



Nota: El suelo S-01 se amontona e hidrata previamente, mientras que el suelo S-02 pasa por malla #4.

Figura 25

Preparación para mezcla de suelos



Figura 26

Mezcla seca de suelos en proporción



Figura 27

Hidratación para mezclado y amasado inicial



Nota: La cantidad de agua necesaria es hasta cuando el suelo S-01 se vuelva pegajoso (textura gomosa).

Figura 28

Estabilización física de suelos



Figura 29

Fraccionamiento de la masa primaria



Nota: Los bloques sin adición de cemento se denominarán: bloques convencionales, mientras que los que contienen cemento serán bloques estabilizados.

Figura 30

Adición de cemento y amasado secundario



Figura 31

Masa final estabilizada y amasada



Nota: La masa para la fabricación de bloques, no se dejó reposar; pues el proceso de fraguado inicial por la presencia de cemento no lo permite.

Figura 32

Preparación del terreno para secado de muestras



Nota: La ceniza utilizada es residuo de la cocción de bloques, realizada en los hornos artesanales.

Figura 33

Moldeo de bloques



Nota: Las gaveras se recubren con arena fina para facilitar su desmoldeo.

Figura 34

Secado de los bloques de tierra



Figura 35

Producción total de bloques de tierra



Nota: Se protegieron los bloques con plástico, pues la presencia de cemento en los bloques podría producir fisuras en la superficie debido al shock térmico.

3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO

Para establecer una asociación (influencia) de la cantidad de cemento en la resistencia a la erosión y la capacidad de absorción se realizó el *Estadístico de prueba* Chi-cuadrada asumiendo las siguientes hipótesis:

H₀ (Hipótesis Nula): No existe una diferencia significativa entre la cantidad de cemento y la condición de resistencia a la erosión y la capacidad de absorción de los bloques de tierra.

H₁ (Hipótesis Alternativa): Existe una diferencia significativa entre la cantidad de cemento y la condición de resistencia a la erosión y la capacidad de absorción de los bloques de tierra.

Para la interpretación de resultados se utilizó nivel de significancia de 5% ($\alpha = 0.05$). Según el valor p obtenido (que fue menor) se rechazó la hipótesis nula. Esto indicó que existe evidencia estadística de que la cantidad de cemento está asociada de manera significativa con la condición de resistencia a la erosión y la capacidad de absorción de los bloques de tierra.

En la segunda parte del análisis estadístico se realizó la Prueba ANOVA para evaluar si existían diferencias significativas en la resistencia a la erosión y la capacidad de absorción entre los diferentes grupos de bloques de tierra fabricados con diferentes cantidades de cemento como estabilizante.

H₀ (Hipótesis Nula): No existe diferencias significativas en la condición de resistencia a la erosión y la capacidad de absorción entre los grupos de bloques de tierra con diferentes cantidades de cemento.

H₁ (Hipótesis Alternativa): Existen diferencias significativas en la condición de resistencia a la erosión y la capacidad de absorción entre al menos dos grupos de bloques de tierra con diferentes cantidades de cemento.



Finalmente se realizó una prueba Post Hoc (Prueba Dunn) para identificar cuáles son los grupos que eran estadísticamente diferentes según la variable evaluada.

3.6. PROCEDIMIENTOS

3.6.1. Tipo de estudio

Esta investigación forma parte de un estudio Experimental ya que los datos analizados surgen de la intervención intencionada y programada sobre una de los variables y su impacto sobre otra variable. Estudio Prospectivo que sigue un plan de mediciones para obtener datos primarios y medidas precisas en la medida que va ocurriendo hechos programados para observar. Estudio transversal en cuanto a la duración temporal y al número de mediciones de la variable de estudio con muestras independientes, caracterizado por su enfoque en investigación pura o básica. Además, se considera un estudio Analítico debido a la relación entre varias variables analíticas.

3.6.2. Nivel de investigación

La línea de investigación considerada es la “Durabilidad de bloques suelo-cemento”, que está considerado dentro de la problemática de investigación, aspecto que se desea conocer, por lo que se ha optado por desarrollar un estudio de nivel descriptivo – relacional.

Es descriptivo, ya que tiene como objetivo entender y evaluar la condición resistencia a la erosión y la capacidad de absorción de los bloques de tierra en un contexto temporal y geográfico específico. Sus conclusiones solo serán aplicables a la población exacta que se investiga en ese contexto particular.

Es relacional, ya que se busca conocer si existe influencia del cemento en la resistencia a la erosión y la capacidad de absorción con diferentes concentraciones de cemento; no se busca establecer una relación de causa-efecto,



sino el descubrimiento de la relación misma en base a los datos resultantes de los ensayos propuestos.

3.6.3. Diseño del estudio

El diseño del estudio es cuasi experimental debido a que implicó la manipulación de 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. Además, esta investigación se enmarca como cuantitativa en función de la naturaleza de la información y el tipo de datos utilizados, se lleva a cabo de manera sincrónica en términos del periodo de tiempo en que se realiza, y se desarrolla en un entorno de laboratorio.

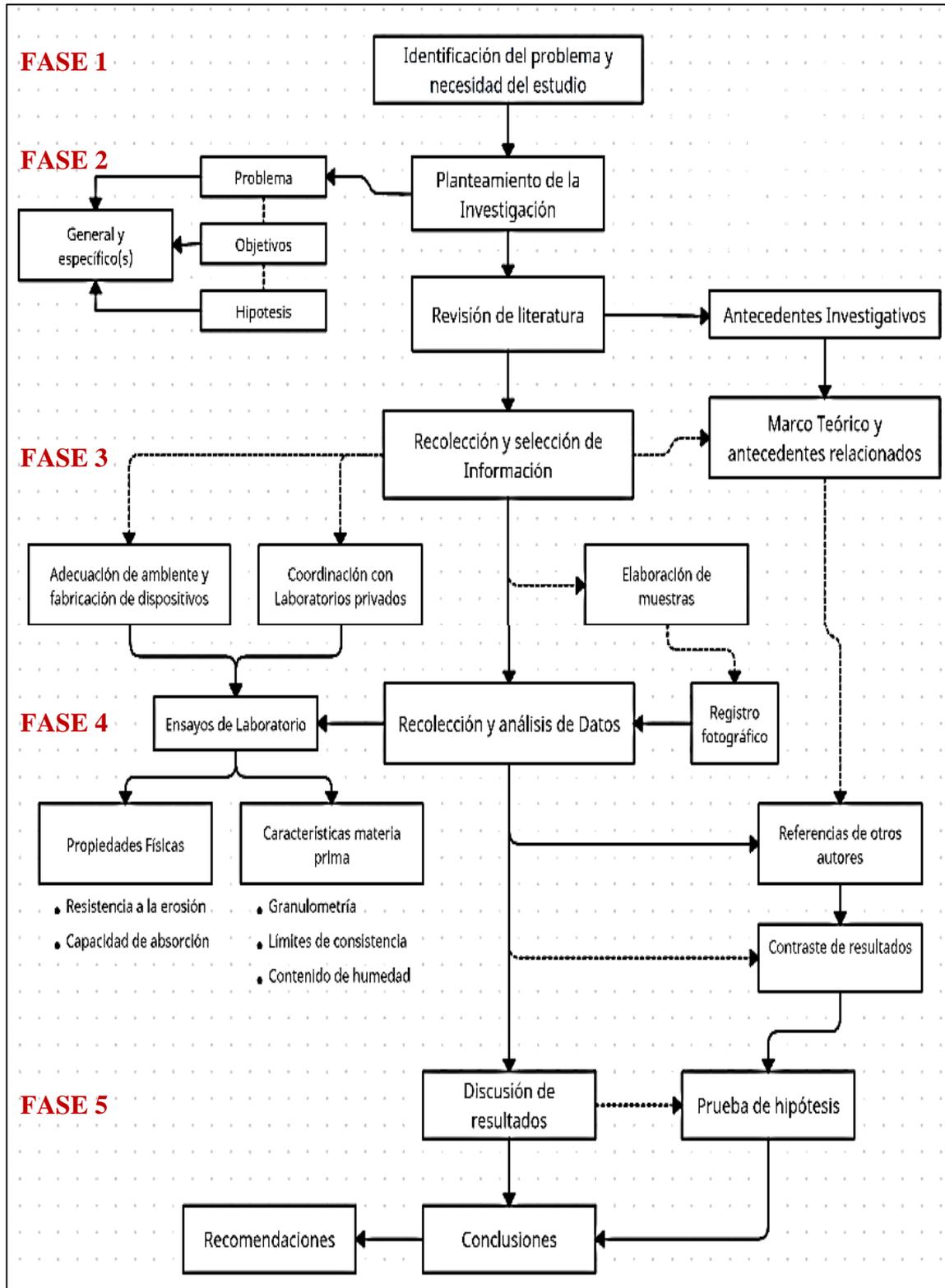
3.6.4. Fases para el desarrollo de la investigación

En relación a las fases del desarrollo del estudio, en una primera fase se identificó el problema y la necesidad de investigarlo, en la segunda fase se planteó la investigación, definiendo el problema, los objetivos y las hipótesis del estudio, y revisando información actual del tema como base metodológica en función de los antecedentes existentes. En la tercera fase, se llevó a cabo la recopilación de información normativa y se planteó la elaboración de las muestras, estableciendo un procedimiento adecuado para la recolección de datos y generando un marco teórico que delimita el estudio. En la cuarta fase, se recolectaron y analizaron los resultados obtenidos a través de experimentos en el laboratorio, comparándolos con los resultados de otras investigaciones. En la quinta fase, se realizó una discusión de los resultados y se llevaron a cabo pruebas estadísticas de hipótesis para obtener conclusiones que contribuyan a la línea de investigación; incluyendo

recomendaciones y posibles áreas de investigación futuras. En la *Figura 36* se presenta un esquema informativo de las fases de la investigación.

Figura 36

Fases de la Investigación



3.7. VARIABLES

3.7.1. Operacionalización de variables

Tabla 14

Operacionalización de variables

VARIABLES	INDICADOR	VALOR FINAL	TIPO DE VARIABLE	DIMENSIÓN	TÉCNICA
<i>Cantidad de cemento (VI)</i>	Dosificación	porcentaje	Numérica discreta	Objetiva	Documentación
<i>Granulometría material (VIT)</i>	Por tamizado Tamices (<.001 mm)	% que pasa	Numérica continua	Objetiva	Observación
<i>Límites de consistencia del material (VIT)</i>	Límite Líquido (LL)	% humedad	Numérica continua	Objetiva	Observación
	Límite Plástico (LP)	% humedad			
	Índice de Plasticidad (IP)	%			
<i>Erosión por pulverizado (VD)</i>	Condición de resistencia	Apto	Nominal dicotómica	Objetiva	Documentación
		No apto			
	Penetración	Mm	Numérica Continua	Objetiva	Documentación
<i>Erosión por caída de agua (VD)</i>	Condición de resistencia	Apto No apto	Nominal dicotómica	Objetiva	Documentación
	Penetración	Mm	Numérica continua	Objetiva	Documentación
	Pérdida de material	%	Numérica continua	Objetiva	Documentación
<i>Erosión por congelamiento y deshielo (VD)</i>	Condición de congelamiento	Heladizo No heladizo	Nominal dicotómica	Subjetiva	Observación
	Pérdida de material	%	Numérica continua	Objetiva	Documentación

Variab	Indicador	Valor final	Tipo de variable	Dimensión	Técnica
<i>Absorción capilar (VD)</i>	Capilaridad	Baja Media Alta	Nominal politémica ordinal	Objetiva	Documentación
	Coficiente de absorción	$\text{g/cm}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$	Númerica continua	Objetiva	Documentación
<i>Absorción por inmersión total en agua (VD)</i>	Ensayo de laboratorio Absorción	%	Númerica continua	Objetiva	Documentación

En el proceso de investigación, resulta fundamental establecer el enfoque de análisis de las variables, así como su clasificación, ya que estos elementos permitirán llevar a cabo las pruebas de hipótesis estadísticas necesarias para abordar los objetivos e hipótesis planteadas y obtener las conclusiones correspondientes. Es importante tener en cuenta que las variables pueden tener tanto dimensiones objetivas, al ser de naturaleza física, como dimensiones subjetivas, al estar basadas en consideraciones lógicas. En función de estas dimensiones, se realizarán las mediciones necesarias para obtener los valores finales de las variables como se presenta en la *Tabla 14*, donde:

VI: Variable Independiente,

VIT: Variable Interviniente

VD: Variable Dependiente.

3.7.2. Técnicas, estrategias, instrumentos y materiales (TEIM)

Durante el proceso de recopilación de datos, se utilizó el enfoque del TEIM. Este enfoque nos proporciona una idea clara sobre cómo replicar el estudio. Es importante identificar los diferentes componentes del TEIM, ya que cada una de ellas nos ha ayudado a formular el proyecto en primer lugar. En las *Tablas 15* y *16* se presentan las TEIM considerados.

Tabla 15*Técnicas, estrategias y procedimientos*

Variables	Técnicas	Estrategias	Procedimientos
% de cemento adicionado	Documentación	Contraste de resultados	Los resultados obtenidos con los % de cemento adicionado se compara con otros bloques estabilizados de otras investigaciones
Propiedades físicas	Observación	Ensayos de Laboratorio	Identificar y aplicar la normativa, sustentada por principios matemáticos, llevar a cabo los ensayos de laboratorio según protocolos y documentar los datos.

Tabla 16*Herramientas, materiales de control y recursos*

Variables	Herramientas	Materiales de control y comprobación	Recursos
% de cemento adicionado	-----	<ul style="list-style-type: none">• Revisión de antecedentes investigativos• Correlación de variables	<ul style="list-style-type: none">• Útiles de escritorio• Laptop
Propiedades Físicas	<ul style="list-style-type: none">• Ensayos de erosión• Ensayos de capacidad de absorción	<ul style="list-style-type: none">• Resultados de laboratorio• Análisis de datos	<ul style="list-style-type: none">• Guía normativa• Fichas de recolección de datos

3.7.3. Recolección de datos basado en objetivos específicos

Según los propósitos del nivel de estudio descriptivo, las variables de interés son las propiedades físicas (resistencia a la erosión y capacidad de absorción) de los bloques de tierra estabilizados con un porcentaje de cemento.

Según los propósitos del nivel de estudio relacional, la variable de interés o de supervisión es la cantidad de cemento adicionado en la fabricación de bloques de tierra y las características a evaluar son las propiedades físicas para lograr los objetivos planteados. La forma de análisis y realización se detallan a continuación en la *Tabla 17*.

Tabla 17

Recolección de datos por objetivo específico

Objetivo específico	Frecuencia temporal	Materiales y equipos	Variables
Fabricar bloques de tierra convencionales y estabilizados con cemento, con suelos del centro poblado de salcedo.	<ul style="list-style-type: none">• Puntual o instantánea	<ul style="list-style-type: none">• Propiedades del material• Cemento• Ensayos de laboratorio e in-situ• Herramientas artesanales	<ul style="list-style-type: none">• Granulometría, contenido de humedad y límites de consistencia (%)• Dosificación (%)• Criterios artesanales
Evaluar las propiedades físicas (erosión y absorción de agua) de bloques de tierra convencionales y de bloques estabilizados con cemento	<ul style="list-style-type: none">• Variable Laboratorio	<ul style="list-style-type: none">• Ensayos de laboratorio• Fichas de recolección de datos• Bloques de tierra convencionales y estabilizados	<ul style="list-style-type: none">• Erosión por pulverizado (mm)• Erosión por caída de agua (mm)• Erosión por congelamiento y deshielo (%)• Capacidad de absorción capilar ($\text{g/m}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$)• Capacidad de absorción por inmersión total (%)

A continuación se presenta un cuadro resumen de la operacionalización de variables:

Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Índice	Técnicas de recolección de datos	Instrumentos de recolección de datos	Instrumentos de medición
<i>VARIABLE INTERVINIENTE</i>			-----			
Suelo	Características del suelo	Granulometría Límite Líquido Límite Plástico	% %	Observación	Guía de Observación y/o Ficha de laboratorio	Ficha para ensayo de Granulometría, Contenido de Humedad y L.L., L.P., I.P. Ficha para Prueba de la Botella, Cinta de Barro y Presencia de Arcilla.
<i>VARIABLE INDEPENDIENTE</i>						
% Cemento Portland adicionado	Estabilizante	Dosificación	% en peso	Observación	Ficha técnica	NTP 334-009
<i>VARIABLES DEPENDIENTES</i>						
Resistencia a la erosión por pulverizado		Erosión por pulverizado	Penetración (mm) Nivel de resistencia	Observación	Guía de Observación y/o Ficha de laboratorio	Ficha para ensayo de erosión por pulverizado con agua a presión.
Resistencia a la erosión por caída de agua		Erosión por caída de agua	Penetración (mm) Nivel de resistencia	Observación	Guía de Observación y/o Ficha de laboratorio	Ficha para ensayo de erosión por caída de agua
Resistencia a la erosión por congelamiento y deshielo	Propiedades Físicas	Erosión por ciclos de congelamiento y deshielo	Pérdida de material (%)	Observación	Guía de Observación y/o Ficha de laboratorio	Ficha para ensayo de erosión por ciclos de congelamiento y deshielo
Capacidad de absorción por inmersión total		Absorción	% de Absorción	Observación	Guía de Observación y/o Ficha de laboratorio	Ficha para ensayo de absorción de inmersión total en agua.
Capacidad de absorción capilar		Capilaridad	Coefficiente de Absorción capilar	Observación	Guía de Observación y/o Ficha de laboratorio	Ficha para ensayo de absorción capilar.

3.8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

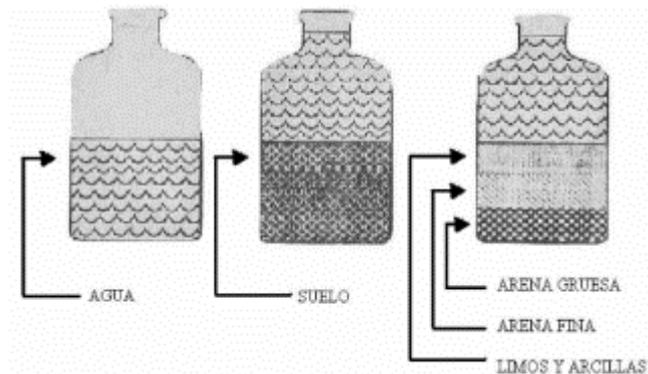
Los resultados se analizaron en base a la normativa, fundamento matemático de los ensayos, es así que tenemos:

3.8.1. Prueba de la botella (ensayo in-situ)

Esta metodología es considerada como un ensayo de la granulometría, busca delimitar aproximadamente a través de las fracciones que componen un suelo (arenas, limos y arcillas). Se realiza el procedimiento en una botella con base plana y lados rectos: se vierte 500 ml. de agua y luego se agrega una muestra representativa de suelo junto con una cucharadita de sal común. La botella se cierra herméticamente para evitar la pérdida del contenido, se agita durante 3 minutos para lograr una mezcla uniforme de la sal (defloculante) con la muestra, asegurando que todas las partículas estén en suspensión.

Figura 37

Criterio de evaluación visual, prueba de la botella



Nota: Se recomienda que, para la elaboración de bloques de tierra, el porcentaje de arenas sea de 1.5 a 3 veces el porcentaje de arcillas y limos.

Después de agitar, se deja reposar la botella sobre una superficie plana y estable durante 30 minutos. A continuación, se repite el proceso de agitación durante 2 minutos y se deja reposar nuevamente hasta que el agua se aclare.

Durante este tiempo, las partículas de arcilla y limo descenderán más lentamente y se asentarán sobre las partículas de tierra, las cuales se habrán sedimentado más rápidamente. Como resultado, se podrán observar tres capas distintas: arenas gruesas, arenas finas, arcillas y limos como se observa en la *Figura 35*. Se mide la altura de cada una de las capas resultantes y se proporciona en función del total de la muestra.

3.8.2. Prueba de la cinta de barro (ensayo in situ)

Tabla 18

Rango de Contenido de Arcilla

Tipo de suelo	Rango	Observación
<i>Arenosa</i>	Menos de 5 cm	Inadecuada para elaboración de adobes
<i>Arcillo-arenosa</i>	5 cm – 15 cm	Adecuada para elaboración de adobes
<i>Arcillosa</i>	Más de 15 cm	Inadecuada para elaboración de adobes

Permite tener una primera percepción de la presencia de arcilla en el suelo mediante la estimación de su plasticidad. Esta prueba tiene un periodo de duración aproximado de 10 minutos y se rige según la norma E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada.

Se procede a mezclar una muestra representativa de suelo con agua hasta obtener una pasta que no se adhiera a los dedos. A partir de una fracción de esta pasta, se forma un cilindro con un diámetro aproximado de 12 mm. Luego, en una superficie plana, se presiona ligeramente el cilindro y se moldea una cinta de espesor de 4 mm y longitud de 25 cm.

A continuación, se suelta la cinta permitiéndole caer hasta que se rompa. Se mide la longitud del extremo roto y se verifica, de acuerdo con la *Tabla 18*, en qué rango se encuentra.

3.8.3. Prueba de presencia de arcilla (ensayo in situ)

Llamada también prueba Resistencia Seca y se rige según la norma E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada. Se realiza la siguiente metodología: se mezcla una muestra representativa de suelo con la cantidad adecuada de agua, de manera que sea posible formar una bolita en la palma de las manos sin que pierdan su forma al ser amasadas y al secarse. Se moldean un total de cuatro bolitas y se dejan secar durante 48 horas, protegidas del clima. Transcurrido el tiempo, se procede a aplicar una fuerte presión en cada bolita entre el pulgar y el índice. Los parámetros de medición se basan en la observación de roturas o grietas en las bolitas. Si al menos una de las bolitas presenta fisuras o grietas, se repite la prueba utilizando los mismos materiales y el mismo procedimiento. En caso de no haber presencia de fallas en las bolitas, se concluye que el material posee una cantidad suficiente de arcillas para su uso en la elaboración de adobes, la evaluación es visual como se aprecia en la *Figura 38*.

Figura 38

Prueba de presencia de arcilla



3.8.4. Límites de consistencia

Estos ensayos se llevaron a cabo en los Laboratorio de Suelos L&H (suelos S-01 Y S-02) y laboratorio de suelos G&C (suelo S-03), usando para su desarrollo diferentes equipos y técnicas establecidas por los protocolos normativos, además de accesorios y otros, con la finalidad de determinar el LL y LP de las muestras.

3.8.4.1. Normativa de los ensayos

Las normas estandarizadas que se utilizaron para determinar las propiedades de índice en los ensayos de Límite Líquido (LL) y Límite Plástico (LP), en base a los cuales se procede a determinar el Índice de Plasticidad (IP), son valores que nos clarificaran la capacidad que tiene el material para ser trabajado y/o moldeado, la normativa relacionada se muestra en la *Tabla 19*.

Tabla 19

Normativa para ensayos de límites de consistencia

TIPOS DE ENSAYOS	NORMAS	
Límite líquido y Límite plástico	NTP 339.129	ASTM D4318 - 10

3.8.4.2. Fundamento matemático

Los límites de consistencia, Líquido (LL) y Plástico (LP) se realizaron basados en la norma NTP 339.129 (1999), obteniéndose el porcentaje de humedad, justo en el momento en que la muestra de suelo se encuentra entre el estado líquido y plástico. El Límite Líquido (LL) se define como el contenido de humedad en el que el suelo se cierra en una ranura de 0.08 pulgadas (2 mm) de ancho cuando se somete a una prueba de penetración utilizando un aparato llamado copa de Casagrande.



$$LL^n = W^n \times \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121} \quad (1)$$

$$LL^n = k \times W^n \quad (2)$$

Donde:

LL^n : Valor del Límite Líquido de la muestra (en %).

W^n : Contenido de agua de la muestra (en %).

N : Número de golpes para cerrar la ranura.

K : Factor de límite líquido.

El límite plástico (LP) es el contenido de humedad crítico en el cual un suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido; se define como el contenido de humedad en el que un hilo de suelo de 1/8 de pulgada (3.2 mm) de diámetro se puede enrollar en una longitud de 1/2 pulgada (12.7 mm) sin romperse cuando se somete a una prueba de moldeo utilizando el método de rodillo y placa.

Una vez determinados estos límites se puede determinar el Índice de Plasticidad (I_p), que es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. El índice de plasticidad es una medida de la capacidad de un suelo arcilloso para deformarse sin fracturarse y se utiliza en la clasificación de suelos según la SUCS.

$$I_p = LL - LP \quad (3)$$

Donde:

LL : Valor del límite líquido de la muestra (en %)

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

3.8.5. Análisis granulométrico por tamizado

Estos ensayos se llevaron a cabo en los Laboratorio de Suelos L&H (suelos S-01 Y S-02) y laboratorio de suelos G&C (suelo S-03), se empleó el

método de tamizado para examinar las muestras retenidas en las mallas graduadas que sirven para identificar material granular y material fino, se utilizaron tamices estándar desde la malla 3/8" hasta la N°200. Mientras que para la fracción fina se utilizó la prueba del hidrómetro (*Figura 42*).

3.8.5.1. Normativa de los ensayos

Tabla 20

Normativa para ensayos del análisis granulométrico

TIPOS DE ENSAYOS	NORMAS	
Análisis de Granulometría por tamizado	NTP 339.128	ASTM D422. - 63

Las normas estandarizadas utilizados para el análisis granulométrico por tamizado se muestran en la *Tabla 20*.

Figura 39

Equipo y/o accesorios para determinar la curva granulométrica



3.8.5.2. Fundamento

El análisis granulométrico por tamizado se realizó por dos métodos, que son los que exige la norma NTP 339.128. (1999, revisado 2014), en el primer método, se utilizó diferentes tamaños de tamiz para analizar el tamaño

de sus partículas y en el segundo método, se utilizó la prueba del hidrómetro para la fracción de finos.

3.8.6. Ensayo de erosión acelerada por pulverizado

Los protocolos, equipos y técnicas de recolección se basaron en las recomendaciones de la investigación titulada: “Durabilidad de los bloques de tierra comprimida. Evaluación y recomendaciones para la normalización de los ensayos de erosión y absorción” (Cid Falceto, 2012).

3.8.6.1. Normativa relacionada

Tabla 21

Normativa para el ensayo de erosión por pulverizado

TIPOS DE ENSAYOS	NORMAS		
Ensayo de erosión por pulverizado.	NZS 4297	IS 1725	SLS 1282-1

3.8.6.2. Fundamento

El ensayo de erosión por pulverizado tiene una duración de 60 minutos, con interrupciones cada 15 minutos para observar y fotografiar el espécimen. La distancia de aplicación de 0.470 m, la presión aplicada de 0.05 MPa y el área de aplicación de 150 mm². En base al criterio establecido por la norma neozelandesa (penetración en la muestra), se determina si esta es apta (< 15 mm) o no. En base a la penetración, se determina el índice de erosionabilidad correspondiente (Tabla 22). Además la pérdida de material se calcula mediante la expresión:

$$W_p = \left(\frac{W_i - W_f}{W_i} \right) \times 100 \quad (4)$$

Donde:

W_p : Porcentaje de pérdida de material (%)

W_i : Peso seco inicial de la muestra, antes del ensayo.

W_f : Peso seco final de la muestra, después del ensayo.

Tabla 22

Evaluación de resistencia a la erosión por pulverizado

Penetración (D: mm)	Índice de erosión	Escala de erosión	Condición
$0 \leq D < 5$	1	Intacto	Apto
$5 \leq D < 10$	2	Leve	Apto
$10 \leq D < 15$	3	Moderado	Apto
$15 \leq D < 30$	4	Alto	No apto
$30 \leq D$	5	Severo	No apto

3.8.7. Ensayo de erosión por caída de agua

Este ensayo se realizó en un ambiente implementado particularmente; los protocolos, equipos y técnicas de recolección se basaron en las recomendaciones de la investigación titulada: “Durabilidad de los bloques de tierra comprimida. Evaluación y recomendaciones para la normalización de los ensayos de erosión y absorción” (Cid Falceto, 2012).

3.8.7.1. Normativa relacionada

El procedimiento normativo de ensayo de erosión por caída de agua se muestra en la *Tabla 23*:

Tabla 23

Normativa para el ensayo de erosión por caída de agua

TIPOS DE ENSAYOS	NORMAS	
Ensayo de erosión por caída de agua	SAZS	UNE
	724	41410

3.8.7.2. Fundamento

El ensayo de erosión por caída de agua tiene una duración de 30 minutos, consiste en liberar una pequeña corriente de agua por un tubo de 5 mm de diámetro interior, desde un depósito cuyo nivel se mantiene de forma

constante a 1.50 m. de altura de la muestra, que se encuentra inclinado 27° respecto a la horizontal. Se mide la profundidad causada por el agua y se evalúa si es apta (profundidad de penetración < 10 mm) o no (*Tabla 24*). Además, la pérdida de material por escorrentía de agua se calcula mediante la expresión:

$$W_p = \left(\frac{W_i - W_f}{W_i} \right) \times 100 \quad (5)$$

Donde:

W_p : Porcentaje de pérdida de material (%)

W_i : Peso seco inicial de la muestra, antes del ensayo.

W_f : Peso seco final de la muestra, después del ensayo.

Tabla 24

Evaluación de resistencia a la erosión por caída de agua

Penetración (D: mm)	Resistencia a la erosión	Condición
$0 \leq D < 5$	Alta	Apto
$5 \leq D < 10$	Media	Apto
$10 \leq D < 20$	Baja	No Apto
$20 \leq D$	Nula	No apto

3.8.8. Ensayo de erosión por ciclos de congelamiento y deshielo

Los protocolos, equipos y técnicas de recolección se basaron en las recomendaciones del estudio: “Evolución del comportamiento mecánico de bloques y baldosas de tierra comprimida estabilizada sometidas a heladicidad” (Macías, 2017).

3.8.8.1. Normativa relacionada

El procedimiento normativo de ensayo de erosión por ciclos de congelamiento y deshielo se muestra en la *Tabla 25*:

Tabla 25

Normativa para el ensayo de erosión por ciclos de congelamiento

TIPOS DE ENSAYOS	NORMAS
Ensayo de erosión por ciclos de congelamiento y deshielo.	UNE 67028:1998

3.8.8.2. Fundamento

En el ensayo de erosión por congelamiento y deshielo, los bloques se sumergen durante 1 minuto en agua potable. Una vez humedecidos los bloques se procede a su introducción en la cámara frigorífica durante un periodo de tiempo de 18 horas a temperatura constante de $-15^{\circ}\text{C} + -5^{\circ}\text{C}$. Transcurrido ese periodo de congelación los bloques se sacan a la cámara de deshielo tal que permita la descongelación a temperatura ($15^{\circ}\text{C} + 5^{\circ}\text{C}$) de los bloques. Esta descongelación a temperatura constante se realiza 6 horas restantes para completar el ciclo. Una vez transcurrido el ciclo se procede de nuevo al pesado de los bloques y al comienzo de un nuevo ciclo, para completar un total de 10 ciclos. Se evalúa la pérdida de material mediante la siguiente expresión:

$$W_p = \left(\frac{W_i - W_f}{W_i} \right) \times 100 \quad (6)$$

Donde:

W_p : Porcentaje de pérdida de material (%)

W_i : Peso seco inicial de la muestra, antes del ensayo.

W_f : Peso seco final de la muestra, después del ensayo.

3.8.9. Ensayo de absorción capilar

Los protocolos, equipos y técnicas de recolección se basaron en las recomendaciones de la investigación titulada: “Durabilidad de los bloques de

tierra comprimida. Evaluación y recomendaciones para la normalización de los ensayos de erosión y absorción” (Cid Falceto, 2012).

3.8.9.1. Normativa relacionada

Tabla 26

Normativa para el ensayo de absorción capilar

TIPOS DE ENSAYOS	NORMAS		
Ensayo de capacidad de absorción capilar	XP P13-901	NTC 5324	UNE 41410

El procedimiento normativo de ensayo de capacidad de absorción capilar se muestra en la *Tabla 26*.

3.8.9.2. Fundamento

Este ensayo se lleva a cabo con el propósito de determinar la velocidad de absorción capilar de los bloques de tierra. Para realizar este ensayo, se coloca el bloque de tierra sobre soportes y se llena de agua hasta que rebase el bloque en $5 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$. Posteriormente, se procede a secar el bloque, eliminando el exceso de agua superficial, y se registra su peso. En todas las instancias, se establece un tiempo de inmersión de 30 minutos. Finalizando el ensayo se calcula el coeficiente de absorción “Cb” utilizando la siguiente expresión y se evalúa su condición de acuerdo a la *Tabla 27*:

$$Cb = \left(\frac{M}{S \times \sqrt{t}} \right) \times 100 \quad (7)$$

Donde:

C_b : Coeficiente de absorción ($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$)

M : Masa de agua absorbida por el bloque (en gramos g)

S : Superficie de la cara sumergida (en centímetros cuadrados cm^2)

t : Duración de inmersión del bloque (en minutos min)

Tabla 27

Evaluación por coeficiente de capilaridad

Coeficiente de capilaridad (Cb: g/cm²*min^{0.5})	Condición de Capilaridad
$0 \leq Cb < 20$	Baja
$20 \leq Cb < 40$	Media
$40 \leq Cb$	Alta

3.8.10. Ensayo de absorción por inmersión

Este ensayo se realizó en un ambiente particular; los protocolos, equipos y técnicas de recolección se basaron en las recomendaciones de Norma Técnica Peruana 399.613.

3.8.10.1. Normativa relacionada

El procedimiento normativo de ensayo de capacidad de absorción capilar se muestra en la *Tabla 28*.

Tabla 28

Normativa para el ensayo de absorción por inmersión total

TIPOS DE ENSAYOS	NORMAS
Ensayo de capacidad de absorción	NTP 399.613

3.8.10.2. Fundamento

Este ensayo se realiza para conocer la capacidad de absorción de agua de los bloques de tierra durante un periodo largo de humedecimiento, se efectúa el ensayo colocando 6 bloques de tierra por tipo, dentro de un contenedor con agua suficiente para cubrirlos en su totalidad. Finalizando el ensayo se calcula el porcentaje de absorción utilizando la siguiente expresión:

$$W_p = \left(\frac{W_{sat} - W_{sec}}{W_{sec}} \right) \times 100 \quad (8)$$

Donde :

W_p : Porcentaje de agua absorbida (%).



W_{sat} : Peso saturado de la muestra, después del ensayo.

W_{sec} : Peso seco de la muestra, antes del ensayo.

Tabla 29

Evaluación de absorción por inmersión total

Agua absorbida (%)	Condición
$W_p \leq 22$	Aceptable
$22 < W_p$	Inaceptable

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

En esta sección se presentarán los resultados de los ensayos programados, y en el apartado de discusión de resultados se hará la interpretación de estos así como las pruebas estadísticas correspondientes.

4.1.1. Prueba de la botella (ensayo in-situ)

En la *Tabla 30* se observa que la relación entre la arena y la fracción de finos es 0.56. Se recomienda usar tierra cuya relación se encuentre en el rango de 1.5 a 3, con lo cual empíricamente el suelo S-01 no es adecuado para la elaboración de bloques de tierra.

Tabla 30

Prueba de la botella: Suelo S-01

Muestra	Tipo de suelo	Altura (cm)	%	Relación: $H_{\text{arena}}/H_{\text{finos}}$
SUELO 01	Arena Gruesa	0.4	3.48	0.56
	Arena fina	1.4	12.17	
	Arcilla y limos	3.2	27.83	
	Agua	6.5	56.52	
TOTAL		11.5	100	

En la *Tabla 31* se observa que la relación entre la arena y la fracción de finos es 1.81. Se recomienda usar tierra cuya relación se encuentre en el rango de 1.5 a 3, con lo cual empíricamente el suelo S-02 es adecuado para la elaboración de bloques de tierra.

El suelo S-01 posee un mayor contenido de materia orgánica seca, mientras que el suelo S-02 evidencia un contenido ínfimo, el suelo S-03 resultado de la mezcla de los suelos anteriores posee un contenido de raíces mucho menor respecto al suelo S-01 y ligeramente mayor al suelo S-02 (*Figura 40*).

Tabla 31

Prueba de la botella: Suelo S-02

Muestra	Tipo de suelo	Altura (cm)	%	Relación: $H_{\text{arena}}/H_{\text{finos}}$
SUELO 02	Arena Gruesa	0.5	3.57	1.81
	Arena fina	3.3	23.57	
	Arcilla y limos	2.1	15.0	
	Agua	8.1	57.86	
TOTAL		14.0	100	

Tabla 32

Prueba de la botella: Suelo S-03

Muestra	Tipo de suelo	Altura (cm)	%	Relación: $H_{\text{arena}}/H_{\text{finos}}$
SUELO 03	Arena Gruesa	0.3	3.53	1.62
	Arena fina	2.3	27.06	
	Arcilla y limos	1.6	18.82	
	Agua	4.3	50.59	
TOTAL		8.5	100	

En la *Tabla 32* se observa que la relación entre la arena y la fracción de finos es 1.62. Se recomienda usar tierra cuya relación se encuentre en el rango de

1.5 a 3, con lo cual empíricamente el suelo S-03 es adecuado para la elaboración de bloques de tierra.

Figura 40

Prueba de la botella

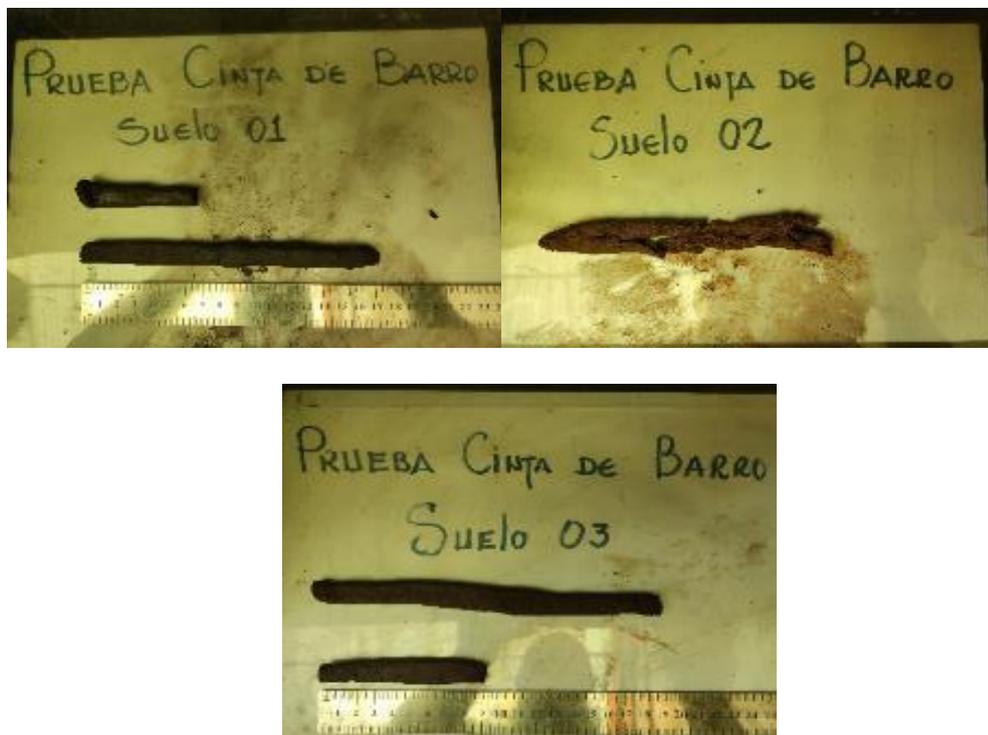


Nota: Las pequeñas raíces no superan 1 cm de longitud.

4.1.2. Prueba de la cinta de barro (ensayo in situ)

Figura 41

Prueba de cinta de barro suelos S-01, S-02 y S-03



Nota: El suelo S-02 presenta una cantidad de finos insuficiente para formar la cinta.

Tabla 33*Evaluación de cinta de barro: S-01*

Muestra	Tipo de suelo	Rango (cm)	Longitud (cm)
SUELO 01	Arenosa	Inadecuada: 0 a 5	16.8
	Arcillo - arenosa	Adecuada: 5 a 15	
	Arcillosa	Inadecuada: 15 a 25	

Según la *Tabla 33* la fracción de cinta que cayó al ponerla en suspensión fue de 16.8 cm, concluyendo que el suelo S-01 es arcilloso y no es adecuado para la elaboración de bloques de tierra.

Tabla 34*Evaluación de cinta de barro: S-02*

Muestra	Tipo de suelo	Rango (cm)	Longitud (cm)
SUELO 02	Arenosa	Inadecuada: 0 a 5	No se puede formar la cinta
	Arcillo - arenosa	Adecuada: 5 a 15	
	Arcillosa	Inadecuada: 15 a 25	

Como se observa en la *Tabla 34* la fracción de cinta no puede formarse por falta de finos en el suelo, concluyendo que el suelo S-02 es arenoso y no es adecuado para la elaboración de bloques de tierra.

Como se reporta en la *Tabla 35* la fracción de cinta que cayó al ponerla en suspensión fue de 9.1 cm, concluyendo que el suelo S-03 es arcillo-arenoso y es adecuado para la elaboración de bloques de tierra.

Tabla 35*Evaluación de cinta de barro: S-03*

Muestra	Tipo de suelo	Rango (cm)	Longitud (cm)
SUELO 03	Arenosa	Inadecuada: 0 a 5	9.1
	Arcillo - arenosa	Adecuada: 5 a 15	
	Arcillosa	Inadecuada: 15 a 25	

4.1.3. Prueba de presencia de arcilla (ensayo in situ)

Tabla 36

Prueba de presencia de arcilla

Muestra	Si se rompe	No se rompe
S-01	-	X
S-02	X	-
S-03	-	X

En la *Tabla 36* se detalla los resultados de la prueba a cuatro muestras por tipo de suelo fueron sometidas presión entre el dedo pulgar e índice, concluyendo así que los suelos S-01 y S-03 tienen presencia de arcilla suficiente y pueden ser usados para fabricar de unidades de tierra como se aprecia en la *Figura 42*.

Figura 42

Bolas de arcilla: S-01, S-02 y S-03



Nota: El suelo S-02 presenta fisuras y el moldeo es frágil. Los suelos S-01 y S-03 tienen la cantidad suficiente de finos para permitir una trabajabilidad y moldeo buenos.

4.1.4. Límites de consistencia

4.1.4.1. Ensayo de laboratorio

Se realizaron los ensayos para determinar los límites de consistencia de los suelos S-01, S-02 y S-03; de donde se obtuvieron los resultados mostrados en la *Tabla 37*:

Tabla 37

Resultados de los ensayos de LL, LP e IP

Descripción	Resultados (%)		
	Suelo S-01	Suelo S-02	Suelo S-03
Límite Líquido (LL)	40.0	N.P.	31.0
Límite Plástico (LP)	28.0	N.P.	20.0
Índice Plástico (IP)	12.0	N.P.	11.0

4.1.5. Análisis granulométrico por tamizado

4.1.5.1. Ensayo de laboratorio

Los ensayos a las muestras S-01, S-02 y S-03 se hicieron con 15 diferentes diámetros o tamices como se aprecia en la *Tabla 38*.

Cabe señalar y recordar que los suelos S-01 y S-02 son los suelos bases para la elaboración de los bloques de tierra, mientras que el suelo S-03 es resultado de la estabilización física de S-01 con S-02 y/o viceversa.

Tabla 38

Análisis granulométrico Tamiz ASTM: S-03

TAMIZ ASTM	ABERTURA (mm)	% Porcentaje que pasa		
		Muestra S-01	Muestra S-02	Muestra S-03
3"	76.200	100.0	100.0	100.0
2"	50.800	100.0	100.0	100.0
1 ½"	38.100	100.0	100.0	100.0
1"	25.400	100.0	100.0	100.0



TAMIZ ASTM	ABERTURA (mm)	% Porcentaje que pasa		
		Muestra S-01	Muestra S-02	Muestra S-03
3/4"	19.050	100.0	100.0	100.0
1/2"	12.5000	100.0	100.0	100.0
3/8"	9.525	91.1	100.0	99.24
#4	4.750	89.8	100.0	97.33
#10	2.000	88.1	91.5	94.54
#20	0.840	85.4	84.5	90.09
#40	0.425	80.9	70.2	80.25
#60	0.250	76.1	54.4	68.42
#100	0.150	71.7	39.0	54.01
#200	0.075	64.9	27.4	44.45

Nota: Datos obtenidos en base al ensayo de análisis granulométrico.

Para fracción de diámetros menores el ensayo de hidrómetro fue desarrollado únicamente al suelo S-03, por ser el suelo utilizado en la fabricación de los bloques de tierra. En este caso la fracción a analizar fue la que paso la malla N° 200, es decir, el 44.45%, resultado de este análisis se tiene que el 13.6% de la fracción analizada paso por la abertura 0.002 mm. Los resultados a detalle se presentan en la *Tabla 39*:

Tabla 39

Resumen de análisis granulométrico por hidrómetro

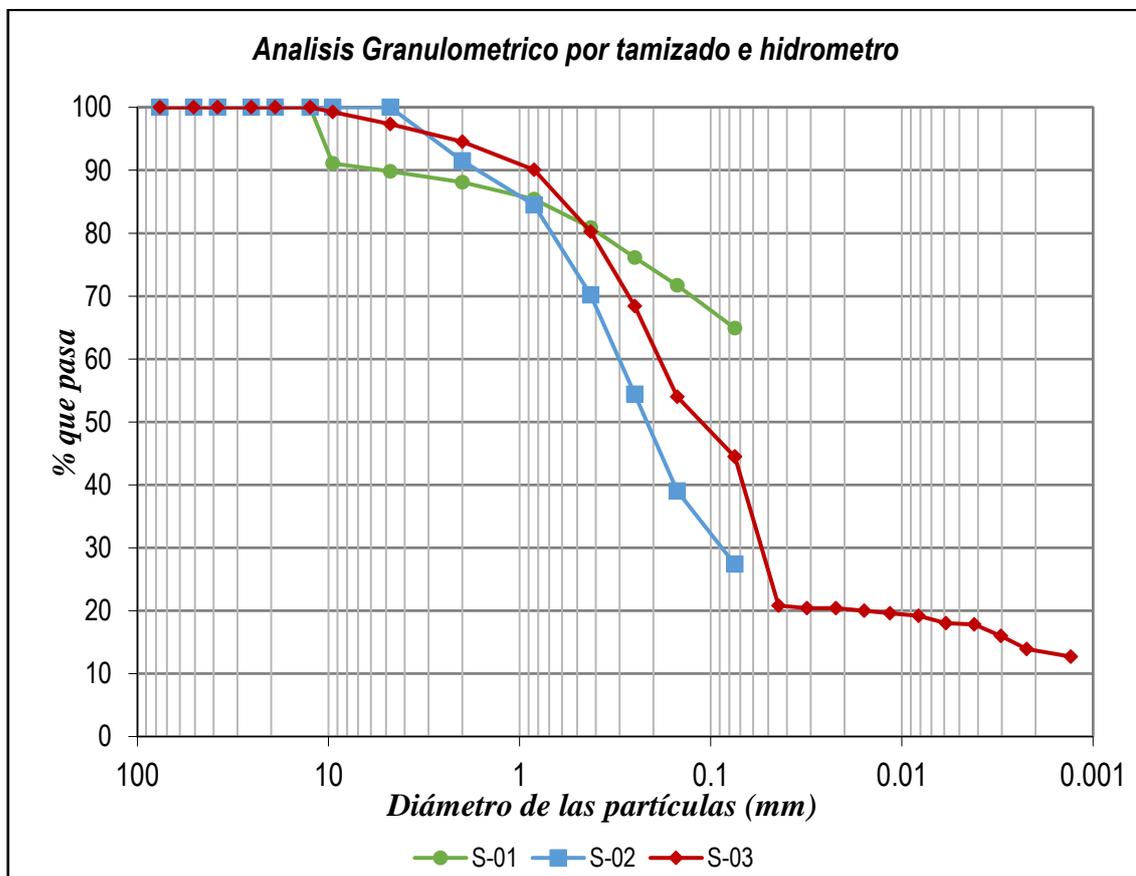
Diámetro de partícula (mm)	% Porcentaje que pasa	Contenido de finos
	Muestra S-03	
0.07500	44.5	LIMOS
0.04423	20.8	30.9%
0.03142	20.4	ARCILLAS

Diámetro de partícula (mm)	% Porcentaje que pasa Muestra S-03	Contenido de finos
0.02215	20.4	13.6%
0.01577	20.0	
0.01154	19.6	
0.00820	19.2	
0.00589	18.0	
0.00418	17.8	
0.00304	16.0	
0.00223	13.9	
0.00131	12.7	

Nota: Datos obtenidos en base al ensayo de hidrómetro.

Figura 43

Curva Granulométrica de suelos S-01, S-02 y S-03



4.1.6. Ensayo de erosión acelerada por pulverizado

4.1.6.1. Ensayo de laboratorio

El ensayo de erosión por pulverizado fue realizado con la finalidad de evaluar la resistencia a la erosión por abrasión húmeda (agua a presión) y el porcentaje de pérdida de material, a la que es sometida la muestra. Se realizaron ensayos sobre seis muestras de cada grupo de bloques de tierra. En la *Tabla 40* se presenta resultados del ensayo:

Tabla 40

Resultados de ensayo de erosión por pulverizado

Muestra	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	% de material perdido	Penetración (mm)	Índice de erosión	Condición
N1A	2604	1330	48.92	60.0	5	No apto
N2A	2664	1692	36.49	60.0	5	No apto
N3A	2526	2103	16.75	47.5	5	No apto
N10B	2589	2184	15.64	25.0	4	No apto
N11B	2529	2068	18.23	30.0	5	No apto
N13B	2610	1865	28.54	33.0	5	No apto
P1A	2507	2276	9.21	34.0	5	No apto
P2A	2558	2357	7.86	31.0	5	No apto
P3A	2505	2365	5.59	32.0	5	No apto
P4B	2514	2367	5.85	17.0	4	No apto
P5B	2580	2336	9.46	19.5	4	No apto
P6B	2532	2141	15.44	21.0	4	No apto
S1A	2459	2421	1.55	25.5	4	No apto
S2A	2448	2389	2.41	26.0	4	No apto
S3A	2456	2373	3.38	26.0	4	No apto
S4B	2485	2404	3.26	14.5	3	Apto
S5B	2538	2466	2.84	12.5	3	Apto
S6B	2485	2390	3.82	12.0	3	Apto

Muestra	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	% de material perdido	Penetración (mm)	Índice de erosión	Condición
T1A	2504	2426	3.12	13.5	3	Apto
T2A	2510	2483	1.08	13.0	3	Apto
T3A	2500	2475	1.00	11.5	3	Apto
T4B	2532	2515	0.67	7.0	2	Apto
T5B	2463	2423	1.62	8.5	2	Apto
T6B	2685	2628	2.12	8.0	2	Apto
U1A	2557	2542	0.59	8.0	2	Apto
U2A	2482	2470	0.48	7.5	2	Apto
U3A	2495	2484	0.44	6.5	2	Apto
U4B	2659	2640	0.71	1.0	1	Apto
U5B	2557	2544	0.51	1.0	1	Apto
U6B	2543	2527	0.63	1.5	1	Apto

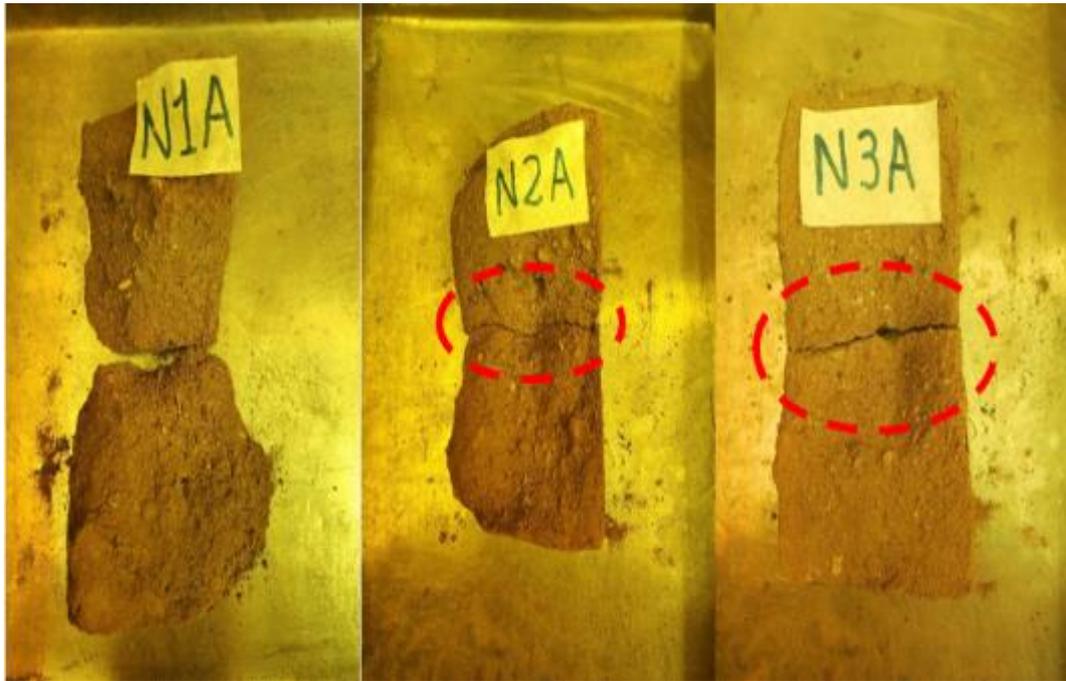
Figura 44

Equipo y accesorios para ensayo de erosión por pulverizado



Figura 45

Erosión por pulverizado: Bloques N Cara A



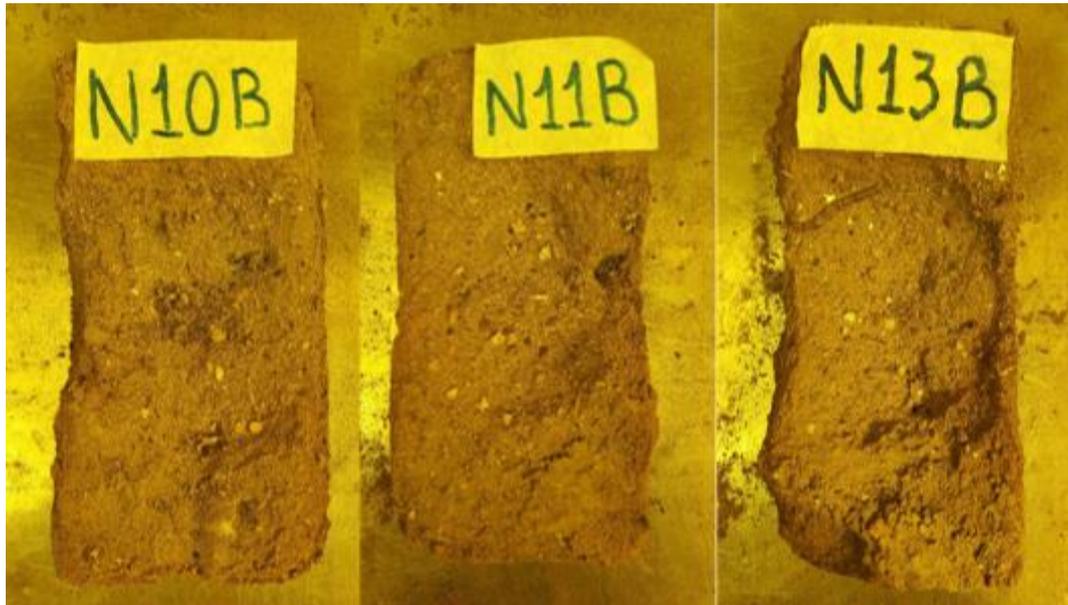
Los bloques N1, N2, N3 se evaluaron por la cara A. Los bloques quedan totalmente erosionados como se puede observar en la *Figura 45*. El bloque N1A después de los primeros 15 minutos de ensayo presentó una penetración de 20 mm sobrepasando así el límite permitido de 15 mm para considerarse apto; a los 30 minutos se inició la pérdida de material continuando esta hasta el minuto 52, donde se suspendió la prueba pues el bloque quedó perforado.

El bloque N2A después de los primeros 15 minutos de ensayo presento una penetración de 2.1 mm sobrepasando así el límite de aceptación para la condición de apto, además que inicio la pérdida de material.

Por su parte el bloque N3A después de los primeros 15 minutos de ensayo presento una penetración de 14 mm, así como indicios de pérdida de material. Cabe señalar que los bloques N2A y N3A concluyeron el ensayo en el tiempo programado de 60 minutos, sin embargo, durante el secado después de la prueba se fraccionaron como se aprecia en la *Figura 45* (círculo rojo).

Figura 46

Erosión por pulverizado: Bloques N Cara B



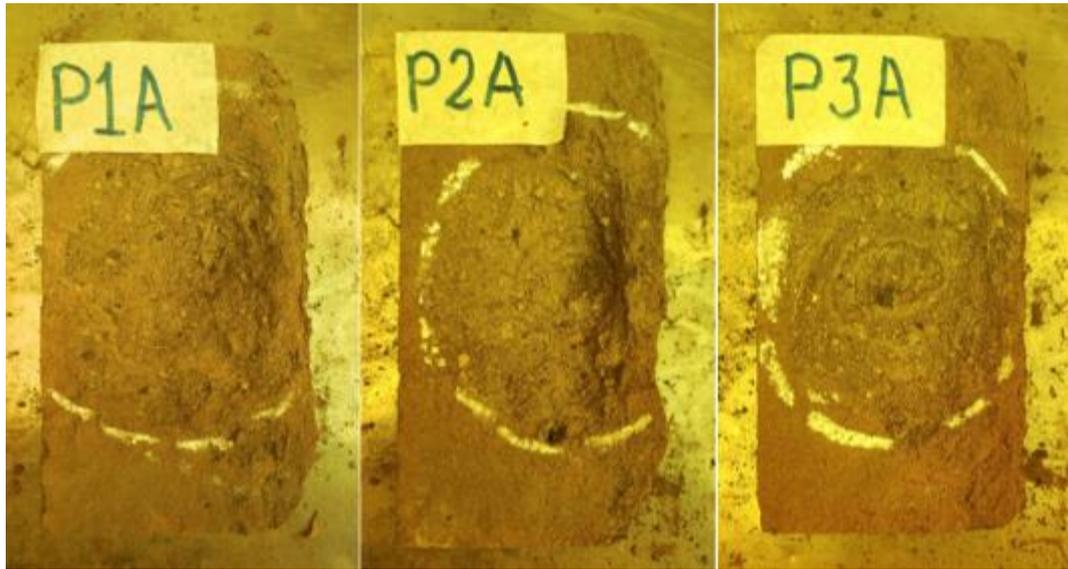
Los bloques N10, N11, N13 se evaluaron por la cara B. Después del ensayo los bloques presentan erosión como se puede observar en la *Figura 46*. El bloque N10B después de los primeros 15 minutos de ensayo presentó una penetración de 9 mm e indicios de pérdida de material; a los 30 minutos presento una penetración de 18 mm sobrepasando así el límite para la condición de apto, además continuo la pérdida de material hasta el final del ensayo.

El bloque N11B después de los primeros 15 minutos de ensayo presento una penetración de 19 mm sobrepasando así el límite de aceptación para la condición de apto, además que inicio la pérdida de material.

Por su parte el bloque N13B después de los primeros 15 minutos de ensayo presento una penetración de 10 mm e inicio de pérdida de material; y a los 30 minutos sufrió una penetración de 24.5 mm sobrepasando así el límite de aceptación para la condición de apto. Como se puede observar en la *Figura 46* los bloques quedan erosionados, pero no llegan a fraccionarse. Además, los tres bloques concluyen los 60 minutos de ensayo programado.

Figura 47

Erosión por pulverizado: Bloques P Cara A



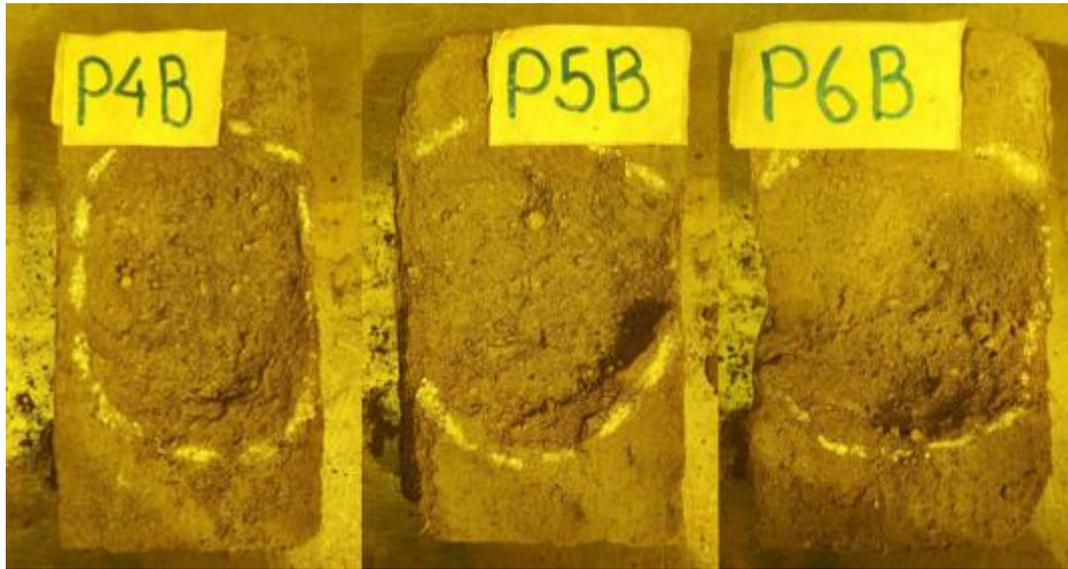
Los bloques P1, P2, P3 se evaluaron por la cara A. Después del ensayo los bloques presentan erosión como se puede observar en la *Figura 47*. El bloque P1A después de los primeros 15 minutos de ensayo presentó una penetración de 9 mm e indicios de pérdida de material; a los 30 minutos presento una penetración de 17 mm sobrepasando así el límite para la condición de apto, además continuo la pérdida de material hasta el final del ensayo.

El bloque P2A después de los primeros 15 minutos de ensayo presento una penetración de 13 mm, a los 30 minutos presento una penetración de 19 mm sobrepasando así el límite de aceptación para la condición de apto además que inicio la pérdida de material.

Por su parte el bloque P3A después de los primeros 15 minutos de ensayo presento una penetración de 14.6 mm e inicio de pérdida de material; y a los 30 minutos una penetración de 19 mm sobrepasando así el límite de aceptación para la condición de apto. Como se puede observar en la *Figura 47* los bloques quedan erosionados, pero no sufren una pérdida masiva de material. Además, los bloques concluyen los 60 minutos de ensayo programado.

Figura 48

Erosión por pulverizado: Bloques P Cara B



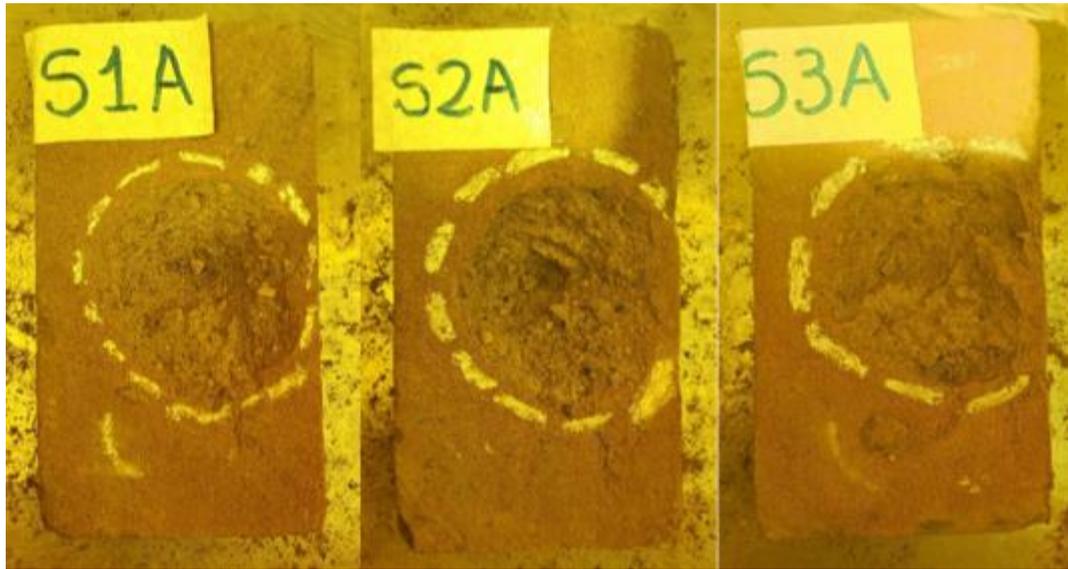
Los bloques P4, P5, P6 se evaluaron por la cara B. Después del ensayo los bloques presentan erosión como se puede observar en la *Figura 48*. El bloque P4B después de los primeros 15 minutos de ensayo presentó una penetración de 1 mm, a los 30 minutos presento una penetración de 4 mm, a los 45 minutos una penetración de 19 mm sobrepasando así el límite para la condición de apto, además inicio la pérdida de material hasta el final del ensayo.

El bloque P5B después de los primeros 15 minutos de ensayo presento una penetración de 1.5 mm, a los 30 minutos presento una penetración de 7.9 mm, a los 45 minutos una penetración de 12 mm e inicio de pérdida de material; y a los 60 minutos una penetración de 19.5 mm.

Por su parte el bloque P6B después de los primeros 15 minutos de ensayo presento una penetración de 3 mm, a los 30 minutos una penetración de 12 mm, y a los 45 minutos una penetración de 18 mm sobrepasando así el límite de aceptación para la condición de apto. Como se puede observar en la *Figura 48* los bloques quedan erosionados no solo en la zona de ensayo, sin sufrir fraccionamiento; además que concluyen los 60 minutos de ensayo programado.

Figura 49

Erosión por pulverizado: Bloques S Cara A



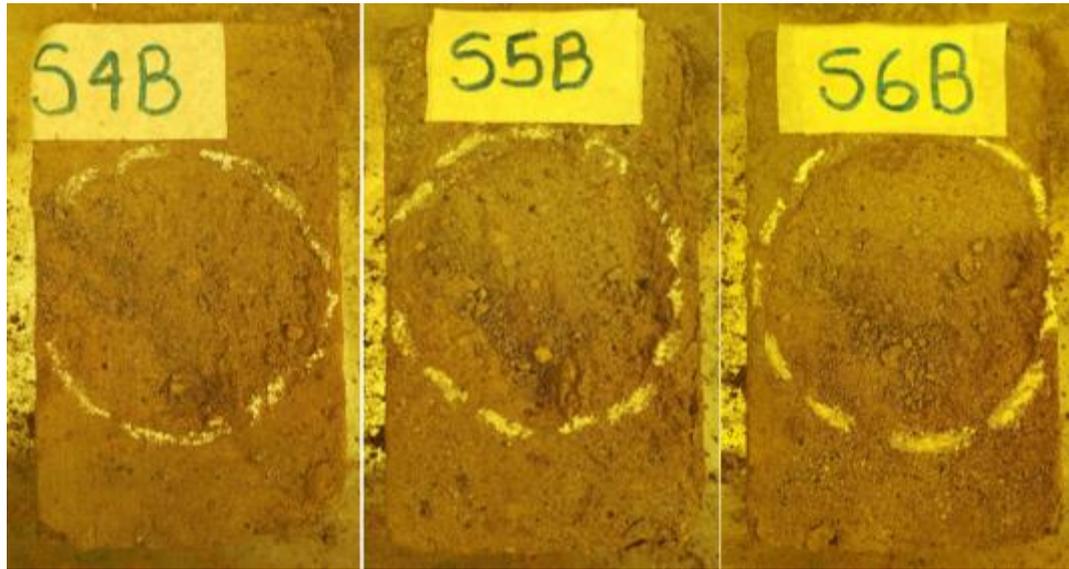
Los bloques S1, S2, S3 se evaluaron por la cara A. Después del ensayo los bloques presentan erosión como se puede observar en la *Figura 49*. El bloque S1A después de los primeros 15 minutos de ensayo presentó una penetración de 12 mm, a los 30 minutos presentó una penetración de 18 mm sobrepasando así el límite para la condición de apto, sin pérdidas de material en canto ni aristas hasta el final del ensayo.

El bloque S2A después de los primeros 15 minutos de ensayo presento una penetración de 14 mm, a los 30 minutos presento una penetración de 21 mm sobrepasando así el límite de aceptación para la condición de apto, sin pérdidas de material en canto ni aristas.

Por su parte el bloque S3A después de los primeros 15 minutos de ensayo presento una penetración de 10 mm, a los 30 minutos una penetración de 18 mm sobrepasando así el límite de aceptación para la condición de apto. Como se puede observar en la *Figura 49* los bloques quedan erosionados, pero solo en la zona de ensayo. Además, los bloques concluyen los 60 minutos de ensayo programado.

Figura 50

Erosión por pulverizado: Bloques S Cara B



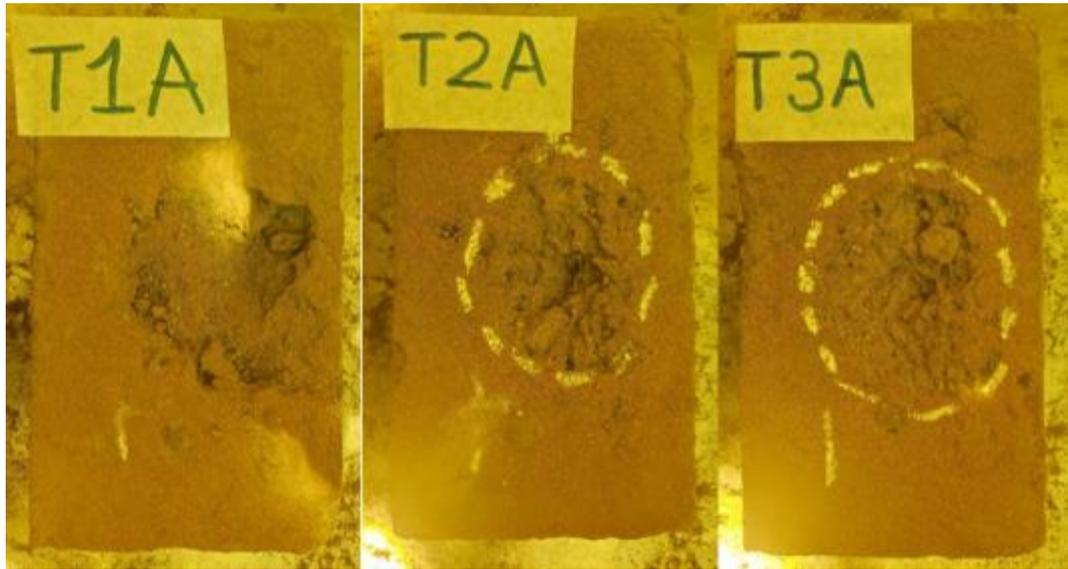
Los bloques S4, S5, S6 se evaluaron por la cara B. Después del ensayo los bloques presentan erosión moderada como se puede observar en la *Figura 50*. El bloque S4B después de los primeros 15 minutos de ensayo presentó una penetración de 1 mm, a los 30 minutos presentó una penetración de 8 mm, a los 45 minutos una penetración de 12 mm; y a los 60 minutos una penetración de 14.5 mm.

El bloque S5B después de los primeros 15 minutos de ensayo presentó una penetración de 0.5 mm, a los 30 minutos presentó una penetración de 6 mm, a los 45 minutos una penetración de 11 mm; y a los 60 minutos una penetración de 12.5 mm.

El bloque S6B después de los primeros 15 minutos de ensayo presentó una penetración de 2 mm, a los 30 minutos presentó una penetración de 7 mm, a los 45 minutos una penetración de 10 mm; y a los 60 minutos una penetración de 12 mm. Como se puede observar en la *Figura 50* los bloques quedan erosionados superficialmente. Además los bloques concluyen los 60 minutos de ensayo programado sin sufrir pérdidas importantes de material.

Figura 51

Erosión por pulverizado: Bloques T Cara A



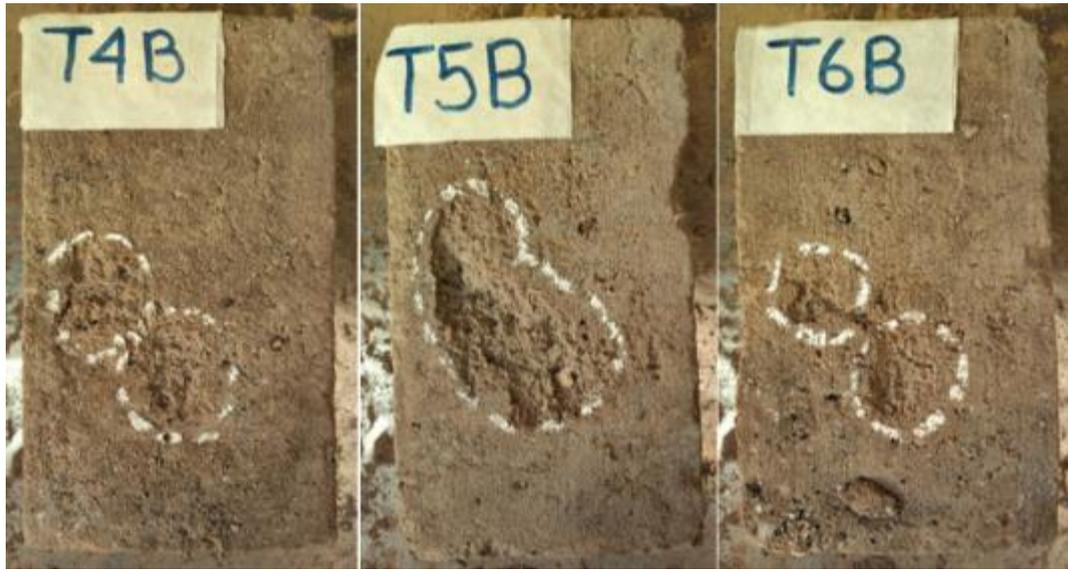
Los bloques T1, T2, T3 se evaluaron por la cara A. Después del ensayo los bloques presentan erosión leve, considerándose más un desconchado como se puede observar en la *Figura 51*. El bloque T1A después de los primeros 15 minutos de ensayo presento una penetración de 1 mm, a los 30 minutos presento una penetración de 7 mm, a los 45 minutos una penetración de 11 mm; y a los 60 minutos una penetración de 13.5 mm.

El bloque T2A después de los primeros 15 minutos de ensayo presento una penetración de 3 mm, a los 30 minutos presento una penetración de 4 mm, a los 45 minutos una penetración de 6 mm; y a los 60 minutos una penetración de 13 mm.

El bloque T3A después de los primeros 15 minutos de ensayo presento una penetración de 2.5 mm, a los 30 minutos presento una penetración de 6 mm, a los 45 minutos una penetración de 8 mm; y a los 60 minutos una penetración de 11.5 mm. Como se puede observar en la *Figura 51* los bloques quedan erosionados superficialmente. Además los bloques concluyen los 60 minutos de ensayo programado sin sufrir pérdidas importantes de material.

Figura 52

Erosión por pulverizado: Bloques T Cara B



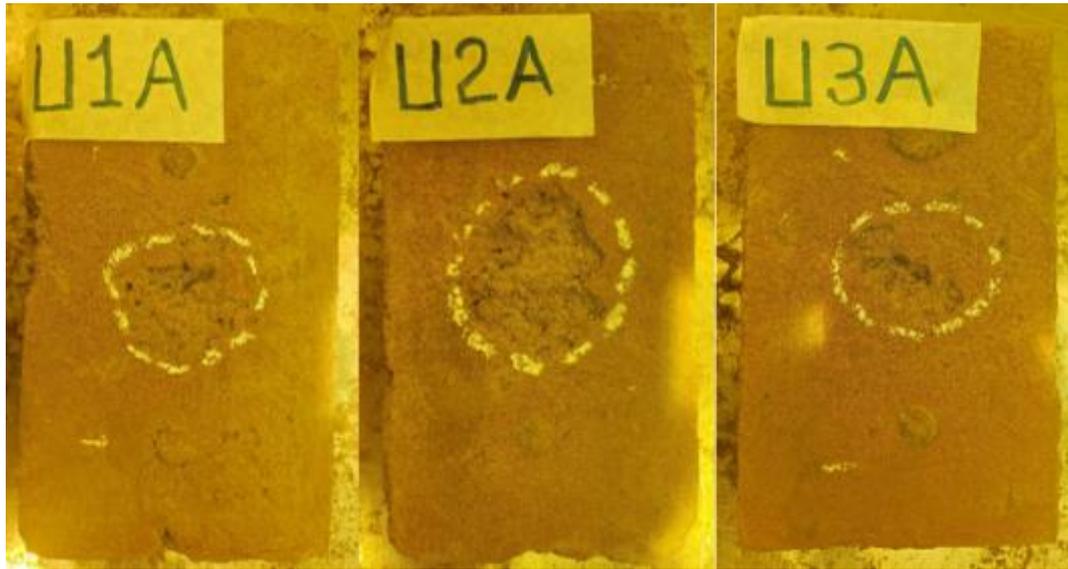
Los bloques T4, T5, T6 se evaluaron por la cara B. Después del ensayo los bloques presentan erosión leve, considerándose más un desconchado como se puede observar en la *Figura 52*. El bloque T4B después de los primeros 15 minutos de ensayo presento una penetración de 1 mm, a los 30 minutos presento una penetración de 2.5 mm, a los 45 minutos una penetración de 4.6 mm; y a los 60 minutos una penetración de 7 mm.

El bloque T5B después de los primeros 15 minutos de ensayo presento una penetración de 3 mm, a los 30 minutos presento una penetración de 5.5 mm, a los 45 minutos una penetración de 7 mm; y a los 60 minutos una penetración de 8.5 mm.

El bloque T6B después de los primeros 15 minutos de ensayo presento una penetración de 1 mm, a los 30 minutos presento una penetración de 3.8 mm, a los 45 minutos una penetración de 6.9 mm; y a los 60 minutos una penetración de 8 mm. Como se puede observar en la *Figura 52* los bloques quedan erosionados superficialmente. Además los bloques concluyen los 60 minutos de ensayo programado sin sufrir pérdidas importantes de material.

Figura 53

Erosión por pulverizado: Bloques U Cara A



Los bloques U1, U2, U3 se evaluaron por la cara A. Después del ensayo los bloques presentaron una erosión leve, considerándose más un desconchado como se puede observar en la *Figura 53*. El bloque U1A después de los primeros 15 minutos de ensayo presentó una penetración de 1 mm, a los 30 minutos presentó una penetración de 1 mm, a los 45 minutos una penetración de 3.5 mm; y a los 60 minutos una penetración de 8 mm.

El bloque U2A después de los primeros 15 minutos de ensayo presentó una penetración de 1.5 mm, a los 30 minutos presentó una penetración de 4.8 mm, a los 45 minutos una penetración de 5.9 mm; y a los 60 minutos una penetración de 7.5 mm.

El bloque U3A después de los primeros 15 minutos de ensayo presentó una penetración de 1 mm, a los 30 minutos presentó una penetración de 4.5 mm, a los 45 minutos una penetración de 5.8 mm; y a los 60 minutos una penetración de 6.5 mm. Como se puede observar en la *Figura 53* los bloques quedan erosionados de manera superficialmente leve. Además los bloques concluyen los 60 minutos de ensayo programado sin sufrir pérdidas importantes de material.

Figura 54

Erosión por pulverizado: Bloques U Cara B



Los bloques U4, U5, U6 se evaluaron por la cara B. Después del ensayo los bloques no sufrieron erosión significativa, considerándose intactos como se puede observar en la *Figura 54*. El bloque U4B después de los primeros 15 minutos de ensayo no presento una penetración, a los 30 minutos presento una penetración de 0.5 mm, a los 45 minutos una penetración de 0.8 mm; y a los 60 minutos una penetración de 1 mm.

El bloque U5B después de los primeros 15 minutos de ensayo no presento penetración, a los 30 minutos no presento penetración, a los 45 minutos una penetración de 0.5 mm; y a los 60 minutos una penetración de 1 mm.

El bloque U6B después de los primeros 15 minutos de ensayo no presento penetración, a los 30 minutos presento una penetración de 1 mm, a los 45 minutos una penetración de 1.3 mm; y a los 60 minutos una penetración de 1.5 mm. Como se puede observar en la *Figura 54* los bloques no sufren pérdidas importantes de material. Además los bloques concluyen los 60 minutos de ensayo programado.

En general los resultados del ensayo muestran que los bloques sin adición de cemento sufrieron una penetración de 42.58 mm y una pérdida de material de 27.43% en promedio; los bloques con 5% de cemento presentaron una penetración de 25.75 mm y una pérdida de material de 8.9% en promedio; los bloques con 10% de cemento presentaron una penetración de 19.42 mm y una pérdida de material de 2.88% en promedio; los bloques con 15% de cemento presentaron una penetración de 10.25 mm y una pérdida de material de 1.6% en promedio; mientras los bloques con 20% de cemento presentaron una penetración de 4.25 mm y una pérdida de material de 0.56% en promedio.

4.1.7. Ensayo de erosión por caída de agua

4.1.7.1. Ensayo de laboratorio

El ensayo de erosión por caída de agua fue realizado sobre seis muestras por tipo de bloque para evaluar la resistencia a la erosión por impacto o caída de agua y el porcentaje de pérdida de material por escorrentía.

Tabla 41

Resultados de ensayo de erosión por caída de agua

Muestra	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	% de material perdido	Penetración (mm)	Condición
N20A	2604	2495	4.19	13.0	No apto
N21A	2658	2560	3.69	14.0	No apto
N22A	2616	2496	4.59	15.0	No apto
N23B	2655	2374	10.58	10.0	No apto
N24B	2699	2412	10.63	9.0	No Apto
N25B	2606	2332	10.51	9.0	No Apto
P19A	2550	2446	4.08	7.0	Apto
P20A	2460	2357	4.19	7.0	Apto
P21A	2581	2472	4.22	6.0	Apto
P22B	2510	2442	2.71	5.0	Apto
P23B	2537	2488	1.93	5.0	Apto
P24B	2530	2453	3.04	5.0	Apto

Muestra	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	% de material perdido	Penetración (mm)	Condición
S19A	2495	2488	0.28	4.5	Apto
S20A	2524	2516	0.32	4.8	Apto
S21A	2480	2471	0.36	5.0	Apto
S22B	2498	2486	0.48	2.9	Apto
S23B	2500	2488	0.48	3.6	Apto
S24B	2443	2433	0.41	3.0	Apto
T19A	2501	2486	0.60	2.5	Apto
T20A	2545	2538	0.28	2.0	Apto
T21A	2514	2504	0.40	2.5	Apto
T22B	2579	2569	0.39	1.7	Apto
T23B	2514	2503	0.44	1.8	Apto
T24B	2472	2463	0.36	2.1	Apto
U19A	2518	2514	0.16	1.7	Apto
U20A	2443	2431	0.49	1.6	Apto
U21A	2507	2497	0.40	1.6	Apto
U22B	2534	2525	0.36	1.2	Apto
U23B	2546	2530	0.63	1.1	Apto
U24B	2524	2519	0.20	0.7	Apto

Nota: Datos obtenidos en base a ensayo de caída de agua.

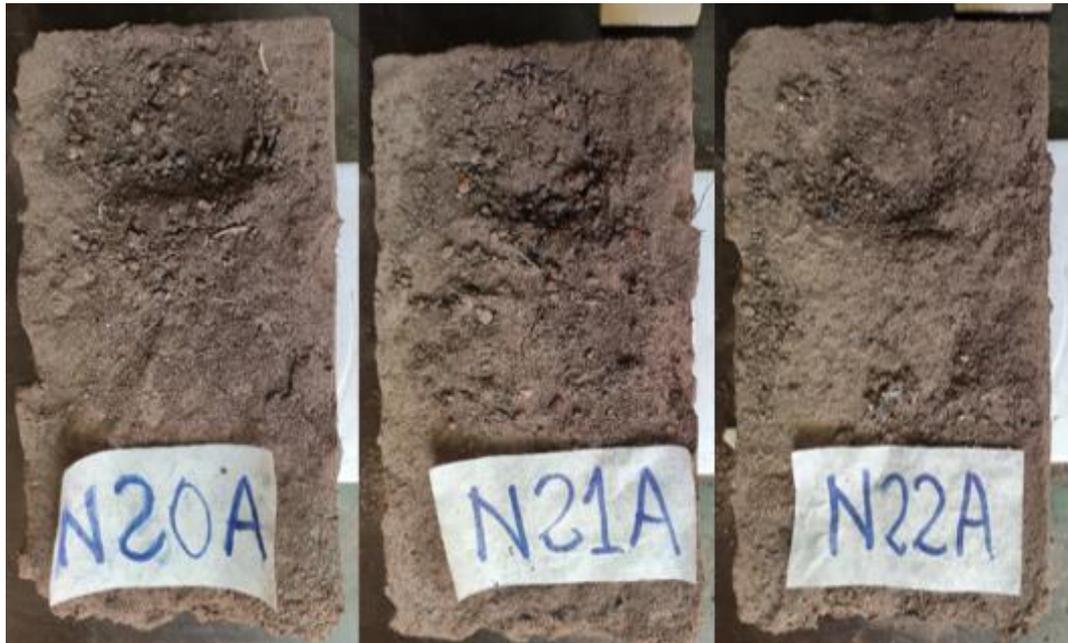
Figura 55

Ensayo de erosión por caída de agua



Figura 56

Penetración por caída de agua: Bloques N cara A



Los bloques N20, N21, N22 se evaluaron por la cara A. Después de los 20 minutos del ensayo en los bloques se aprecia oquedades como se puede observar en la *Figura 56*. El bloque N20A presento una penetración de 13 mm; el bloque N21A una penetración de 14 mm; y el bloque N22A una penetración de 15 mm, superando los 3 bloques el límite permitido para poder considerarse Apto.

Figura 57

Daños en Bloques N testa A



En la *Figura 57* se ve la erosión sufrida por los bloques a causa de la saturación, al tacto los bloques se sienten “gelatinosos”.

Figura 58

Penetración por caída de agua: Bloques N cara B



Los bloques N23, N24, N25 se evaluaron por la cara B. Después de los 20 minutos del ensayo en los bloques no se aprecia oquedades pero si arrastre de material, como puede observarse en la *Figura 58*. El bloque N23B presento una erosión de 10 mm; el bloque N24B una penetración de 9 mm; y el bloque N25B una penetración de 9 mm, sin superar los tres bloques el límite permitido para ser considerados aptos.

Figura 59

Daños en Bloques N testa B



Los bloques sufrieron erosión severa en la testa inferior (*Figura 59*), a causa del agua escurrida, es decir, que la mayoría de parte erosionada no se causó por el impacto de la caída de agua, sino más bien por la escorrentía causada por esta.

Figura 60

Penetración por caída de agua: Bloques P cara A



Los bloques P19, P20, P21 se evaluaron por la cara A. Después de los 20 minutos del ensayo en los bloques no se aprecia oquedades pero si arrastre de material, como puede observarse en la *Figura 60*. El bloque P19A presento una erosión de 7 mm; el bloque P20A una penetración de 7 mm; y el bloque P21A una penetración de 6 mm, sin superar los tres bloques el límite permitido para ser considerados aptos.

Figura 61

Daños en Bloques P testa A



Los bloques sufrieron erosión alta en la testa inferior (*Figura 61*), a causa del agua escurrida, es decir que la mayoría de parte erosionada no se causó por el impacto de la caída de agua, sino más bien por la esorrentía causada por esta.

Figura 62

Penetración por caída de agua: Bloques P cara B



Los bloques P22, P23, P24 se evaluaron por la cara B. Después de los 20 minutos del ensayo en los bloques no se aprecia oquedades pero si arrastre de material, como puede observarse en la *Figura 62*. El bloque P22B presento una erosión de 5 mm; el bloque P23B una penetración de 5 mm; y el bloque P24B una penetración de 5 mm, sin superar los tres bloques el límite permitido para ser considerados aptos.

Figura 63

Daños en Bloques P testa B



Los bloques sufrieron erosión alta en la testa inferior (*Figura 63*), a causa del agua escurrida, es decir que la mayoría de parte erosionada no se causó por el impacto de la caída de agua, sino más bien por la escorrentía causada por esta.

Figura 64

Penetración por caída de agua: Bloques S cara A



Los bloques S19, S20, S21 se evaluaron por la cara A. Después de los 20 minutos del ensayo en los bloques no se aprecia oquedades pero si arrastre de material, como puede observarse en la *Figura 64*. El bloque S19A presento una penetración de 4.5 mm; el bloque S20A una penetración de 4.8 mm; y el bloque S21A una penetración de 5 mm, sin superar los tres bloques el límite permitido para ser considerados aptos.

Figura 65

Daños en Bloques S testa A



Los bloques sufrieron erosión moderada en la testa inferior (*Figura 65*), a causa del agua escurrida, es decir que la mayoría de parte erosionada no se causó por el impacto de la caída de agua, sino más bien por la escorrentía causada por esta.

Figura 66

Penetración por caída de agua: Bloques S cara B



Los bloques S22, S23, S24 se evaluaron por la cara B. Después de los 20 minutos del ensayo en los bloques no se aprecia oquedades, pero si arrastre de material, como puede observarse en la *Figura 66*. El bloque S22B presento una penetración de 2.9 mm; el bloque S23B una penetración de 3.6 mm; y el bloque S24B una penetración de 3 mm, sin superar los tres bloques el límite permitido para ser considerados aptos.

Figura 67

Daños en Bloques S testa B



Los bloques sufrieron erosión moderada en la testa inferior (*Figura 67*), a causa del agua escurrida, es decir que la mayoría de parte erosionada no se causó por el impacto de la caída de agua, sino más bien por la escorrentía causada por esta.

Figura 68

Penetración por caída de agua: Bloques T cara A



Los bloques T19, T20, T21 se evaluaron por la cara A. Después de los 20 minutos del ensayo en los bloques no se aprecia oquedades, pero si arrastre de material, como puede observarse en la *Figura 68*. El bloque T19A presento una penetración de 2.5 mm; el bloque T20A una penetración de 2 mm; y el bloque T21A una penetración de 2.5 mm, sin superar los tres bloques el límite permitido para ser considerados aptos.

Figura 69

Daños en Bloques T testa A



Los bloques sufrieron erosión moderada a leve en la testa inferior (*Figura 69*), a causa del agua escurrida, es decir que la mayoría de parte erosionada no se causó por el impacto de la caída de agua, sino más bien por la esorrentía causada por esta.

Figura 70

Penetración por caída de agua: Bloques T cara B



Los bloques T22, T23, T24 se evaluaron por la cara B. Después de los 20 minutos del ensayo en los bloques no se aprecia oquedades, pero si arrastre de material, como puede observarse en la *Figura 70*. El bloque T22B presento una penetración de 1.7 mm; el bloque T23B una penetración de 1.8 mm; y el bloque T24B una penetración de 2.1 mm, sin superar los tres bloques el límite permitido para ser considerados aptos.

Figura 71

Daños en Bloques T testa B



Los bloques sufrieron erosión moderada a leve en la testa inferior (*Figura 71*), a causa del agua escurrida, es decir que la mayoría de parte erosionada no se causó por el impacto de la caída de agua, sino más bien por la esorrentía causada por esta.

Figura 72

Penetración por caída de agua: Bloques U cara A



Los bloques U19, U20, U21 se evaluaron por la cara A. Después de los 20 minutos del ensayo en los bloques no se aprecia oquedades pero si arrastre de material, como puede observarse en la *Figura 72*. El bloque U19A presento una penetración de 1.7 mm; el bloque U20A una penetración de 1.6 mm; y el bloque U21A una penetración de 1.6 mm, sin superar los tres bloques el límite permitido para ser considerados aptos.

Figura 73

Daños en Bloques U testa A



Los bloques sufrieron erosión leve en la testa inferior (*Figura 73*), a causa del agua escurrida, es decir que la mayoría de parte erosionada no se causó por el impacto de la caída de agua, sino más bien por la escorrentía causada por esta.

Figura 74

Penetración por caída de agua: Bloques U cara B



Los bloques U22, U23, U24 se evaluaron por la cara B. Después de los 20 minutos del ensayo en los bloques no se aprecia oquedades, pero si arrastre de material, como puede observarse en la *Figura 74*. El bloque U22B presento una penetración de 1.2 mm; el bloque U23B una penetración de 1.1 mm; y el bloque U24B una penetración de 0.7 mm, sin superar los tres bloques el límite permitido para ser considerados aptos.

Figura 75

Daños en Bloques U testa B



Los bloques sufrieron erosión leve en la testa inferior (*Figura 75*), a causa del agua escurrida, es decir que la mayoría de parte erosionada no se causó por el impacto de la caída de agua, sino más bien por la escorrentía causada por esta.



En general los resultados del ensayo muestran que los bloques sin adición de cemento sufrieron una penetración de 7.37 mm y una pérdida de material de 11.67% en promedio; los bloques con 5% de cemento presentaron una penetración de 3.36 mm y una pérdida de material de 5.83% en promedio; los bloques con 10% de cemento presentaron una penetración de 0.39 mm y una pérdida de material de 3.97% en promedio; los bloques con 15% de cemento presentaron una penetración de 0.41 mm y una pérdida de material de 2.10% en promedio; mientras los bloques con 20% de cemento presentaron una penetración de 0.37 mm y una pérdida de material de 1.32% en promedio.

4.1.8. Ensayo de erosión por ciclos de congelamiento y deshielo

4.1.8.1. Ensayo de laboratorio

El ensayo de erosión por ciclos de congelamiento y deshielo fue realizado con la finalidad de evaluar la resistencia a la erosión por agua congelada absorbida por los bloques de tierra causada por el deshielo de estos.

Al finalizar los ciclos del ensayo se verifica que no haya:

- Roturas, fisuras, agrietamiento y/o parecidos.
- Exfoliaciones, descamación y/o cambio superficial.
- Desconchados de dimensión media superior a 15 mm en cualquier parte de la muestra.
- Pérdida de material mayor igual al 5% del peso inicial.

Si alguno de los defectos citados apareciera en el bloque calificará a este como *Heladizo*. Se realizaron ensayos sobre 06 muestras de cada grupo de bloques de tierra.

Tabla 42

Resultados de ensayo de erosión por congelamiento y deshielo

Muestra	Peso inicial (g)	Ciclo de congelamiento y deshielo (días)										Variación de peso (%)		Condición
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	peso (%)		
N4C	2587	2590	2596	2592	2575	2562	2548	2503	2483	2460	2438	-5.76	Heladizo	
N5C	2548	2552	2556	2542	2531	2514	2478	2451	2433	2405	-5.61	Heladizo		
N6C	2515	2521	2521	2516	2487	2471	2424	2398	2373	2344	-6.80	Heladizo		
N7C	2541	2546	2550	2546	2533	2519	2490	2451	2438	2413	2387	-6.06	Heladizo	
N8C	2494	2502	2505	2501	2488	2476	2454	2411	2382	2355	2331	-6.54	Heladizo	
N9C	2535	2538	2543	2543	2530	2511	2489	2451	2438	2413	2384	-5.96	Heladizo	
P7C	2544	2565	2554	2526	2480	2411	2405	2385	2384	2368	2358	-7.31	Heladizo	
P8C	2552	2571	2560	2531	2489	2425	2419	2402	2412	2389	2381	-6.70	Heladizo	
P9C	2552	2577	2567	2543	2498	2434	2427	2416	2423	2398	2391	-6.31	Heladizo	
P10C	2537	2565	2558	2540	2505	2443	2440	2427	2433	2414	2410	-5.01	Heladizo	
P11C	2614	2638	2617	2584	2530	2454	2449	2424	2428	2411	2399	-8.22	Heladizo	
P12C	2512	2548	2529	2496	2442	2338	2327	2299	2294	2276	2263	-9.91	Heladizo	
S13C	2503	2542	2564	2577	2587	2591	2597	2592	2578	2571	2568	+2.60	No heladizo	
S14C	2450	2493	2519	2526	2536	2539	2540	2531	2521	2516	2516	+2.69	No heladizo	
S15C	2521	2565	2592	2595	2610	2616	2620	2609	2602	2595	2594	+2.90	Heladizo	
S16C	2520	2555	2574	2572	2584	2592	2596	2590	2578	2566	2566	+1.83	No heladizo	
S17C	2501	2540	2563	2565	2583	2592	2595	2582	2568	2558	2557	+2.24	Heladizo	
S18C	2493	2535	2554	2562	2577	2580	2580	2577	2557	2547	2545	+2.09	No heladizo	

Muestra	Peso inicial (g)	Ciclo de congelamiento y deshielo (días)										Variación de peso (%)		Condición
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
T13C	2533	2600	2631	2647	2679	2716	2715	2689	2689	2690	2652	+4.70	Heladizo	
T14C	2538	2603	2633	2651	2686	2716	2713	2698	2696	2707	2662	+4.89	No heladizo	
T15C	2446	2505	2533	2550	2581	2610	2604	2590	2589	2601	2561	+4.70	No heladizo	
T16C	2560	2619	2649	2664	2697	2724	2710	2690	2693	2703	2667	+4.18	No heladizo	
T17C	2526	2574	2596	2614	2637	2664	2663	2648	2650	2659	2637	+4.39	No heladizo	
T18C	2580	2634	2657	2674	2694	2727	2727	2708	2716	2727	2705	+4.84	No heladizo	
U13C	2466	2559	2619	2647	2685	2682	2665	2641	2619	2612	2609	+5.80	No heladizo	
U14C	2478	2561	2620	2653	2683	2680	2668	2649	2631	2624	2620	+5.73	No heladizo	
U15C	2525	2616	2665	2714	2717	2704	2705	2675	2676	2683	2649	+4.91	No heladizo	
U16C	2456	2558	2541	2616	2660	2671	2700	2673	2642	2621	2613	+6.39	No heladizo	
U17C	2491	2592	2579	2655	2703	2722	2745	2724	2689	2674	2651	+6.42	No heladizo	
U18C	2480	2574	2560	2625	2671	2688	2709	2691	2660	2639	2623	+5.77	No heladizo	

Nota: Datos obtenidos en base al ensayo de ciclos de congelamiento y deshielo.

La *Tabla 42* resume las mediciones tomadas durante los ciclos de congelamiento y deshielo al que fueron sometidos los bloques.

Figura 76

Bloques N: ciclos de congelamiento - deshielo



Los bloques N presentaron pérdida de material, quedando con una textura granular.

Figura 77

Bloques P: ciclos de congelamiento - deshielo



Los bloques P presentaron pérdida de material, quedando con una textura granular.

Figura 78

Bloques S: ciclos de congelamiento - deshielo



Los bloques S presentaron pérdida de material leve, quedando con una textura lisa.

Figura 79

Bloques T: ciclos de congelamiento - deshielo



Los bloques T presentaron pérdida de material leve, sin cambio en la textura inicial.

Figura 80

Bloques U: ciclos de congelamiento – deshielo



Los bloques U presentaron pérdida de material leve, sin cambio en la textura inicial.

Tabla 43

Bloques N: Duración de secado post ensayo

Etapa de Secado (días)	Muestra					
	N4C	N5C	N6C	N7C	N8C	N9C
1	2425	2380	2326	2369	2326	2363
2	2411	2365	2311	2354	2318	2345
3	2398	2355	2297	2339	2285	2327
4	2385	2354	2288	2339	2283	2328
5	2385	2354	2287	-	2282	-
Peso inicial (g)	2587	2548	2515	2541	2494	2535
Peso final (g)	2385	2354	2287	2339	2282	2328
%Pérdida	7.81	7.61	9.07	7.95	8.50	8.17

Nota: Las muestras recuperan un peso seco constante en 4 días (celdas en naranja).

Tabla 44

Bloques P: Duración de secado post ensayo

Etapa de Secado (días)	Muestra					
	P7C	P8C	P9C	P10C	P11C	P12C
1	2345	2376	2385	2399	2395	2260
2	2339	2372	2380	2392	2389	2253
3	2335	2369	2372	2387	2381	2249
4	2331	2363	2367	2382	2376	2137
5	2325	2355	2359	2378	2264	2130
6	2320	2349	2353	2374	2358	2223
7	2318	2349	2353	2374	2358	2223
Peso inicial (g)	2544	2552	2552	2537	2614	2512
Peso final (g)	2318	2349	2353	2374	2383	2223
%Pérdida	8.88	7.95	7.80	6.42	9.79	11.50

Nota: Las muestras recuperan un peso seco constante en 6 días (celdas en naranja).

Tabla 45

Bloques S: Duración de secado post ensayo

Etapa de Secado (días)	Muestra					
	S13C	S14C	S15C	S16C	S17C	S18C
1	2538	2482	2557	2539	2529	2514
2	2522	2462	2537	2525	2513	2497
3	2510	2448	2522	2513	2501	2483
4	2499	2438	2512	2507	2492	2475
5	2492	2432	2507	2501	2486	2470
6	2487	2427	2502	2497	2481	2465
7	2484	2425	2499	2495	2479	2464
8	2482	2423	2500	2493	2480	2464
9	2482	2423	2499	2494	2480	-
10	-	-	-	-	-	-
Peso inicial (g)	2503	2450	2521	2520	2501	2493
Peso final (g)	2482	2423	2499	2494	2480	2464
%Pérdida	0.84	1.10	0.87	1.03	0.84	1.16

Nota: Las muestras recuperan un peso seco constante en 9 días (celdas en naranja).

Tabla 46

Bloques T: Duración de secado post ensayo

Etapa de Secado (días)	Muestra					
	T13C	T14C	T15C	T16C	T17C	T18C
1	2610	2619	2524	2631	2603	2666
2	2588	2597	2502	2609	2584	2643
3	2576	2582	2491	2598	2573	2628
4	2553	2559	2473	2579	2554	2610
5	2549	2557	2468	2572	2549	2606
6	2545	2550	2461	2567	2544	2600

Etapa de Secado (días)	Muestra					
	T13C	T14C	T15C	T16C	T17C	T18C
7	2539	2545	2457	2561	2539	2592
8	2535	2541	2453	2557	2534	2588
9	2532	2537	2448	2554	2531	2586
10	2524	2529	2441	2545	2526	2580
11	2508	2512	2427	2531	2510	2564
12	2507	2510	2425	2528	2508	2562
13	2507	2511	2421	2523	2507	2563
14	-	-	2421	2522	2507	2563
Peso inicial (g)	2533	2450	2446	2560	2526	2580
Peso final (g)	2507	2511	2421	2523	2507	2563
%Pérdida	1.03	1.06	1.02	1.45	0.75	0.66

Nota: Las muestras recuperan un peso seco constante en 13 días (celdas en naranja).

Tabla 47

Bloques U: Duración de secado post ensayo

Etapa de Secado (días)	Muestra					
	U13C	U14C	U15C	U16C	U17C	U18C
1	2574	2591	2617	2558	2598	2574
2	2542	2563	2593	2537	2577	2559
3	2519	2541	2576	2510	2547	2534
4	2504	2526	2561	2494	2531	2519
5	2491	2513	2554	2482	2515	2504
6	2484	2504	2548	2470	2505	2494
7	2481	2503	2544	2465	2500	2487
8	2478	2498	2538	2461	2495	2484
9	2470	2491	2531	2459	2494	2482
10	2461	2485	2522	2458	2491	2480

Etapa de Secado (días)	Muestra					
	U13C	U14C	U15C	U16C	U17C	U18C
11	2457	2478	2517	2452	2485	2476
12	2455	2477	2515	2449	2481	2472
13	2454	2475	2513	2445	2476	2467
14	2452	2473	2513	2443	2474	2465
15	2451	2470	2511	2441	2473	2464
16	2451	2468	2510	2440	2473	2464
17	-	2468	2511	2440	-	-
Peso inicial (g)	2466	2478	2525	2456	2491	2480
Peso final (g)	2451	2468	2511	2440	2473	2464
%Pérdida	0.61	0.40	0.55	0.65	0.72	0.65

Nota: Las muestras recuperan un peso seco constante en 16 días (celdas en naranja).

4.1.9. Ensayo de absorción capilar

4.1.9.1. Ensayo de laboratorio

El ensayo se realizó para evaluar la cantidad de agua que absorben los bloques al estar sumergida parcialmente en agua durante un tiempo determinado, para la realización de este ensayo se utilizaron seis muestras por grupo, de las cuales tres muestras se ensayaron en su cara A y tres muestras en su cara B.

Figura 81

Ensayo de capacidad de absorción capilar



Tabla 48

Resultados de ensayo de Absorción capilar

Muestra	Dimensiones		Tiempo (min)	Peso absorbido de agua (g)	Coeficiente de absorción (g/cm ² *min ^{0.5})	Condición (Capilaridad)
	Ancho (cm)	Largo (cm)				
N14A	11.3	21.0	17	658	67.25	Alta
N14B	11.6	21.1	18	483	46.51	Alta
N15A	11.2	20.9	20	325	31.05	Media
N15B	11.6	21.2	30	373	27.69	Media
N16A	11.4	20.9	19	598	57.58	Alta
N16B	11.7	21.0	10	413	53.16	Alta
N17B	11.2	21.8	30	686	51.30	Alta
N17A	11.4	20.9	5	248	46.55	Alta
N18B	11.9	21.5	30	635	45.31	Alta
N18A	11.6	21.2	10	392	50.41	Alta
N19B	11.6	21.4	30	380	27.95	Media
N19A	11.6	21.2	10	325	41.79	Alta
P13A	11.6	21.1	30	430	32.08	Media
P13B	11.6	21.2	30	383	28.43	Media
P14A	11.7	21.1	30	375	27.73	Media
P14B	11.7	21.2	30	350	25.76	Media
P15A	11.2	21.0	30	406	31.52	Media
P15B	11.4	21.2	30	320	24.17	Media
P16B	11.7	21.1	30	337	24.92	Media
P16A	11.4	21.2	30	346	26.14	Media
P17B	11.1	21.0	30	371	29.06	Media
P17A	11.2	21.1	30	342	26.42	Media
P18B	11.4	21.1	30	390	29.60	Media
P18A	11.6	21.0	30	344	25.78	Media
S7A	11.6	21.2	30	277	20.56	Media
S7B	11.6	21.4	30	240	17.65	Baja
S8A	11.3	21.2	30	264	20.12	Media
S8B	11.5	21.3	30	273	20.35	Media
S9A	11.5	21.6	30	283	20.80	Media
S9B	11.6	21.6	30	290	21.13	Media



Muestra	Dimensiones		Tiempo (min)	Peso absorbido de agua (g)	Coeficiente de absorción (g/cm ² *min ^{0.5})	Condición (Capilaridad)
	Ancho (cm)	Largo (cm)				
S10B	11.6	21.4	30	253	18.61	Baja
S10A	11.7	21.4	30	297	21.66	Media
S11B	11.6	21.6	30	264	19.24	Baja
S11A	11.5	21.3	30	259	19.30	Baja
S12B	11.6	21.3	30	253	18.69	Baja
S12A	11.6	21.4	30	333	24.49	Baja
T7A	11.6	21.7	30	258	18.71	Baja
T7B	11.7	21.7	30	206	14.81	Baja
T8A	11.6	21.6	30	242	17.63	Baja
T8B	11.7	21.7	30	226	16.25	Baja
T9A	11.6	21.7	30	235	17.04	Baja
T9B	11.7	21.8	30	227	16.25	Baja
T10B	11.7	21.6	30	203	14.67	Baja
T10A	11.8	21.6	30	224	16.05	Baja
T11B	11.6	21.8	30	213	15.38	Baja
T11A	11.7	21.8	30	201	14.39	Baja
T12B	11.7	21.7	30	216	15.53	Baja
T12A	11.7	21.6	30	218	15.75	Baja
U7A	11.6	21.7	30	178	12.91	Baja
U7B	11.7	21.7	30	136	9.78	Baja
U8A	11.7	21.7	30	194	13.95	Baja
U8B	11.9	21.8	30	213	14.99	Baja
U9A	11.7	21.7	30	198	14.24	Baja
U9B	11.8	21.8	30	187	13.27	Baja
U10B	11.7	21.6	30	208	15.03	Baja
U10A	11.7	21.5	30	197	14.30	Baja
U11B	11.7	21.7	30	190	13.66	Baja
U11A	11.7	21.7	30	229	16.47	Baja
U12B	11.9	21.8	30	202	14.22	Baja
U12A	11.9	21.9	30	188	13.17	Baja

Nota: Datos obtenidos en base a ensayo de absorción capilar.

Figura 82

Bloques N: Huella capilar

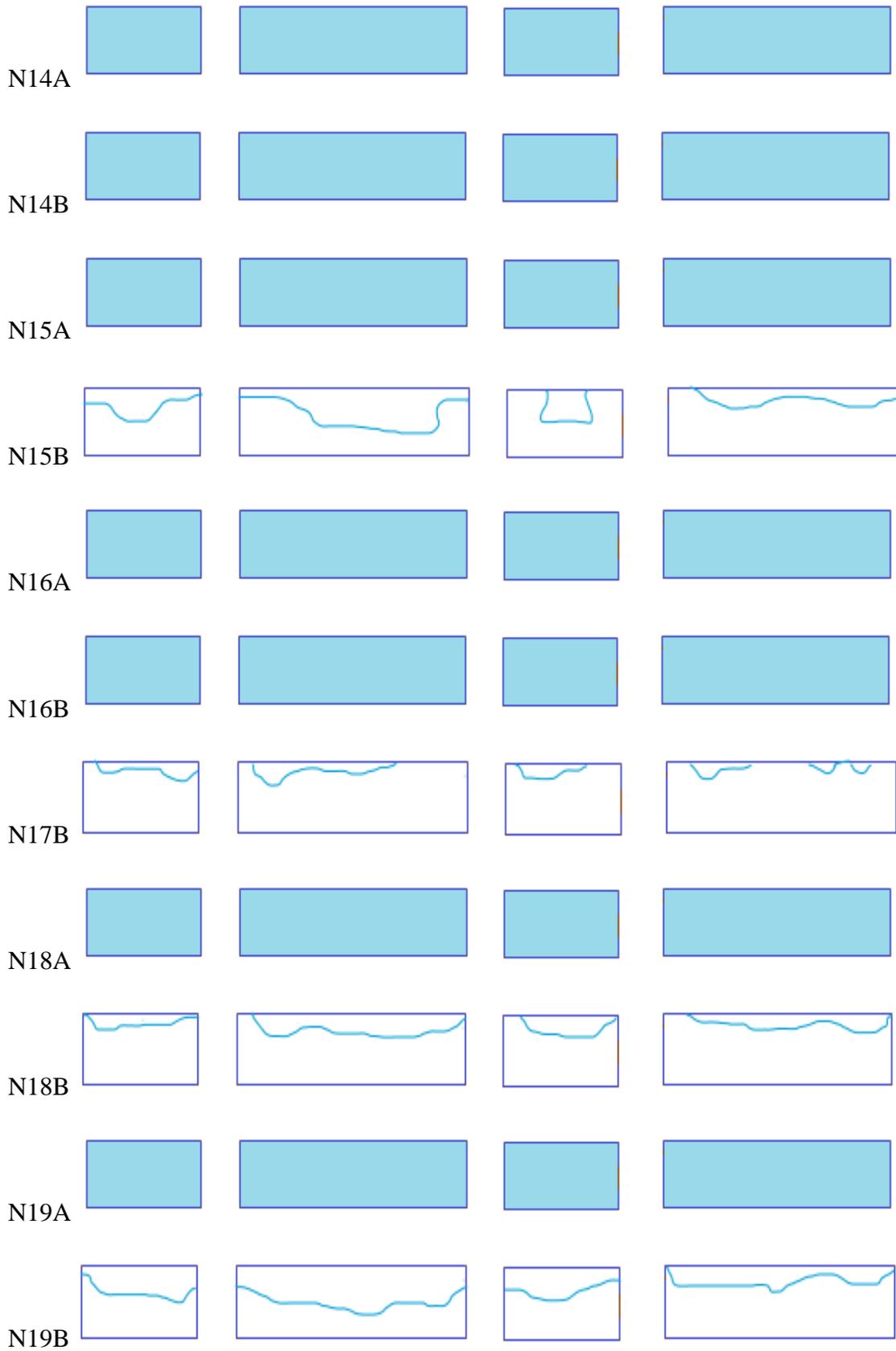


Figura 83

Bloques P: Huella capilar

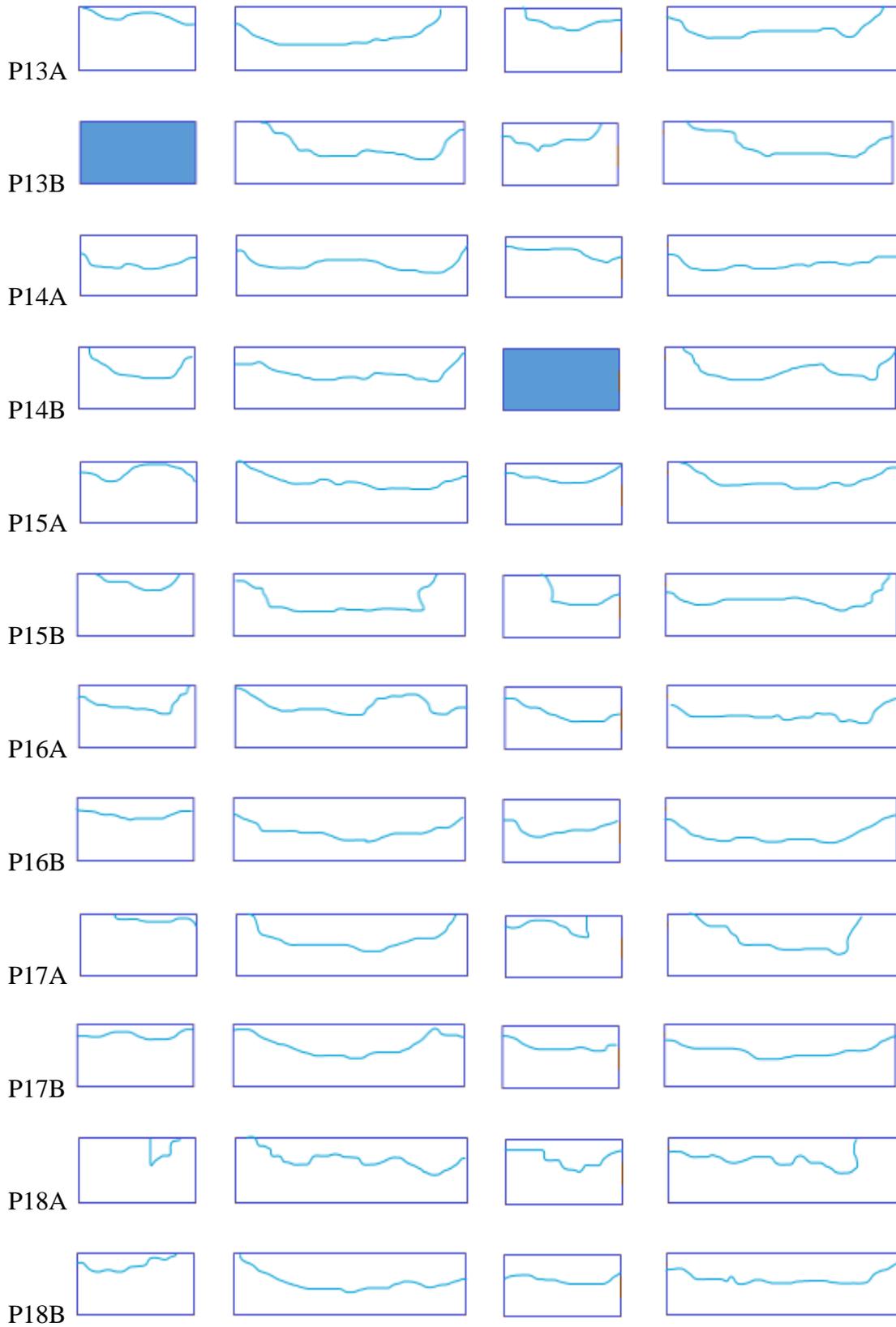


Figura 84

Bloques S: Huella capilar

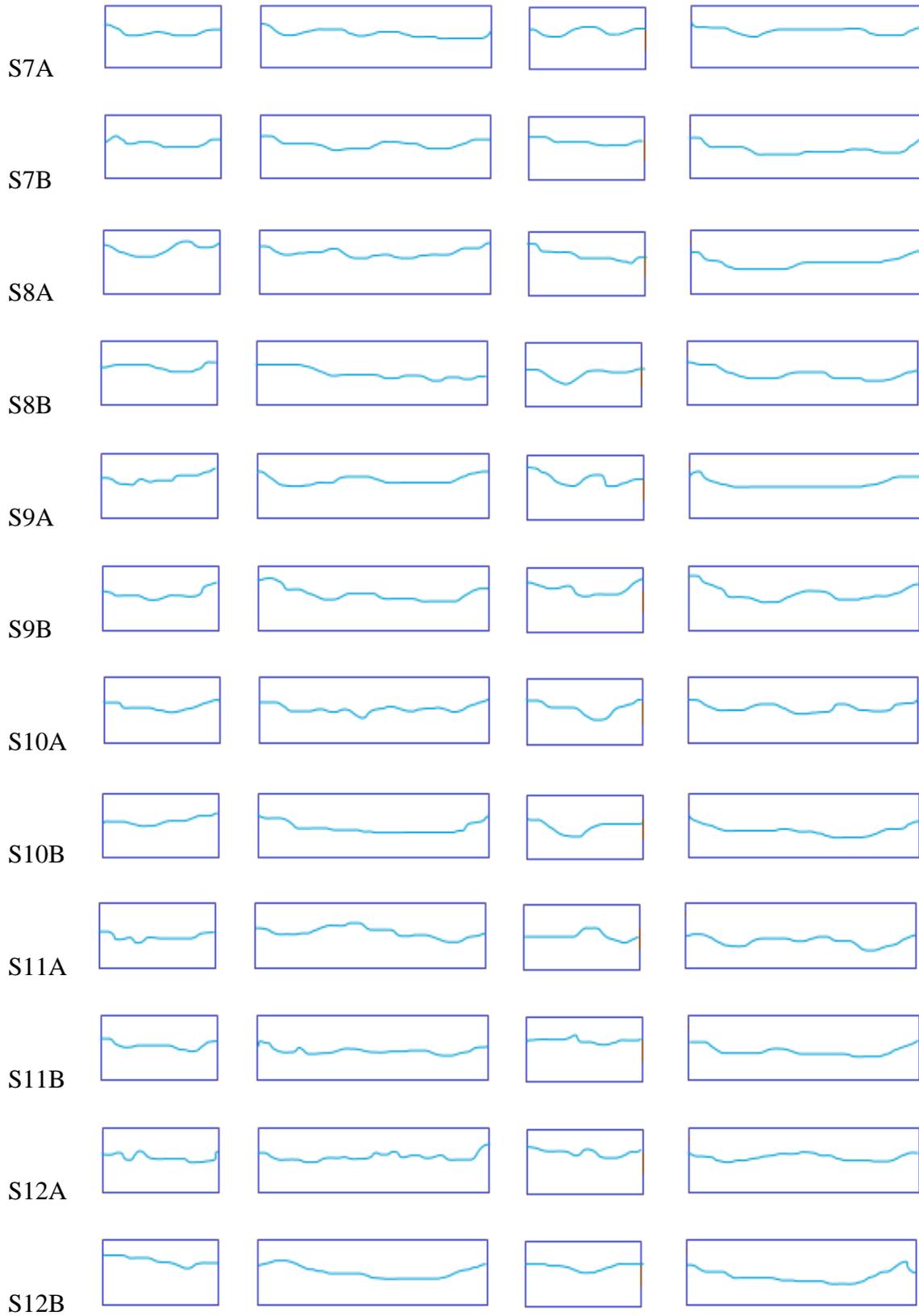


Figura 85

Bloques T: Huella capilar

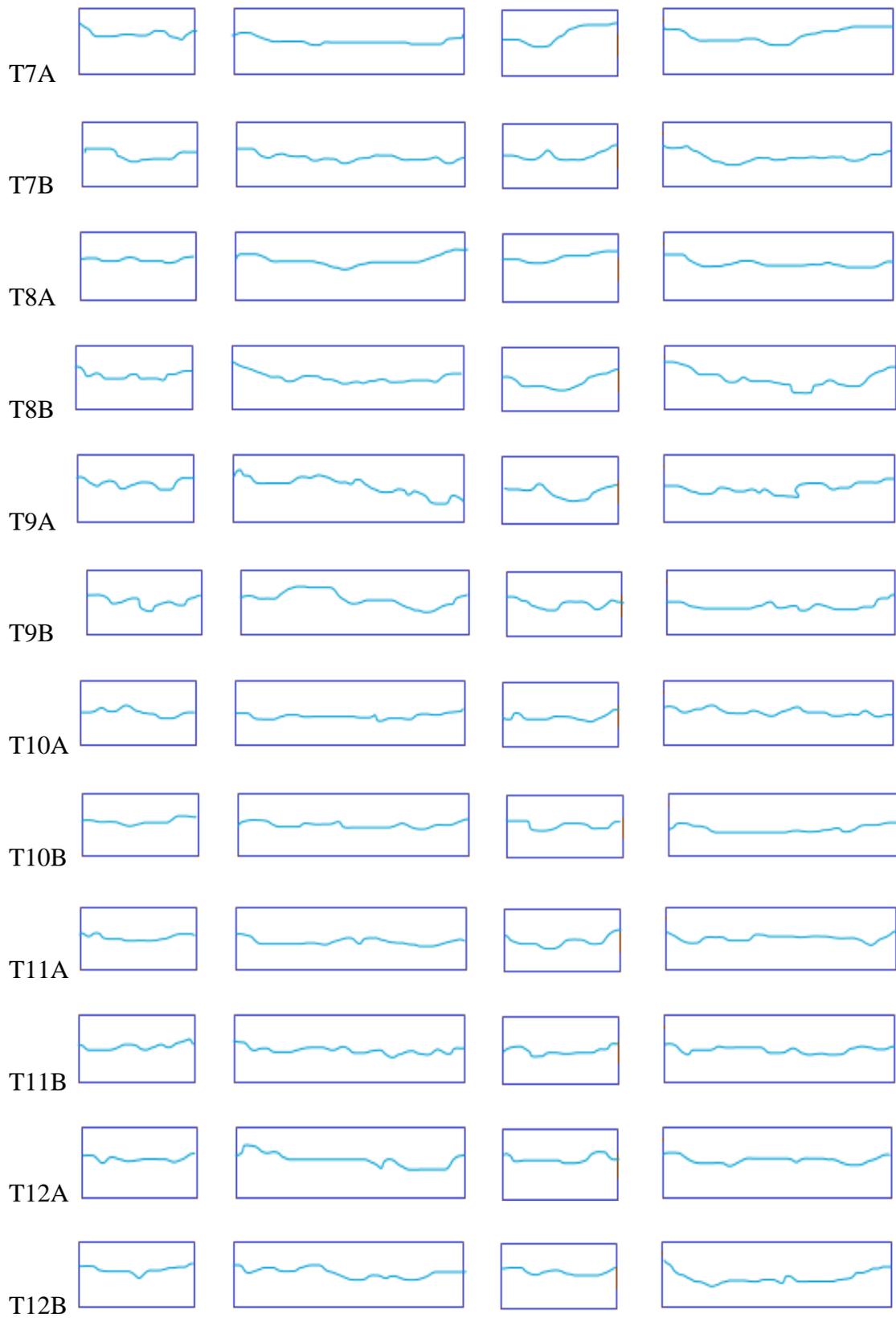
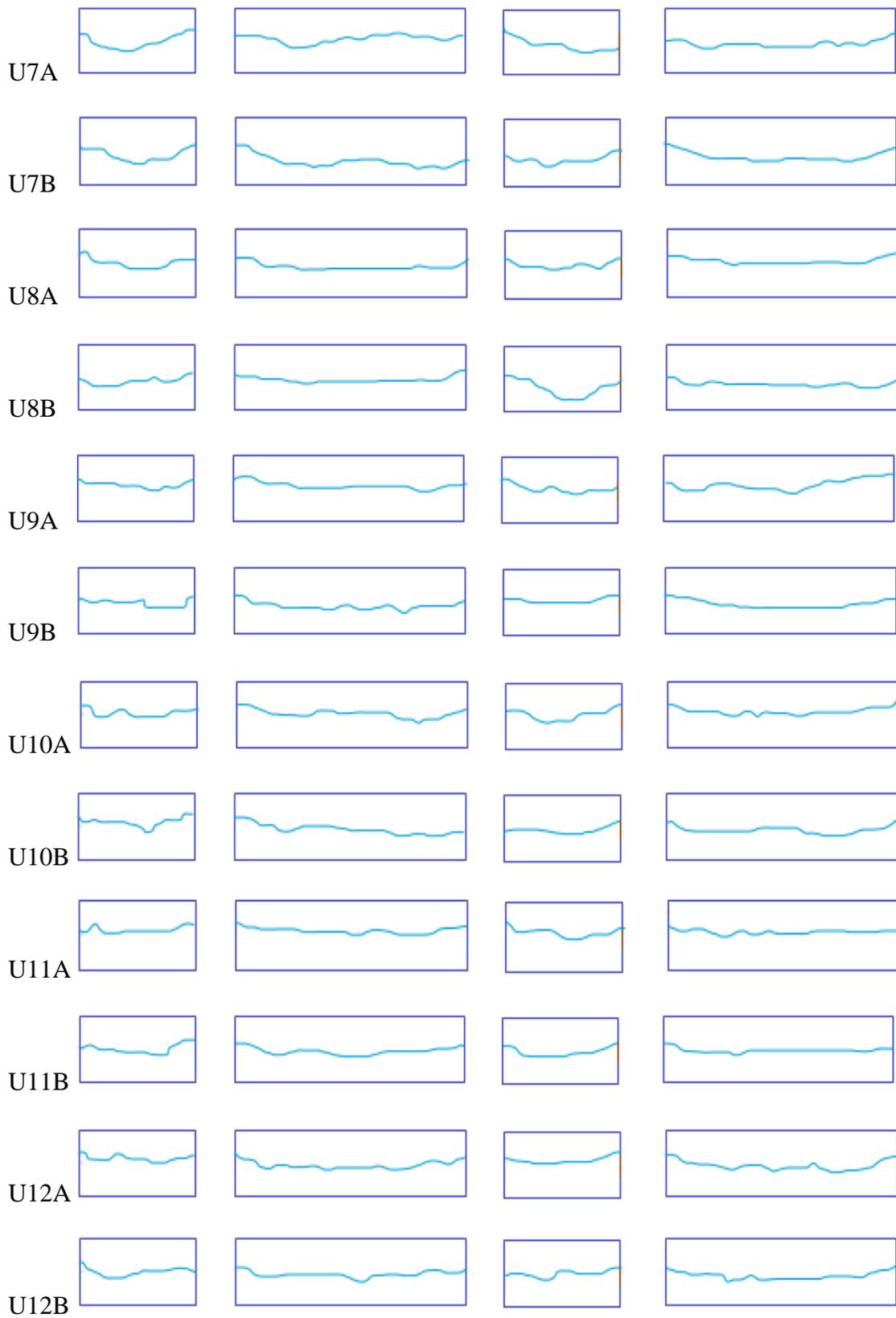


Figura 86

Bloques U: Huella capilar



4.1.10. Ensayo de absorción por inmersión total

4.1.10.1. Ensayo de laboratorio

Los resultados del ensayo se detallan en la *Tabla 49*.

Tabla 49

Resultados de ensayo de absorción por inmersión total

Muestra	Peso Inicial (g)	Peso Saturado (g)	% de agua absorbida	Condición
N26C	2620	Desintegrado	-	Inaceptable
N27C	2520	Desintegrado	-	Inaceptable
N28C	2541	Desintegrado	-	Inaceptable
N29C	2581	Desintegrado	-	Inaceptable
N30C	2674	Desintegrado	-	Inaceptable
N31C	2600	Desintegrado	-	Inaceptable
P25C	2547	Fraccionado	-	Inaceptable
P26C	2570	Fraccionado	-	Inaceptable
P27C	2558	Fraccionado	-	Inaceptable
P28C	2498	Fraccionado	-	Inaceptable
P29C	2572	Fraccionado	-	Inaceptable
P30C	2498	Fraccionado	-	Inaceptable
S25C	2496	2914	16.75	Aceptable
S26C	2466	2820	14.36	Aceptable
S27C	2512	2881	14.69	Aceptable
S28C	2509	2903	15.70	Aceptable
S29C	2524	2938	16.40	Aceptable
S30C	2518	2943	16.88	Aceptable
T25C	2551	2916	21.17	Aceptable
T26C	2477	2788	19.62	Aceptable
T27C	2556	2907	20.58	Aceptable
T28C	2497	2857	21.43	Aceptable
T29C	2501	2845	20.75	Aceptable
T30C	2553	2912	20.92	Aceptable
U25C	2535	2834	22.64	Inaceptable
U26C	2453	2726	22.34	Inaceptable
U27C	2536	2824	22.20	Inaceptable
U28C	2496	2781	22.44	Inaceptable
U29C	2542	2852	23.01	Inaceptable
U30C	2508	2811	23.05	Inaceptable

Nota: Datos obtenidos en base a ensayo de inmersión total.

Figura 87

Absorción por inmersión total de Bloques N



Como se observa en la *Figura 87*, los bloques N quedaron desintegrados en su totalidad, dicha desintegración sucedió en un lapso de 60 minutos. En esa condición no fue posible la toma de peso saturado.

Figura 88

Absorción por inmersión total de Bloques P



Los bloques P, se hincharon y se fraccionaron como muestra la *Figura 88*, en un lapso aproximado de 3 horas. Al tacto los bloques eran susceptibles de desintegración, por lo que fue imposible su pesaje.

Figura 89

Absorción por inmersión total de Bloques S, T y U



Los bloques S, T y U, completaron el ensayo sin sufrir agrietamientos, hinchamientos y/o desintegración, como se aprecia en la *Figura 89*.

4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos fueron objeto de análisis y discusión, incluyendo su comparación con investigaciones similares realizadas por otros autores.

4.2.1. Límites de consistencia

4.2.1.1. Cumplimiento de Objetivo Específico N° 01 – Primera parte

De los ensayos realizados se tiene que los límites de consistencia para el material usado en la fabricación de bloques de tierra son: 31% LL, 20% LP y 10% IP. Además se presenta la *Tabla 50* donde se hace la comparación de los diferentes valores para los límites de consistencia obtenidos en otras investigaciones similares

Como se observa en la *Tabla 50* el suelo utilizado en la fabricación de bloques de tierra de la presente investigación evidencia valores similares a los suelos empleados en otras investigaciones. El suelo de esta investigación se aproxima bastante al suelo ideal para estabilizar con cemento, presentando una variación excedente de 11% en el límite plástico, el valor de 10% en el índice

de plasticidad, lo que nos indica que el suelo presenta cierta deformación antes de romperse; además que presenta una trabajabilidad y manipuleo medio; la adición de cemento puede aumentar su cohesión, lo que facilitaría su conformado y moldeo, también este reduciría la plasticidad, lo que permitiría un mayor control en la fabricación de bloques.

Tabla 50

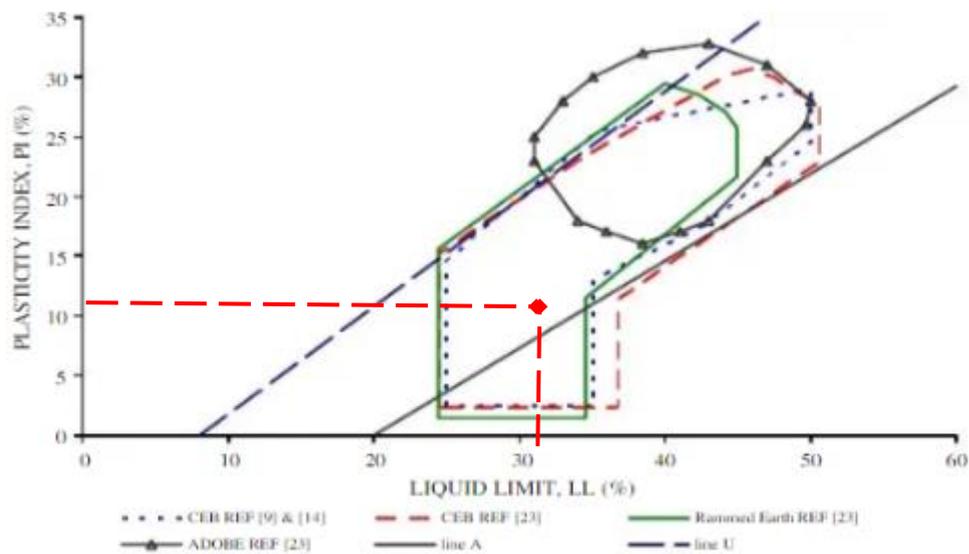
Comparación de LL, LP e IP de investigaciones similares

Técnica	Autor	LL	LP	IP	Promedio
Bloque de suelo-cemento.	Resultados de la investigación	31.00%	20.00%	11.00%	
Parámetros ideales para bloques suelo-cemento	Toirac (2008)	<45.00%	<18.00%	-	
Adobe suelo-cemento.	Gonzales (2022)	27.60%	20.58%	1.32%	
	Delgado y Niño (2019)	30.09%	19.03%	11.06%	
	García H. (2018)	38.73%	26.11%	12.62%	LL (33.03%)
		31.57%	23.78%	7.79%	
	García V. (2020)	39.58%	30.55%	9.23%	LP (22.85%)
		35.00%	27.00%	8.00%	
	Herbas y Nolasco (2021)	27.60%	16.98%	10.02%	
Sánchez (2020)	34.05%	18.78%	15.27%		
BTC suelo-cemento	Holgado y Prado (2015)	46.28%	26.06%	24.22%	
		46.45%	21.79%	27.66%	LL (35.81%)
	33.94%	26.67%	7.28%		
	Medina (2020)	25.27%	15.47%	9.80%	LP (19.33%)
	Nureña y Zavaleta (2017)	31.90%	11.00%	20.90%	
Ríos (2019)	31.00%	15.00%	16.00%		

En base a los valores de LL e IP, se representa en el monograma de la *Figura 90*, las zonas recomendadas para la fabricación de bloques de tierra con diferentes técnicas, como se observa los bloques de tierra de la presente investigación caen fuera de la zona recomendada para Adobes o bloques de tierra cruda, por lo que lo hace candidata a ser estabilizada para su uso en esta técnica.

Figura 90

Áreas recomendadas para selección de técnica constructiva



4.2.2. Clasificación de suelos SUCS - ASTM

4.2.2.1. Cumplimiento de Objetivo Específico N° 01 – Segunda parte

Los diferentes ensayos de mecánica de suelos que se realizaron, sirven para clasificar el tipo de material usado en la elaboración de bloques de tierra, definiendo su composición y características podremos comprobar si este es apto para la fabricación de bloques o si para esta, necesita ser estabilizada.

Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) como se muestra en la *Tabla 51* y en concordancia a los resultados de los ensayos para determinar las propiedades de índice, el material se identifica como Arena arcillosa (SC), corroborado mediante los límites de Atterberg mostrado

en la *Figura 91*, en la cual se resalta el cuadrante según los resultados obtenidos.

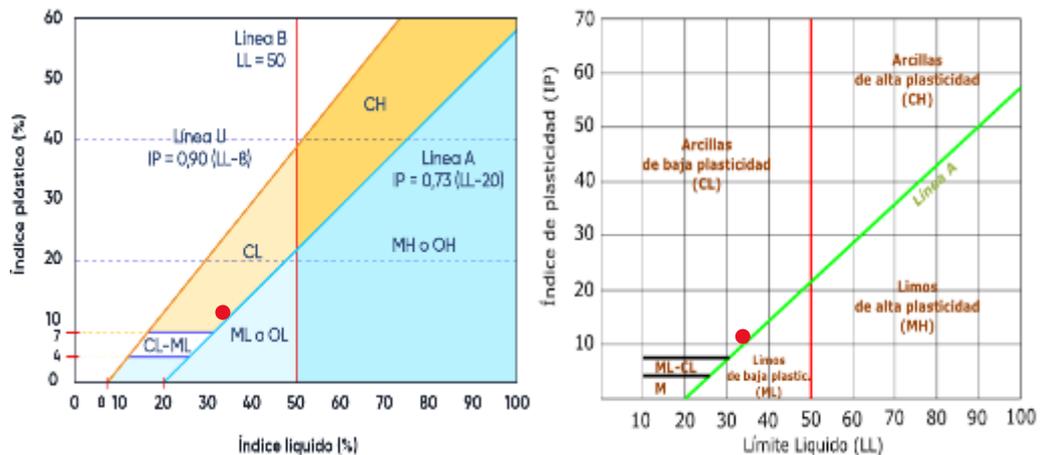
Tabla 51

Clasificación de suelo según SUCS

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

Figura 91

Carta de plasticidad según límites de Atterberg



4.2.2.2. Discusión de la clasificación de suelos obtenida

De lo observado en los ensayos in situ los suelos S-01 y S-02 son inadecuados por naturaleza para la fabricación de bloques de tierra. El suelo S-01 posee una fracción mayor de finos lo que lo hace pegajoso en presencia de agua; mientras que el suelo S-02 posee una fracción mayor de arena, pero al no poseer la cantidad necesaria de arcilla este no puede moldearse sin presentar grietas o rupturas. De lo descrito por Sánchez (2018), el horizonte ideal para la extracción de material debe ser el horizonte E (arena, arcilla y limos). Del análisis hecho podemos establecer que el suelo S-01 se extrajo de la frontera de los horizontes E-B, mientras que el suelo S-02 se extrajo de la frontera de los horizontes A-E. En general una proporción alta de arena proporciona una mejor estabilidad, resistencia y durabilidad a los bloques, sin embargo, una proporción excesivamente alta de arena puede hacer que los bloques sean demasiado sueltos y menos cohesivos. Una proporción excesivamente alta de arcilla puede hacer que los bloques se contraigan demasiado durante el secado, lo que puede provocar fisuras y disminuir su resistencia.

Tabla 52

Contenido de finos en investigaciones de tierra cruda

Técnica	Autor	GRAV A	ARENA	ARCILL A	LIMO
Bloque de suelo-cemento.	Resultados de la investigación	2.67%	52.86%	13.60%	30.80%
Parámetros ideales para bloques suelo-cemento	Toirac (2008)	< 3.00%	< 80.00%	< 50.00%	< 30.00%
Adobe suelo-cemento.	RNE E.080 (2017)	0 - 15%	55 – 70%	10 – 20%	15 – 25%
	Gonzales (2022)	0.00%	45.30%	54.70%	
	Delgado y Niño (2019)	2.91%	47.00%	50.09%	
	García H. (2018)	-	61.10%	38.90%	
		-	72.40%	27.60%	
		-	83.10%	16.90%	
	García V. (2020)	-	65.20%	34.80%	
	Herbas y Nolasco (2021)	3.54%	54.29%	42.17%	
Sánchez (2020)	-	86.69%	13.31%		
BTC suelo-cemento	Holgado y Prado (2015)	-	55.00%	25.00%	20.00%
		-	60.00%	25.00%	15.00%
		-	65.00%	25.00%	10.00%
	Medina (2020)	0.45%	44.60%	54.95%	
	Nureña y Zavaleta (2017)	-	31.00%	69.00%	
	Ríos (2019)	-	64.00%	36.00%	

Por otra parte, como puede apreciarse en la *Tabla 52* que el suelo empleado en esta investigación S-03 (Suelo resultante de la mezcla de los suelos S-01 y S-02), según la norma E.080, no cumple estrictamente con los

parámetros recomendados para la fabricación de bloques de tierra cruda; por lo que se necesita estabilizar para su uso. El suelo se encuentra en el rango de otros suelos empleados en las diferentes investigaciones de suelos estabilizados con cemento para su uso en la fabricación de bloques, es decir: Arena: 31% a 87% y Finos: 13% a 70%.

Además en la *Tabla 50* se puede observar que el suelo empleado se aproxima bastante al suelo ideal para ser estabilizado y luego usado en la fabricación de bloques de suelo-cemento según Toirac (2008).

El suelo presenta una clasificación de SC (arena arcillosa); esto hace que el suelo además de ser ideal y apto para ser estabilizado, será eficiente, pues si bien la fracción de finos supera los 35%, lo cual indica que se necesitaría una mayor cantidad de cemento para lograr resultados óptimos, dicha fracción son de arcillas de baja plasticidad como se puede observar en la *Figura 91*, con lo que la cantidad de cemento que se necesita para mejorar su comportamiento se reduce.

4.2.3. Resistencia a la erosión por pulverizado

4.2.3.1. Cumplimiento de Objetivo específico N° 02

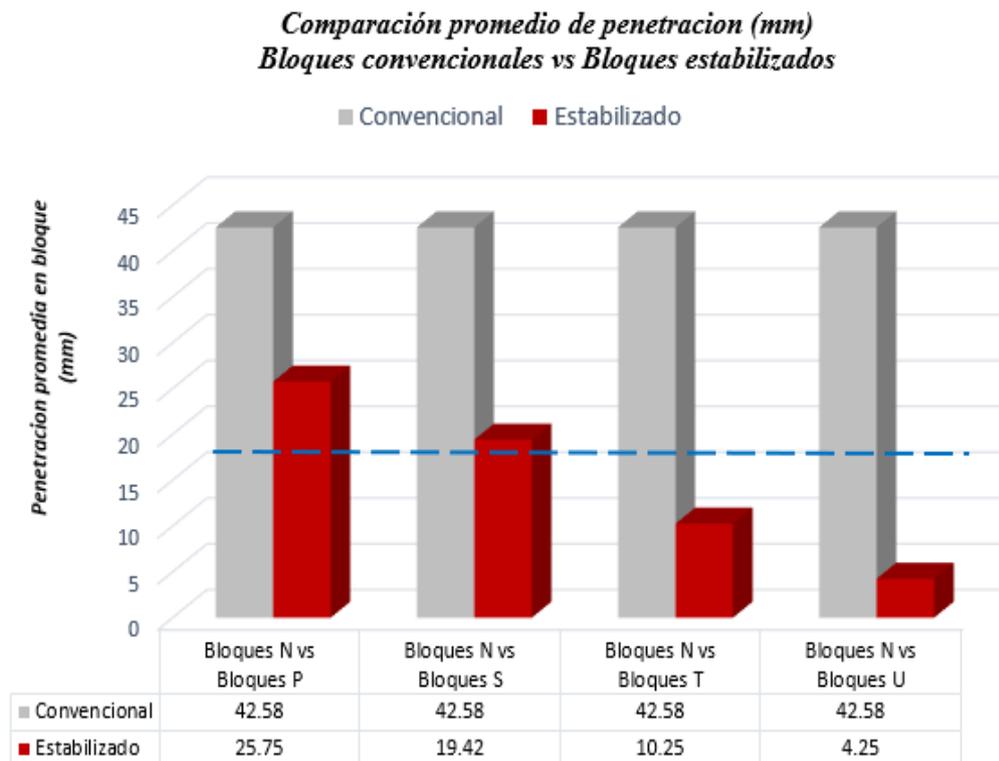
Como se observa en la *Figura 89* los bloques N sufrieron en promedio una erosión por pulverizado de 42.68 mm, los bloques P sufren 39.52% menos la erosión respecto a los bloques N. Los bloques S por su parte sufren un 54.39% menos respecto a los bloques N, mientras los bloques T sufren una erosión por pulverizado 75.93% menos respecto a los bloques N. Finalmente los bloques U sufren un 90.02% menos la erosión que los bloques N.

La línea celeste de la *Figura 92* representa el primer criterio de evaluación para definir si un bloque es Apto o No apto. Como se puede

observar los bloques N sobrepasan este límite, mientras que a pesar de la mejora de la resistencia a la erosión de los bloques P y S, estos también sobrepasan el límite para la aceptación de los bloques. Los bloques T y U por su lado no superan este límite considerándose aptos.

Figura 92

Comparación de penetración por pulverizado en bloques



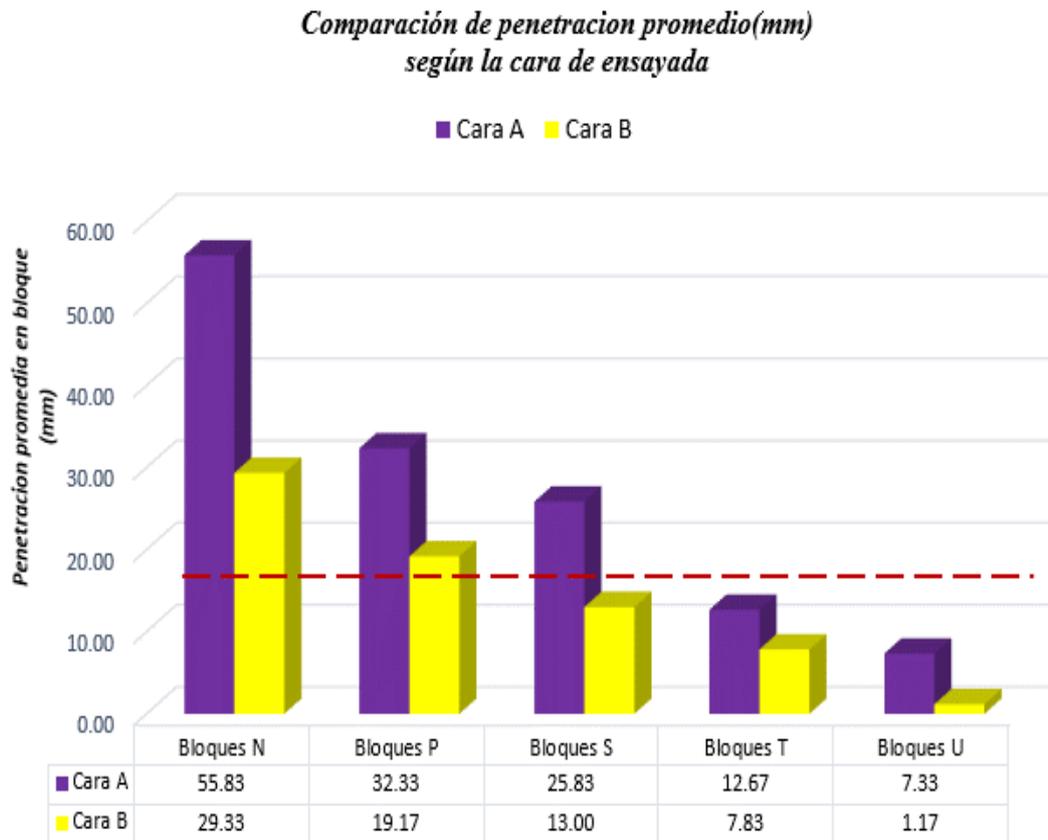
Durante la realización del ensayo de erosión por pulverizado, se observó que la cara A presento una resistencia inferior a la presentada por la cara B indistintamente del tipo de bloque ensayado, como puede verse en la *Figura 93*.

En la *Figura 93* la línea roja representa el primer criterio (límite de penetración admisible) para considerar si un bloque es Apto o No apto. Como se observa en los bloques N, la cara A presenta una menor resistencia a la erosión por pulverizado que si el bloque es ensayado por la cara B; incluso la cara B presenta en promedio una mejor resistencia que la cara A de los bloques P. Aunque a pesar de este desempeño siguen superando el límite de penetración permitido.

En el caso de los bloques S, dependiendo de la cara ensayada, el bloque es apto o no; como se observa la resistencia a la erosión de la cara B es casi el doble de la cara A, haciendo a estos bloques ideales para su uso en el interior de las edificaciones.

Figura 93

Comparación de penetración según la cara ensayada



Por otro lado, en los bloques T y U se presenta el mismo comportamiento, la cara B resiste mejor la erosión que la cara A, haciendo de estos bloques aceptables para su uso en el exterior.

En resumen, de las seis muestras ensayadas por cada tipo de bloque tenemos que el 100% de los bloques N y P no son aptos para resistir la erosión por pulverizado, mientras que los bloques S dependiendo de la cara ensayada pueden ser aptos y finalmente los bloques T y U son adecuados para resistir la erosión por pulverizado como se muestra en la *Figura 94*.

Figura 94

Aceptación de muestras ensayadas

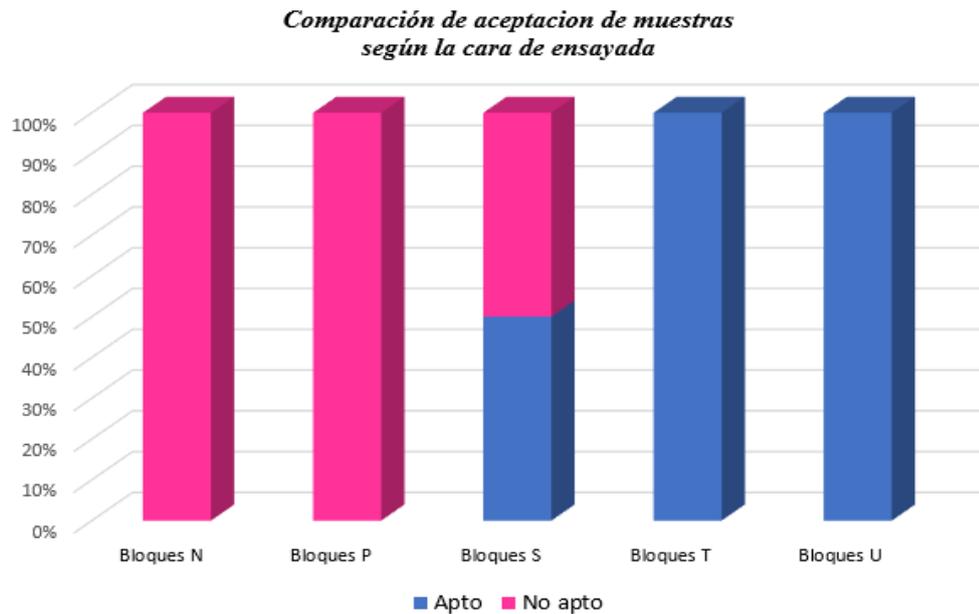
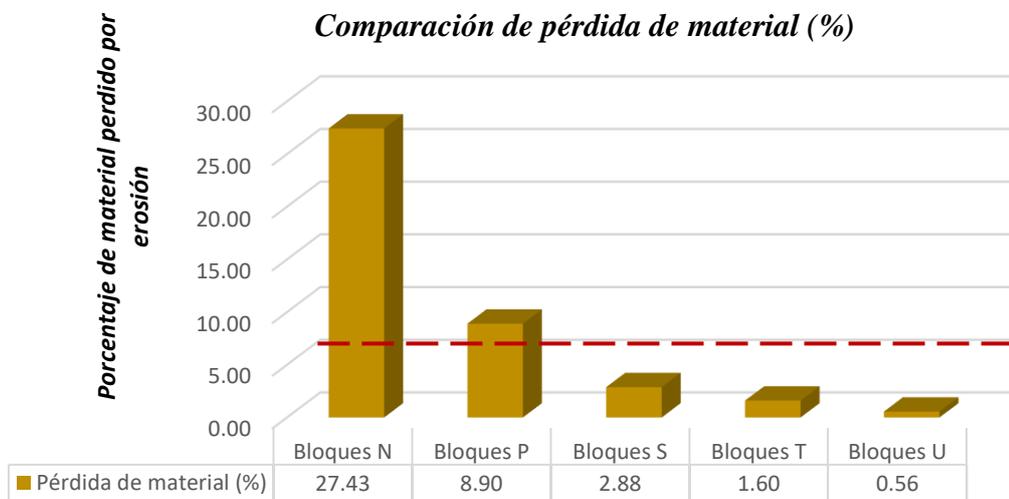


Figura 95

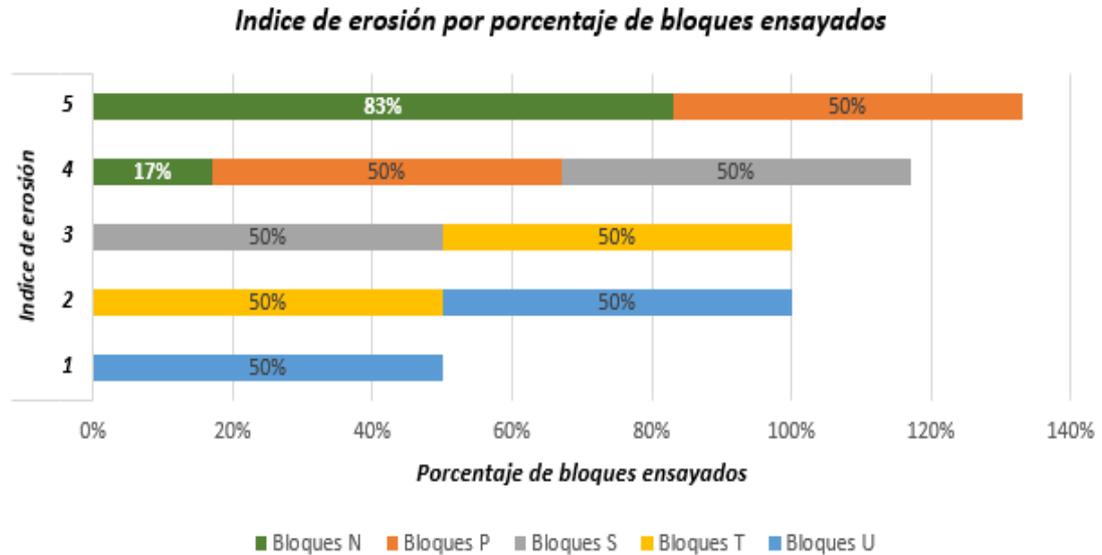
Pérdida de material por erosión por pulverizado



El segundo criterio para definir si un bloque es Apto o no Apto es que la pérdida de material por erosión resultado del ensayo no debe superar el 5% del peso inicial seco de la muestra antes de ser ensayada. En la *Figura 95* se presenta la pérdida de material por tipo de bloque. Como se puede observar los Bloques N y P superan el límite para el porcentaje de material perdido, mientras que los bloques S, T y U no superan el límite de pérdida de material.

Figura 96

Porcentaje de bloques según índice de erosión



Como se observa en la *Figura 96* el 83% de los bloques N tienen un índice de erosión 5 (daño severo) y el 17% un índice de 4 (daño alto), en los demás bloques dependiendo de la cara ensayada se tendrá un índice de erosión diferente. Mientras que los bloques N y P se sitúan en índices de erosión que los considera No aptos, los bloques S serán aptos respecto a la cara B y no aptos respecto a la cara A; además, los bloques T y U son aptos sin importar la cara.

4.2.3.2. Prueba de hipótesis específica N° 01

Prueba De Hipótesis: Chi-cuadrado.

Datos: Grupos de bloques por condición.

		Condición de resistencia		
		Aptos	No aptos	Total
<i>Contenido de cemento</i>	Bajo (0% - 5%)	0	12	12
	Medio (10%)	3	3	6
	Alto (15% - 20%)	12	0	12
Total		15	15	30

Asociar: Demostrar la existencia de una asociación estadística entre las variables.



Planteamiento de hipótesis estadística:

H₀: La condición de resistencia a la erosión por pulverizado no es diferente entre bloques con distintos contenidos de cemento.

H₁: La condición de resistencia a la erosión por pulverizado es diferente entre bloques con distintos contenidos de cemento.

Criterios de supervisión

- **Nivel de significancia (alfa) α :** 5.0% = 0.05
- **Prueba:** Chi-cuadrado

Derivación de las pruebas estadísticas

Estadístico de Chi-cuadrado: 24.0

Grados de libertad: 2

Valor p: 6.144212353328207 e-06

Medición de cifra: Con un valor p INFERIOR al 5%, existe suficiente evidencia para afirmar que existe diferencia entre la condición de resistencia a la erosión por pulverizado entre grupos de bloques de tierra con distinta cantidad de cemento adicionado. Se acepta H₁.

Dictamen:

Del resultado de la prueba estadística respecto a la condición de resistencia se acepta de manera general la hipótesis específica *La cantidad de cemento adicionado como estabilizante influye significativamente en la condición de resistencia a la erosión por pulverizado de los bloques de tierra fabricados con suelos del centro poblado de Salcedo*, es decir que existe certeza estadística para afirmar la existencia de una relación significativa entre la condición de resistencia a la erosión por pulverizado de los bloques con la cantidad de cemento adicionado en estos.

Datos: Grupos de bloques por penetración sufrida.

Variable	Bloques				
	N	P	S	T	U
Penetración (mm)	60.0	34.0	25.5	13.5	8.0
	60.0	31.0	26.0	13.0	7.5
	47.5	32.0	26.0	11.5	6.5
	25.0	17.0	14.5	7.0	1.0
	30.0	19.5	12.5	8.5	1.0
	33.0	21.0	12.0	8.0	1.5

Prueba de Normalidad: Shapiro-Wilk

Grupo N - *Valor p:* 0.2318994402885437 (La distribución es normal)

Grupo P - *Valor p:* 0.19029322266578674 (La distribución es normal)

Grupo S - *Valor p:* 0.02250145748257637 (La distribución no es normal)

Grupo T - *Valor p:* 0.32383257150650024 (La distribución es normal)

Grupo U - *Valor p:* 0.042329706251621246 (La distribución no es normal)

Prueba de homogeneidad de varianzas:

Valor p: 3.3899927942103747 e-06 (Varianzas no homogéneas)

Prueba de Hipótesis: ANOVA de Welch-Kruskal para determinar si existen diferencias significativas entre grupos

Evaluar: El nivel de significancia.

Planteamiento de hipótesis estadística:

H₀: La penetración experimentada por los bloques convencionales no es diferente a la penetración experimentada por los bloques estabilizados.

H₁: La penetración experimentada por los bloques convencionales es diferente a la penetración experimentada por los bloques estabilizados.

Criterios de supervisión

- **Nivel de significancia (alfa) α :** 5.0% = 0.05

- **Prueba:** ANOVA de Welch-Kruskal
Prueba Dunn (Post Hoc)

Derivación de las pruebas estadísticas

ANOVA de Welch-Kruskal: *p-valor:* 8.524964514903516 e-05

Prueba Dunn	Bloques					
	N	P	S	T	U	
<i>p-valor</i>	N	-	0.358323	0.076475	0.001547	0.000016
	P		-	0.393685	0.024627	0.000685
	S			-	0.163242	0.011008
	T				-	0.250883
	U					-

Valor de p:
 $p\text{-valor} > 0.05 = 5\%$ (N-P, N-S, P-S, S-T, T-U) → Optamos por H_0
 $p\text{-valor} < 0.05 = 5\%$ (N-T, N-U, P-T, P-U, S-U) → Optamos por H_1

Medición de cifra: Con una probabilidad de error SUPERIOR al 5%, la penetración experimentada por los bloques convencionales no es diferente a la penetración experimentada por los bloques P y S. Además, como parte del proceso para encontrar el porcentaje de cemento óptimo se realizó la comparación entre grupos de bloques estabilizados no encontrándose diferencia en el valor promedio de penetración entre los grupos: P y S, S y T, T y U. (Se acepta H_0).

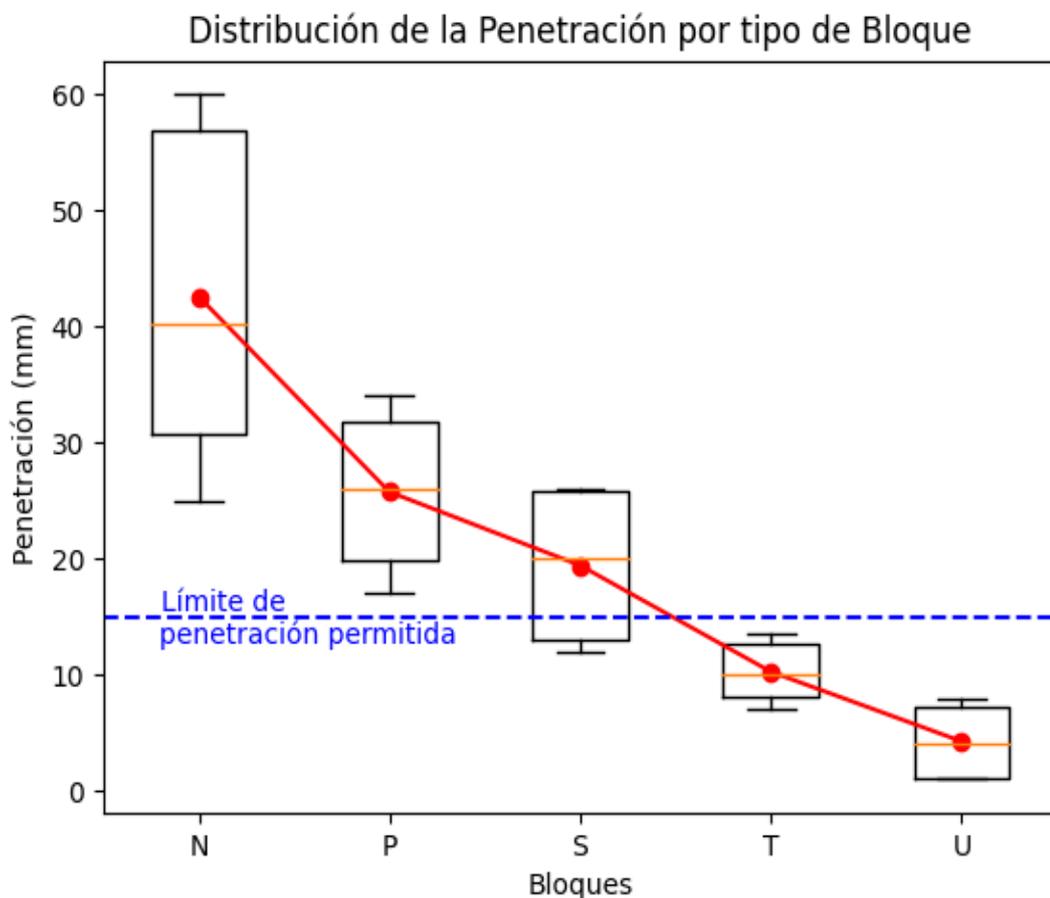
Medición de cifra: Con una probabilidad de error INFERIOR al 5%, la penetración experimentada por los bloques convencionales es diferente a la penetración experimentada por los bloques T y U. Además, como parte del proceso para encontrar el porcentaje de cemento óptimo se realizó la comparación entre grupos de bloques estabilizados encontrándose diferencia en el valor promedio de penetración entre los grupos: P y T, P y U, S y U. (Se acepta H_1)

Dictamen:

Del resultado de la prueba estadística respecto a la penetración experimentada por los bloques se acepta de manera parcial la hipótesis específica. Esto es, la penetración experimentada en bloques convencionales (Bloques N) no es diferente (son semejantes) a la penetración experimentada por los bloques estabilizados con 5% y 10% de cemento (bloques P y S respectivamente). Pero la penetración experimentada por bloques convencionales (bloques N) es diferente a la penetración experimentada por los bloques estabilizados con 15% y 20% de cemento (bloques T y U respectivamente). En resumen para ver una influencia significativa en la condición de resistencia a la erosión por pulverizado se debe añadir una cantidad mayor al 10% de cemento. Ver *Figura 97*.

Figura 97

Penetración por pulverizado por tipo de bloque



4.2.4. Resistencia a la erosión por caída de agua

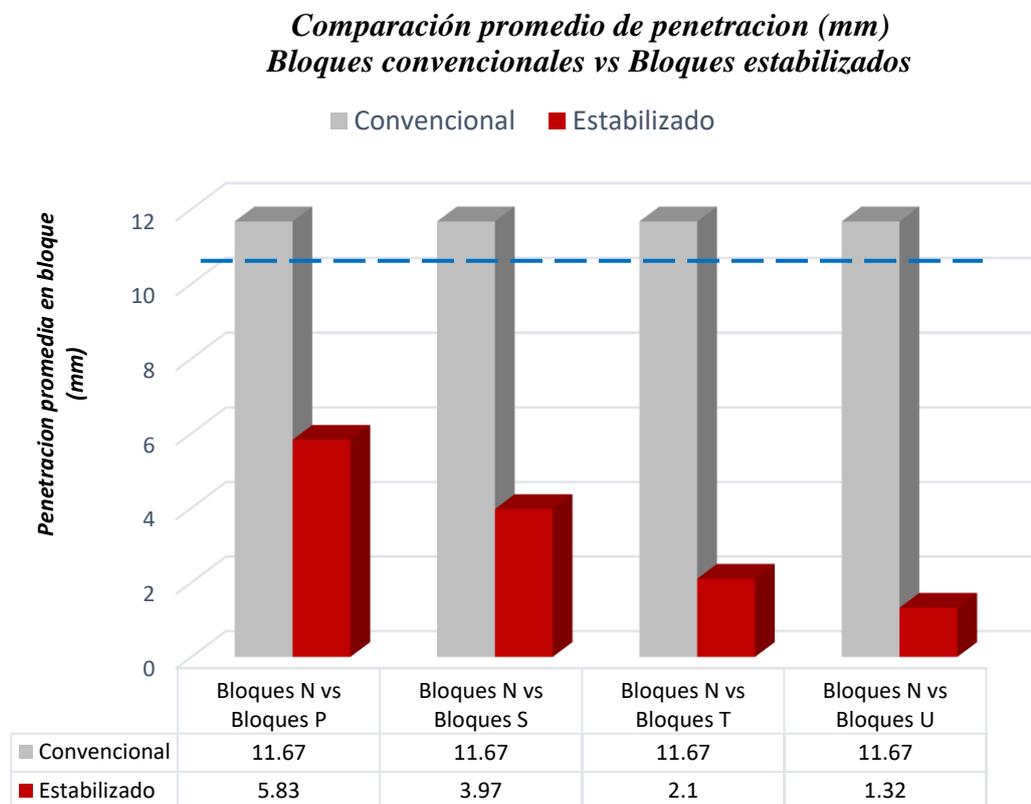
4.2.4.1. Cumplimiento de Objetivo específico N° 03

Como se puede observar en la *Figura 98* los bloques N sufrieron en promedio una erosión por caída de agua de 11.67 mm, los bloques P sufren un 50.04% menos la erosión respecto a los bloques N. Los bloques S por su parte sufren 65.98% menos respecto a los bloques N, mientras los bloques T sufren un 82.00% menos respecto a los bloques N. Finalmente los bloques U sufren un 88.69% menos la erosión que los bloques N.

La línea celeste de la *Figura 98* representa el primer criterio de evaluación para definir si un bloque es Apto o No apto. Como se puede observar los bloques N sobrepasan este límite, mientras que los demás tipos de bloques P, S, T y U por su lado no superan este límite considerándose aptos.

Figura 98

Comparación de penetración por caída de agua

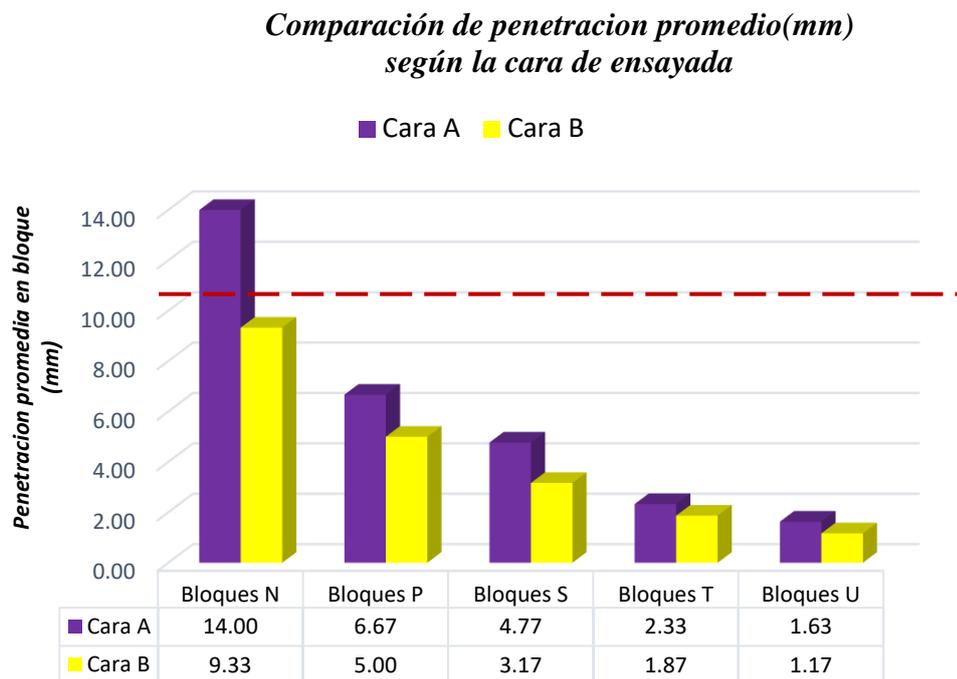


Durante la realización del ensayo de erosión por caída o impacto, la cara A experimenta oquedades mayores que las presentadas por la cara B indistintamente del tipo de bloque ensayado, como puede verse en la *Figura 99*.

Además en la *Figura 99* la línea roja representa el primer criterio (límite de penetración admisible) para considerar si un bloque es Apto o No apto. Como se observa en los bloques N, el ensayo sobre la cara A produce oquedades que superan ese límite, mientras que si el bloque es ensayado por la cara B la profundidad es ligeramente menor que el límite. En lo que respecta a la resistencia a la erosión por caída de agua, los bloques P, S, T y U no superan el límite permitido indistintamente de la cara del bloque ensayado.

Figura 99

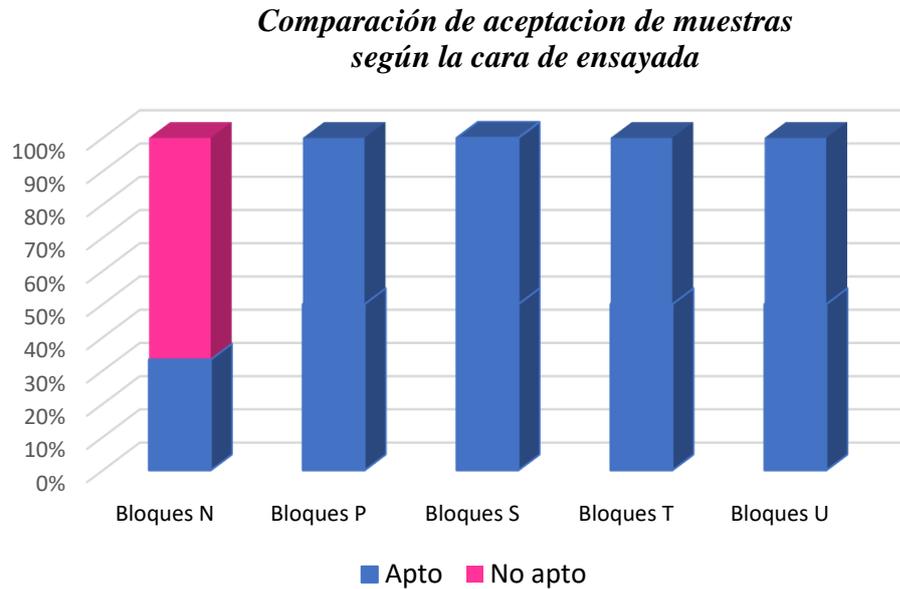
Comparación de penetración por caída de agua según la cara ensayada



En resumen, de las seis muestras ensayadas por cada tipo de bloque tenemos que el 50% de los bloques N no son aptos para resistir la erosión por caída de agua, mientras que los bloques P, S, T y U son adecuados para resistir la erosión por caída de agua, véase *Figura 100*.

Figura 100

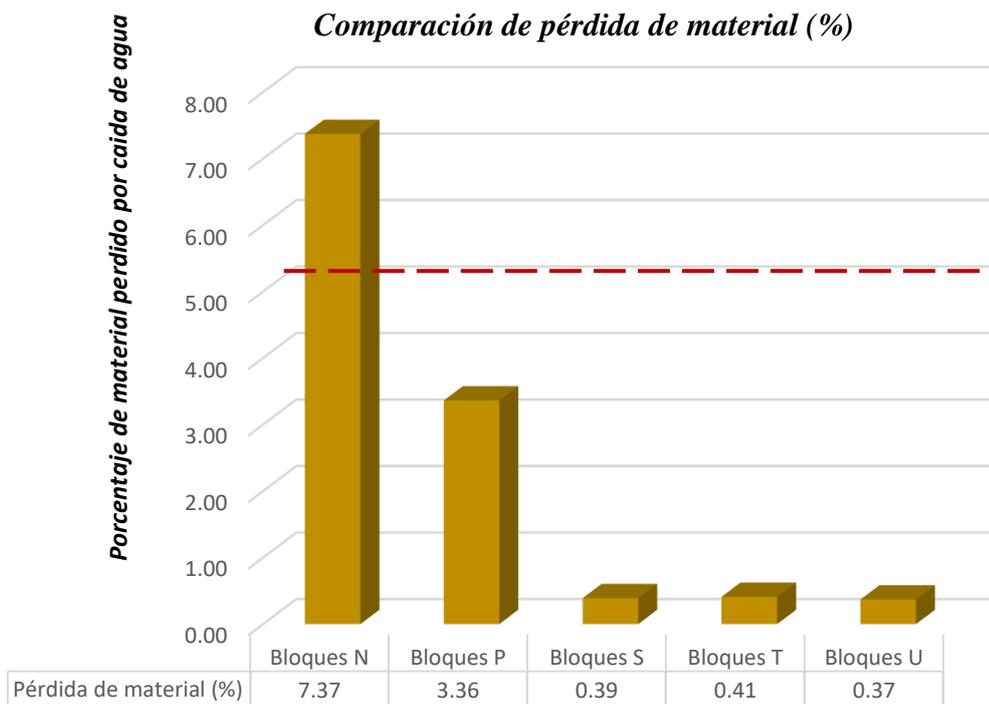
Aceptación de muestra según cara ensayada



El segundo criterio para definir si un bloque es Apto o no Apto es que la pérdida de material por erosión resultado del ensayo no debe superar el 5% del peso inicial seco de la muestra antes de ser ensayada.

Figura 101

Comparación de porcentaje de pérdida de material por caída de agua



En la *Figura 101* se presenta la comparación de pérdida de material por tipo de bloque. Como se puede observar los Bloques N superan el límite para el porcentaje de material perdido, mientras que los bloques P, S, T y U no superan el límite de pérdida de material. Como se aprecia en la *Figura 101* los bloques N superan el límite de pérdida de material de 5% (línea roja), mientras que los bloques P reducen esta pérdida en 54.41%. En lo que respecta a los bloques S, T y U la reducción de pérdida de material fue en promedio de 94.71%

4.2.4.2. Prueba de Hipótesis específica N° 02

Prueba De Hipótesis: Chi-cuadrado.

Datos: Grupos de bloques por condición.

		Condición de resistencia		
		Aptos	No aptos	Total
Contenido de cemento	Bajo (0% - 5%)	6	6	12
	Medio (10%)	6	0	6
	Alto (15% - 20%)	12	0	12
Total		24	6	30

Asociar: Demostrar la existencia de una asociación estadística entre las variables.

Planteamiento de hipótesis estadística:

H₀: La condición de resistencia a la erosión por caída de agua no es diferente entre bloques con distintos contenidos de cemento.

H₁: La condición de resistencia a la erosión por caída de agua es diferente entre bloques con distintos contenidos de cemento.

Criterios de supervisión

- **Nivel de significancia (alfa) α :** 5.0% = 0.05
- **Prueba:** Chi-cuadrado



Derivación de las pruebas estadísticas

Estadístico de Chi-cuadrado: 11.25

Grados de libertad: 2

Valor p: 0.0036065631360157305

Medición de cifra: Con un valor p INFERIOR al 5%, existe suficiente evidencia para afirmar que existe diferencia entre la condición de resistencia a la erosión por caída de agua entre grupos de bloques de tierra con distinta cantidad de cemento adicionado.
Se acepta H_1 .

Dictamen:

Del resultado de la prueba estadística respecto a la condición de resistencia se acepta de manera general la hipótesis específica *La cantidad de cemento adicionado como estabilizante influye significativamente en la condición de resistencia a la erosión por caída de agua de los bloques de tierra fabricados con suelos del centro poblado de Salcedo*, es decir que existe certeza estadística para afirmar la existencia de una relación significativa entre la condición de resistencia a la erosión por caída de agua de los bloques con la cantidad de cemento adicionado en estos.

Datos: Grupos de bloques

Variable	Bloques				
	N	P	S	T	U
Penetración (mm)	13.0	7.0	4.5	2.5	1.7
	14.0	7.0	4.8	2	1.6
	15.5	6.0	5	2.5	1.6
	10.0	5.0	2.9	1.7	1.2
	9.0	5.0	3.6	1.8	1.1
	9.0	5.0	3	2.1	0.7



Prueba de Normalidad: Shapiro-Wilk

Grupo N - *Valor p*: 0.2043834626674652 (La distribución es normal)

Grupo P - *Valor p*: 0.034730471670627594 (La distribución no es normal)

Grupo S - *Valor p*: 0.2702420651912689 (La distribución es normal)

Grupo T - *Valor p*: 0.3344831168651581 (La distribución es normal)

Grupo U - *Valor p*: 0.3481646776199341 (La distribución es normal)

Prueba de homogeneidad de varianzas:

Valor p: 1.002302509555307 e-07 (Varianzas no homogéneas)

Prueba de Hipótesis: ANOVA de Welch-Kruskal para determinar si existen diferencias significativas entre grupos

Evaluar: El nivel de significancia estadística.

Planteamiento de hipótesis estadística:

H₀: La penetración experimentada por los bloques convencionales no es diferente a la penetración experimentada por los bloques estabilizados.

H₁: La penetración experimentada por los bloques convencionales es diferente a la penetración experimentada por los bloques estabilizados.

Criterios de supervisión:

- **Nivel de significancia (alfa) α :** 5.0% = 0.05
- **Pruebas:**
 - ANOVA de Welch-Kruskal
 - Prueba Dunn (Post Hoc)

Derivación de las pruebas estadísticas:

ANOVA de Welch-Kruskal: p-valor: 1.4586984333887463 e-05



Prueba Dunn	Bloques					
	N	P	S	T	U	
<i>p-valor</i>	N	-	0.218050	0.020577	0.000366	0.000002
	P		-	0.278399	0.019697	0.000498
	S			-	0.211975	0.016495
	T				-	0.250302
	U					-

$p\text{-valor} > 0.05 = 5\%$ (N-P, P-S, S-T, T-U) \rightarrow Optamos por H_0

Valor de p: $p\text{-valor} < 0.05 = 5\%$ (N-S, N-T, N-U, P-T, P-U, S-U) \rightarrow Optamos por H_1

Medición de cifra: Con una probabilidad de error SUPERIOR al 5%, el valor promedio de penetración de los bloques convencionales no es diferente al valor promedio de penetración de los bloques P. Además, como parte del proceso para encontrar el porcentaje de cemento óptimo se realizó la comparación entre grupos de bloques estabilizados no encontrándose diferencia en el valor promedio de penetración entre los grupos: N-P, P-S, S-T, T-U. (Se acepta H_0).

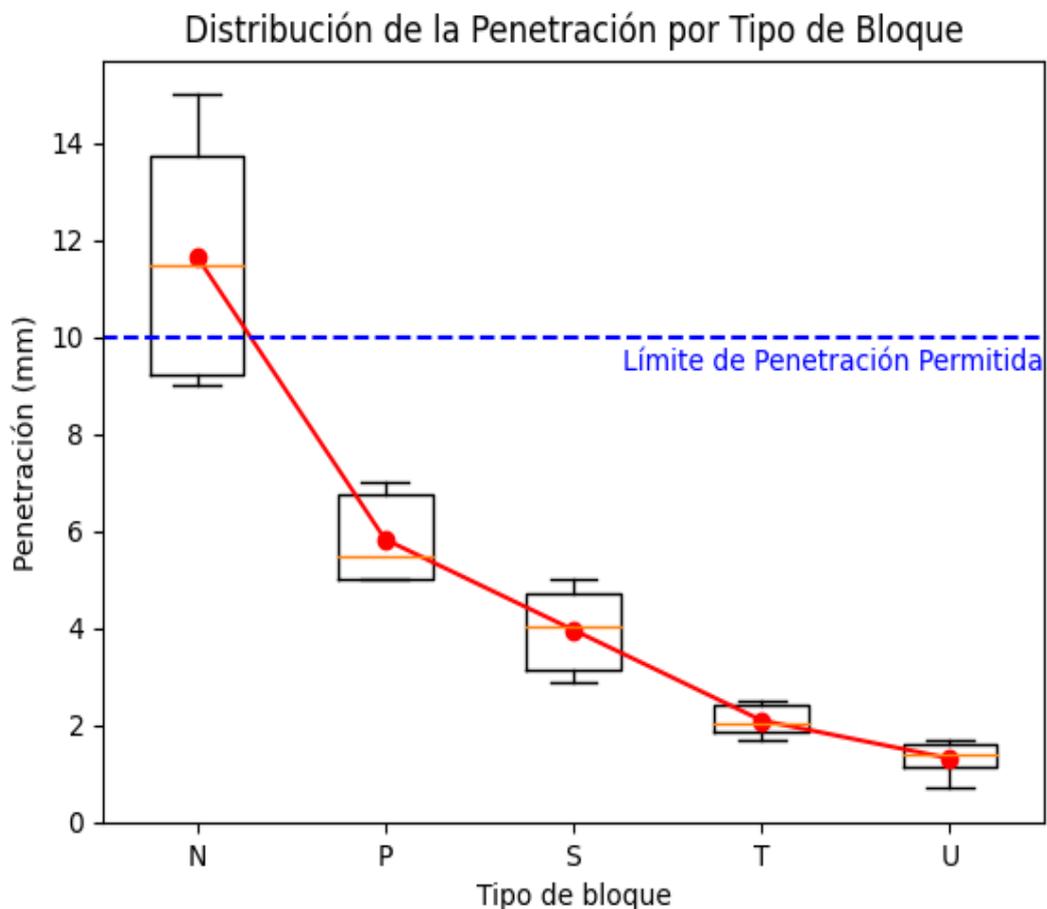
Medición de cifra: Con una probabilidad de error INFERIOR al 5%, la penetración sufrida por los bloques convencionales es diferente a la penetración experimentada por los bloques S, T y U. Además, como parte del proceso para encontrar el porcentaje de cemento óptimo se realizó la comparación entre grupos de bloques estabilizados encontrándose diferencia en el valor promedio de penetración entre los grupos: P-T, P-U, S-U. (Se acepta H_1)

Dictamen:

Del resultado de la prueba estadística respecto a la penetración experimentada por los bloques se acepta de manera parcial la hipótesis específica. Esto es, el valor promedio de la penetración experimentada por los bloques convencionales (Bloques N) no es diferente (son semejantes) a la penetración experimentada por los bloques estabilizados con 5% de cemento (bloques P). La penetración experimentada por los bloques convencionales (bloques N) es diferente a la penetración experimentada por los bloques estabilizados con 10%, 15% y 20% de cemento (bloques S, T y U respectivamente). En resumen para ver una influencia significativa en la condición de resistencia a la erosión por pulverizado se debe añadir una cantidad mayor al 5% de cemento. Ver *Figura 102*.

Figura 102

Penetración por caída de agua según tipo de bloque



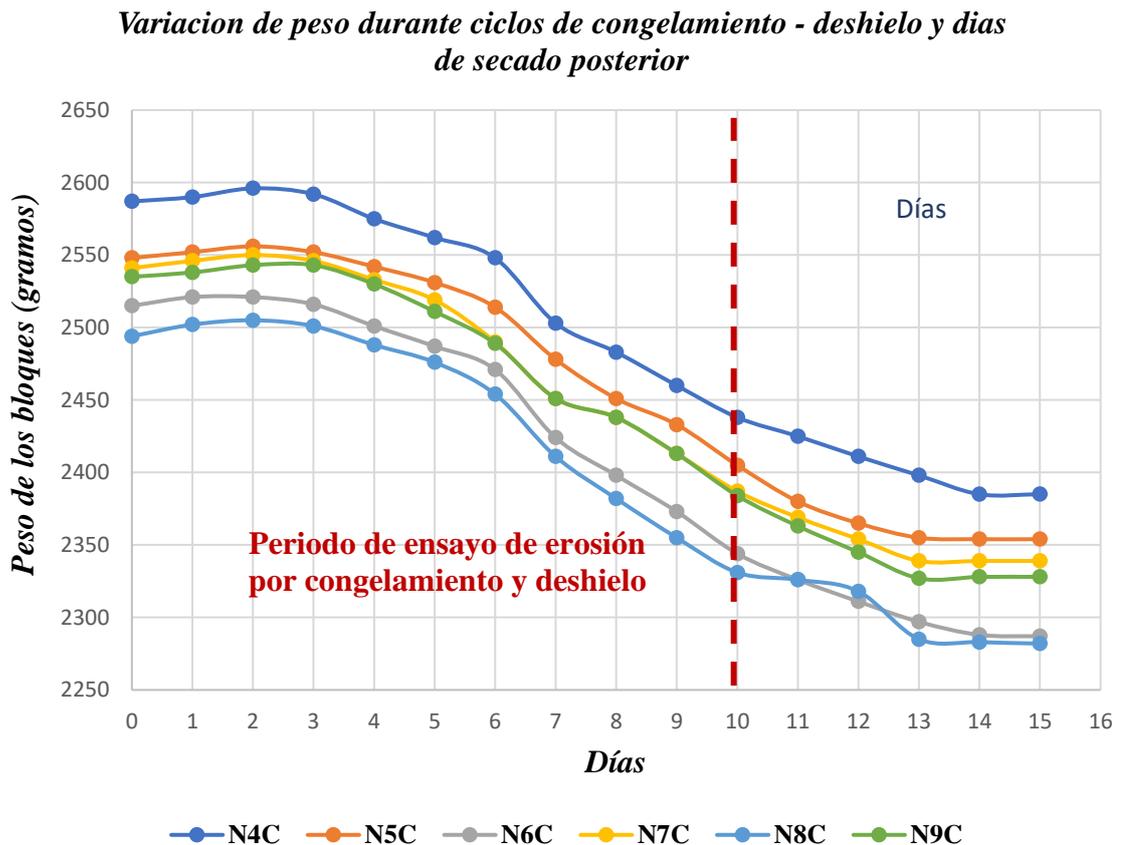
4.2.5. Resistencia a la erosión por ciclos de congelamiento y deshielo

4.2.5.1. Cumplimiento de Objetivo específico N° 04

En la *Figura 103* se puede observar que los bloques tipo N en los primeros dos ciclos de congelamiento y deshielo incrementan su peso a causa del agua retenida, a partir del tercer ciclo empieza la pérdida de material, durante el desarrollo del ensayo se observó que esta pérdida de material se produjo durante las horas de deshielo, al secarse los bloques en la cámara de secado, el material superficial de estos empezó a erosionarse de manera uniforme.

Figura 103

Variación de peso de bloques N



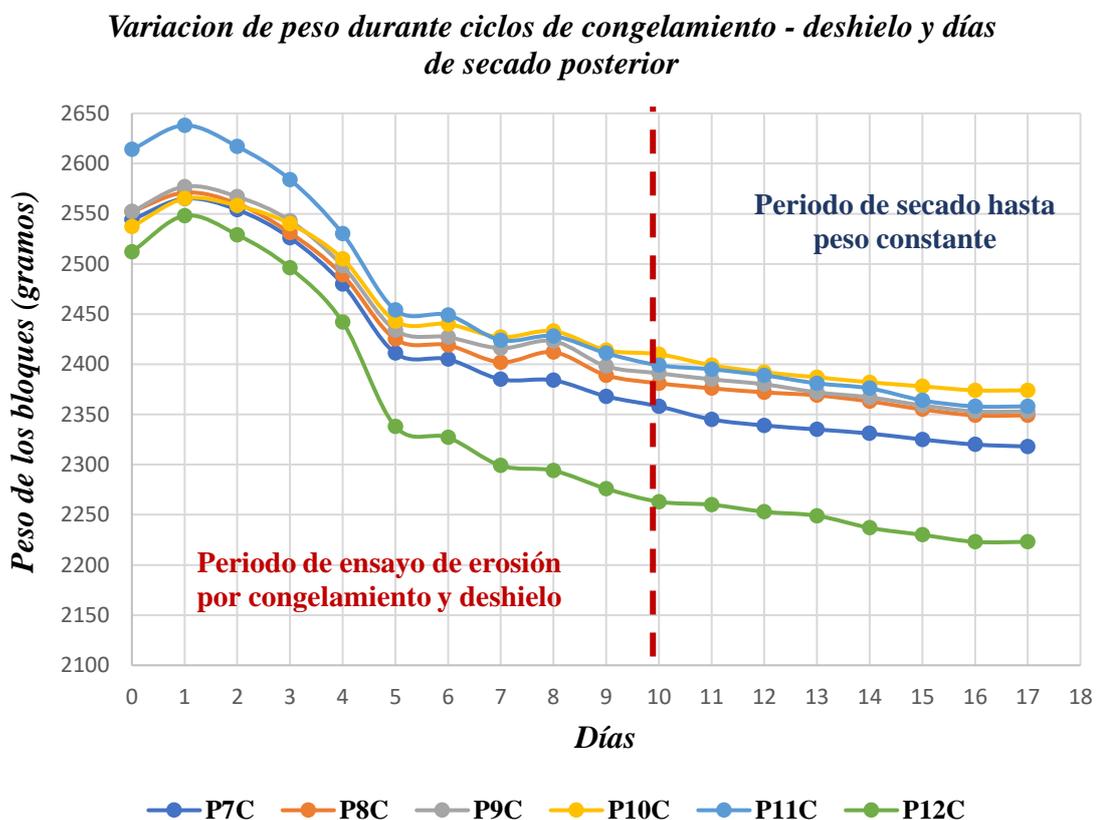
Luego de terminar el periodo de ciclos de congelamiento y deshielo se registró un promedio de pérdida de material de 6.12%. Como parte del ensayo

se siguieron tomando pesos asumiendo que los bloques contenían agua congelada; los bloques N retomaron peso constante en aproximadamente 4 días, periodo durante el cual también evidenciaron erosión. Finalmente quedando con una pérdida total promedio de material de 8.18%.

Los bloques P en el primer ciclo de congelamiento y deshielo incrementan su peso a causa del agua retenida, a partir del segundo ciclo empieza la pérdida de material, esta pérdida fue masiva durante cuatro ciclos consecutivos, después de los cuales la pérdida ya fue de manera controlada, al igual que los bloques N, la pérdida de material se produjo durante las horas de deshielo, al secarse los bloques en la cámara de secado el material superficial de estos empezó a erosionarse de manera uniforme como esquematiza la *Figura 104*.

Figura 104

Variación de peso de bloques P

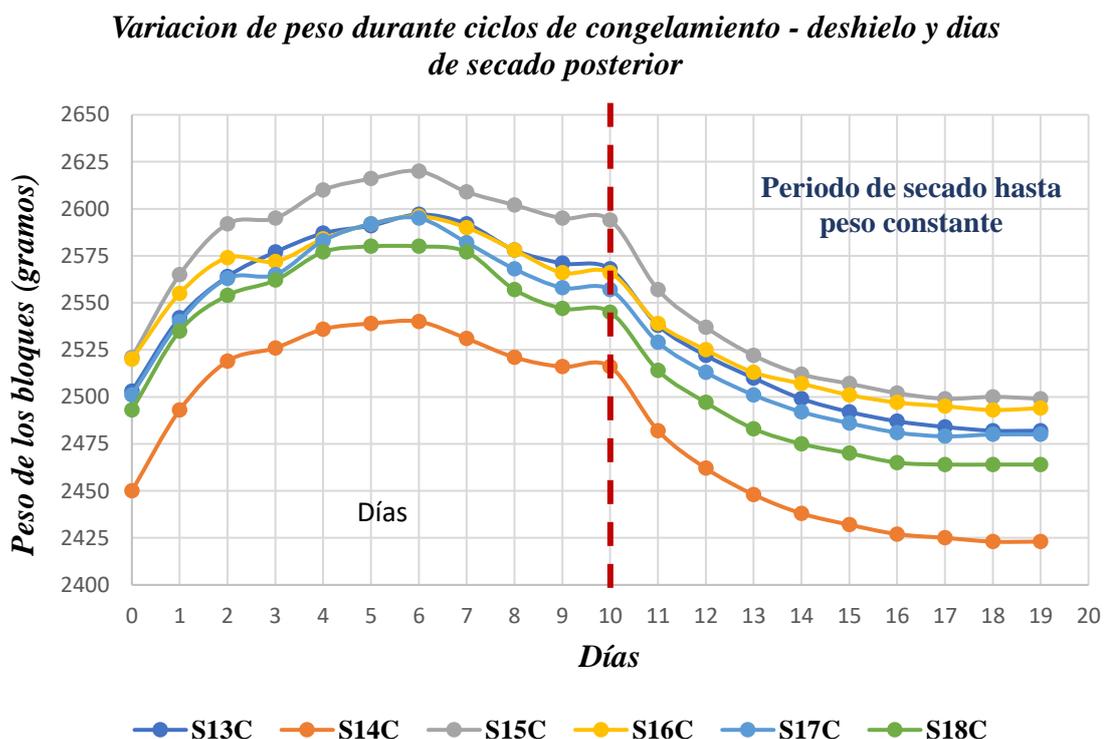


Al terminar el periodo de ciclos de congelamiento y deshielo se registró un promedio de pérdida de material de 7.24%. Después de los ciclos programados, los bloques P retomaron peso constante en aproximadamente 5 días, periodo durante el cual también evidenciaron erosión. Finalmente quedando con una pérdida total promedio de material de 8.73%.

Los bloques S en los seis primeros ciclos de congelamiento y deshielo incrementaron su peso a causa del agua retenida y congelada, a partir de ese punto empieza la pérdida de peso sin apreciarse pérdida de material. Al concluir los ciclos programados de congelamiento y deshielo los bloques S terminaron con un incremento promedio en su peso de 2.39%. Después de los ciclos programados, los bloques S retomaron peso constante en aproximadamente 8 días como se muestra en la *Figura 105*. Finalmente, los bloques S tuvieron una pérdida total promedio de material de 0.97%.

Figura 105

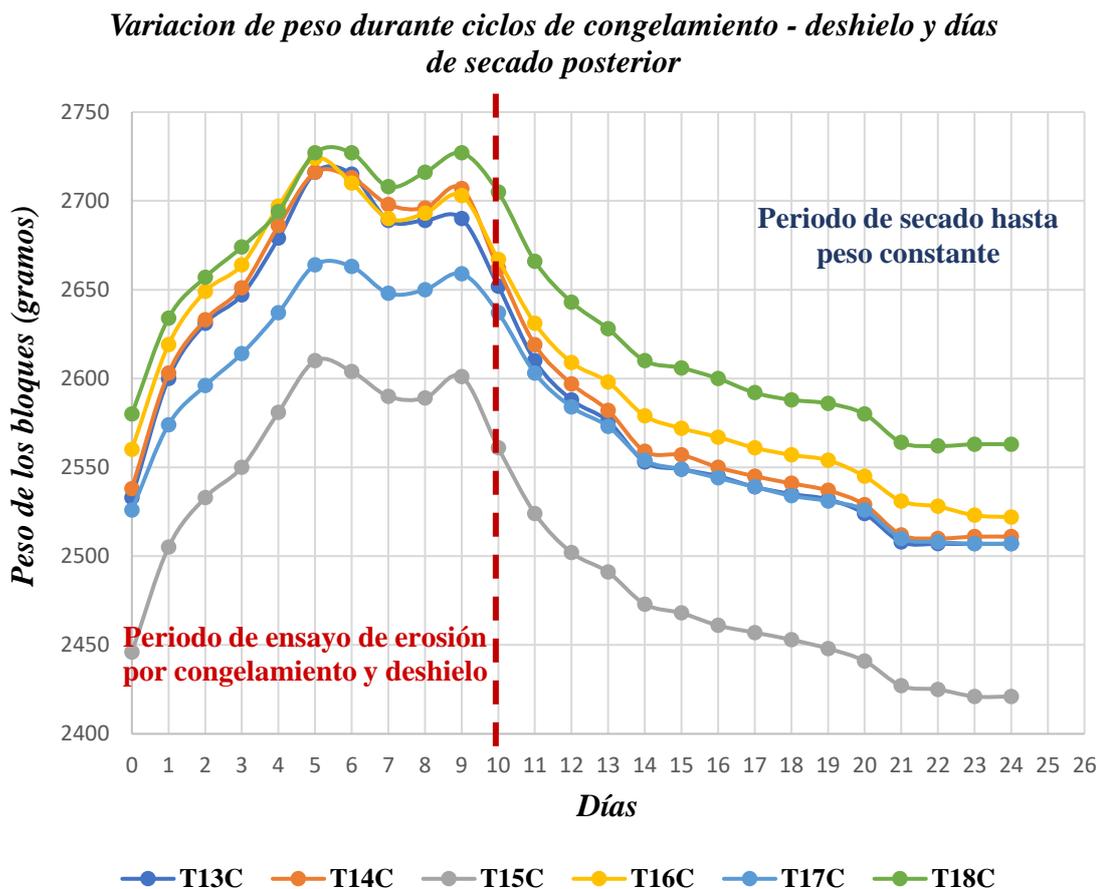
Variación de peso de bloques S



Los bloques T en los cinco primeros ciclos de congelamiento y deshielo incrementaron su peso a causa del agua retenida y congelada, a partir de ese punto empieza la pérdida de peso sin apreciarse pérdida de material, además que los bloques reponían el agua pérdida durante el ciclo de deshielo. Al concluir los ciclos programados de congelamiento y deshielo los bloques T terminaron con un incremento promedio en su peso de 4.62%. Después de los ciclos programados, los bloques T retomaron peso constante en aproximadamente 12 días como se muestra en la *Figura 106*. Finalmente, los bloques S tuvieron una pérdida total promedio de material de 0.99%.

Figura 106

Variación de peso de bloques T

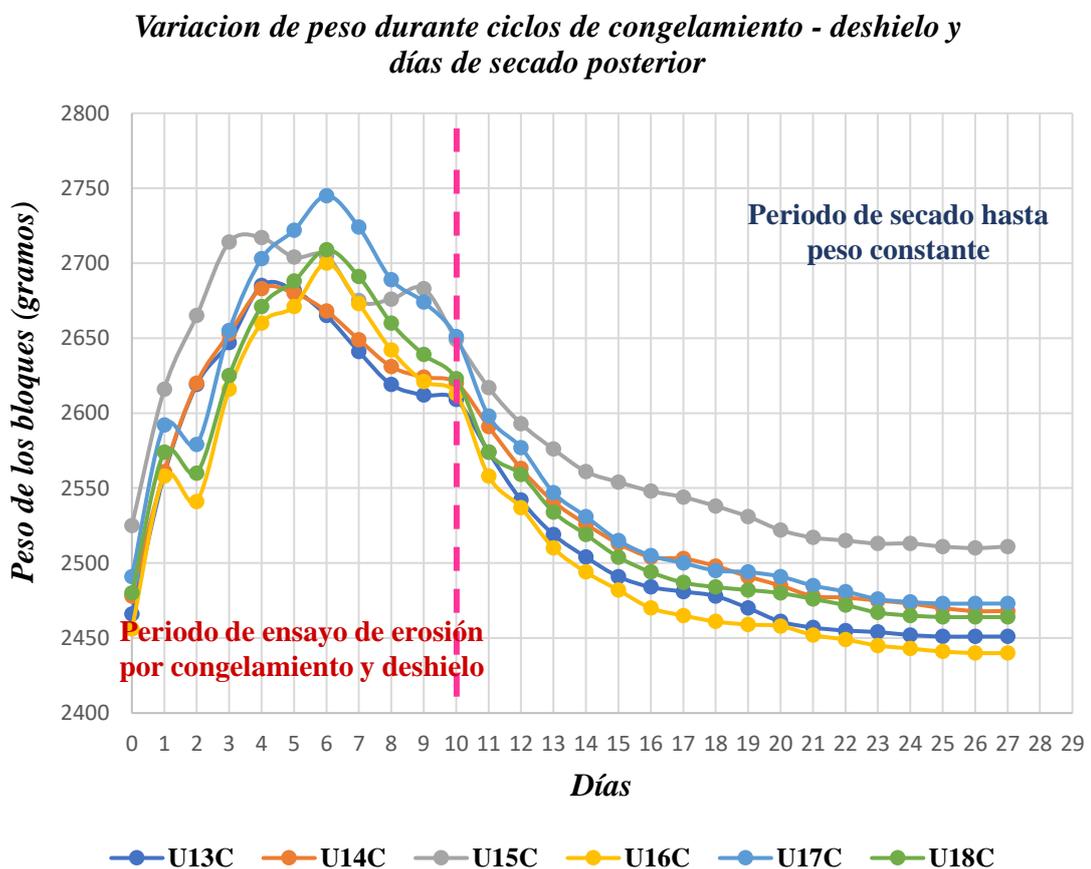


Los bloques U tuvieron un comportamiento similar a los bloques T, incrementando su peso a causa del agua retenida y congelada, y perdiendo un

porcentaje de ese peso en el proceso de secado, para luego reponer el agua pérdida en el ciclo de congelamiento. Al concluir los ciclos programados de congelamiento y deshielo los bloques S terminaron con un incremento promedio en su peso de 5.84%. Después de los ciclos programados, los bloques U retomaron peso constante en aproximadamente 16 días como se muestra en la *Figura 107*. Finalmente, los bloques S tuvieron una pérdida total promedio de material de 0.60%

Figura 107

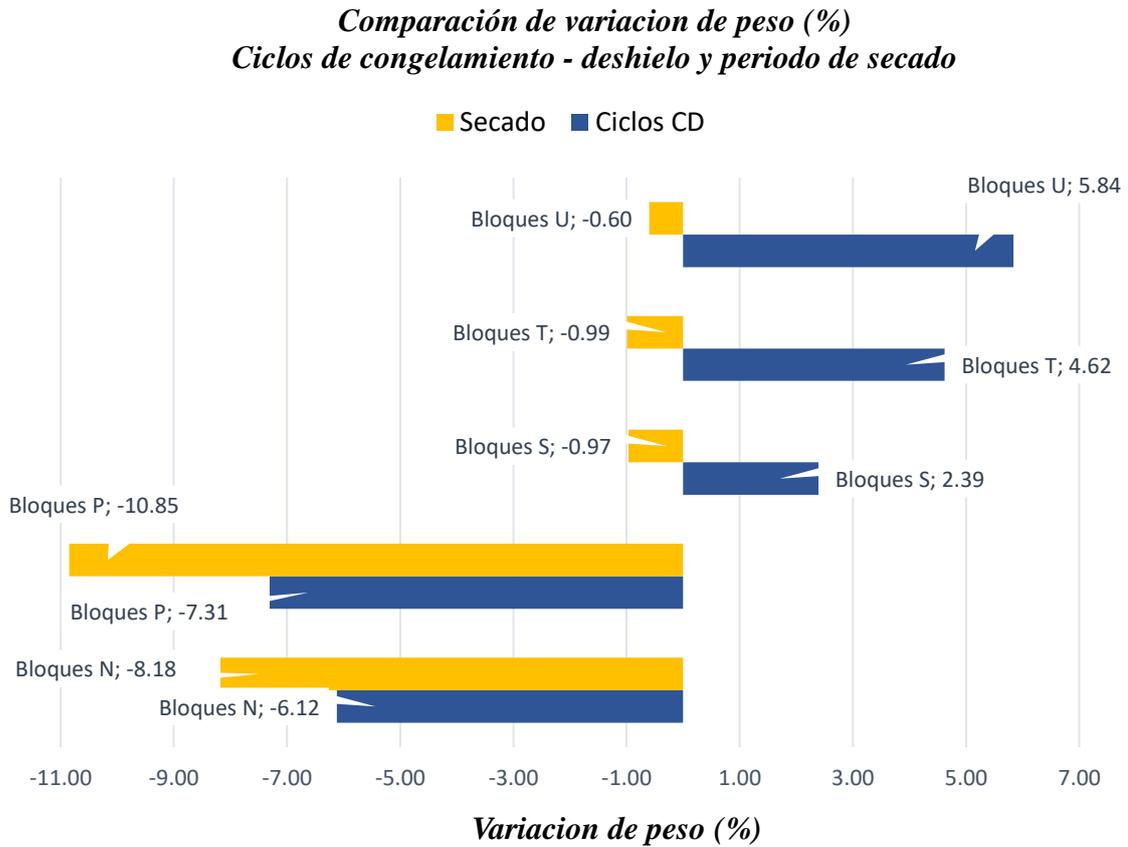
Variación de peso de bloques U



En la *Figura 108* se puede apreciar que los bloques N y P superan el límite de 5% para pérdida de material, dicho límite fue sobrepasado en el periodo de los ciclos de congelamiento y deshielo; mientras que los bloques S, T y U tuvieron una pérdida de material menor a 5%.

Figura 108

Comparación de variación de peso de bloques por tipo



4.2.5.2. Prueba de Hipótesis específica N° 03

Prueba de Hipótesis: Chi-cuadrado para probar la asociación entre variables.

Datos: Grupos de bloques por condición.

		Condición de resistencia		
		Heladizo	No Heladizo	Total
<i>Contenido de cemento</i>	Bajo (0% - 5%)	12	0	12
	Medio (10%)	2	4	6
	Alto (15% - 20%)	1	11	12
Total		15	15	30

Asociar: Demostrar la existencia de una asociación estadística entre las variables.



Planteamiento de hipótesis estadística:

H₀: La condición de resistencia a la erosión por ciclos de congelamiento y deshielo no es diferente entre bloques con distintos contenidos de cemento.

H₁: La condición de resistencia a la erosión por ciclos de congelamiento y deshielo no es diferente entre bloques con distintos contenidos de cemento.

Criterios de supervisión

- **Nivel de significancia (alfa) α :** 5.0% = 0.05
- **Prueba:** Chi-cuadrado

Derivación de las pruebas estadísticas

Estadístico de Chi-cuadrado: 21.0

Grados de libertad: 2

Valor p: 2.7536449349747094 e-05

Medición de cifra: Con un valor p INFERIOR al 5%, existe suficiente evidencia para afirmar que existe diferencia entre la condición de resistencia a la erosión por ciclos de congelamiento y deshielo entre grupos de bloques de tierra con distinta cantidad de cemento adicionado. Se acepta H₁.

Dictamen:

Del resultado de la prueba estadística respecto a la condición de resistencia se acepta de manera general la hipótesis específica *La cantidad de cemento adicionado como estabilizante influye significativamente en la condición de resistencia a la erosión por ciclos de congelamiento y deshielo de los bloques de tierra fabricados*

con suelos del centro poblado de Salcedo, es decir que existe certeza estadística para afirmar la existencia de una relación significativa entre la condición de resistencia a la erosión por ciclos de congelamiento y deshielo de los bloques con la cantidad de cemento adicionado en estos.

DATOS: Grupos de bloques

Variable	Bloques				
	N	P	S	T	U
Pérdida de material (%)	7.81	8.88	0.84	1.03	0.61
	7.61	7.95	1.10	1.06	0.40
	9.07	7.80	0.87	1.02	0.55
	7.95	6.42	1.03	1.45	0.65
	8.50	9.79	0.84	0.75	0.72
	8.17	11.50	1.16	0.66	0.65

Prueba de Normalidad: Shapiro-Wilk

Grupo N - Valor p: 0.67149418592453 (La distribución es normal)

Grupo P - Valor p: 0.9342249035835266 (La distribución es normal)

Grupo S - Valor p: 0.17202633619308472 (La distribución es normal)

Grupo T - Valor p: 0.5150589346885681 (La distribución es normal)

Grupo U - Valor p: 0.4339270293712616 (La distribución es normal)

Prueba de homogeneidad de varianzas:

Valor p: 0.0010005172776376416 (Varianzas no homogéneas)

Prueba de Hipótesis: ANOVA de Welch para determinar si existen diferencias significativas entre grupos

Evaluar: El nivel de la significancia estadística.

Planteamiento de hipótesis estadística:

Ho: El porcentaje de material perdido por los bloques convencionales no es diferente al porcentaje de material perdido por los bloques estabilizados.

H₁: El porcentaje de material perdido por los bloques convencionales es diferente al porcentaje de material perdido por los bloques estabilizados.

Criterios de supervisión

- **Nivel de significancia (alfa) α :** 5.0% = 0.05
ANOVA de Welch
- **Prueba:**
Prueba Dunn (Post Hoc)

Derivación de las pruebas estadísticas:

ANOVA de Welch: p-valor: 3.178501690664778 e-05

Prueba Dunn	Bloques					
	N	P	S	T	U	
<i>p-valor</i>	N	-	0.869708	0.025694	0.018175	0.000059
	P		-	0.016628	0.011535	0.000029
	S			-	0.895598	0.073789
	T				-	0.097581
	U					-

p-valor > 0.05 = 5% (N-P, S-T, S-U, T-U) → Optamos por H₀

Valor de p: p-valor < 0.05 = 5% (N-S, N-T, N-U, P-S, P-T, P-U) → Optamos por H₁

Medición de cifra: Con una probabilidad de error SUPERIOR al 5%, el porcentaje de material perdido por los bloques N no es diferente al porcentaje de material perdido por los bloques P. (Por tanto, optamos por H₀). Además, como parte del proceso para encontrar el porcentaje de cemento óptimo se realizó la comparación entre grupos de bloques estabilizados encontrándose que no existe diferencia en el porcentaje de

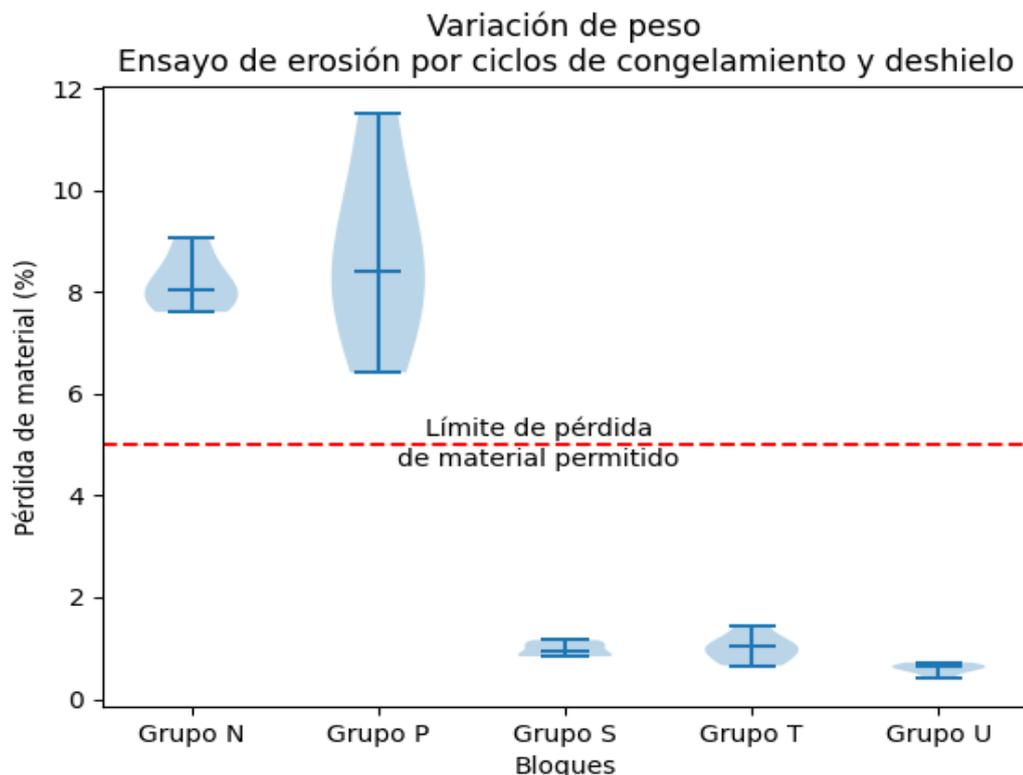
material perdido entre los grupos: S-T, S-U y T-U. (Se acepta H_0)

Medición de cifra: Con una probabilidad de error INFERIOR al 5%, el porcentaje de material perdido por los bloques N es diferente al porcentaje de material perdido por los bloques S, T y U. (Por tanto, optamos por H_1). Además, como parte del proceso para encontrar el porcentaje de cemento óptimo se realizó la comparación entre grupos de bloques estabilizados encontrándose que existe diferencia en el porcentaje de material perdido los entre los grupos: P-S, P-T, P-U. (Se acepta H_1)

Dictamen:

Figura 109

Porcentaje de material perdido según tipo de bloque



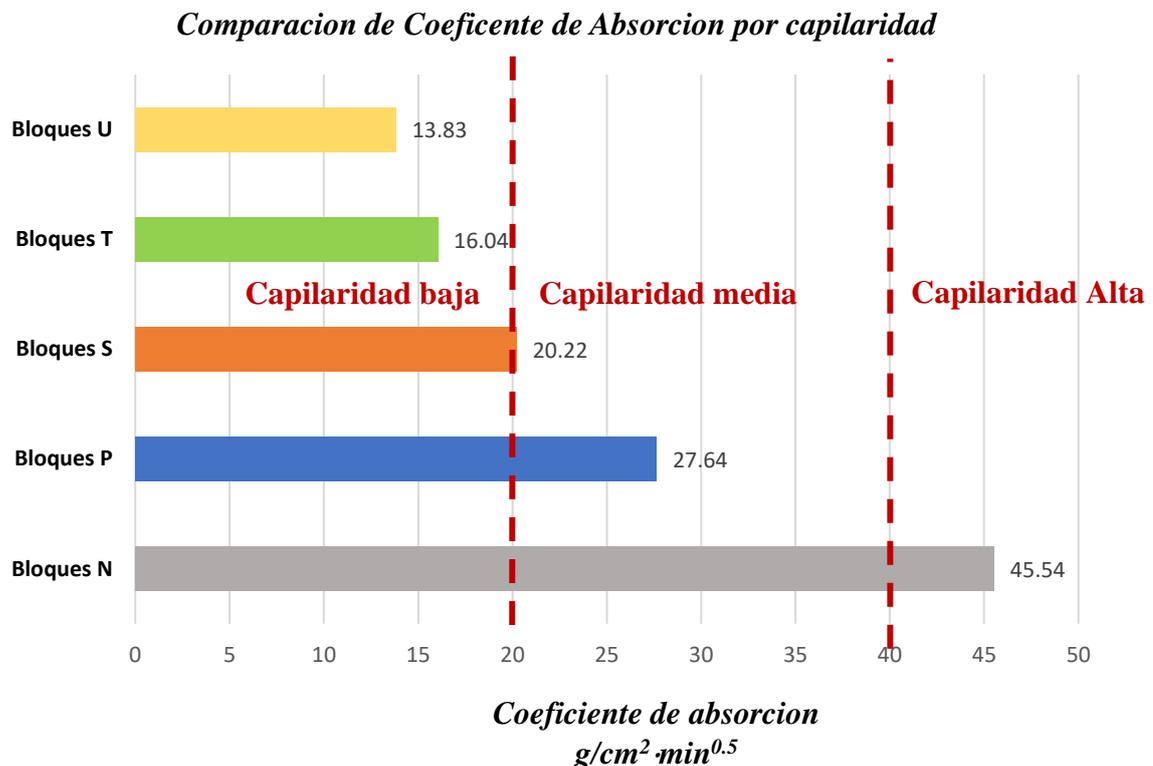
Del resultado de la prueba estadística respecto al porcentaje de material perdido por los bloques se acepta de manera parcial la hipótesis específica. Esto es, el porcentaje de material perdido por los bloques convencionales (Bloques N) no es diferente (son semejantes) al porcentaje de material perdido por los bloques estabilizados con 5% de cemento (bloques P). El porcentaje de material perdido por los bloques convencionales (bloques N) es diferente al porcentaje de material perdido por los bloques estabilizados con 10%, 15% y 20% de cemento (bloques S, T y U respectivamente). En resumen para ver una influencia significativa en la condición de resistencia a la erosión por ciclos de congelamiento y deshielo se debe añadir una cantidad mayor al 5% de cemento. Ver *Figura 109*.

4.2.6. Capacidad de absorción capilar de agua

4.2.6.1. Cumplimiento de Objetivo específico N° 05

Figura 110

Coefficientes de absorción capilar por tipo de bloque



Como se puede apreciar en la *Figura 110*, los bloques N tienen en promedio un coeficiente de absorción capilar de $45.54 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$ considerándose bloques altamente capilares; los bloques P por su parte tienen en promedio un coeficiente de absorción de $27.64 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$ considerándose bloques medianamente capilares, los bloques S en promedio obtuvieron un coeficiente de $20.22 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$ que según el criterio de evaluación correspondería a bloques medianamente capilares; además, los bloques T y S tienen coeficientes de absorción capilar de $16.04 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$ y $13.83 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$ respectivamente, considerándose a ambos bloques de capilaridad baja.

4.2.6.2. Prueba de Hipótesis específica N° 04

Prueba de Hipótesis: Chi-cuadrada.

Datos: Grupos de bloques.

		Capilaridad			
		Baja	Media	Alta	Total
<i>Contenido de cemento</i>	Bajo (0% - 5%)	0	15	9	24
	Medio (10%)	6	6	0	12
	Alto (15% - 20%)	24	0	0	24
Total		30	21	9	60

Asociar: Demostrar la existencia de una asociación estadística entre las variables.

Planteamiento de hipótesis estadística:

H₀: La capacidad de absorción capilar de agua no es diferente entre bloques con distintos contenidos de cemento.

H₁: La capacidad de absorción capilar de agua es diferente entre bloques con distintos contenidos de cemento.



Criterios de supervisión

- Nivel de significancia (alfa) α : 5.0% = 0.05
- Prueba: Chi-cuadrado

Derivación de las pruebas estadísticas

Estadístico de Chi-cuadrado: 51.857142857142854

Grados de libertad: 4

Valor p: 1.477671235777136 e-10

Medición de cifra: Con un valor p INFERIOR al 5%, existe suficiente evidencia para afirmar que existe diferencia entre la capacidad de absorción capilar entre grupos de bloques de tierra con distinta cantidad de cemento adicionado. Se acepta H_1 .

Dictamen:

Del resultado de la prueba estadística respecto a la capacidad de absorción capilar se acepta de manera general la hipótesis específica *La cantidad de cemento adicionado como estabilizante influye significativamente en la capacidad de absorción de agua por capilaridad de los bloques de tierra fabricados con suelos del centro poblado de Salcedo*, es decir que existe certeza estadística para afirmar la existencia de una relación significativa entre la capacidad de absorción capilar de los bloques con la cantidad de cemento adicionado en estos.

DATOS: Grupos de bloques

Variable	Bloques				
	N	P	S	T	U
Coeficiente de absorción ($g/cm^2 \cdot min^{0.5}$)	67.25	32.08	20.56	18.71	12.91
	46.51	28.43	17.65	14.81	9.78
	31.05	27.73	20.12	17.63	13.95
	27.69	25.76	20.35	16.25	14.99



Variable	Bloques				
	N	P	S	T	U
Coeficiente de absorción ($g/cm^2 \cdot min^{0.5}$)	57.58	31.52	20.80	17.04	14.24
	53.16	24.17	21.13	16.25	13.27
	51.30	24.92	18.61	14.67	15.03
	46.55	26.14	21.66	16.05	14.30
	45.31	29.06	19.24	15.38	13.66
	50.41	26.42	19.30	14.39	16.47
	27.95	29.60	18.69	15.53	14.22
	41.79	25.78	24.49	15.75	13.17

Prueba de Normalidad: Shapiro-Wilk

Grupo N - Valor p: 0.5480023622512817 (La distribución es normal)

Grupo P - Valor p: 0.5106257796287537 (La distribución es normal)

Grupo S - Valor p: 0.381823867559433 (La distribución es normal)

Grupo T - Valor p: 0.5893288254737854 (La distribución es normal)

Grupo U - Valor p: 0.11500615626573563 (La distribución es normal)

Prueba de homogeneidad de varianzas:

Valor p: 2.326368461833529 e-06 (Varianzas no homogéneas)

Prueba de Hipótesis: ANOVA de Welch para determinar si existen diferencias significativas entre grupos

Evaluar: El nivel de la significancia estadística.

Planteamiento de hipótesis estadística:

H₀: El Coeficiente de absorción capilar de los bloques convencionales no es diferente al Coeficiente de absorción capilar de los bloques estabilizados.

H₁: El Coeficiente de absorción capilar de los bloques convencionales es diferente al Coeficiente de absorción capilar de los bloques estabilizados.

Criterios de supervisión

- **Nivel de significancia (alfa) α :** 5.0% = 0.05
- **Prueba:** ANOVA de Welch
Prueba Dunn (Post Hoc)

Derivación de las pruebas estadísticas

ANOVA de Welch: 8.723065 e-20

Prueba Dunn	Bloques					
	N	P	S	T	U	
<i>p-valor</i>	N	-	0.328508	0.007231	0.000004	1.501963 e-09
	P		-	0.259135	0.001859	4.258797 e-06
	S			-	0.259135	7.687176 e-03
	T				-	3.285085 e-01
	U					-

p-valor > 0.05 = 5% (N-P, P-S, S-T, T-U) → Optamos por H_0

Valor de p: p-valor < 0.05 = 5% (N-S, N-T, N-U, P-T, P-U, S-U) → Optamos por H_1

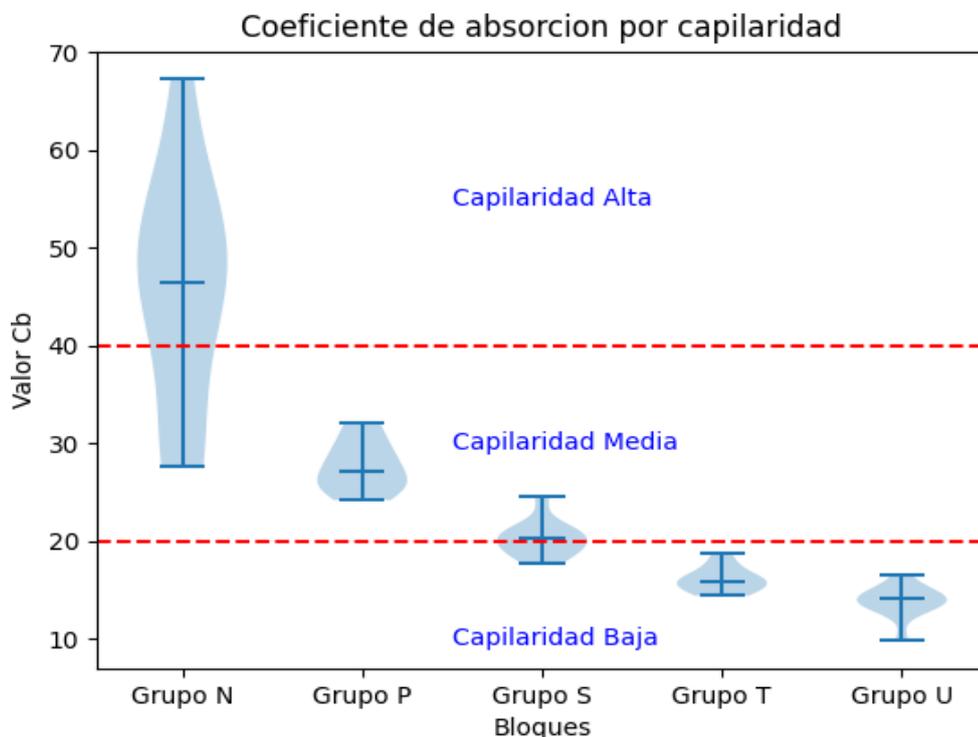
Medición de cifra: Con una probabilidad de error SUPERIOR al 5%, el Coeficiente de absorción capilar de los bloques N no es diferente al Coeficiente de absorción capilar de los bloques P. (Por tanto, optamos por H_0). Además, como parte del proceso para encontrar el porcentaje de cemento óptimo se realizó la comparación entre grupos de bloques estabilizados encontrándose que no existe diferencia en el Coeficiente de absorción capilar entre los grupos: P-S, S-T y T-U. (Se acepta H_0)

Medición de cifra: Con una probabilidad de error INFERIOR al 5%, el Coeficiente de absorción capilar de los bloques N es diferente al Coeficiente de absorción capilar de los bloques S, T y U. (Por tanto, optamos por H_1). Además, como parte del proceso para encontrar el porcentaje de cemento óptimo se realizó la comparación entre grupos de bloques estabilizados encontrándose que existe diferencia en el Coeficiente de absorción capilar entre los grupos: P-T, P-U, S-U. (Se acepta H_1)

Dictamen:

Figura 111

Coefficiente de absorción capilar



El Coeficiente de absorción capilar de bloques convencionales (Bloques N) no es diferente (son semejantes) al coeficiente de absorción capilar de los bloques

estabilizados con 5% de cemento (bloques P). Lo que nos indica que para ver una diferencia en el coeficiente de absorción capilar se debe añadir más de 5% de cemento a los bloques convencionales.

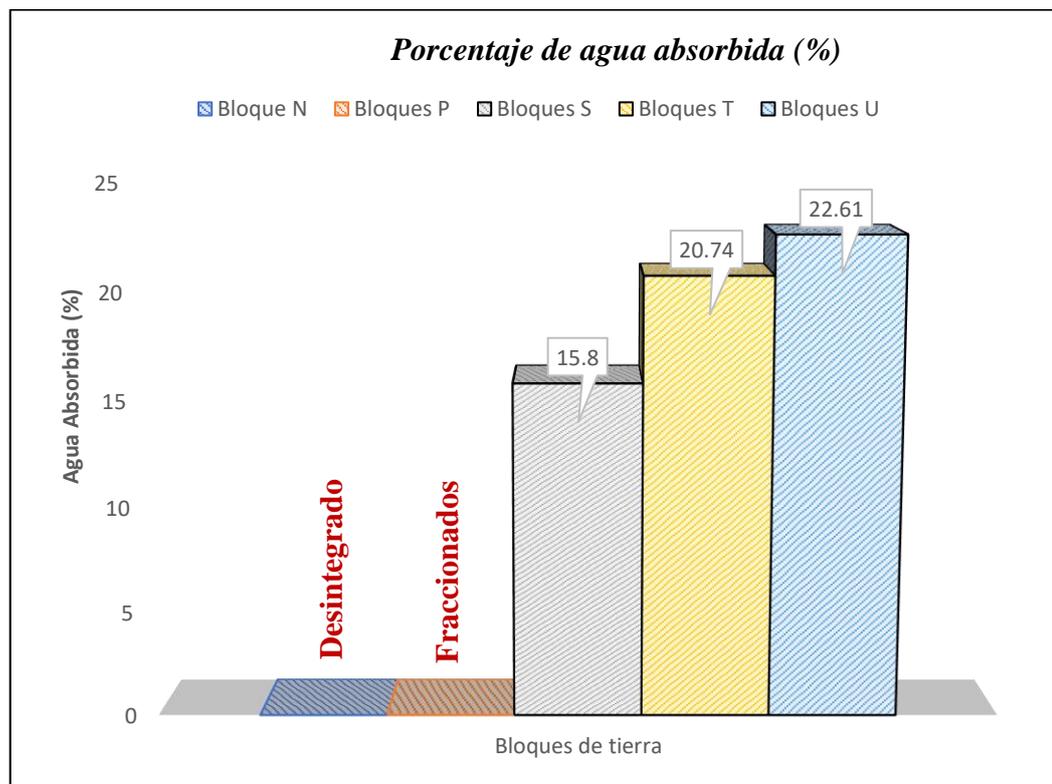
El Coeficiente de absorción capilar en bloques convencionales (bloques N), es diferente significativamente al coeficiente de absorción capilar de los bloques estabilizados con 10%, 15% y 20% de cemento (bloques S, T y U respectivamente). Esto nos indica que para ver una diferencia significativa se debe añadir un porcentaje de cemento entre 10% a 20%. Ver *Figura 111*.

4.2.7. Capacidad de absorción de agua por inmersión total

4.2.7.1. Cumplimiento de Objetivo Específico N° 06

Figura 112

Absorción por inmersión total según tipo de bloques



En la *Figura 112* se observa que los bloques N se desintegraron, mientras que los bloques P si bien no llegaron a desintegrarse presentaron



hinchamiento por agua. Los bloques S tuvieron una absorción promedio de 15.80%, mientras que los bloques T presentaron una absorción promedio de 20.74 y finalmente los bloques U una absorción promedio de 22.61%.

Según la norma NTP 399.613 el límite de porcentaje de agua absorbida por un bloque no debe ser mayor a 22% del peso inicial del bloque; siguiendo este criterio podemos aceptar a los bloques S y T.

4.2.7.2. Prueba de Hipótesis Específica N° 05

Prueba de Hipótesis: Chi-cuadrado.

Datos: Grupos de bloques por condición.

		Condición		
		Inaceptable	Aceptable	Total
<i>Contenido de cemento</i>	Bajo (0% - 5%)	12	0	12
	Medio (10%)	0	6	6
	Alto (15% - 20%)	6	6	12
Total		18	12	30

Asociar: Demostrar la existencia de una asociación estadística entre las variables.

Planteamiento de hipótesis estadística:

H₀: La capacidad de absorción de agua por inmersión no es diferente entre bloques con distintos contenidos de cemento.

H₁: La capacidad de absorción de agua por inmersión es diferente entre bloques con distintos contenidos de cemento.

Criterios de supervisión

- **Nivel de significancia (alfa) α :** 5.0% = 0.05
- **Prueba:** Chi-cuadrado

Derivación de las pruebas estadísticas

Estadístico de Chi-cuadrado: 17.5



Grados de libertad: 2

Valor p: 0.00015846132511575128

Medición de cifra: Con un valor p INFERIOR al 5%, existe suficiente evidencia para afirmar que existe diferencia entre la capacidad de absorción por inmersión entre grupos de bloques de tierra con distinta cantidad de cemento adicionado. Se acepta H_1 .

Dictamen:

Del resultado de la prueba estadística respecto a la capacidad de absorción capilar se acepta de manera general la hipótesis específica *La cantidad de cemento adicionado como estabilizante influye significativamente en la capacidad de absorción por inmersión total de los bloques de tierra fabricados con suelos del centro poblado de Salcedo*, es decir que existe certeza estadística para afirmar la existencia de una relación significativa entre la capacidad de absorción por inmersión de los bloques con la cantidad de cemento adicionado en estos.

Datos : Grupos de bloques

Variable	Bloques				
	N	P	S	T	U
Agua absorbida (%)	Desintegrado	Fraccionado	16.75	21.17	22.64
	Desintegrado	Fraccionado	14.36	19.62	22.34
	Desintegrado	Fraccionado	14.69	20.58	22.20
	Desintegrado	Fraccionado	15.70	21.43	22.44
	Desintegrado	Fraccionado	16.40	20.75	23.01
	Desintegrado	Fraccionado	16.88	20.92	23.05

Prueba de Normalidad: Shapiro-Wilk

Grupo N: No se pudieron recolectar datos.

Grupo P: No se pudieron recolectar datos.



Grupo S - *Valor p*: 0.31497806310653687 (La distribución es normal)

Grupo T - *Valor p*: 0.4764152467250824 (La distribución es normal)

Grupo U - *Valor p*: 0.4130307734012604 (La distribución es normal)

Prueba de homogeneidad de varianzas:

Valor p: 0.06203458996579547 (Varianzas homogéneas)

Prueba de Hipótesis: ANOVA para determinar si existen diferencias significativas entre grupos

Evaluar: El nivel de la significancia estadística.

Planteamiento de hipótesis estadística:

H₀: El porcentaje de absorción por inmersión de los bloques convencionales no es diferente al porcentaje de absorción por inmersión total de los bloques estabilizados.

H₁: El porcentaje de absorción por inmersión de los bloques convencionales es diferente al porcentaje de absorción por inmersión total de los bloques estabilizados.

Criterios de supervisión

- **Nivel de significancia (alfa) α :** 5.0% = 0.05
- **Prueba:** ANOVA

Derivación de las pruebas estadísticas

ANOVA: p-valor: 2.7265079944611297 e-10

Prueba ANOVA	Bloques					
	N	P	S	T	U	
<i>p-valor</i>	N	-	-	-	-	
	P		-	-	-	
	S			-	0.001000	0.001000
	T				-	0.001587
	U					-



Valor de p: $p\text{-valor} > 0.05 = 5\%$ (N-P) \rightarrow Optamos por H_0

$p\text{-valor} < 0.05 = 5\%$ (N-S, N-T, N-U, P-S, P-T, P-U, S-T, S-U, T-U) \rightarrow Optamos por H_1

Medición de cifra: Con una probabilidad de error SUPERIOR al 5%, al no contar con un valor para la cantidad de agua absorbida por los bloques N y P, a causa de su desintegración y fraccionamiento podemos inferir que ambos bloques poseen una capacidad de absorción por inmersión semejante. (Se acepta H_0)

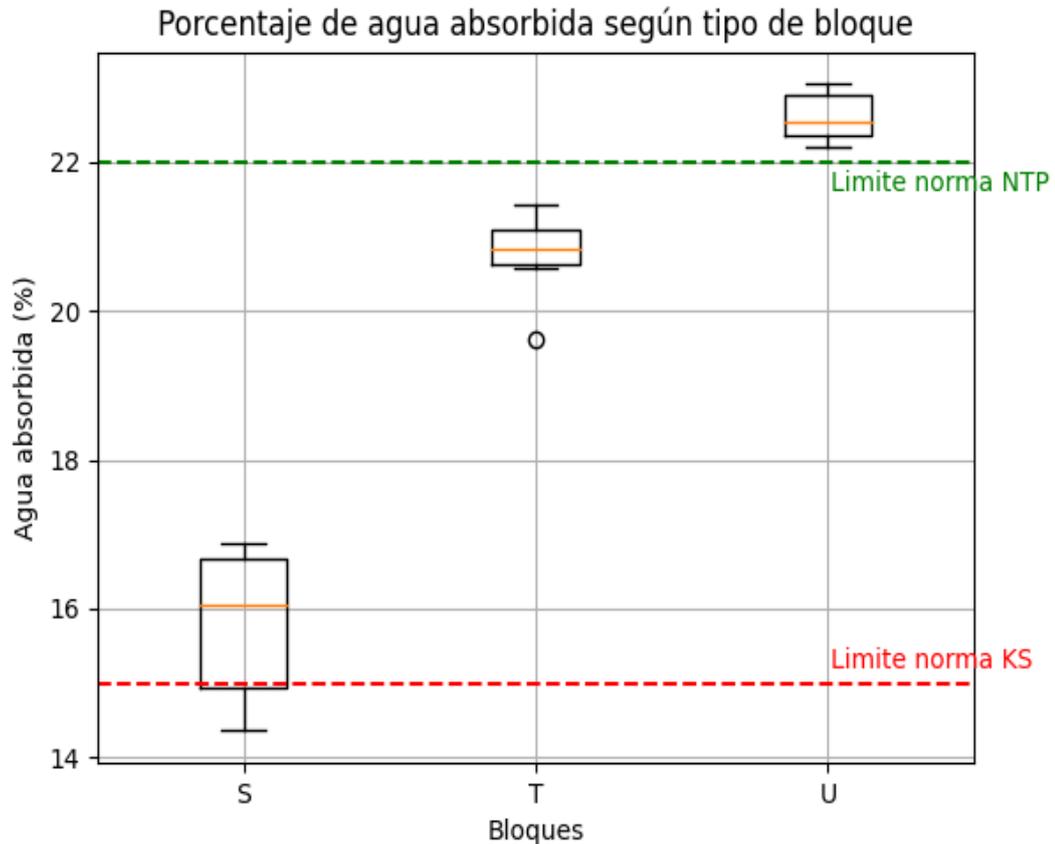
Medición de cifra: Con una probabilidad de error INFERIOR al 5%, el porcentaje de absorción por inmersión de los bloques S, T y U es diferente entre ellos. (Por tanto, optamos por H_1). Además, al no soportar el ensayo de inmersión los bloques N y P podemos inferir que existe una diferencia significativa entre estos últimos y los bloques S, T y U. (Se acepta H_1)

Dictamen:

Del resultado de la prueba estadística respecto al porcentaje de agua absorbida por los bloques se acepta de manera parcial la hipótesis específica. Los bloques N y P no resistieron en ensayo de capacidad de absorción por inmersión total, lo que nos indica que para que un bloque resiste la prueba necesita más de 10% de cemento adicionado en su fabricación. El porcentaje de agua absorbida por inmersión total en agua de los bloques S, T y U son diferente significativamente entre sí. Esto nos indica que para ver una diferencia significativa se debe añadir un porcentaje de cemento entre 10% a 20% como se muestra en la *Figura 113*.

Figura 113

Distribución de absorción por inmersión total según tipo de bloque



4.2.8. Evaluación y determinación del porcentaje óptimo de cemento

4.2.8.1. Cumplimiento de Objetivo Específico N° 07

Tabla 53

Resumen de resultados de ensayos según tipo de bloque

Ensayos	Criterio de aceptación	Bloques N	Bloques P	Bloques S	Bloques T	Bloques U
Pulverizado	<i>Apto</i>	No apto	No apto	Apto y no apto	Apto	Apto
Caída de agua	<i>Apto</i>	No Apto	Apto	Apto	Apto	Apto
Congelamiento y deshielo	<i>No heladizo</i>	Heladizo	Heladizo	Heladizo y no heladizo	No heladizo	No heladizo
Capilaridad	<i>Baja</i>	Alta	Media	Media y baja	Baja	Baja
Inmersión total	<i>Aceptable</i>	Inaceptable	Inaceptable	Aceptable	Aceptable	Inaceptable
Evaluación:		NO PASA	NO PASA	NO PASA	PASA	NO PASA

En la *Tabla 53* se presenta un resumen de los resultados obtenidos por cada tipo de bloque, y la dictaminación según el criterio de aceptación de cada ensayo. Se puede apreciar que los bloques tipo T cumplen con todos los criterios de aceptación, por lo que el porcentaje óptimo de cemento necesario para mejorar la resistencia a la erosión y reducir la capacidad de absorción de bloques de tierra elaborados con suelos del centro poblado de Salcedo es encuentra en el rango de 10% a 20%.

En base a los resultados obtenidos por cada tipo de bloque en los diferentes ensayos se elaboró la *Tabla 54* de desempeño en base a la siguiente escala:

0: Desempeño bajo

1: Desempeño medio

2: Desempeño alto

Tabla 54

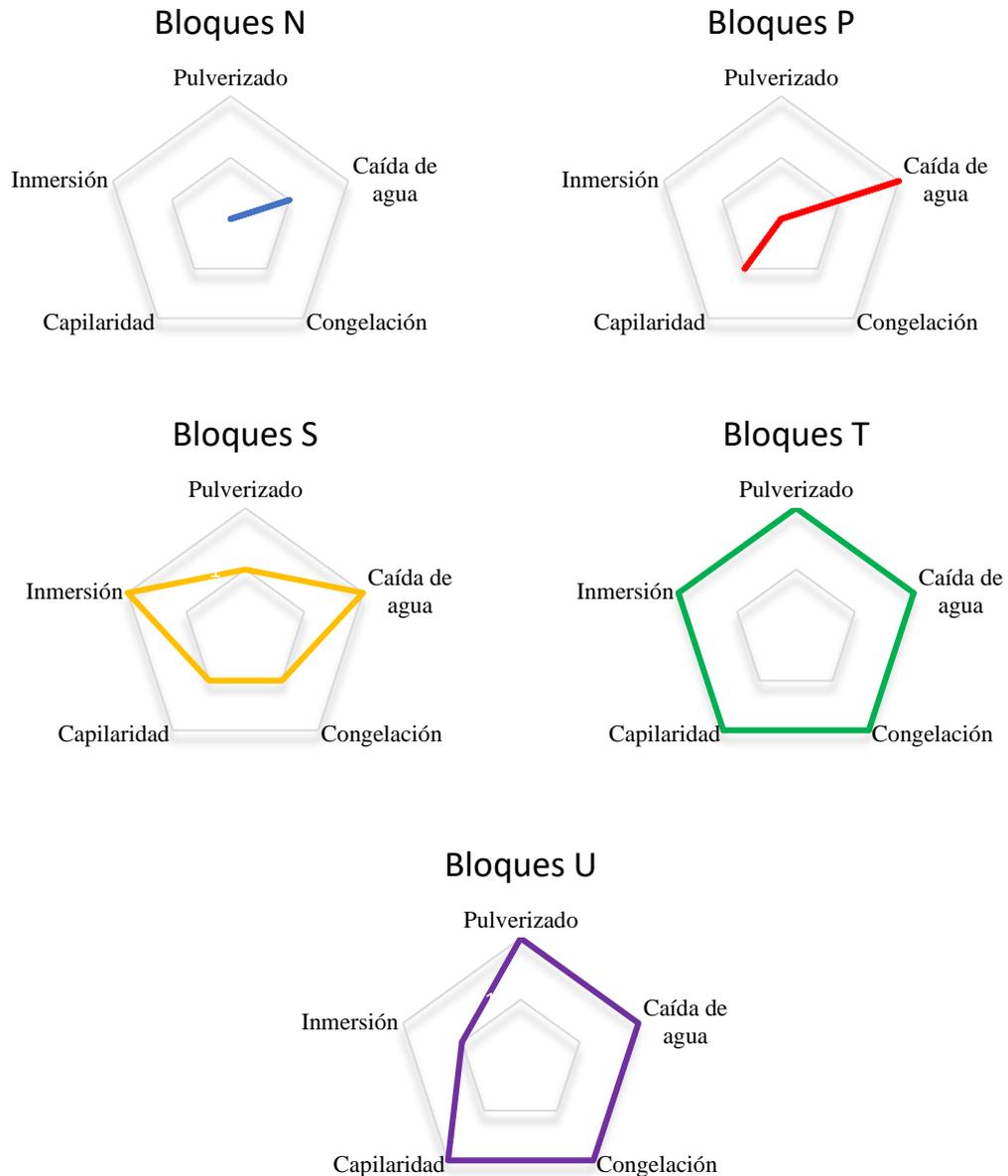
Desempeño general por tipo de bloque

	Bloques N	Bloques P	Bloques S	Bloques T	Bloques U
<i>Pulverizado</i>	0	0	1	2	2
<i>Caída de agua</i>	1	2	2	2	2
<i>Congelamiento</i>	0	0	1	2	2
<i>Capilaridad</i>	0	1	1	2	2
<i>Inmersión</i>	0	0	2	2	1

Como se puede observar en la *Figura 114* los bloques con contenido de 10% de cemento como mínimo muestran desempeño medio, los bloques con 15% de cemento muestran un desempeño alto; mientras que los bloques con 20% de cemento evidencian desempeño alto en cuatro pruebas, siendo la prueba de inmersión en la que ofrecen un desempeño medio pues estos bloques tienden a absorber mucha agua a largo plazo.

Figura 114

Desempeño por tipo de bloque



De la *Tabla 55* se observa que la mayoría de investigaciones previas no incluyeron todos los ensayos para evaluar la resistencia a la erosión (por pulverizado, por caída de agua, por congelamiento), esto puede deberse al vacío normativo. De los estudios que usaron 15% de cemento adicionado en la fabricación de bloques de tierra, se aprecia una reducción en la erosión por caída de agua, así como una reducción en las capacidades de succión y absorción.

Tabla 55

Comparación de resultados con otras investigaciones similares

Autor	Bloque	Suelo	Erosión	Caída	Congelamien	Succión	Absorción
			mm	de agua mm	to % pérdida	g/cm ² ·min ^{0.5}	%
Resultados	Convencional	SC	42.58	11.67	8.18	45.54	Inaceptable
	15% cemento		10.25	2.10	0.99	16.04	20.74
Delgado y Niño	Convencional 15% cemento	CL	-	-		Desintegrado 31.59	Inaceptable 18.99
García Huaynacaqui	Convencional 12% cemento	SM	-	-		-	Inaceptable 23.03
García Valderrama	Convencional 7% cemento	ML	-	-		13.60 20.89	17.37 11.10
Herbas y Nolasco	Convencional 6% cemento	SC	-	-		-	24.66 24.49
Holgado y Prado	Convencional 8% cemento	SC	-	-		165.10 66.00	Inaceptable 26.00
Medina	Convencional 10% cemento	CL	-	-		-	4.67 9.85
Rios	Convencional 9% cemento	SC	-	-	9.20 ¹ 8.40 ¹	-	-
Sánchez	Convencional 8% cemento	SC	-	-	-	-	22.01 20.47
Cid Falceto	Convencional Bloque B* Bloque M* Bloque C*	**	17 0 6 15	5 0 0 0	- - - -	65.00 6.00 17.00 17.00	Inaceptable 14.00 12.00 44.00
Gonzales	Convencional 15% cemento	CL	-	20.5 3.5	-	22.39 11.03	Inaceptable 8.86

(*) No se especifica la cantidad de cemento adicionado en la fabricación de los bloques

(**) No se especifica el tipo de suelo usado en la fabricación de los bloques.

¹ se realizó un ensayo de Humedecimiento y secado.



V. CONCLUSIONES

1. Según la clasificación granulométrica de los suelos primarios S-01 y S-02, estos no cumplen con los parámetros requeridos para su empleo en la producción de bloques de tierra. Del mismo modo, la mezcla convencional de ambos suelos, empleada comúnmente por los artesanos locales en la confección de bloques de tierra, tampoco satisface los criterios de uso adecuado. Sin embargo, el suelo resultante de su combinación, denominado S-03, exhibe propiedades granulométricas que se ajustan a los estándares y especificaciones necesarios para su estabilización mediante cemento, lo que habilita su empleo en la fabricación de bloques de tierra.
2. En lo que respecta a la resistencia a la erosión por pulverización, se determinó que los bloques sin cemento (bloques N) y los bloques con un contenido de cemento del 5% (bloques P) no cumplen con los criterios de aceptación. Los bloques con un 10% de contenido de cemento (bloques S) pueden considerarse aceptables en función del plano evaluado en la prueba, mientras que los bloques con un 15% (bloques T) y un 20% (bloques U) de cemento presentan aptitud sin importar el plano evaluado. Los resultados indican una mejora en la resistencia a la erosión por pulverización a medida que aumenta la proporción de cemento en los bloques, lo que los hace adecuados para su aplicación en exteriores ante condiciones climáticas adversas, como lluvias acompañadas de fuertes vientos.
3. En cuanto a la resistencia a la erosión por caída de agua, se observó que los bloques sin cemento (bloques N) experimentaron una pérdida de material que excede los límites permisibles. En contraste, todos los demás bloques (bloques P, S, T y U) fueron considerados aptos, indicando que la inclusión



de cemento mejora significativamente la resistencia de los bloques de tierra frente a este tipo de erosión. Esto los hace idóneos para su aplicación en exteriores, especialmente en situaciones donde se pueden producir escorrentías debido a la lluvia.

4. En lo que respecta a la resistencia a la erosión por ciclos de congelamiento y deshielo, se encontró que los bloques sin cemento (bloques N) y los bloques con un 5% de cemento (bloques P) mostraron susceptibilidad al deterioro durante los ciclos de congelamiento. Los bloques con un 10% de cemento (bloques S) exhibieron ciertos casos de susceptibilidad y otros no, mientras que los bloques con un 15% de cemento (bloques T) y un 20% de cemento (bloques U) no mostraron esta susceptibilidad. Estos resultados indican que la adición de cemento, particularmente a partir del 15% de contenido de cemento añadido, proporciona una mayor resistencia al daño causado por los ciclos de congelamiento, lo que los hace adecuados para su uso en exteriores, donde se enfrentan condiciones climáticas adversas.
5. En relación con la capacidad de absorción capilar, se observó que los bloques sin cemento (bloques N) exhibieron una alta capacidad de absorción de agua. Los bloques con un 5% de cemento (bloques P) y un 10% de cemento (bloques S) mostraron una capacidad de absorción capilar moderada, mientras que los bloques con un 15% (bloques T) y un 20% (bloques U) de cemento presentaron una capacidad de absorción capilar baja, lo que se considera ideal para evitar problemas relacionados con la humedad. Además, esto los hace apropiados para la construcción de muros, ya que no absorben agua del mortero utilizado para unir los bloques.



6. En relación con la capacidad de absorción por inmersión total, se obtuvieron resultados diversos en función del porcentaje de cemento en los bloques. Los bloques sin cemento (bloques N) se desintegraron por completo durante la inmersión. Los bloques con un 5% de cemento (bloques P) se fracturaron, lo que indica una menor resistencia estructural. Los bloques con un 10% de cemento (bloques S) presentaron una absorción de agua del 15%, los bloques con un 15% (bloques T) mostraron una absorción del 20.61%, y los bloques con un 20% (bloques U) exhibieron una absorción del 22.81%. Estos resultados indican que a medida que aumenta el contenido de cemento en los bloques, su capacidad de absorción de agua también aumenta. Sin embargo, se debe tener precaución con el porcentaje de cemento añadido para evitar la saturación excesiva y la transmisión de humedad. En este sentido, los bloques con un 15% de cemento (bloques T) se consideran ideales para resistir inundaciones.
7. De todas las comparaciones realizadas, se concluye que el porcentaje óptimo de cemento que cumple con todos los criterios de aceptación establecidos es del 15%. Los bloques de tierra elaborados con este porcentaje demostraron un rendimiento sobresaliente en términos de resistencia a la erosión y capacidad de absorción. Estos bloques superaron los ensayos de erosión, tanto por pulverización como por caída de agua, y demostraron una resistencia adecuada frente a los ciclos de congelamiento. Además, exhibieron una capacidad de absorción de agua baja, lo que indica una buena resistencia a la humedad y minimiza los problemas asociados.

De manera general se concluye que la adición de cemento como estabilizante en los bloques de tierra fabricados con suelos del centro



poblado de Salcedo influye significativamente en la resistencia a la erosión y la capacidad de absorción solo cuando el contenido de cemento es mayor a 10% y menor a 20%.



VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda investigar y ajustar la proporción de mezcla de los suelos primarios S-01 y S-02 para obtener un suelo compuesto (S-03) que cumpla con los parámetros requeridos sin requerir una alta adición de cemento. Este enfoque puede no solo reducir costos, sino también mejorar la sostenibilidad del proceso de fabricación de bloques de tierra. Además del cemento, se podría investigar y evaluar la efectividad de otros estabilizantes naturales o químicos que puedan mejorar las propiedades de los suelos primarios.
2. En lo que respecta a la Resistencia a la erosión por pulverizado se recomienda realizar un estudio detallado sobre cómo el proceso de secado de los bloques afecta a su resistencia, esto permitirá optimizar aún más la fabricación de bloques.
3. En lo que respecta a la Resistencia a la erosión por caída de agua se recomienda investigar y desarrollar tecnologías de protección superficial. Esto podría incluir el uso de aditivos orgánicos o geotextiles, brindando opciones más sostenibles y efectivas.
4. En lo que respecta a la Resistencia al congelamiento y deshielo se recomienda investigar y/o proponer metodologías alternas para evaluarla.
5. En lo que respecta a la Capacidad de absorción capilar se recomienda investigar técnicas adicionales o sistemas para reducir la absorción de agua en los bloques de tierra. Esto es especialmente relevante para aplicaciones donde la humedad es un problema crítico, como la construcción de muros.
6. En lo que respecta a la Capacidad de absorción por inmersión se recomienda investigar sistemas de protección o el uso adicional de un aditivo que reduzca esta capacidad sobre todo en zonas con riesgo de inundación.



7. Respecto a la cantidad de cemento necesario para mejorar las propiedades físicas de bloques de tierra se recomienda investigar y/o proponer parámetros en base al análisis granulométrico del suelo a utilizarse para la fabricación de bloques de tierra.

Además queda pendiente la evaluación del comportamiento mecánico de los bloques estabilizados y muros elaborados con estos, a solicitaciones como son: compresión, flexión y tracción. De donde se propone las siguientes futuras líneas de investigación:

- a. Evaluación de las propiedades mecánicas de bloques estabilizados con cemento.
- b. Estudio de la relación entre la condición de resistencia a la erosión y la resistencia mecánica de bloques de tierra.
- c. Relación de la capacidad de absorción y la resistencia mecánica de bloques estabilizados con cemento.
- d. Diseño de mezcla suelo-cemento para la elaboración de bloques de tierra.
- e. Estabilidad estructural de viviendas fabricadas con bloques estabilizados con cemento.
- f. Confort térmico, captación y conservación de energía calorífica en ambientes fabricados con bloques estabilizados con cemento.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto Castillo, F. (1994). *Tecnología del concreto*. Lima, Perú: San Marcos. ISBN: 9786123154639
- Aguilar, B. (2008). *Construir con adobe. Fundamentos, reparación de daños y diseño contemporáneo*. Mexico: Editorial Trillas. ISBN: 9789682479328
- Ahmed, A., & Ugai, K. (2011). Environmental effects on durability of soil stabilized with recycled gypsum. *Cold Regions Science and Technology* 66(2):84-92.
<https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2010.12.004>
- Anónimo. (s.f.). *Pro-Road Global*. Retrieved 20 de Julio de 2023, from <https://www.proroadglobal.com/estabilizacion-de-suelos/>
- Arteaga, K. T., Medina, O. H., & Gutiérrez, Ó. J. (Julio-Diciembre de 2011). Bloque de tierra comprimida como material constructivo. *Revista Facultad de Ingeniería, UPTC*, Vol. 20(No. 30), pp. 55-68.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=413940770005>
- Barranzuela, J. (2014). *Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la región Piura*. [Tesis de grado, Universidad de Piura]. Repositorio Institucional.
https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1755/ICI_199.pdf
- Cabrera, S., & González, A. (2021). *Resistencia a Erosión Húmeda en Bloques de Tierra Comprimida. Evaluación de Diferentes Métodos para el Análisis de Resultados*. *Revista Tecnología y Ciencia - Universidad Tecnológica Nacional*.
<https://doi.org/10.33414/rtyc.40.49-62.2021> - ISSN 1666-6933
- Calderon, J. C. (2013). *Tecnologías para la fabricación de bloques de tierra de gran resistencia*. [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Catalunya]. Repositorio Institucional. <https://core.ac.uk/download/pdf/41810821.pdf>



- Campana, C. (2000). *Tecnologías constructivas de tierra en la costa norte Prehispánica*. La Libertad, Trujillo, Perú: Instituto Nacional de Cultura.
<http://repositorio.cultura.gob.pe/handle/CULTURA/41>
- Carcedo, M. (2012). *Resistencia a compresión de bloques de tierra comprimida estabilizada con materiales de sílice de diferente tamaño de partícula*. [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio Institucional.
<https://oa.upm.es/10672/>
- Castilla, F. J. (2004). *Estabilización de morteros de barro para la protección de muros de tierra*. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio Institucional.
https://oa.upm.es/8826/4/FRANCISCO_JAVIER_CASTILLA_PASCUAL_II.pdf
- Catalán, R. (2018). *Construcción con tierra: Reinterpretación de una tradición*. [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio Institucional.
https://oa.upm.es/51489/1/TFG_Catalan_Diez_Raquel.pdf
- Chuqui, W., & Challco, R. (2018). *Evaluación de la propiedades mecánicas de muros tipo Tapial para viviendas económicas con presencia de hiladas de mortero cemento - arena*. [Tesis de grado, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cuzco]. Repositorio Institucional.
https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/3489/253T20180118_TC.pdf
- Cid Falceto, J. J. (2012). *Durabilidad de los bloques de tierra comprimida: Evaluación y recomendaciones para la normalización de los ensayos de erosión y absorción*. [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio Institucional.
https://oa.upm.es/14647/2/JAIME_JESUS_CID_FALCETO.pdf



- Cuitiño-Rosales, M. G., Rotondaro, R., & Esteves, A. (2020). *Análisis comparativo de aspectos térmicos y resistencias mecánicas de los materiales y los elementos de la construcción con tierra*. Revista de Arquitectura (Bogotá), 138-151.
<https://doi.org/https://doi.org/10.14718/RevArq.2020.2348>
- Delgado, J. J., & Niño, Y. S. (2019). *Diseño de una vivienda de interés social con adobe de suelo, cemento y goma de tuna en Vinchamarca*. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Santa]. Repositorio Institucional, Santa, Ancash.
<https://repositorio.uns.edu.pe/browse?type=subject&value=Vivienda+de+inter%C3%A9s+social>
- Escalante Moscoso, J. (1993). *Arquitectura prehispánica en los Andes bolivianos* (2a ed.). La Paz, Bolivia: Editorial LAIKA.
- Fitzpatrick, E. (1993). *Suelos : Su formación, clasificación y distribución* (Vol. 5ta Reimpresión). Mexico: Compañía editorial continental S.A. de C.V.
- Gamio, A. L. (2018). *Análisis de las características mecánicas y físicas de la unidad de construcción ancestral, denominada Putuco, situada en el Altiplano Peruano*. [Tesis de fin de grado, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio Institucional.
https://oa.upm.es/49656/7/TM_ANDREA_LISSY_GAMIO_FELIPA.pdf
- García Huaynacaqui, A. W. (2018). *Resistencia a la compresión de una unidad de albañilería de adobe, sustituyendo el 3%, 6%, 9% y 12% de tierra por cal y cemento portland tipo I*. [Tesis de grado, Universidad San Pedro]. Repositorio Institucional, Huaraz.
<http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/5473>
- García Valderrama, H. (2020). *Análisis del comportamiento físico - mecánico del adobe estabilizado con cemento Portland tipo I*. [Tesis de grado, Universidad César



- Vallejo]. Repositorio Institucional, La Libertad.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/76553>
- Gatti, F. (2012). *Arquitectura y construcción en tierra: Estudio comparativo de las técnicas contemporáneas en tierra*. [Tesis de master, Universidad Politécnica de Catalunya]. Repositorio Institucional.
<https://core.ac.uk/download/pdf/41807254.pdf>
- Guerrero, L. F. (2002). Deterioro del patrimonio edificado en adobe. *Revista Diseño y Sociedad*(13), 4-11.
- Herbas, J. A., & Nolasco, O. (2021). *Influencia del cemento, cal y viruta de eucalipto en la resistencia a compresión y flexión del adobe estabilizado*. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional, Andahuaylas.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60189>
- Hérrnandez, S. (2019). *Degradación y durabilidad de materiales y componentes constructivos*. Editorial Cigome S.A. de C.V.
<http://hdl.handle.net/20.500.11799/100158>
- Holgado, M. I., & Prado, R. (2015). *Diseño, Elaboracion y Control de Ladrillos Suelo-Cemento para Albañilería No Estructural Como Alternativa para la construcción*. [Tesis de grado, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio Institucional, Arequipa. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/2156>
- IECA, ANCADE, & ANTER. (2008). *Manual de estabilización de suelos con cemento o cal*. (I. E. aplicaciones, Ed.) ISBN: 9788489702233
- INEI. (2018). *Características de las viviendas particulares y los hogares*. Perú: Censos Nacionales de Población y Vivienda 2017, XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas.



- Kerali, A. G. (2005). *In-service deterioration of compressed earth blocks*. Geotechnical & Geological Engineering volume 23, pp. 461– 468.
<https://doi.org/10.1007/s10706-004-5116-1>
- Macías, A. (2017). *Evolución del comportamiento mecánico de bloques y baldosas de tierra comprimida estabilizada sometidas a heladicidad*. [Tesis de grado, Universidad de Sevilla]. Escuela Técnica Superior de Arquitectura.
<https://idus.us.es/handle/11441/66763>
- Marussii, F. (1999). *Arquitectura vernacular los putucos de Puno*. Lima: Universidad Ricardo Palma, Centro de Investigación.
- Mchenry, P. G. (1996). *Adobe: Cómo construir fácilmente*. Mexico: Editorial Trillas.
ISBN: 9789682451317
- Medina, O. (2020). *Diseño de bloque de tierra comprimida estabilizado con cemento como material sostenible para el uso de construcción de viviendas rurales*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio Institucional, San Martín. <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3868>
- Minke, G. (2005). *Manual de construcción en tierra*. Fin de siglo. http://d1.capsf.ar/wp-content/uploads/sites/3/2021/10/Manual_de_construccion_en_tierra_-_Gernot_Minke_-1.pdf
- Nureña, J. F. (2017). *Influencia del estabilizante de cemento y tipos de suelos sobre la resistencia y durabilidad de un adobe constructivo*. [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional, Trujillo.
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/11168>
- Pantoja, P. A. (2022). *Comparación técnica, económica y ambiental entre geomembrana y arcilla para impermeabilizar la capa de cobertura final del relleno sanitario de*



- Tulcán*. [Tesis de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas]. Repositorio Institucional, Sangolquí. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/28515>
- Pinos, A. V. (2015). *Evaluación estructural del efecto del mortero de pega sobre probetas de muro de ladrillo de tierra compactada bajo esfuerzos de compresión axial*. [Tesis de Maestría, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional, Cuenca, Ecuador. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/21772>
- Prieto, V., & Carrillo, S. (1978). *Vivienda campesina en México*. México : Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. http://primo.getty.edu/GRI:GETTY_ALMA21123133580001551
- Ramírez, M. A. (2011). *Deterioro y estabilización del adobe*. México: Instituto Politécnico Nacional de Tecamachalco.
- Rhodes, D. (1989). *Arcilla y vidriado para el ceramista*. España Ediciones CEAC. ISBN: 9788432985577
- Rico, A., & Del Castillo, H. (1984). *La Ingeniería de Suelos en las vías terrestres* (2da ed.). Mexico: LIMUSA.
- Rios, L. N. (2019). *Influencia del cemento en adobes ecológicos prensados sobre la compresión y durabilidad*. [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional, Trujillo. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/27228>
- Rivera-Salcedo, H., Valderrama-Gutiérrez, O. M., Daza-Barrera, Á. A., & Plazas-Jaimes, G. S. (2020). *Adobe como saber ancestral usado en construcciones autóctonas de Pore y Nunchía, Casanare*. *Revista de Arquitectura (Colombia)*, vol. 23(núm. 1), pp. 74-85. <https://doi.org/https://doi.org/10.14718/RevArq.2021.2762>
- Rivva López, J. (2010). *Materiales para el concreto* (2a ed.). Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia - ICG.



- Rodríguez, S. A. (2021). *Evaluación de las propiedades mecánicas de ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida elaborados con arcillas de la ciudad de Puno*. [Tesis de grado. Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional, Puno. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/17304>
- Salas, L. A. (2013). *Geomecánica básica: Fundamentos sobre mecánica de suelo*. Costa Rica: Editorial UCR. ISBN 9789968463645
- Sánchez, D. A. (2008). *Variación de temperatura en espacios arquitectónicos por transferencia de energía calorífica a través de muros de adobe*. [Tesis de maestría, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad de Tecamachalco]. Repositorio Institucional, Mexico. <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/29430>
- Sánchez, M. A. (2020). *Análisis comparativo de adobe convencional y adobe estabilizado con cemento con fines constructivos*. [Tesis de grado, Universidad Señor de Sipán]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/7534>
- Toirac, J. (2008). El suelo-cemento como material de construcción. *Ciencia y Sociedad*, Vol. 33(No. 4), pp. 520-571.
- Torrijo, F. J., & Cortés, R. (2007). *Los suelos y las rocas en ingeniería geológica: Herramientas de estudio*. España: Universidad Politécnica de Valencia. Editorial UPV. ISBN 9788483630976
- Valdez, B. (1994). *Cerámicas y Refractarios*. Editorial A&b S.A Lima-Perú Consejo Nacional.
- Vilcapaza, M. O. (2017). *Elaboración de unidades de albañilería hechas a base de suelo-cemento con materia prima proveniente del AA.HH. Alexander Von Humboldt*. [Tesis de grado. Universidad Nacional San Agustín]. Repositorio Institucional,



Arequipa, Perú. <https://repositorio.unsa.edu.pe/bitstreams/5a349044-b75e-4cbb-b3f2-30551d4a84e3/download>

Vitulas, Y. T. (2021). *Estudio de la ch'ampa como tecnología tradicional y medioambiental en la construcción de viviendas rurales tipo Putucos, región Puno*. [Tesis de maestría. Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional, Puno, Perú.
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/17513>

Vitulas, Y. T., & Reynoso, K. B. (1994). *Etnoingeniería de los Putucos: El predominio de la sabiduría Colla*. Puno. Universidad Nacional del Altiplano.



ANEXOS

ANEXO A: Reporte de resultados de ensayos de laboratorios de suelos.

Anexo A-1: Certificados de clasificación de suelos de Laboratorio de suelos.

Anexo A-2: Certificados de calibración de equipos.

ANEXO B: Fichas fotográficas de ensayos de erosión y absorción.

Anexo B-1: Fichas de control fotográfico de ensayo de erosión por pulverizado.

Anexo B-2: Fichas de control fotográfico de ensayo de caída de agua.

Anexo B-3: Fichas de control fotográfico de ensayo de congelamiento.

Anexo B-4: Fichas de control fotográfico de absorción capilar.

ANEXO C: Descripción de ensayos y equipos utilizados.



ACTA DE DICTAMEN DE REVISIÓN DE BORRADOR DE TESIS

Mediante reunión presencial en la Sala de Docentes de la EPIC, siendo las 9:05a.m. horas del día 26 de Septiembre del año 2023, se reunieron los miembros del Jurado Dictaminador:

PRESIDENTE	:	Ing. Yasmani Teófilo VITULAS QUILLE
1er MIEMBRO	:	Ing. Fausto Ponciano MAMANI MAMANI
2do MIEMBRO	:	Ing. Samuel LAURA HUANCA
3er MIEMBRO	:	Ing. Silvia Leonor INGALUQUE ARAPA

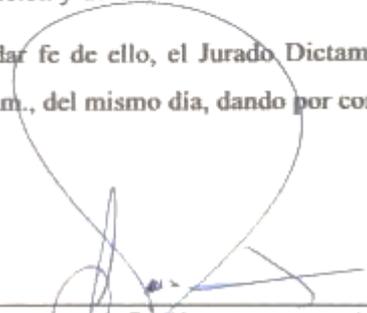
Quiénes revisaron el borrador de tesis intitulado: "INFLUENCIA DE LA CANTIDAD DE CEMENTO ADICIONADO COMO ESTABILIZANTE EN LA RESISTENCIA A LA EROSIÓN Y LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE BLOQUES DE TIERRA FABRICADOS CON SUELOS DEL CENTRO POBLADO DE SALCEDO, 2022-2023" con Código de Proyecto N° 2021-2468.

Presentado por el bachiller: **GARY ANATOLY GUTIERREZ VILLEGAS.**

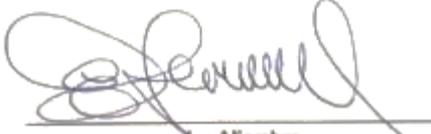
El cual ha sido debidamente evaluado de acuerdo al Reglamento de Titulaciones y Normas de la UNA Puno, habiéndose emitido las observaciones por parte de los miembros del jurado y siendo estas absueltas en su oportunidad, y en mérito de lo cual el Jurado Dictaminador ha considerado la **APROBACIÓN** del mencionado borrador de Tesis.

Por lo que, el Jurado Dictaminador previa coordinación propone ejecutar el Acto de Sustentación y Defensa del bachiller para el día **Lunes 16 de Octubre del año 2023** a horas 9:00 am para la exposición y defensa de la tesis en forma presencial.

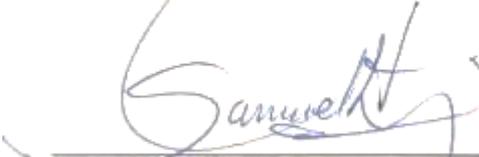
Para dar fe de ello, el Jurado Dictaminador, firma digitalmente el presente Acta, siendo las 9:30 am., del mismo día, dando por concluida la reunión programada.



Presidente
Ing. Yasmani T. Vitulas Quille
FIRMA



1er. Miembro
Ing. Fausto Ponciano Mamani Mamani
FIRMA



2do. Miembro
Ing. Samuel Laura Huanca
FIRMA



3er. Miembro - Director
Ing. Silvia Leonor Ingaluque Arapa
FIRMA



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Gary Anatoly Gutiérrez Villegas
identificado con DNI 455927199 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 para la obtención de Grado

Título Profesional denominado: Influencia de la cantidad de cemento adicionado

como estabilizante en la Resistencia a la tracción y la Capacidad de Abstracción de
Bloques de tierra fabricados con suelos del centro Poblado de Salcedo, 2022-2023"

"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 tuyas 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 06 de Octubre del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Gary Anatóly Gutiérrez Villegas, identificado con DNI 45592799 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 para la obtención de Grado

Título Profesional denominado: Influencia de la cantidad de cemento adicionado como estabilizante en la Resistencia a la tracción y la capacidad de absorción de Bloques de tierra fabricados con suelos del centro poblado de Salcedo, 2022-2023

"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.

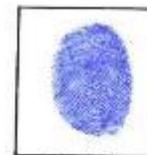
Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

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 06 de Octubre del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella