

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
ESCUELA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN GEOTECNIA



**ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES EN EDIFICACIONES
POR RIESGO A INUNDACIÓN EN ZONAS CRÍTICAS DE
TACNA-PERÚ, 2024**

TESIS

Presentada por:

Bach. Henry Jesús Chipana Poma
ORCID: 0009-0003-6561-0344

Asesor:

Dr. Samuel Huaquisto Cáceres
ORCID: 0000-0002-9294-6359

Para obtener el grado académico de:
MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN GEOTECNIA

TACNA – PERÚ
2026

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
ESCUELA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN GEOTECNIA

Tesis

“ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES EN EDIFICACIONES
POR RIESGO A INUNDACIÓN EN ZONAS CRÍTICAS DE TACNA-PERÚ,
2024”

Presentada por:

Bach. Henry Jesús Chipana Poma

Tesis sustentada y aprobada el 13 de enero de 2026; ante el siguiente jurado
examinador:

PRESIDENTE : Dr. Anibal Juan Espinoza Aranciaga

SECRETARIO : Dr. Pedro Valerio Maquera Cruz

VOCAL : Dr. Dennys Geovanni Calderón Paniagua

ASESOR : Dr. Samuel Huaquisto Cáceres

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Henry Jesús Chipana Poma, en calidad de: tesista de la Maestría en Ingeniería Civil con mención en Geotecnia de la Escuela de Postgrado de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 43021454

Soy autor de la tesis titulada:

ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES EN EDIFICACIONES POR RIESGO A INUNDACIÓN EN ZONAS CRÍTICAS DE TACNA-PERÚ, 2024, con asesor: Dr. Samuel Huaquisto Cáceres.

DECLARO BAJO JURAMENTO

Ser el único autor del texto entregado para obtener el grado académico de Maestro en Ingeniería Civil con mención en Geotecnia, y que tal texto no ha sido entregado ni total ni parcialmente para obtención de un grado académico en ninguna otra universidad o instituto, ni ha sido publicado anteriormente para cualquier otro fin.

Así mismo, declaro no haber trasgredido ninguna norma universitaria con respecto al plagio ni a las leyes establecidas que protegen la propiedad intelectual.

Declaro, que después de la revisión de la tesis con el software Turnitin se declara 04 % de similitud, además que el archivo entregado en formato PDF corresponde exactamente al texto digital que presento junto al mismo.


Por último, declaro que para la recopilación de datos se ha solicitado la autorización respectiva a la empresa u organización, evidenciándose que la información presentada es real y soy conocedor de las sanciones penales en caso de infringir las leyes del plagio y de falsa declaración, y que firmo la presente con pleno uso de mis facultades y asumiendo todas las responsabilidades de ella derivada.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del

contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Lugar y fecha: Tacna, 13 de enero del 2026



Henry Jesús Chipana Poma

DNI 43021454

DEDICATORIA

A mi papá Teodoro y a mi mamá Dionicia , cuyo amor, sabiduría y ejemplo de vida me han dado la fuerza para alcanzar mis sueños. Gracias por ser mi guía y mi inspiración constante.

A mi hermana Irene, por su apoyo incondicional durante mi formación universitaria, de posgrado y en los momentos más difíciles de mi vida.

Y a mis hijos Estrellita, Benjamín y Gabriel, mi razón de ser y el motor que me impulsa a dar lo mejor de mí cada día.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Privada de Tacna , por brindarme la oportunidad de formar parte de su prestigiosa comunidad académica, y por ofrecerme experiencias enriquecedoras a través de la Escuela de Postgrado.

A los jurados y a mi asesor de tesis Dr. Samuel , por su valioso apoyo, por sus críticas constructivas y por su orientación experta, elementos fundamentales para el desarrollo y la culminación de esta investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTOS.....	VI
INDICE DE CONTENIDOS.....	VII
INDICE DE TABLAS.....	XI
INDICE DE FIGURAS.....	XIV
RESUMEN.....	XVIII
ABSTRACT.....	XIX
1 CAPÍTULO I: EL PROBLEMA.....	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.2.1 Pregunta principal	4
1.2.2 Interrogantes secundarias	4
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
1.4.1 Objetivo general.....	6
1.4.2 Objetivos específicos	7
2 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	8
2.2 FUNDAMENTO TEÓRICO.....	9
2.2.1 Análisis Granulométrico	9
2.2.2 Gravedad específica de los sólidos	11
2.2.3 Límites de Atterberg	11
2.2.4 Compresión triaxial.....	12
2.2.5 Succión y estado tensional de suelos no saturados	13
2.2.6 Inundaciones	13

2.2.7	Tipo de Inundación según su origen	13
2.2.8	Peligro	14
2.2.9	Vulnerabilidad.....	14
2.2.10	Riesgo.....	15
2.2.11	Asentamientos	16
2.2.12	Cargas actuantes.....	19
2.2.13	Fundamentos para determinar asentamientos diferenciales	19
2.3	DEFINICIÓN DE CONCEPTOS.....	21
2.3.1	Inundaciones	21
2.3.2	Vulnerabilidad.....	21
2.3.3	Peligro	22
2.3.4	Riesgo.....	22
2.3.5	Asentamiento Diferencial.....	22
2.3.6	Carga	22
3	CAPÍTULO III: ENFOQUE METODOLÓGICO	23
3.1	INTRODUCCIÓN DEL CAPÍTULO	23
3.2	HIPÓTESIS	23
3.2.1	Hipótesis general.....	23
3.2.2	Hipótesis específicas	23
3.3	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	24
3.3.1	Variable Independiente	24
3.3.2	La variable dependiente	24
3.4	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	25
3.5	NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	25
3.6	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	26

3.7	ÁMBITO Y TIEMPO SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN	26
3.8	POBLACIÓN Y MUESTRA	27
3.8.1	Unidad de estudio.....	27
3.8.2	Población.....	27
3.8.3	Muestra.....	27
3.9	PROCEDIMIENTO, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	28
3.9.1	Procedimiento	28
3.9.2	Técnicas.....	30
3.9.3	Instrumentos.....	30
3.10	CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO.....	32
4	CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	33
4.1	DETALLE DEL TRABAJO DE CAMPO.....	33
4.1.1	Localización del área de estudio	33
4.1.2	Ubicación Hidrográfica.....	34
4.1.3	Vías de accesos	35
4.1.4	Características Sociales.....	36
4.1.5	caracterización física del área de estudio.....	45
4.1.6	Simulación Hidráulica IBER.....	68
4.1.7	Determinación del peligro.....	75
4.2	DISEÑO DE LA PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	76
4.2.1	Estudio de Mecánica de Suelos.....	76
4.2.2	Ensayo de Succión Matricial del suelo	91
4.2.3	Estimación de las propiedades del suelo.....	101
4.2.4	Mapeo Sismica.....	105
4.2.5	Metrado de cargas	109

4.3	RESULTADOS	116
4.3.1	Niveles de Peligro	116
4.3.2	Niveles de Vulnerabilidad.....	119
4.3.3	Niveles de Riesgos	124
4.3.4	Calculo de asentamientos por el método elástico	131
4.4	PRUEBA ESTADÍSTICA.....	159
4.5	COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS.....	159
4.6	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	161
5	CONCLUSIONES	166
5.1	Introducción del capítulo.....	166
5.2	Conclusiones según objetivos específicos.....	167
5.3	Conclusión general del capítulo	168
6	RECOMENDACIONES	168
	APÉNDICE.....	176

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Simbología del sistema de clasificación de suelos según el Sistema unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).....	10
Tabla 2 Técnicas para determinar los asentamientos.....	18
Tabla 3 Variable, dimensiones e indicadores.....	25
Tabla 4 Características demográficas de la Población de la zona de estudio,	37
Tabla 5 Población del área de estudio clasificada por grupos etario	38
Tabla 6 Categoría de Vivienda.....	39
Tabla 7 Material Principal de las Paredes de las Viviendas.....	40
Tabla 8 Material Principal Utilizado en los Pisos de las Viviendas.....	41
Tabla 9 Suministro de Agua potable en Viviendas	42
Tabla 10 Servicios de Desagüe	43
Tabla 11 Infraestructura de Centros Educativos	45
Tabla 12 Valor máximo de lluvia en 24 horas por año de MAP-Jorge Basadre..	56
Tabla 13 Precipitación máxima anual en 24 horas de CP-Calana.....	57
Tabla 14 Precipitación máxima en 24 hrs(mm) estimada por tiempo de retorno en las estaciones Calana y Jorge Basadre	58
Tabla 15 Información red de estaciones para Proyecto.....	59
Tabla 16 Estadísticos calculados de la prueba KS	63
Tabla 17 Estación MAP-Jorge Basadre: Umbrales calculados de las precipitaciones diarias.....	64
Tabla 18 Rangos de pendientes del terreno del ámbito de estudio	65
Tabla 19 Estaciones seleccionadas: Precipitaciones máximas en 24 horas por período de retorno	67
Tabla 20 Microcuencas: caudales de las descargas para los tiempos de retorno .	67
Tabla 21 Exploración geotécnica para el análisis de asentamientos diferenciales en zonas críticas de inundación, Alto de la Alianza - Tacna	77
Tabla 22 Contenido de humedad de las muestras	80
Tabla 23 Análisis granulométrico de las muestras.....	82
Tabla 24 Límites de consistencia de las muestras.....	83

Tabla 25 Resultados del ensayo de Proctor Modificado	84
Tabla 26 Resultados del ensayo de triaxial consolidado no drenado (CU).....	86
Tabla 27 Resultados del ensayo de Colapso	87
Tabla 28 Tabla de Clasificación del índice de colapsabilidad	88
Tabla 29 Técnicas para medición de succión en suelos	91
Tabla 30 Resultados experimentales para muestras para el ensayo de succión Matricial por el método del papel filtro.	98
Tabla 31 Factor de Zona Z.....	106
Tabla 32 Perfiles del suelo y características - Perú.....	107
Tabla 33 Categoría de las Edificaciones y Factor de Uso – Perú	108
Tabla 34 Peso Sísmico - Perú.....	108
Tabla 35 Cálculo de la Carga Muerta y Viva del Área Tributaria de la Columna C1	112
Tabla 36 <i>Resumen de metrados de carga por área tributaria Vivienda Ubicado en el A.H. Eloy G Ureta</i>	113
Tabla 37 Peso de la estructura por niveles	114
Tabla 38 Pesos estructurales para análisis sísmico por planta.	115
Tabla 39 Cargas de servicio en la base de las zapatas Eje 1	115
Tabla 40 <i>Cargas de servicio en la base de las zapatas Eje 2</i>	115
Tabla 41 Niveles de peligro	116
Tabla 42 Matriz de peligro	117
Tabla 43 Calculo de Rangos de fragilidad social y rangos de la Vulnerabilidad Social.....	120
Tabla 44: Calculo de Rangos de la Fragilidad Económica	120
Tabla 45 Indicadores para Calcular la Resiliencia Económica	120
Tabla 46: Valoración de la vulnerabilidad	121
Tabla 47 Niveles de vulnerabilidad.....	121
Tabla 48 Estratificación de la Vulnerabilidad.....	122
Tabla 49 Calculo de Riesgos en el ámbito de estudio.....	125
Tabla 50 Niveles de Riesgo según rango de valores.....	125
Tabla 51 Matriz de riesgo en función del valor de peligro y vulnerabilidad. ...	126

Tabla 52 Descripción de los niveles de riesgo en función del rango de valores.	127
Tabla 53 Resultados de evaluación de riesgos por asentamiento humano Área de estudio: Distrito Alto de la Alianza, Tacna - 2024.....	130
Tabla 54 Resultados del cálculo de Esat a partir de Eunsat y succión matricial	135
Tabla 55 Variación del módulo de elasticidad del suelo (E_{unsat}) en función de la succión matricial	136
Tabla 56 Dimensiones de las zapatas en la vivienda utilizada para el presente estudio	139
Tabla 57 Variación del módulo de elasticidad en condición no saturada (E_{unsat}) en función de la succión matricial para el análisis de asentamientos diferenciales.	143
Tabla 58 Parámetros de entrada para el cálculo de asentamiento (Bowles, 1987)	145
Tabla 59 Los resultados correspondientes a los asentamientos en las zapatas de la vivienda localizada en Eloy G. Ureta en condiciones de saturación residual, Succión matricia ($u_a - u_w$) = 0 Kpa, $E = 38.65 \text{ kg/cm}^2$	145
Tabla 60 Los resultados correspondientes a los asentamientos en las zapatas de la vivienda localizada en Eloy G. en condiciones parcialmente saturado,, Succión matricia ($u_a - u_w$) = 31.18 Kpa, $E = 101.48 \text{ kg/cm}^2$	147
Tabla 61 Los resultados correspondientes a los asentamientos en las zapatas de la vivienda localizada en Eloy G. Ureta en condiciones de saturación , Succión matricia ($u_a - u_w$) = 143.88 Kpa, $E = 106.55 \text{ kg/cm}^2$	149
Tabla 62 Resumen de asentamientos diferenciales calculados	154
Tabla 63 Comparación de Asentamientos Diferenciales Máximos con los Límites Permitidos de Distorsión Angular según la NTE E.050	155
Tabla 64 Comparación de asentamientos elásticos por ubicación de zapata en función de la succión matricial	156
Tabla 65 Resumen de escenarios de succión matricial considerados en el análisis	162

Tabla 66 Relación entre succión matricial, módulo de elasticidad y asentamiento máximo en suelo de ceniza volcánica	165
--	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Matriz para definir los escenarios de riesgo ante inundaciones	16
Figura 2 Ciclo hidrológico y su influencia en la cimentación.(Mahmoudabadi & Ravichandran, 2018)	16
Figura 3 Asentamientos diferenciales de cimentaciones superficiales	18
Figura 4 Mapa de ubicación del ámbito de estudio	34
Figura 5 Muestra la delimitación de las UH que desembocan en la ubicación del área de estudio.....	35
Figura 6 Mapa de Vías de acceso al ámbito de estudio	36
Figura 7 Población total de la zona evaluada según sexo	37
Figura 8 Distribución de la Población por Rangos de Edad	38
Figura 9 Tipo de vivienda en el ámbito de estudio	40
Figura 10 Material predominante de paredes.....	41
Figura 11 Material predominante en pisos.....	42
Figura 12 Abastecimiento de agua.....	43
Figura 13 Servicio higiénico	44
Figura 14 Afloramiento de tobas soldadas de la Formación Huaylillas Superior	46
Figura 15 Contacto en toba y el depósito fluvioaluvial en núcleos de perforación DDH	47
Figura 16 Muestras de toba lapilli no soldada obtenido mediante sondaje diamantino.....	48
Figura 17 Fotografía de Calicata CB-01 mostrando Corte profundo durante excavación en suelo de ceniza volcánica en la Av. Jorge Basadre, Alto de la Alianza	49
Figura 18 Mapa geológico del ámbito de estudio en el distrito de Alto de la Alianza, Tacna.....	50

Figura 19 Zona de estudio y unidades geomorfológicas superpuestas sobre imagen satelital de Google Earth	53
Figura 20 Mapa geomorfológico del ámbito de estudio en el distrito de Alto de la Alianza, Tacna.....	54
Figura 21 Mapa de precipitación normal acumulada (septiembre–mayo) en el distrito de Alto de la Alianza, Tacna.....	55
Figura 22 Precipitación máxima anual en 24 horas registrada en la estación Jorge Basadre (1993–2023)	57
Figura 23 Precipitación máxima anual en 24 horas registrada en la estación Calana.....	58
Figura 24 Subcuencas urbanas y Ubicación red estaciones para el estudio.....	60
Figura 25 Boxplot de las precipitaciones máximas anual en 24 horas de las estaciones	62
Figura 26 Mapa de pendiente del ámbito de estudio	66
Figura 27 Construcción de malla Iber.....	71
Figura 28 Esquema del proceso de modelado hidráulico en el software Iber.....	71
Figura 29 Distribución espacial del calado (m) en el área de estudio tras simulación hidráulica en IBER	72
Figura 30 Evidencia de inundación superficial en la zona de estudio asociada al evento pluvial del 21 de febrero de 2020 en zonas críticas del distrito de Alto de la Alianza, Tacna.....	73
Figura 31 Mapa de Inundación superficial generado a partir del modelado hidráulico en el ámbito crítico de Alto de la Alianza, Tacna.....	74
Figura 32 Metodología general para determinar el nivel de peligro.....	76
Figura 33 Ubicación de puntos de exploración geotécnica y vivienda analizada en el área de estudio	78
Figura 34 Perfil estratigráfico N–S del subsuelo en la zona de estudio – Alto de la Alianza, Tacna.....	79
Figura 35 Esquema del comportamiento de tensión versus asentamiento de la prueba de Placa de carga	89

Figura 36 Relación tensión–asentamiento en dos ciclos de carga aplicados al suelo de fundación.....	90
Figura 37 Parámetros geotécnicos derivados del ensayo de carga con placa para ambos ciclos de carga.....	90
Figura 38 Curvas de calibración del contenido de agua de succión mediante el método del papel de filtro.	92
Figura 39 Esquema experimental del ensayo de papel filtro para medición de succión matricial	93
Figura 40 Preparación de muestras para el análisis de succión matricial mediante el método del papel filtro	94
Figura 41 Regresión empírica entre succión matricial y el contenido de humedad del papel filtro, basada en los datos experimentales obtenidos en laboratorio	97
Figura 42 Curva característica de retención de humedad ajustada con los modelos de Brooks & Corey, van Genuchten y Fredlund & Xing	100
Figura 43 Parámetros de ajuste de los modelos de retención de humedad aplicados a la ceniza volcánica	101
Figura 44 Curva característica suelo-agua (SWCC) ajustada con el modelo de van Genuchten para ceniza volcánica	102
Figura 45 Estados de saturación del suelo en función de la succión matricial .	103
Figura 46 Curva característica suelo-agua ajustada con el modelo de Van Genuchten para muestras de ceniza volcánica.	104
Figura 47 Mapa de Zonificación Sísmica del Perú.....	106
Figura 48 Vista frontal de la vivienda unifamiliar evaluada en el asentamiento humano Eloy G. Ureta – Alto de la Alianza, Tacna.....	110
Figura 49 Plano estructural de cimentación de la vivienda evaluada para el cálculo de cargas y asentamientos diferenciales	111
Figura 50 Zonificación del nivel de peligro por inundación en el asentamiento humano Eloy G. Ureta y Leoncio prado – Alto de la Alianza, Tacna	119
Figura 51 Zonificación del nivel de vulnerabilidad en el área de estudio – Alto de la Alianza, Tacna.....	124

Figura 52 Mapa de riesgos mostrando la vivienda evaluada dentro de la zonificación de riesgo por inundación pluvial	130
Figura 53 Número de manzanas por nivel de riesgo en el área de estudio	131
Figura 54 Variación del módulo de elasticidad con respecto a la succión matricial en muestras de ceniza volcánica no saturadas	135
Figura 55 Detalle de la cimentación, zapata típica empleada en la vivienda evaluada – A.H. Eloy G. Ureta, Tacna.....	139
Figura 56 Esquema de asentamientos bajo cimentación rígida y flexible en suelos con comportamiento elásticos	141
Figura 57 Variación del módulo de elasticidad en condición no saturada (E_{unsat}) en función de la succión matricial para el análisis de asentamientos diferenciales.	144
Figura 58 Variación de succión matricial con asentamiento en la zapata 2B, $q_0=1.54 \text{ Kg/cm}^2$	151
Figura 59 Comparación de asentamientos elásticos por condición de succión matricial en zapatas	157

ÍNDICE DE APÉNDICES

A 1. Matriz de consistencia de informe final de tesis	177
A 2. Resultados de ensayo de succión matricial	178
A 3. Ensayo de placa de Carga (PLT).....	179
A 4. Metrado de Cargas (Vivienda Eloy G Ureta).....	182
A 5. Calculo de Grado de Saturación y Modulo de Elasticidad.....	192
A 6. Calculo de asentamientos	194
A 7. Resumen de resultados de las pruebas de laboratorio GORE	197
A 8. Mapa de Peligro a Inundación Pluvial	219
A 9. Mapa de Riesgo a Inundación Pluvial.....	220

RESUMEN

Esta investigación examina el fenómeno de los asentamientos diferenciales en edificaciones asentadas sobre ceniza volcánica, en áreas urbanas con alta exposición al riesgo de inundación pluvial, dentro del distrito de Alto de la Alianza, en la ciudad de Tacna. El análisis se basa en la evaluación de las propiedades mecánicas del suelo bajo diferentes condiciones de humedad, empleando como parámetros clave la succión matricial y el módulo de elasticidad en estado saturado.

Como caso de estudio, se seleccionó una vivienda ubicada en el Asentamiento Humano Mariscal Eloy G. Ureta, la cual evidenciaba manifestaciones estructurales asociadas a asentamientos no uniformes. La investigación incluyó la aplicación de la metodología del CENEPRED para estimar el nivel de riesgo por inundación, así como la realización de ensayos geotécnicos, destacando el uso del método del papel filtro para determinar la succión matricial en diversas condiciones de humedad.

Los resultados revelaron que la rigidez del suelo disminuye significativamente en condiciones de saturación plena, provocando mayores asentamientos, mientras que niveles más altos de succión contribuyen a una mejor respuesta mecánica. En varios casos, los asentamientos diferenciales superaron los valores límite establecidos en la Norma Técnica Peruana E.050, comprometiendo la estabilidad de las edificaciones.

Esta investigación destaca la importancia de analizar las propiedades mecánicas del suelo y su comportamiento frente a la variación de la humedad, en proyectos urbanos ubicados en zonas susceptibles a lluvias intensas. Así se promueve un enfoque integrado entre la ingeniería geotécnica y la gestión del riesgo. En síntesis, los resultados obtenidos sustentan las recomendaciones propuestas para mitigar los asentamientos diferenciales en edificaciones ubicadas en zonas críticas expuestas a inundaciones pluviales.

PALABRAS CLAVE: asentamientos diferenciales, ceniza volcánica, succión matricial, módulo de elasticidad, riesgo por inundación.

ABSTRACT

This research examines the phenomenon of differential settlements in buildings founded on volcanic ash in urban areas with high exposure to pluvial flood risk, within the district of Alto de la Alianza in the city of Tacna. The analysis is based on the evaluation of the soil's mechanical properties under different moisture conditions, using matric suction and the saturated-state elastic modulus as key parameters.

As a case study, a dwelling located in the Mariscal Eloy G. Ureta Human Settlement was selected, which showed structural manifestations associated with non-uniform settlements. The research included the application of CENEPRED's methodology to estimate the flood risk level, as well as the execution of geotechnical tests, highlighting the use of the filter paper method to determine matric suction under various moisture conditions.

The results revealed that soil stiffness decreases significantly under full saturation conditions, leading to greater settlements, whereas higher levels of suction contribute to improved mechanical performance. In several cases, the differential settlements exceeded the limit values established by the Peruvian Technical Standard E.050, compromising the stability of the structures.

This research emphasizes the importance of analyzing the mechanical properties of the soil and its behavior in response to moisture variation in urban projects located in areas prone to heavy rainfall. In this way, it promotes an integrated approach between geotechnical engineering and risk management. In summary, the results obtained support the proposed recommendations to mitigate differential settlements in buildings located in critical areas exposed to pluvial flooding.

KEYWORDS: differential settlements, volcanic ash, matric suction, elastic modulus, flood ris

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Tacna, ubicada en el sur de Perú, enfrenta importantes desafíos geotécnicos y climáticos debido a su vulnerabilidad a inundaciones. Estas inundaciones, exacerbadas por condiciones meteorológicas extremas y el cambio climático, han generado preocupaciones sobre la estabilidad de las edificaciones en zonas críticas. En particular, los asentamientos diferenciales provocados por la variabilidad en las propiedades del suelo y las condiciones de saturación durante los eventos de inundación, representan un riesgo significativo para la integridad estructural de las construcciones.

El presente estudio, titulado "Análisis de Asentamientos Diferenciales en Edificaciones por Riesgo a Inundación en Zonas Críticas de Tacna-Perú, 2024", tiene como objetivo principal evaluar el impacto de estos asentamientos diferenciales en las edificaciones situadas en áreas propensas a inundaciones. Por tanto, se busca identificar los factores que contribuyen a la ocurrencia de asentamientos diferenciales y proponer soluciones mitigadoras.

En el primer capítulo, se presenta una descripción detallada de la problemática abordada, así como la relevancia del estudio. Se incluye la formulación del problema, la justificación de la investigación y los objetivos que motivan la realización de este trabajo.

El segundo capítulo, proporciona la información que sustentará la investigación y demostrará su viabilidad. Se organiza en antecedentes, fundamentos teóricos y definiciones de conceptos clave.

En el tercer capítulo se explican los procedimientos y herramientas utilizados para la recolección de datos. Se especifica el tipo de investigación, la población y muestra seleccionada, así como los métodos y herramientas empleados para la obtención de datos, junto con los pasos desarrollados durante el estudio.

En el capítulo cuatro se expone y analiza la información derivada de las pruebas efectuadas tanto en campo como en laboratorio, según los instrumentos de medición establecidos. Se enfoca en la caracterización de las propiedades físicas y mecánicas, organizadas de acuerdo a los objetivos específicos y su incidencia en los asentamientos diferenciales de las estructuras.

Finalmente, esta investigación incluye las conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas, confirmando que se han cumplido los objetivos planteados.

1 CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la ciudad de Tacna, específicamente en zonas urbanas como el distrito de Alto de la Alianza, se han desarrollado asentamientos humanos sobre suelos volcánicos de naturaleza altamente variable. Uno de los materiales predominantes es la ceniza volcánica, un tipo de suelo de baja cohesión, alta porosidad y sensibilidad extrema a las condiciones de humedad. Estas características lo hacen susceptible a deformaciones volumétricas significativas, especialmente bajo condiciones de saturación.

Este comportamiento se ve agravado por el hecho de que muchas de estas zonas han sido clasificadas como de alto riesgo por inundación pluvial, debido a su ubicación en cuencas de drenaje natural y a la insuficiencia de infraestructura de control de aguas lluvias. En estos escenarios, durante eventos de precipitación intensa, el suelo puede alcanzar condiciones de saturación completa, reduciendo su rigidez y capacidad portante.

En edificaciones sin diseño geotécnico adecuado, este fenómeno genera asentamientos diferenciales, es decir, hundimientos desiguales del terreno que afectan de forma directa la estabilidad estructural de las viviendas, originando fisuras, desniveles o incluso fallas parciales. La evaluación de estos asentamientos requiere no solo el cálculo de las cargas transmitidas por la edificación (metrados estructurales), sino también una estimación precisa de los parámetros mecánicos del suelo bajo condiciones saturadas, particularmente el módulo de elasticidad.

Asimismo, resulta fundamental considerar la succión matricial como indicador del estado de humedad del suelo antes de la saturación, ya que esta variable incide directamente en el comportamiento mecánico del material y en la transición hacia el colapso estructural bajo eventos hídricos extremos.

Pese a la gravedad del problema, existe una limitada integración entre los enfoques estructurales, geotécnicos e hidrometeorológicos en estudios aplicados a este tipo de zonas críticas. Por ello, es necesario desarrollar un análisis integral que contemple la caracterización del suelo, la influencia del riesgo por inundación pluvial, el comportamiento mecánico bajo saturación y la verificación de la estabilidad estructural frente a los asentamientos diferenciales, tomando como referencia los límites establecidos en la Norma Técnica Peruana E.050.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Pregunta principal

¿Cuál es la magnitud y el comportamiento de los asentamientos diferenciales en edificaciones construidas sobre suelos de ceniza volcánica en zonas críticas expuestas a riesgo de inundación pluvial en el distrito de Alto de la Alianza, Tacna, considerando la influencia de la succión matricial y el módulo de elasticidad del suelo en condición saturada?

1.2.2 Interrogantes secundarias

- ¿Cuál es el nivel de riesgo por inundación pluvial en la zona crítica del distrito de Alto de la Alianza, según el análisis de peligro, vulnerabilidad y exposición?
- ¿Qué características geotécnicas presenta el suelo de ceniza volcánica, y cual es su succión matricial según el método del papel filtro?
- ¿Cuáles son las cargas estructurales actuantes transmitidas al suelo de fundación por la vivienda representativa seleccionada en la zona crítica de estudio?
- ¿Cuál es el valor del módulo de elasticidad del suelo en condición saturada y cómo varía en función de la succión matricial?
- ¿Qué magnitud de asentamientos diferenciales se generan en las zapatas de una vivienda representativa bajo diferentes condiciones de succión, y cómo

se comparan con los límites permisibles de la Norma Técnica Peruana E.050?

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio se realiza porque existe un peligro potencial de la zona de estudio por inundación Pluvial ya que en épocas de lluvia las avenidas y calles del ámbito de estudio se ven afectadas por las inundaciones. Como resultado, cada año las calles y avenidas experimentan inundaciones y deterioro debido a su doble función como estructuras de soporte y vías. La ocurrencia de inundaciones en áreas urbanas plantea relevantes riesgos en la salubridad de la población, causa deterioro en las infraestructura de las calles y crea inseguridad tanto para los automóviles como para los peatones. Además, puede provocar fallas estructurales en las estructuras debido al asentamiento diferencial.

Las inundaciones ejercen un impacto significativo tanto en la población como en las construcciones. Aunque el proceso de asentamiento del terreno es gradual, no se debe subestimar su importancia, ya que sus consecuencias pueden tener repercusiones profundas en la salud, la seguridad y, de manera indirecta, en la estabilidad económica de la comunidad afectada. Una pérdida de elevación puede desencadenar una serie de situaciones precarias que afectan el bienestar así como la calidad de vida en los residentes. Es fundamental reconocer que las zonas afectadas por el hundimiento del terreno enfrentan desafíos adicionales en relación con el acceso a servicios esenciales, el movimiento de la población y la pérdida de bienes patrimoniales. Por lo tanto, al centrarnos en los efectos del hundimiento del terreno en áreas urbanas, este estudio proporcionará una visión más completa de las implicaciones sociales de este fenómeno.

Los asentamientos del suelo, ya sea relacionados con fenómenos de hundimiento de origen natural, antropogénico o combinaciones complejas de ambos, ocasionan daños significativos a las instalaciones afectadas, como edificios, lo que resulta en pérdidas de tipo económica de millones de dólares por año. Estas pérdidas abarcan una amplia gama de costos, que van desde los gastos directos

asociados con la reparación o reconstrucción de las estructuras afectadas hasta los costos indirectos derivados de la interrupción de actividades comerciales, la pérdida de ingresos y la depreciación del valor de las propiedades. Por lo tanto, comprender y abordar los aspectos económicos del hundimiento del terreno es crucial para mitigar el impacto en la estabilidad financiera de las zonas de estudio afectadas y promover la sostenibilidad económica a largo plazo (Bucx et al., 2015).

Las inundaciones tienen una influencia sustancial en el ecosistema y las áreas circundantes, lo que genera dificultades para quienes viven en las llanuras aluviales. Estos problemas incluyen el agotamiento de los recursos tangibles, la proliferación de enfermedades acuáticas y la devastación de los productos agrícolas. Además de afectar directamente a las personas y sus propiedades, las inundaciones pueden tener efectos devastadores en los ecosistemas locales, alterando la biodiversidad, contaminando cuerpos de agua y dañando los hábitats naturales. Por lo tanto, es crucial considerar la dimensión ambiental de las inundaciones al desarrollar estrategias de gestión de riesgos y mitigación para proteger tanto a las comunidades humanas como al medio ambiente circundante.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo general

Analizar los asentamientos diferenciales en edificaciones cimentadas sobre suelos de ceniza volcánica, ubicadas en zonas críticas de riesgo por inundación pluvial en el distrito de Alto de la Alianza, Tacna, a partir del módulo de elasticidad del suelo en condición saturada, estimado mediante parámetros derivados de la succión matricial.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Evaluar el nivel de riesgo por inundación pluvial en la zona crítica del distrito de Alto de la Alianza, mediante la metodología de análisis de peligro y vulnerabilidad.
2. Caracterizar las propiedades geotécnicas de suelo de ceniza volcánica de la zona de estudio, considerando su comportamiento en condición saturada y la determinando succión matricial mediante el método del papel filtro.
3. Estimar el módulo de elasticidad del suelo de ceniza volcánica en condición saturada, a partir de los valores de succión matricial obtenidos experimentalmente mediante el método del papel filtro
4. Realizar el metrado de cargas estructurales de la edificación evaluada para determinar las tensiones aplicadas al terreno.
5. Calcular los asentamientos totales y diferenciales de la edificación seleccionada, utilizando métodos empíricos y verificando su magnitud respecto a los límites admisibles establecidos por la Norma Técnica Peruana E.050.

2 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En el ámbito Internacional

Bravo Albuja y Cepeda Changoluisa (2023) analizaron los efectos negativos generados por asentamientos excesivos en el sur del Distrito Metropolitano de Quito. Identificaron que las construcciones emplazadas sobre suelos inestables, combinadas con prácticas constructivas informales, provocaban deformaciones estructurales. Empleando el software MIDAS GTS NX, desarrollaron un modelo geotécnico-estructural de una vivienda que permitió localizar las zonas críticas en la cimentación. Posteriormente, implementaron micropilotes como técnica de recalce, reduciendo los asentamientos a niveles aceptables según la normativa ecuatoriana (NEC-15), demostrando la efectividad de esta solución.

Le et al. (2013) desarrollaron un modelo probabilístico para evaluar el asentamiento diferencial inducido por lluvias en cimentaciones rígidas sobre suelos no saturados. A través de simulaciones numéricas acopladas (elementos finitos), integraron el Modelo Básico de Barcelona para representar el comportamiento del suelo y las curvas de Van Genuchten para describir la retención de humedad y permeabilidad. Consideraron la heterogeneidad del terreno mediante campos aleatorios, y los resultados evidenciaron que ignorar la variabilidad espacial y el grado de saturación conlleva subestimaciones significativas del asentamiento diferencial. Además, se concluyó que las mayores deformaciones ocurren durante la fase transitoria de infiltración, particularmente cuando la correlación espacial del suelo se aproxima al ancho de la cimentación.

Antecedentes nacionales:

Facundo Chinguel (2021) llevó a cabo un estudio en Ancón, Lima, sobre los desplazamientos diferenciales generados por el colapso del terreno bajo

cimentaciones someras. El análisis consideró la infiltración de agua de lluvia y su influencia sobre suelos no saturados mediante simulaciones numéricas comparadas con ensayos de carga in situ. Se evaluaron distintos niveles freáticos y variaciones en la intensidad de precipitación. Los resultados mostraron que la posición del nivel freático, junto con la intensidad de infiltración, alteraba la succión matricial y generaba asentamientos adicionales. Los suelos con menor permeabilidad presentaron mayor capacidad de carga frente a estas condiciones..

Tairo Pimentel (2020), en su investigación aplicada al pabellón de Ingeniería Civil de la UNSA, resaltó la importancia de determinar las propiedades mecánicas del suelo mediante ensayos triaxiales y de corte directo. A través de un estudio de mecánica de suelos conforme a la norma E.050, analizó el potencial de deformación del terreno de fundación, concluyendo que la caracterización detallada del suelo es fundamental para prevenir asentamientos excesivos que afecten el desempeño estructural de edificaciones.

Antecedentes Locales:

Flores (Flores Mello, 2017), evaluó el riesgo de colapso del suelo en el terreno del Centro de Salud Intiorko, en Tacna. Utilizó ensayos convencionales y pruebas in situ para determinar la susceptibilidad del terreno. Los resultados indicaron que el asentamiento por colapso representaba hasta el 90% del asentamiento inmediato, concluyendo que el sitio presentaba un riesgo moderado de colapso por las características físico-químicas del suelo. La capacidad portante estimada fue de 1.00 kg/cm², sin evidencia de fisuración por distorsión angular en las paredes, pero con vulnerabilidad frente a cargas mayores.

2.2 FUNDAMENTO TEÓRICO

2.2.1 Análisis Granulométrico

Las partículas que conforman el suelo, independientemente de su origen, presentan una variabilidad considerable en cuanto a sus dimensiones. Los suelos se

clasifican comúnmente en suelos gruesos (grava, arena) y suelos finos (limos y arcillas), según el tamaño predominante de las partículas. Para esta clasificación, se utilizan sistemas como el SUCS o AASHTO, que agrupan los suelos en función de las dimensiones de sus partículas. Existen dos métodos principales para determinar la distribución de tamaños de las partículas: el análisis de tamiz, que se aplica a partículas mayores a 0,075 mm, y el análisis hidrómetro, que se utiliza para partículas menores a 0,075 mm de diámetro. La curva de distribución granulométrica proporciona una representación visual de ello.

La Norma Técnica Peruana 339.134 (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual [INDECOPI], 2014), establece un sistema de clasificación de suelos utilizado en ingeniería, basado en ensayos de laboratorio como la granulometría, el límite líquido y el índice de plasticidad. Este sistema se enfoca en evaluar la calidad del suelo para su aplicación en proyectos de construcción, garantizando que el terreno se clasifique según sus propiedades físicas y mecánicas para un uso adecuado en distintas aplicaciones.

Tabla 1

Simbología del sistema de clasificación de suelos según el Sistema unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Símbolo	Descripción
G	Grava
S	Arena
M	Limo
C	Arcilla
O	Limo y arcillas orgánicas
Pt	Turba y suelos con alto contenido orgánico
H	
L	Suelos de alta plasticidad
W	Suelos de baja plasticidad
P	Suelos bien graduados
	Suelos mal graduados

2.2.2 Gravedad específica de los sólidos

El término "gravedad específica de los sólidos" es la vinculación entre el peso unitario de una determinada sustancia así como el peso específico del agua. En términos más simples, cuantifica el peso relativo de los granos en el suelo en comparación con el agua.

$$G_s = \gamma_s / \gamma_w$$

G_s : Gravedad específica de los sólidos.

γ_s : Peso unitario de los sólidos.

γ_w : Peso unitario del agua.

La determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas del suelo es un dato fundamental en diversos análisis de la mecánica de suelos, especialmente en el cálculo del índice de vacíos o relación de vacíos, la predicción del peso unitario del suelo, el análisis del hidrómetro y el establecimiento de la relación entre las tres fases del suelo. El nivel de pH de gran parte de los suelos está dentro de un rango limitado de 2,60 a 2,80.

2.2.3 Límites de Atterberg

La cohesión de las partículas de arcilla se mantiene mediante muchos factores, como la atracción electrostática, los enlaces de hidrógeno, el intercambio catiónico y las interacciones de Van der Waals. Cuando las partículas están a una distancia considerable entre sí, existe un nivel comparativamente bajo de atracción entre ellas. En consecuencia, el movimiento de las partículas unas sobre otras se realizan sin esfuerzo. No obstante, cuando las partículas se acercan debido a una carga externa o a la reducción del contenido de agua, las fuerzas de atracción entre ellas se incrementan, lo que reduce la posibilidad de deslizamiento entre partículas.

El trabajo de A. Atterberg (1911) y A. Casagrande (1948) Ha tenido un papel fundamental en el establecimiento de los límites de Atterberg y de los índices relacionados, que son herramientas valiosas para describir la disposición de las partículas del suelo. Los límites están determinados por la noción de que un suelo con una textura fina sólo puede existir en cuatro estados diferentes de consistencia, que están determinados por su contenido de humedad. Por lo tanto, un suelo pasa de un estado sólido a una forma semisólida, plástica y, en última instancia, líquida cuando se introduce agua (Lambe & Whitman, 2014)

2.2.4 Compresión triaxial

El El ensayo triaxial de compresión es una técnica fundamental en geotecnia para determinar la resistencia al corte y el comportamiento tensión–deformación de los suelos. De acuerdo con Lade (2016), su desarrollo histórico comenzó a inicios del siglo XX con los primeros dispositivos experimentales y, con el tiempo, se consolidó como un método estándar ampliamente aceptado. En la actualidad, la prueba se realiza en probetas cilíndricas con una relación altura/diámetro cercana a 2, lo que garantiza condiciones adecuadas para la aplicación de cargas axiales controladas.

El ensayo triaxial se distingue por su precisión frente a otros métodos, como la prueba de corte directo, ya que permite analizar de manera confiable la resistencia y la deformabilidad del suelo bajo diferentes condiciones de drenaje (Lade, 2016). Según el autor, existen tres modalidades principales:

- a) Ensayo no consolidado y no drenado (UU).
- b) Ensayo consolidado no drenado (CU).
- c) Ensayo consolidado y drenado (CD).

2.2.5 Succión y estado tensional de suelos no saturados

Según Fredlund y Rahardjo (1993), por debajo del nivel freático, las presiones intersticiales, también conocidas como presión neutra, son positivas. Justo por encima del nivel freático, en la zona no saturada, se forma una capa capilar con un grado de saturación cercano al 100%, cuya profundidad puede variar, alcanzando hasta 10 metros dependiendo del tipo de suelo. Por encima de esta capa, el suelo presenta presiones de poro negativas, conocidas como succión matricial, originadas por la diferencia entre la presión del aire y la del agua en el medio poroso, que se deben a la diferencia entre las presiones del aire (u_a) y del agua (u_w). Esta diferencia, ($u_a - u_w$), se denomina succión matricial y constituye una de las dos variables de tensión que describen el comportamiento de los suelos no saturados (Alfaro Soto, 2008).

2.2.6 Inundaciones

Las inundaciones se producen cuando lluvias intensas o prolongadas superan la capacidad del suelo para absorber agua, lo que ocasiona el desbordamiento del cauce principal del río y la inundación de las áreas circundantes. Las llanuras aluviales, también conocidas como zonas de inundación, son áreas adyacentes a ríos o arroyos que tienen una alta probabilidad de experimentar inundaciones recurrentes debido a sus características dinámicas. Por ello, es necesario analizar las llanuras aluviales y otros lugares propensos a inundaciones para evaluar su impacto potencial o vulnerabilidad al desarrollo (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), 2014).

2.2.7 Tipo de Inundación según su origen

2.2.7.1 Inundaciones pluviales:

Las inundaciones pluviales tienen su origen en la concentración de lluvias intensas sobre una zona determinada, sin que necesariamente se produzca el desborde de un río o quebrada. Este fenómeno ocurre cuando se registran precipitaciones de gran intensidad en un lapso breve, o cuando lluvias persistentes

de intensidad moderada terminan por saturar el suelo, el cual presenta una limitada capacidad de absorción, dificultando así el flujo superficial del agua (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), 2014).

2.2.7.2 Inundaciones fluviales:

Por otro lado, las inundaciones de tipo fluvial se vinculan directamente al desbordamiento de cursos de agua como ríos o quebradas, situación que se presenta cuando el caudal sobrepasa la capacidad del canal para conducirlo. Esta condición suele generarse tras precipitaciones excesivas en la cuenca hidrográfica, provocando un aumento significativo en el volumen de agua transportado y, en consecuencia, el desborde hacia las zonas adyacentes (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), 2014).

2.2.8 Peligro

El peligro se refiere a la probabilidad de que ocurra un evento natural potencialmente perjudicial en un lugar particular, caracterizado por un nivel específico de gravedad y dentro de un marco de tiempo y frecuencia definidos. Los artículos técnicos de países extranjeros suelen utilizar la frase "amenaza" para denotar peligro al analizar el examen de sucesos naturales.

2.2.9 Vulnerabilidad

La vulnerabilidad se entiende como la susceptibilidad que tienen las personas, las estructuras físicas y las actividades económicas y sociales de verse afectadas por una amenaza o peligro específico. Este concepto está establecido en la Ley N.º 29664, que instituyó el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), y su reglamento aprobado mediante el Decreto Supremo N.º 048-2011-PCM. La vulnerabilidad resulta de la interacción de diversas condiciones físicas, sociales, económicas y ambientales que condicionan la capacidad de un individuo, comunidad o sistema para prever, resistir, enfrentar y

recuperarse ante los efectos adversos de un desastre. Según la normativa vigente, la gestión del riesgo no debe limitarse a la identificación de amenazas, sino que debe incorporar también el análisis de las vulnerabilidades, con el objetivo de desarrollar acciones orientadas a la prevención, reducción y preparación que permitan disminuir tanto la ocurrencia como la severidad de los impactos producidos por fenómenos peligrosos.

2.2.10 Riesgo

La gestión de emergencias implica el diseño y la ejecución de estrategias y protocolos específicos dentro de una comunidad o región para identificar y evaluar los peligros, tanto naturales como tecnológicos. Este proceso incluye la determinación de la vulnerabilidad de las personas, infraestructuras y actividades socioeconómicas ante dichos peligros. La gestión también involucra la estimación de las probabilidades de daños, tales como pérdidas humanas y materiales, así como el impacto potencial en las estructuras físicas y los sistemas críticos de la comunidad. A través de un enfoque integral, la gestión de emergencias busca fortalecer la capacidad de respuesta, minimizar los riesgos y reducir las consecuencias de los desastres en el futuro (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), 2014).

De acuerdo con el enfoque del riesgo, este se define como el producto entre el peligro y la vulnerabilidad:

$$\text{Riesgo} = \text{Peligro} \times \text{Vulnerabilidad}$$

El análisis de asentamientos diferenciales en edificaciones debido al riesgo de inundación es esencial para comprender cómo los cambios en las condiciones geotécnicas y la dinámica de los suelos afectan la estabilidad y seguridad de las estructuras. En el caso de las zonas críticas de Tacna, la identificación de áreas vulnerables ante inundaciones y la evaluación de los asentamientos diferenciales permitirán desarrollar estrategias de mitigación para reducir los impactos de posibles inundaciones. Además, es importante integrar el análisis de los materiales

de construcción, las prácticas de edificación y la capacidad de las infraestructuras para resistir los efectos de los movimientos del suelo durante eventos extremos, lo que resulta crucial para diseñar soluciones sostenibles que protejan tanto a la población como a las infraestructuras de la ciudad.

Figura 1

Matriz para definir los escenarios de riesgo ante inundaciones

		NIVELES DE VULNERABILIDAD								
		MUY ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO					
		4	3	2	1					
NIVELES DE PELIGRO	MUY ALTO	4	4	Muy Alto	4	Muy Alto	3	Alto	3	Alto
	ALTO	3	4	Muy Alto	3	Alto	2	Medio	2	Medio
	MEDIO	2	3	Alto	2	Medio	2	Medio	1	Bajo
	BAJO	1	3	Alto	2	Medio	1	Bajo	1	Bajo
		NIVELES DE RIESGO ANTE INUNDACIONES								

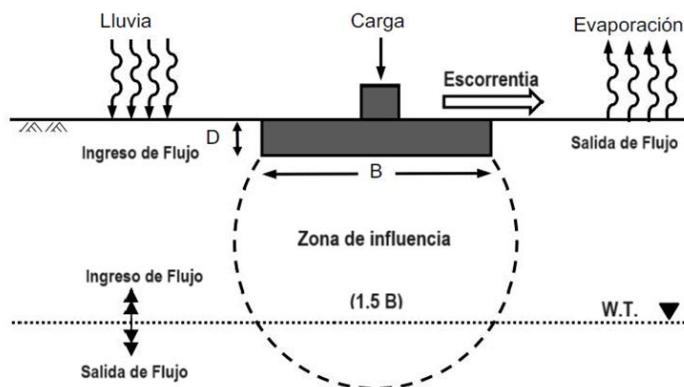
Nota. Extraído de (Lozano Cortijo, 2008)

2.2.11 Asentamientos

Según DAS (2013), “El proceso de compresión ocurre cuando las partículas del suelo sufren deformación, reorientación y liberación de aire o agua de los espacios entre ellas” con base en estas características, los asentamientos se pueden clasificar en dos categorías: elásticos y de consolidación.

Figura 2

Ciclo hidrológico y su influencia en la cimentación. (Mahmoudabadi & Ravichandran, 2018)



Nota. Modificado de Mahmoudabadi, V., & Ravichandran, N. (2018)

2.2.11.1 Asentamiento de consolidación.

Este fenómeno, conocido como asentamiento del suelo, puede ocurrir en suelos finos como limo y arcilla durante un período de tiempo, incluso después de que se hayan terminado las obras de construcción. La estabilidad de la base está influenciada por agentes como la textura del suelo, el nivel de humedad y la profundidad de las capas de suelo blando subyacentes (AN Ingenieros y Consultores, 2021).

2.2.11.2 Asentamiento elástico

el asentamiento rápido, independientemente del tipo de suelo, ocurre poco después de que los cimientos quedan expuestos a la carga estructural. Este suelo en particular se caracteriza por su elasticidad, es decir, presenta un comportamiento mecánico similar al de un resorte.

2.2.11.3 Asentamientos diferenciales

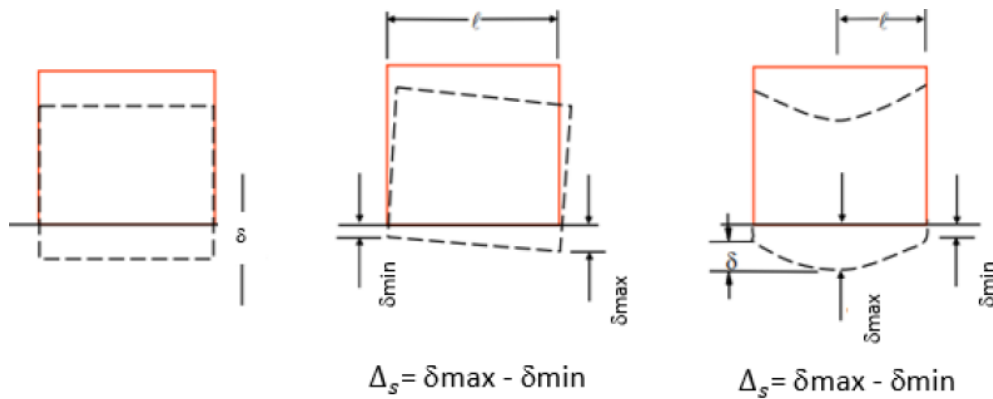
Si el asentamiento en la edificación es uniforme, no surgen problemas relevantes. Sin embargo, cuando existen variaciones en los asentamientos entre los apoyos, la seguridad de la estructura se ve amenazada. Esto se debe a que se producen fuerzas y deformaciones que frecuentemente no se tienen en cuenta en el diseño estructural.

Los asentamientos diferenciales se refieren a los movimientos relativos de una estructura resultantes debido a un asentamiento desigual inducido por fuerzas

desequilibradas en el suelo o soportes compuestos de diferentes materiales (AN Ingenieros y Consultores, 2021)

Figura 3

Asentamientos diferenciales de cimentaciones superficiales



Nota. Extraído de s(Bravo Albuja & Cepeda Changoluisa, 2023)

Tabla 2

Técnicas para determinar los asentamientos.

Tipo de asentamiento	Método	Parámetro base	Aplicación
Inicial	Elástico	Propiedades elásticas de suelo	Arenas, gravas, suelos no completamente saturados, arcillas compactas y formaciones rocosas
Inicial	Meyerhof	N (SPT)	Arenas, gravas y materiales similares.
Inicial	Prueba de carga	Prueba de carga	Arenas, gravas, suelos parcialmente saturados, arcillas compactas y formaciones rocosas.
Consolidación primaria	Teoría de consolidación	Ensayo de consolidación	Arcillas suaves a medianamente saturadas.
Consolidación primaria y secundaria	Teoría de consolidación	Ensayo de consolidación	Arcillas suaves a extremadamente suaves,

turbas, suelos orgánicos y
materiales similares.

Nota. Extraído de (Alva Hurtado, 2010)

2.2.12 Cargas actuantes

Para determinar el asentamiento de las cimentaciones apoyadas en suelos granulares y cohesivos, se considera la carga calculada conforme a lo establecido en la norma E.020. Las principales cargas que se deben identificar incluyen:

2.2.12.1 Las cargas muertas

Las cargas de gravedad se refieren al peso de todos los componentes estructurales que forman parte permanente de un sistema constructivo. Son cargas constantes y fijas en su ubicación, que ejercen una fuerza continua sobre la estructura. Este tipo de carga incluye el peso propio de los elementos estructurales, así como el de materiales y equipos instalados de forma permanente (Kassimali, 2015).

2.2.12.2 Las cargas vivas

Hay varias magnitudes y/o posiciones variadas que resultan del uso de la estructura. La frase "carga viva" abarca todas las cargas sobre la estructura que no están clasificadas como cargas muertas, lo que incluye cargas ambientales inducidas por la nieve o el viento (Kassimali, 2015).

De acuerdo a la Norma técnica peruana E.030: diseño Sismorresistente (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018a), las cargas vivas varían en función a la categoría de las edificaciones, que puede ser esencial, relevante, común o temporal, lo cual influye en los factores de reducción aplicables para análisis estructural.

2.2.13 Fundamentos para determinar asentamientos diferenciales

Los asentamientos diferenciales corresponden a las variaciones en el desplazamiento vertical que se presentan entre distintos puntos de una cimentación,

causadas generalmente por diferencias en la rigidez del suelo o en las cargas aplicadas. Este tipo de comportamiento puede dar lugar a fisuras en elementos estructurales, pérdida de verticalidad, e incluso comprometer la integridad del edificio (Das, 2013; Bowles, 1987).

Terzaghi y Peck (1967) describen que el asentamiento total puede descomponerse en tres fases: asentamiento inmediato (S_i), consolidación primaria (S_c) y asentamiento secundario (S_s). Cuando existen discrepancias entre los valores máximos y mínimos de asentamiento, se genera un diferencial (Δs), el cual se calcula como:

$$\Delta s = [S_{\text{máx}} - S_{\text{mín}}]$$

Este diferencial provoca una distorsión angular (θ) en los elementos estructurales, que se expresa según la relación:

$$\theta = \frac{\Delta s}{L}$$

donde L es la distancia entre puntos de medición de asentamiento. De acuerdo con la Norma Técnica Peruana E.050, el valor límite tolerable de distorsión angular para edificaciones convencionales es de **1/500** (equivalente a 0.002 radianes). Superar dicho valor puede comprometer la estabilidad del sistema estructural.

2.2.13.1 Criterios empíricos para la estimación de asentamientos

Uno de los métodos más reconocidos para estimar asentamientos elásticos en suelos granulares fue planteado por Bowles (1987), quien propuso la siguiente fórmula:

$$S = \frac{q \cdot B \cdot (1 - \nu^2)}{E} \cdot I_s$$

donde:

- **q**: presión neta de carga,
- **B**: ancho de la zapata,

- **v**: coeficiente de Poisson,
- **E**: módulo de elasticidad del suelo,
- **I_s**: factor de influencia relacionado con la geometría y condiciones del terreno.

En suelos no saturados, la presencia de succión matricial modifica el módulo de elasticidad efectivo del suelo, lo que afecta el cálculo del asentamiento diferencial. Diversos autores, como Oh et al. (2009) y Fredlund & Rahardjo (1993), destacan la importancia de incorporar este parámetro en los análisis para lograr estimaciones más precisas.

Aunque los asentamientos uniformes pueden ser asumidos por muchas estructuras sin daños significativos, los asentamientos diferenciales suelen generar esfuerzos imprevistos que afectan la funcionalidad o la seguridad. Por ello, resulta esencial caracterizar correctamente las condiciones del suelo, incluyendo el perfil estratigráfico, sus propiedades mecánicas y las cargas actuantes, para prevenir afectaciones estructurales (Coduto et al., 2016).

2.3 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS

2.3.1 Inundaciones

Las inundaciones se producen cuando las lluvias continuas exceden la capacidad del suelo para absorber agua, lo que genera un aumento en el caudal en los ríos y provoca el desbordamiento de su cauce principal, que luego inunda las áreas circundantes (Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), 2011).

2.3.2 Vulnerabilidad

La vulnerabilidad es la capacidad de resistencia cuando de un elemento o grupo de elementos expuestos ante un peligro. Puede manifestarse de varias formas, como física, social, cultural, económica, institucional y otras (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), 2014).

2.3.3 Peligro

La probabilidad de que un evento físico potencialmente perjudicial, que puede surgir naturalmente o ser causado por la actividad humana, ocurra en un lugar determinado, con un nivel específico de gravedad, dentro de un plazo y una frecuencia establecidos (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), 2014).

2.3.4 Riesgo

El riesgo se define como la probabilidad de que un peligro se materialice en un desastre. Es la posibilidad de que una comunidad y sus medios de vida sufran daños y pérdidas debido a su vulnerabilidad y a la influencia de una amenaza (Presidencia del Consejo de Ministros - PCM, 2011)

2.3.5 Asentamiento Diferencial

La mayor diferencia de nivel vertical entre dos cimientos vecinos que están conectados por un componente estructural y forman parte de la misma estructura general (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento., 2020)

2.3.6 Carga

Las fuerzas ejercidas sobre una estructura debido al peso de materiales de construcción, las personas y sus posesiones, los factores ambientales, los movimientos diferenciales y los cambios dimensionales limitados (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018b).

3 CAPÍTULO III: ENFOQUE METODOLÓGICO

3.1 INTRODUCCIÓN DEL CAPÍTULO

El presente capítulo describe el enfoque metodológico de la investigación orientado a analizar los asentamientos diferenciales en edificaciones ubicadas en zonas críticas por riesgo de inundación pluvial en Tacna. Se detallan las hipótesis, operacionalización de variables, tipo y diseño de investigación, población, muestra, procedimientos, técnicas e instrumentos empleados, en coherencia con los objetivos general y específicos formulados en el Capítulo I..

3.2 HIPÓTESIS

3.2.1 Hipótesis general

En la zona de estudio, los asentamientos diferenciales en las edificaciones debido al riesgo de inundación pluvial son elevados, superando los límites establecidos por los parámetros normativos y comprometiendo la estabilidad estructural de las construcciones.

3.2.2 Hipótesis específicas

El riesgo de inundación en el área de estudio es significativamente elevado, lo que incrementa la vulnerabilidad de las edificaciones y la población ante posibles desastres.

Los parámetros geotécnicos del terreno de fundación en las zonas inundables del área de estudio revelan la presencia de suelos colapsables, lo que podría generar riesgos adicionales para la estabilidad de las edificaciones en caso de inundación.

Las cargas actuantes debido a las edificaciones que se encuentran en la zona de estudio son mayores a 1 t/m².

Los asentamientos diferenciales de las edificaciones existentes de la zona de estudio son mayores a los límites máximos permisibles.

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1 Variable Independiente

La variable independiente es la caracterización geotécnica del suelo de cimentación, dividida en dimensiones de hidrología, geotecnia y estructuras, con indicadores como succión matricial, cohesión, granulometría y cargas estructurales, medidos en escalas ordinal y de razón.

3.3.2 La variable dependiente

Es el asentamiento diferencial en edificaciones, evaluado en milímetros como indicador directo, también en escala ordinal y de razón. Esta estructura permite analizar cómo las propiedades físico-mecánicas del suelo y las condiciones hidráulicas influyen en los asentamientos. Se utiliza una vivienda representativa en zona crítica de Alto de la Alianza, Tacna. En la Tabla 3 se muestra la variable principal de estudio, sus dimensiones y los indicadores que la componen.

Tabla 3*Variable, dimensiones e indicadores*

Variable Independiente (x)	Dimensión	Indicador	Escala
Caracterización geotécnica del suelo de cimentación	Hidrología	- Peligro -Vulnerabilidad -Riesgo	Ordinal y de razón
	Geotecnia	-Succión matricial -Cohesión -Ángulo de fricción -límites de Atterberg -Granulometría -Clasificación de suelos SUCS.	
	Estructuras	-Presión de contacto -Cargas estructurales	
Variable Dependiente(y)	Dimensión	Indicador	Escala
Asentamientos diferenciales en edificaciones	Asentamiento	Asentamientos diferenciales (mm)	Ordinal y de razón

3.4 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es de tipo básica con enfoque cuantitativo, porque se centra en analizar las características geotécnicas del suelo propenso a inundación. La técnica a emplearse será la observación como método principal de recolección de datos para comprender la naturaleza y las características del estudio.

3.5 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

La investigación se ubica en el **nivel descriptivo-explicativo**, ya que permite identificar y caracterizar propiedades geotécnicas del suelo y condiciones de riesgo por inundación (nivel descriptivo), así como analizar la influencia de la

succión matricial y la saturación del suelo en los asentamientos diferenciales de una vivienda representativa (nivel explicativo).

3.6 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación es de tipo no experimental y transeccional descriptivo-explicativo.

Es no experimental porque no se manipulan las variables, sino que se observan y analizan tal como ocurren en su contexto natural. No se introducen condiciones controladas ni se realiza intervención sobre la vivienda representativa ni sobre el suelo.

Es transeccional porque la recolección de datos se llevó a cabo en un solo momento en el tiempo.

Finalmente, el diseño es descriptivo-explicativo porque, además de describir las condiciones geotécnicas del suelo y el nivel de riesgo por inundación, también permite explicar cómo estos factores inciden en los asentamientos diferenciales observados en la edificación seleccionada.

3.7 ÁMBITO Y TIEMPO SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio se desarrolló en asentamientos humanos ubicados en zonas críticas de riesgo por inundación pluvial en los distritos de Alto de la Alianza y Tacna. El análisis geotécnico específico de asentamientos diferenciales se llevó a cabo en el Asentamiento Humano Mariscal Eloy G. Ureta, situado en el distrito de Alto de la Alianza.

3.8 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.8.1 Unidad de estudio

La unidad de estudio está constituida por una vivienda representativa ubicada en el Asentamiento Humano Mariscal Eloy G. Ureta, en el distrito de Alto de la Alianza, provincia de Tacna. Esta edificación fue seleccionada por encontrarse en una zona crítica de riesgo por inundación pluvial y por presentar características constructivas típicas de las viviendas autoconstruidas de la zona. Sobre esta unidad se aplicaron los análisis geotécnicos y estructurales, a fin de evaluar los asentamientos diferenciales.

3.8.2 Población

La población del estudio está conformada por las viviendas ubicadas en zonas críticas de riesgo por inundación pluvial en la ciudad de Tacna, específicamente en los asentamientos humanos Mariscal Eloy G. Ureta, Juan Velasco Alvarado y Leoncio Prado, pertenecientes a los distritos de Alto de la Alianza y Tacna. Estas viviendas presentan características constructivas informales y están cimentadas sobre suelos volcánicos, con alta vulnerabilidad estructural frente a eventos hidrometeorológicos extremos.

3.8.3 Muestra

La muestra se define en dos niveles:

- Para la evaluación del riesgo por inundación pluvial, se consideraron viviendas seleccionadas en tres asentamientos humanos:
 - Junta Vecinal Leoncio Prado (manzanas 1, 2, 6, 10, 14 y 43),
 - A.H. Mariscal Eloy G. Ureta (manzanas 6, 7, 11 y 12),
 - A.H. Juan Velasco Alvarado (manzana A).

- Para el análisis geotécnico de asentamientos diferenciales, se seleccionó una vivienda representativa ubicada en el A.H. Mariscal Eloy G. Ureta, distrito de Alto de la Alianza. Este análisis se complementó con tres puntos de exploración geotécnica en su entorno inmediato.

3.9 PROCEDIMIENTO, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

3.9.1 Procedimiento

El procedimiento metodológico de esta investigación se estructuró en tres fases principales, con el objetivo de analizar integralmente el riesgo por inundación pluvial y su relación con los asentamientos diferenciales en edificaciones cimentadas sobre suelos de ceniza volcánica.

Primera fase: Diagnóstico del área de estudio. Se inició con la identificación de las zonas críticas dentro del distrito de Alto de la Alianza, empleando información secundaria proveniente del INEI (Encuesta Nacional de Población y Vivienda 2017), planos catastrales, cartografía urbana, imágenes satelitales y registros pluviométricos del SENAMHI. Esta fase permitió reconocer los sectores vulnerables a eventos de inundación pluvial, así como el contexto social y físico del entorno construido.

Segunda fase: Evaluación del riesgo por inundación pluvial. Se aplicó la metodología establecida por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), analizando los componentes de peligro, vulnerabilidad y riesgo clasificado en niveles bajo, medio, alto y muy alto. La caracterización del peligro se basó en la intensidad, frecuencia y extensión de los eventos de lluvia; la vulnerabilidad se determinó mediante indicadores sociales, estructurales y económicos derivados de la base de datos del INEI 2017. Los niveles de riesgo fueron clasificados de acuerdo con los rangos establecidos por CENEPRED: nivel bajo, medio, alto y muy alto. La información procesada con ArGis fue fundamental para la representación geoespacial del riesgo.

Tercera fase: Análisis geotécnico de asentamientos diferenciales. Durante esta etapa, se seleccionó una vivienda de tres pisos ubicada en el Asentamiento Humano Mariscal Eloy G. Ureta, considerada representativa por presentar fisuras visibles en sus elementos estructurales, posiblemente relacionadas con asentamientos diferenciales. Para el análisis geotécnico, se recurrió a los resultados de ensayos de laboratorio contenidos en el expediente técnico elaborado por el Gobierno Regional de Tacna (GORE Tacna). Dichos ensayos incluyeron análisis granulométrico, determinación de los límites de Atterberg, ensayo Proctor modificado, pruebas de corte directo y triaxial no consolidado-no drenado (UU).

Complementariamente, se llevó a cabo un ensayo de succión matricial empleando el método del papel filtro, con el propósito de caracterizar la respuesta del suelo ante condiciones de humedad variables, propias de los procesos de infiltración provocados por lluvias intensas.

En relación con la parte estructural, se realizó el cálculo de cargas que actúan sobre la cimentación, considerando el peso propio de componentes estructurales como muros, losas y techos, así como la acción de cargas vivas y muertas según lo establecido en las Normas Técnicas E.020 y E.030. También se tuvieron en cuenta las sobrecargas particulares originadas por la edificación en altura.

Los datos obtenidos permitieron calcular la presión ejercida sobre la base de la cimentación y compararla con los asentamientos identificados, considerando la disminución de rigidez del suelo en estado parcialmente saturado. Esta integración del análisis permitió interpretar el impacto que las propiedades físico-mecánicas del suelo ejercen sobre el desempeño estructural de la edificación frente a eventos de carácter pluvial.

Finalmente, los resultados obtenidos fueron analizados e interpretados con base en los criterios de asentamientos permitidos según la Norma Técnica Peruana E.050 - Suelos y Cimentaciones, lo que permitió establecer el nivel de afectación estructural

de las edificaciones en función de la variación del módulo de elasticidad del suelo con la humedad.

3.9.2 Técnicas

En esta investigación se aplicaron técnicas orientadas al análisis geotécnico, hidráulico y de riesgo por inundación pluvial en zonas urbanas vulnerables. Se utilizaron resultados de ensayos de laboratorio provenientes del expediente técnico proporcionado por el Gobierno Regional de Tacna (GORE Tacna), los cuales permitieron caracterizar las propiedades físicas y mecánicas del suelo de fundación.

Además, se realizó un ensayo de succión matricial mediante el método del papel filtro, ejecutado por el propio tesista, con el objetivo de analizar el comportamiento del suelo en condición parcialmente saturada y saturada inducida por infiltración pluvial, y su efecto sobre el módulo de elasticidad.

Para la determinación de la vulnerabilidad social, física y económica, así como del riesgo por inundación pluvial, se utilizó información proveniente de la Encuesta Nacional de Población y Vivienda 2017 del INEI, la cual permitió caracterizar los niveles de exposición, fragilidad y resiliencia de la población en el ámbito de estudio.

La vivienda seleccionada, ubicada en el Asentamiento Humano Mariscal Eloy G. Ureta, corresponde a una edificación de tres niveles, con presencia de fisuras en muros portantes. Sus dimensiones fueron verificadas in situ mediante medición directa. Finalmente, se implementó una modelación hidráulica de escorrentía superficial usando el software IBER, integrando datos topográficos, cartográficos y pluviométricos oficiales.

3.9.3 Instrumentos

Para la recolección, análisis y representación de la información, se emplearon instrumentos agrupados según su aplicación en campo, laboratorio y gabinete. Estos permitieron abordar de manera integral los aspectos estructurales, geotécnicos e

hidrometeorológicos vinculados a los asentamientos diferenciales en zonas de riesgo:

Fichas de observación estructural: Durante la inspección presencial a la vivienda seleccionada, se emplearon fichas técnicas que permitieron recopilar de manera sistemática información detallada sobre daños estructurales visibles, tipo de cimentación, manifestaciones de deformación, presencia de fisuras y características del terreno natural subyacente.

Resultados de ensayos geotécnicos de laboratorio: Se utilizaron los resultados obtenidos de estudios previos incluidos en el expediente técnico elaborado por el Gobierno Regional de Tacna (GORE Tacna). Dichos ensayos comprendieron análisis granulométrico, determinación de límites de Atterberg, medición de densidad seca, ensayo Proctor modificado, corte directo y triaxial no consolidado-no drenado (UU), siendo fundamentales para establecer las propiedades físico-mecánicas del suelo de fundación.

Ensayo de succión matricial: Esta prueba fue desarrollada por el investigador utilizando el método del papel filtro (Whatman N.º 42). Se emplearon cápsulas metálicas, una balanza analítica, estufa, cronómetro y contenedores herméticos, con el objetivo de evaluar el comportamiento del suelo en condiciones de humedad variable. Los resultados obtenidos permitieron estimar su influencia sobre el módulo de elasticidad en suelos parcialmente saturados.

Base de datos del INEI – Censo 2017: Los datos provenientes del Instituto Nacional de Estadística e Informática se utilizaron para caracterizar la vulnerabilidad física, social y económica de las viviendas ubicadas en los sectores evaluados. Esta información sirvió de insumo para aplicar el enfoque de análisis de riesgo definido por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED).

Software IBER: Este programa fue empleado para simular el comportamiento de la escorrentía superficial ante eventos de lluvia de alta intensidad. A través de

modelación hidráulica bidimensional, se representaron escenarios de inundación en los asentamientos humanos seleccionados, integrando datos topográficos y registros oficiales de precipitación.

Software ArcGIS: Se utilizó esta herramienta de análisis espacial para generar mapas temáticos relacionados con peligro, vulnerabilidad y riesgo por inundación pluvial. La integración de imágenes satelitales, planos catastrales y capas cartográficas permitió identificar y delimitar áreas críticas dentro del área de estudio, facilitando una evaluación territorial precisa basada en datos georreferenciados.

3.10 CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO

La estructura metodológica desarrollada fue diseñada para asegurar la rigurosidad científica del estudio y mantener alineación con los objetivos planteados. A través de un enfoque cuantitativo, se abordó el fenómeno de los asentamientos diferenciales en edificaciones ubicadas en zonas de alta susceptibilidad a inundaciones pluviales, combinando técnicas de análisis descriptivo y explicativo. La implementación de instrumentos y procedimientos provenientes del trabajo de campo, laboratorio y gabinete incluyendo el ensayo de succión matricial, el cálculo de cargas estructurales, la modelación hidráulica mediante el software IBER y el análisis espacial utilizando ArcGIS permitió caracterizar con precisión la respuesta del suelo frente a condiciones de humedad variable. Esta metodología constituye el sustento técnico del análisis presentado en los capítulos siguientes y proporciona evidencia fundamentada sobre la relación entre las propiedades geotécnicas del terreno y la vulnerabilidad estructural de las construcciones evaluadas.

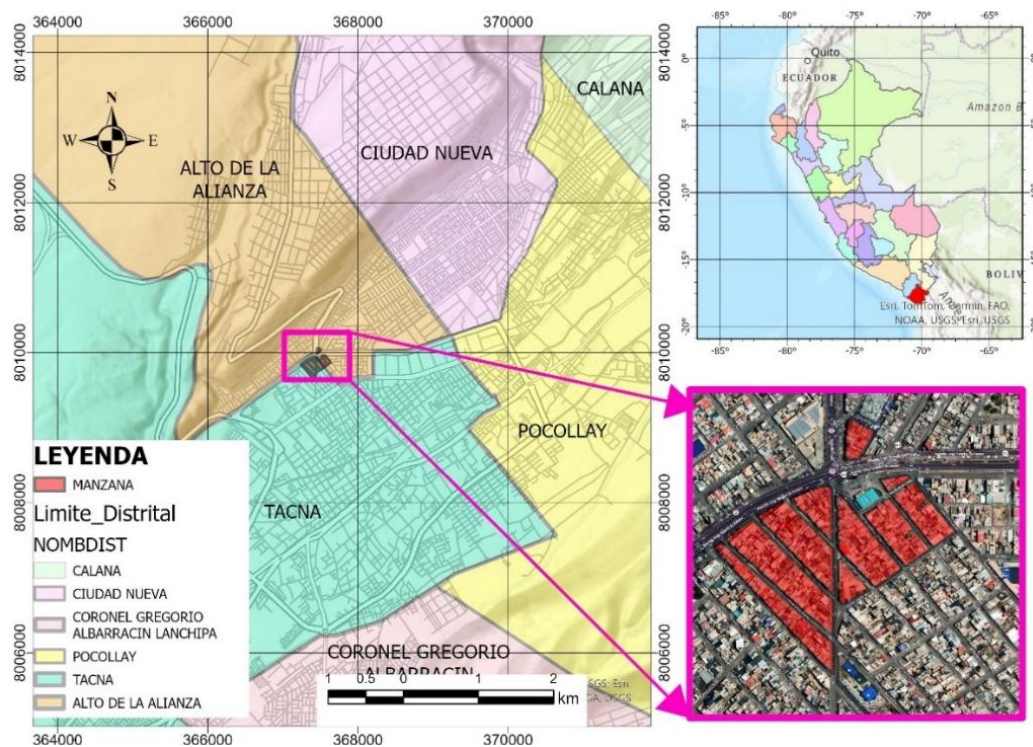
4 CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 DETALLE DEL TRABAJO DE CAMPO

4.1.1 Localización del área de estudio

Políticamente, la zona de estudio se encuentra situada en los límites entre los distritos de Tacna y Alto de la Alianza, en la provincia y región de Tacna. Geográficamente, se localiza en la costa sur del Perú.

La zona de evaluación se extiende a lo largo del área urbana que abarca los distritos de Tacna y Alto de la Alianza. Para la investigación, se optó por utilizar la técnica del censo selectivo, considerando a toda la población de 10 manzanas, lo que suma un total de 116 viviendas. Estas se encuentran distribuidas en la Junta Vecinal Leoncio Prado, en el distrito y provincia de Tacna, así como en los asentamientos humanos Mariscal Eloy G. Ureta y Juan Velasco Alvarado, en el distrito de Alto de la Alianza, como se ilustra en la Figura 4.

Figura 4*Mapa de ubicación del ámbito de estudio*

Nota. Mapa de ubicación de área de estudio. Fuente: IGN(2024)

4.1.2 Ubicación Hidrográfica

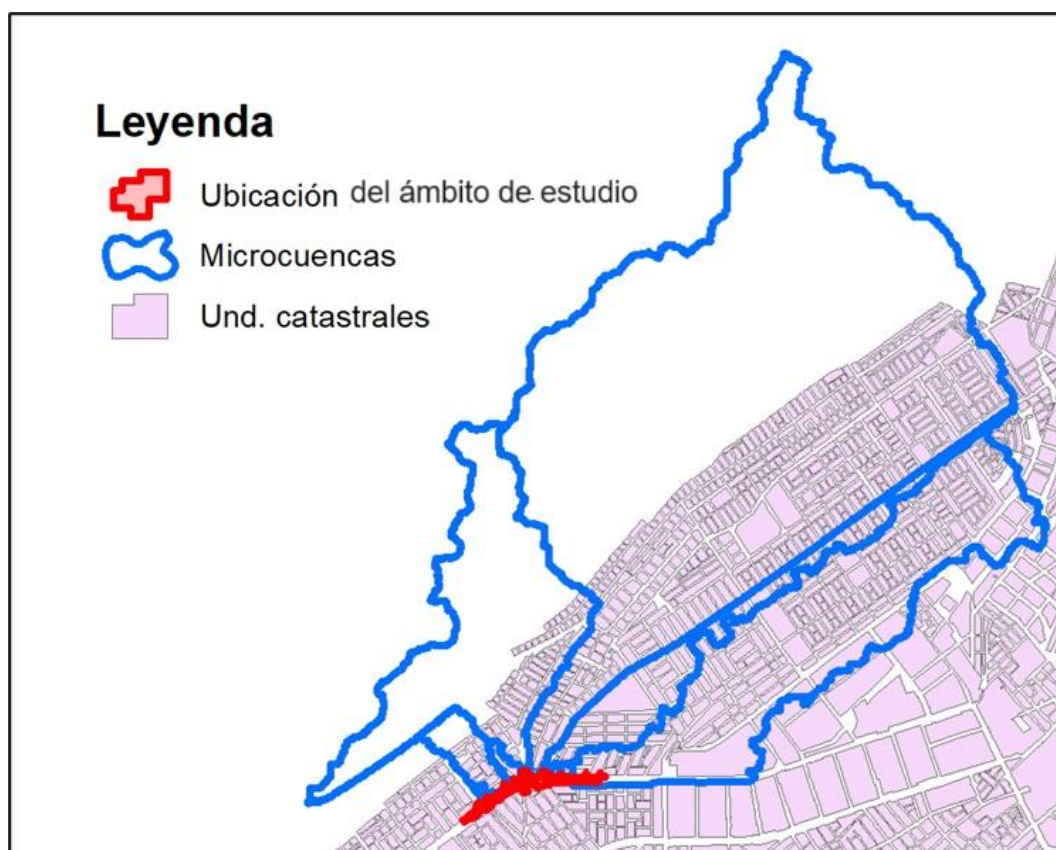
Hidrográficamente, la zona de estudio se encuentra dentro de la Cuenca del río Caplina, limitando al norte con la Cuenca Uchusuma, al este con la intercuenca 13155 y la Cuenca Lluta, y al oeste con las cuencas Sama y la intercuenca 13157.

Finalmente, las Unidades Hidrográficas (UH) delimitadas reciben la denominación de acuerdo con las calles y avenidas que convergen hacia la zona evaluada, siendo estas: calle Pachacamac, calle Chavín, calle Takana, avenida Tarata, avenida Canadá, avenida Internacional, calle Blondell, calle Yuri Gagarin y avenida Jorge Basadre Grohmann.

Los cauces principales de las UH están formados por las calles y avenidas que se ubican dentro de las delimitaciones de las UH.

Figura 5

Muestra la delimitación de las UH que desembocan en la ubicación del área de estudio



Nota. Mapa de ubicación de microcuencas. Fuente: (Instituto Geográfico Nacional (IGN), 2024)

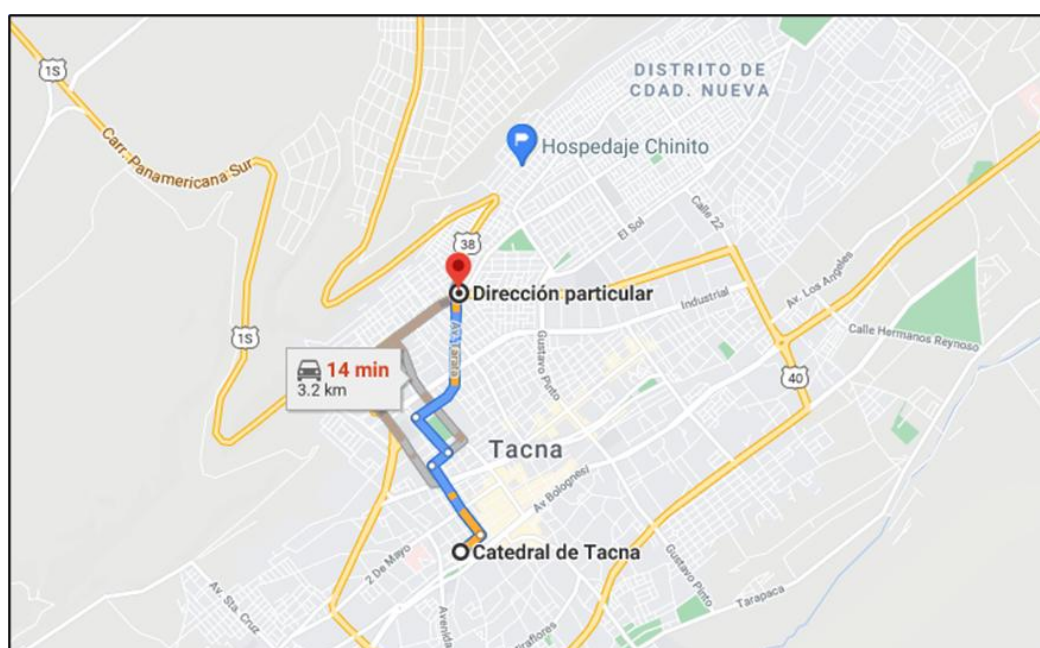
4.1.3 Vías de accesos

El acceso principal al área de estudio se realiza a través de la Ruta Nacional PE-38, pasando por el Óvalo de Salida a Lima (circunvalación norte), con una longitud de 1.500 km. Además, se puede acceder por la avenida Gustavo Pinto, que se cruza con la Alameda Jorge Basadre en el distrito de Alto de la Alianza. Ambas

vías se encuentran en óptimas condiciones, con pavimento asfáltico en toda su extensión. El acceso principal, desde el centro de la ciudad de Tacna, lo constituye la avenida Gustavo Pinto, Avenida Tarata con intersección con la Av. Jorge Basadre, La vía en mención se encuentra a nivel de carpeta asfáltica y en buen estado, el tramo se recorre aproximadamente en 20 minutos.

Figura 6

Mapa de Vías de acceso al ámbito de estudio



Nota. Mapa de vías de acceso al área de estudio. Fuente: Google Earth

4.1.4 Características Sociales

4.1.4.1 Población del ámbito de estudio

Según el Censo 2017 del INEI, la población correspondiente al área de estudio es de 855 habitantes. De esta cifra, el 53.10% corresponde a varones, mientras que el 46.90% son mujeres, distribuidos entre las 10 manzanas que conforman la zona de estudio (ver Tabla 4).

Tabla 4

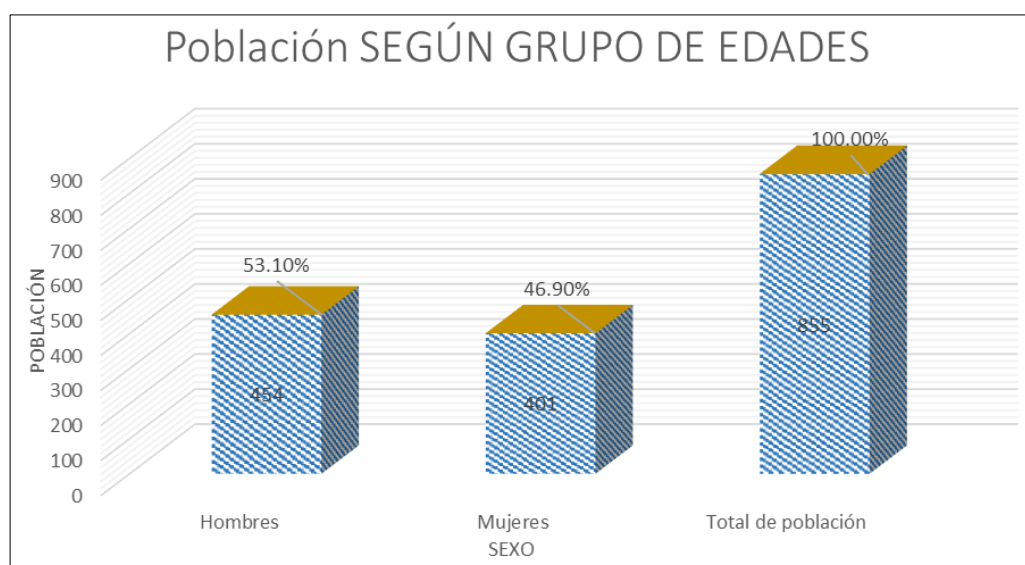
Características demográficas de la Población de la zona de estudio,

SEXO	POBLACIÓN TOTAL	PORCENTAJE
Hombres	454	53.10%
Mujeres	401	46.90%
Total de población	855	100.00%

Fuente: Censo Nacional de Población y Vivienda 2017

Figura 7

Población total de la zona evaluada según sexo



Nota. Fuente: Censo Nacional de Población y Vivienda INEI 2017

4.1.4.2 Distribución de la Población según grupo de edades

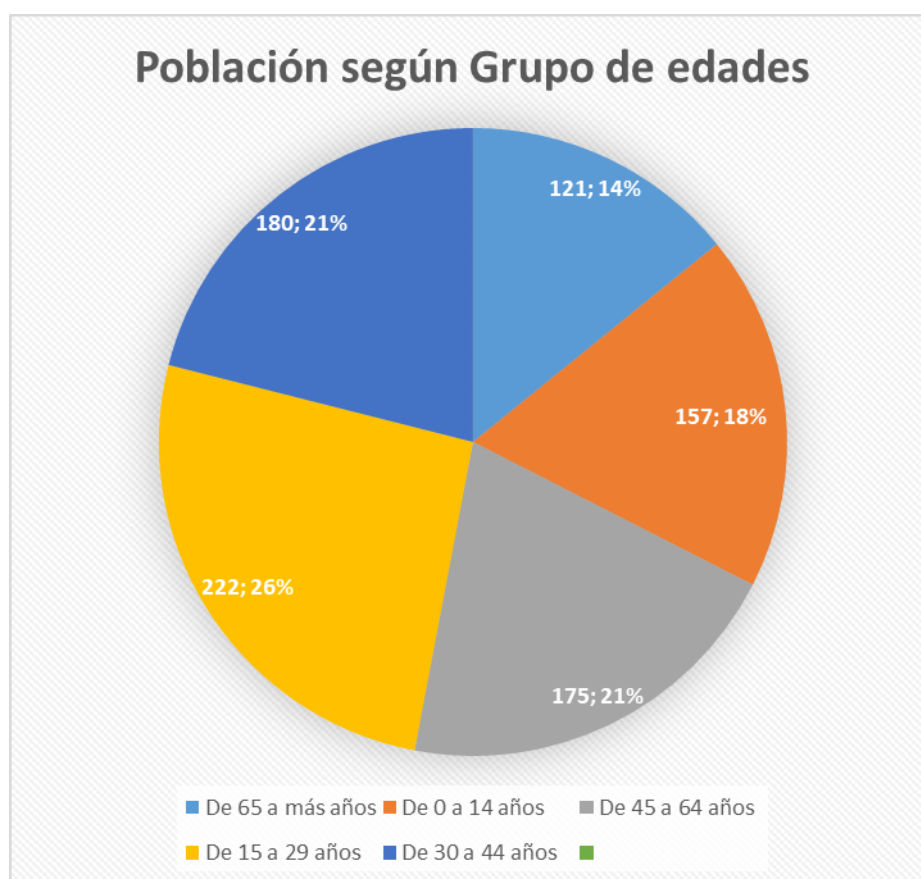
La población que se encuentra dentro del área de estudio se caracteriza por ser una población joven de acuerdo al INEI, censo Nacional de Población y Vivienda 2017, 25.96% del total de la población está en el rango de 15-29 años.

En el siguiente cuadro, se muestra a la población del ámbito de estudio, según grupo etario.

Tabla 5*Población del área de estudio clasificada por grupos etario*

Grupo de edades	CANTIDAD	%
De 65 a más años	121	14.15%
De 0 a 14 años	157	18.36%
De 45 a 64 años	175	20.47%
De 15 a 29 años	222	25.96%
De 30 a 44 años	180	21.05%
TOTAL	855	100.00%

Nota. Fuente: Censo Nacional de Población y Vivienda INEI 2017

Figura 8*Distribución de la Población por Rangos de Edad*

Nota. Fuente: Censo Nacional de Población y Vivienda INEI 2017

4.1.4.3 Vivienda

Las construcciones en el área de estudio presentan variantes claramente definidas, siendo predominantemente de ladrillo o bloques de cemento.

Se constataron 283 viviendas, la mayoría son de ladrillo y bloque de cemento, de dos niveles

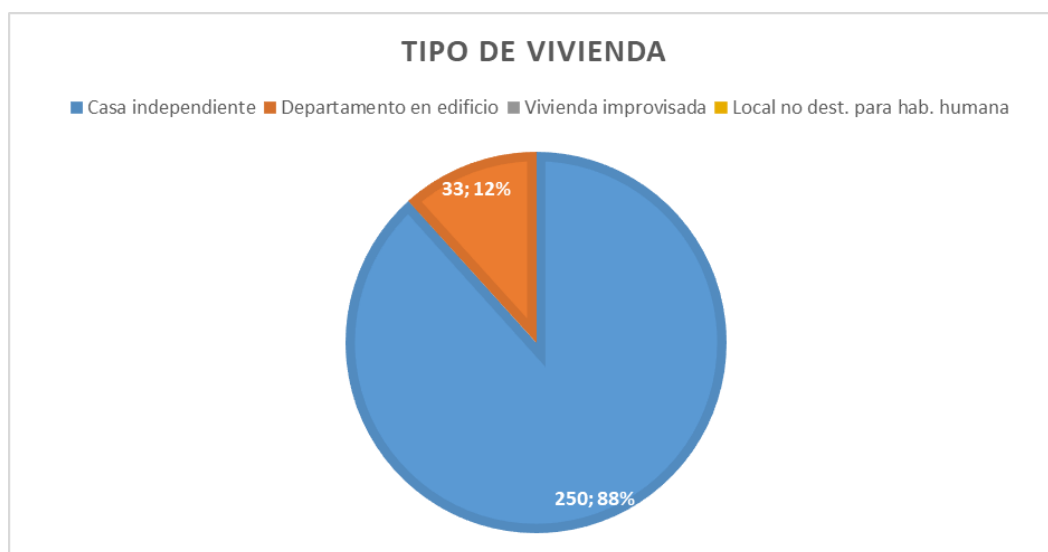
Del mismo modo en el ámbito de estudio cuenta con 238 viviendas, siendo el porcentaje más significativo del 97.14% del total de las viviendas tiene como material predominante ladrillo o bloque de cemento, seguido se encuentra con 2% las viviendas de madera y 0.81% se encuentran construido a base de adobe. El tipo de vivienda predominante es la casa independiente, con un 88.34%, seguida por el 11.66% de departamentos en edificios.

Tabla 6

Categoría de Vivienda

TIPO DE VIVIENDA	Nº DE CASOS	PORCENTAJE
Casa independiente	250	88.34%
Departamento en edificio	33	11.66%
Vivienda improvisada	0	0.00%
Local no dest. para hab. humana	0	0.00%
TOTAL	283	100.00%

Nota. Información tomada de encuesta Nacional sobre Población y Vivienda 2017

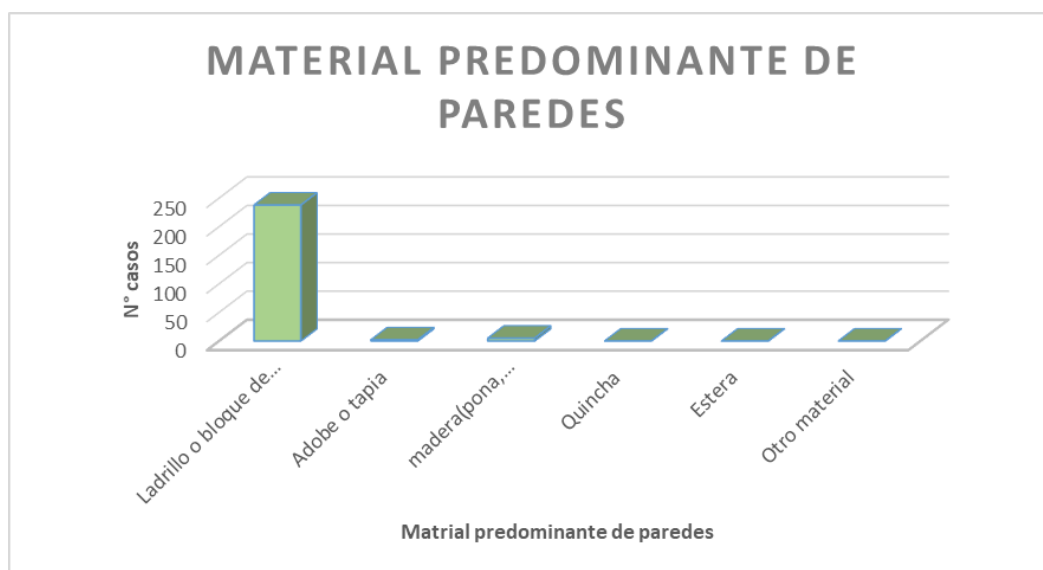
Figura 9*Tipo de vivienda en el ámbito de estudio*

Nota. Tipo de vivienda predominante en la zona de estudio según Encuesta Nacional sobre Población y Vivienda, 2017

Tabla 7*Material Principal de las Paredes de las Viviendas*

MATERIAL PREDOMINANTE DE LA PARED	Nº DE CASOS	%
Ladrillo o bloque de cemento	238	97.14%
Adobe o tapia	2	0.81%
madera(pona, tornillo, etc)	5	2.04%
Quincha	0	0.00%
Estera	0	0.00%
Otro material	0	0.00%
Total de casos	245	100.00%

Nota. Censo Nacional de Población y Vivienda 2017

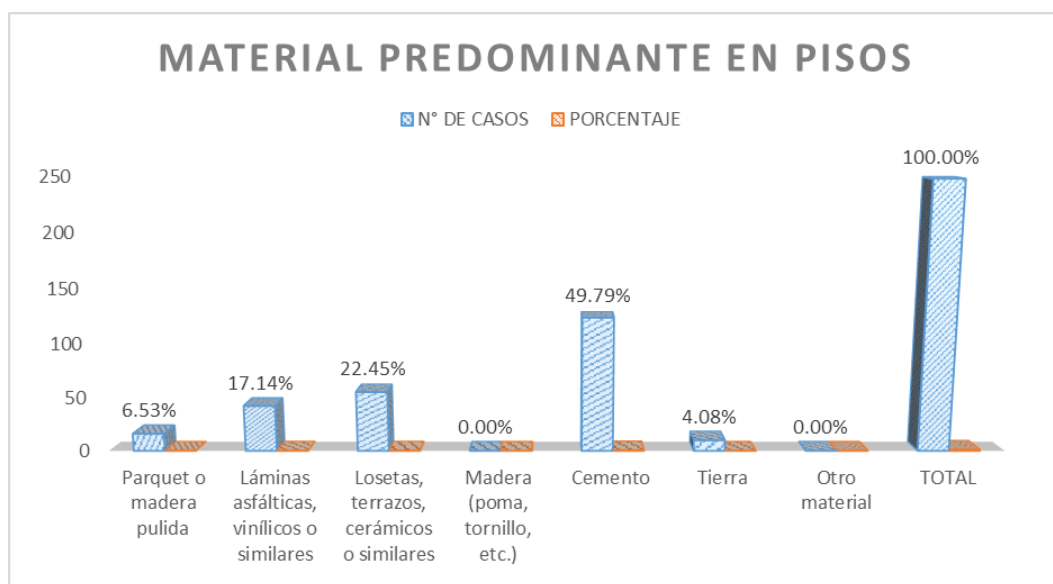
Figura 10*Material predominante de paredes*

Nota. Tipo material predominante de las paredes en la zona de estudio según Encuesta Nacional sobre Población y Vivienda, 2017

Tabla 8*Material Principal Utilizado en los Pisos de las Viviendas*

MATERIAL PREDOMINANTE EN PISOS	N° DE CASOS	PORCENTAJE
Parquet o madera pulida	16	6.53%
Láminas asfálticas, vinílicos o similares	42	17.14%
Losetas, terrazos, cerámicos o similares	55	22.45%
Madera (poma, tornillo, etc.)	0	0.00%
Cemento	123	49.79%
Tierra	10	4.08%
Otro material	0	0.00%
TOTAL	246	100.00%

Nota. Datos tomado del Censo Nacional de Población y Vivienda 2017

Figura 11*Material predominante en pisos*

Nota. Datos tomado del Censo Nacional de Población y Vivienda INEI (2017)

4.1.4.4 Suministro de agua potable

De acuerdo con los datos del INEI, en el Censo Nacional de Población y Vivienda 2017, el 96.34% de la población en el área de estudio dispone de un sistema de agua potable o red pública dentro de su vivienda, mientras que el 3.66% tiene acceso a la red pública fuera de la vivienda, pero dentro de la misma edificación.

Tabla 9*Suministro de Agua potable en Viviendas*

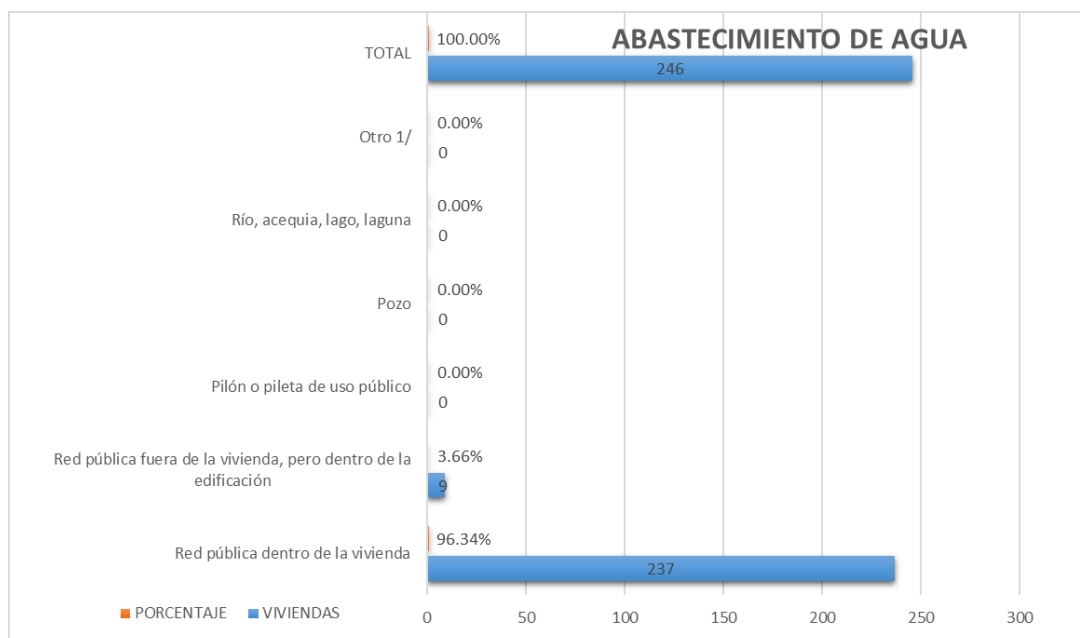
ABASTECIMIENTO DE AGUA	VIVIENDAS	PORCENTAJE
Red pública dentro de la vivienda	237	96.34%
Red pública fuera de la vivienda, pero dentro de la edificación	9	3.66%
Pilón o pileta de uso público	0	0.00%
Pozo	0	0.00%
Río, acequia, lago, laguna	0	0.00%
Otro 1/	0	0.00%

TOTAL	246	100.00%
-------	-----	---------

Nota. Datos tomado del Censo Nacional de Población y Vivienda 2017

Figura 12

Abastecimiento de agua



Nota. Datos tomado del Censo Nacional de Población y Vivienda 2017

4.1.4.5 Servicios de desagüe

De acuerdo con los datos del INEI del Censo Nacional de Población y Vivienda 2017, el 96.34% de la población en el ámbito de estudio dispone de un sistema de alcantarillado dentro de la vivienda, mientras que el 3.66% tiene acceso a la red pública de desagüe fuera de la vivienda, pero dentro de la edificación..

Tabla 10

Servicios de Desagüe

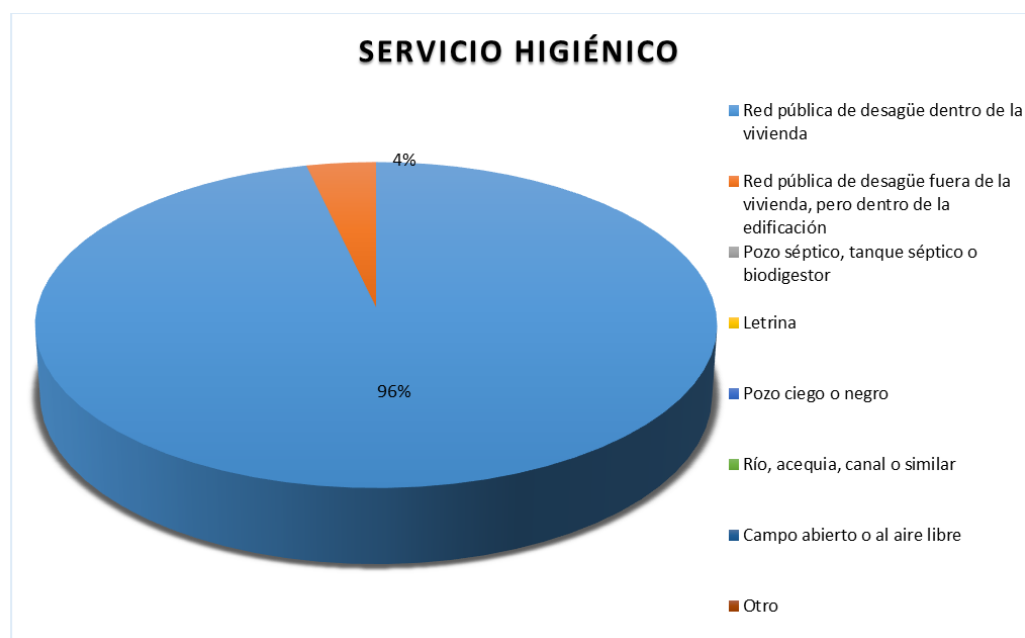
TIPO DE SERVICIO HIGIÉNICO QUE TIENE LA VIVIENDA	CANTIDAD	PORCENTAJE
--	----------	------------

Red pública de desagüe dentro de la vivienda	237	96.34%
Red pública de desagüe fuera de la vivienda, pero dentro de la edificación	9	3.66%
Pozo séptico, tanque séptico o biodigestor	0	0.00%
Letrina	0	0.00%
Pozo ciego o negro	0	0.00%
Río, acequia, canal o similar	0	0.00%
Campo abierto o al aire libre	0	0.00%
Otro 1/	0	0.00%
TOTAL	246	100.00%

Nota. Datos tomado del Censo Nacional de Población y Vivienda 2017

Figura 13

Servicio higiénico



Nota. Datos tomado del Censo Nacional de Población y Vivienda 2017

4.1.4.6 Energía Eléctrica

Todas las viviendas del ámbito de estudio cuenta con servicio de energía eléctrica.

4.1.4.7 Educación

Dentro del ámbito de estudio se encuentra una institución educativa. La más cerca es la institución educativa Manuel de Mendiburu que cuenta con 363 estudiantes y 17 docentes y en Centro Técnico productivo María Parado de Bellido cuenta con 55 estudiantes y 4 docentes como se muestra en la Tabla N°11.

Tabla 11

Infraestructura de Centros Educativos

CÓDIGO MODULAR	NOMBRE DE IE	NIVEL/ MODALIDAD	Gestión/ Dependencia	Alumnos 2024	DOCENTES	FUENTE
646372	Manuel de Mendiburu	Primaria, Secundaria	Pública-Sector Educación	363	17	ESCALE
1660737	María Parado de Bellido	Técnico Productivo	Privada	55	4	ESCALE

Nota. Fuente: ESCALE - 2024

4.1.5 caracterización física del área de estudio

4.1.5.1 características geológicas de la zona

Las unidades geológicas identificadas en las proximidades del área de estudio han sido representadas en el Mapa Geológico (hoja 37v), a escala 1:50,000, elaborado por INGEMMET en 2012. El análisis geológico y geomorfológico se ha realizado a partir de la recopilación de información técnica tanto a nivel regional como local, referente a la zona de estudio y a la ciudad de Tacna, y se detalla a continuación:

4.1.5.1.1 Formación Huaylillas- Superior

Sobre el nivel sedimentario se acumula una unidad volcánica compuesta por una secuencia de tobas, que varían desde poco soldadas hasta completamente soldadas. Estas tobas, de composición intermedia entre riolitas y dacitas, presentan colores que oscilan entre el blanco y el marrón oscuro. Están constituidas por fragmentos de pómez, lapilli, clastos líticos en la base de los flujos, y cristales de cuarzo

violáceo bipiramidal y biotitas. La transición rápida y progresiva entre las facies, desde las poco soldadas hasta las altamente soldadas, sugiere la presencia de una columna de enfriamiento, lo que indica que los depósitos se originaron durante un mismo evento eruptivo, relacionado con un proceso de consolidación por enfriamiento.

Figura 14

Afloramiento de tobas soldadas de la Formación Huaylillas Superior



Nota. Fuente: Fotografía tomada por el autor

4.1.5.1.2 Depósito fluvioaluvial

Fluvio aluvial (conglomerado), Geológicamente se clasifica como un conglomerado de clastos polimicticos de rocas volcánicas (andesita, riolita y granodiorita) clasto soportado, matriz arenosa Geotécnicamente esta constituidas por Grava pobremente gradadas (GP) de clastos redondeados a subredondeados cuyos diámetros esta entre 4 cm a 12 cm, sustentadas en una matriz arenosa de grano medio a fino. Color del suelo en condiciones húmedas gris claro. En la figura

se puede apreciar núcleo de perforación diamantina que muestra el contacto entre la toba de ceniza y lapilli

Figura 15

Contacto en toba y el deposito fluvioaluvial en nucleos de perforación DDH



Nota. Fotografía tomada por el autor durante la ejecución de Perforación DDH del proyecto “Creación del intercambio vial a desnivel en la Av. Jorge Basadre Grohmann, intersecciones con la Av. Tarata e Internacional, distrito Alto de la Alianza, provincia de Tacna, departamento de Tacna”.

4.1.5.1.3 Toba de ceniza y lapilli no soldada

Toba de ceniza y lapilli no soldada, presenta poca compactación y es deleznable, compuesto por escasos fragmentos líticos de hasta 14 mm polimicticos subangulosos de origen volcánico (andesita, riolita, andesita Silicificada) y pómez de hasta 6cm subredondeados a subangulosas, presenta ojos de cuarzo vitrificado en pómez y, matriz rica en ceniza con cristales de Cuarzo (5% a 7%) + biotita < 1%. De color blanquecino. Arena limosa con gravas, de consistencia blanda a media, presenta compacidad Ligeramente densa, color blanquecino. Las arenas son de grano medio representando el 60% y los limos el 35% y las gravas un 5%. Esta toba presenta dos subunidades que fueron diferenciadas durante los trabajos de perforación diamantina con fines Geotécnicos, estas sub unidades son similares en composición la única diferencia es la coloración que les difiere a una de la otras, la sub unidad

inferior presenta una coloración rosácea y la sub unidad superior presenta una coloración blanquecina. La potencia de la toba de ceniza y lapilli en la zona del proyecto tiene una potencia de 30.90 metros.

Figura 16

Muestras de toba lapilli no soldada obtenido mediante sondaje diamantino



Nota. Fotografía tomada por el autor durante la ejecución de Perforación DDH del proyecto “Creación del intercambio vial a desnivel en la Av. Jorge Basadre Grohmann, intersecciones con la Av. Tarata e Internacional, distrito Alto de la Alianza, provincia de Tacna, departamento de Tacna”.

Figura 17

Fotografía de Calicata CB-01 mostrando Corte profundo durante excavación en suelo de ceniza volcánica en la Av. Jorge Basadre, Alto de la Alianza



Nota. Fotografía que muestra la profundidad de la excavación y la estratigrafía del suelo en el área del proyecto de infraestructura vial en el distrito Alto de la Alianza, Tacna. Fuente: Estudio de geología y geotecnia del proyecto “Creación del intercambio vial a desnivel en la Av. Jorge Basadre Grohmann, intersecciones con Av. Tarata e Internacional, distrito de Alto de la Alianza - provincia de Tacna - departamento de Tacna” (2022).

4.1.5.1.4 Depósito aluvial (Qh-al)

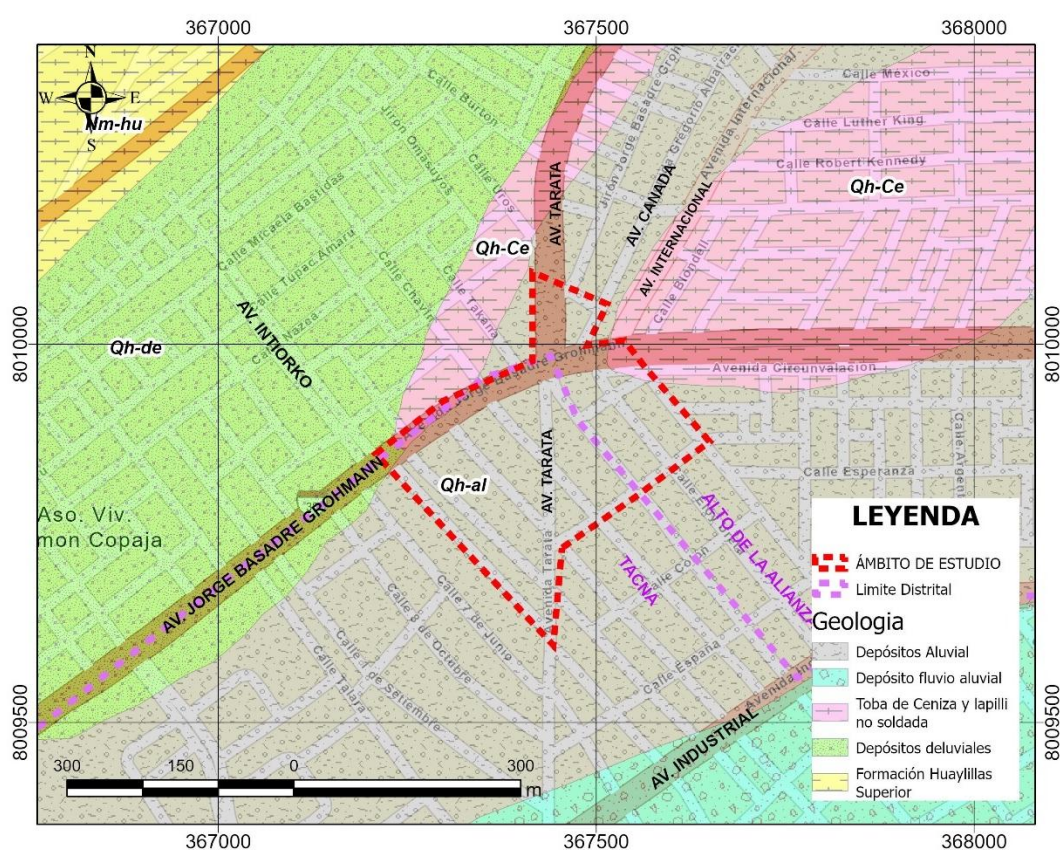
Depósito aluvial, conformado niveles de arenas cuarzosa y niveles de limo, de color marrón de consistencia muy blanda, compacidad muy suelta.

4.1.5.1.5 Rellenos antrópicos (Qh-an)

Relleno conformado por arenas limosas con gravas de compacidad suelta a medianamente denso color marrón en estado húmedo, Las arenas de grano fino el 70%, los limos de baja plasticidad el 30%, las gravas de forma sub angulosas 10%.

Figura 18

Mapa geológico del ámbito de estudio en el distrito de Alto de la Alianza, Tacna



Nota. Mapa geológico elaborado en ArcGIS a partir de datos descargados del INGEMMET. Fuente: INGEMMET (2024).

4.1.5.2 Geomorfología Local

4.1.5.2.1 Colina o lomada piroclástica (CL-p)

Esta unidad geomorfológica, de origen predominantemente denudacional, se caracteriza por un relieve moderadamente escarpado con pendientes inferiores a

20° y alturas menores a los 300 m sobre el nivel de base local, lo que excluye su clasificación como montaña. La modelación del paisaje en esta zona ha sido influenciada principalmente por procesos de erosión y desgaste superficial, asociados a la denudación de materiales más superficiales debido a la acción de agentes como el agua, viento y gravedad. Las laderas, que presentan pendientes promedio superiores al 16%, reflejan un proceso activo de erosión, lo cual favorece la formación de terrenos inestables susceptibles a deslizamientos y otros fenómenos de remoción en masa. Esta estructura geomorfológica es típica de zonas en transición entre las áreas de montañas y las llanuras aluviales, donde la dinámica de los procesos erosivos y deposicionales define la configuración del relieve, litológicamente está compuesta por rocas volcanoclásticas de la formación Huaylillas Superior reducidos por procesos denudativos. Esta unidad geomorfológica conforma el cerro Intiorko y Se ubican al NW del área de estudio.

4.1.5.2.2 Ladera (L)

Esta unidad geomorfológica está conformada por elevaciones con pendientes superiores al 25° en sus sectores más altos, compuestas principalmente por materiales deluviales. El origen de estas laderas se atribuye a procesos endógenos, específicamente a esfuerzos tectónicos que actuaron sobre grandes paquetes de rocas de diversas composiciones a lo largo del tiempo, provocando su elevación hasta alcanzar la morfometría actual. Estos procesos tectónicos han generado una topografía accidentada y escarpada, lo que implica una considerable actividad geológica en la región. Las características de estas unidades geomorfológicas han sido reconocidas en gran parte del área de estudio, influyendo directamente en la dinámica del suelo y su comportamiento frente a fenómenos naturales, como deslizamientos o erosión.

4.1.5.2.3 Superficie de flujo piroclástico(sfdp)

Esta área presenta un relieve relativamente plano y extenso, ubicada hacia el noreste de la zona de estudio. Limita al norte con depósitos de flujos piroclásticos,

compuestos principalmente por ceniza volcánica. Las pendientes de esta zona son generalmente inferiores al 10°, lo que denota una topografía suave y poco accidentada. Además, la región está atravesada por varias quebradas que no superan los 20 m de profundidad, lo que sugiere una baja intensidad en los procesos erosivos y una estabilidad geomorfológica en comparación con otras áreas de mayor pendiente. Este tipo de relieve podría ser favorable para estudios de riesgo de inundación o asentamientos, ya que la baja inclinación y la presencia de quebradas pueden influir en la acumulación de aguas pluviales o en la permeabilidad del suelo.

4.1.5.2.4 Vertiente aluvial(v-al)

La zona de estudio se encuentra en una planicie ligeramente inclinada, situada al pie de las estribaciones andinas o sistemas montañosos. Esta área se ha formado por la acumulación de sedimentos transportados por corrientes de agua estacionales, lo que genera un relieve suave, con la posibilidad de que se desarrollen abanicos aluviales debido al movimiento lateral y cíclico de los ríos o quebradas que los originan. Las pendientes de estos depósitos varían de suaves a moderadas, con rangos entre 1° y 15°. En el ámbito específico de la zona de estudio, se observan en los tramos bajos de las quebradas Caramolle y Quebrada del Diablo, donde el transporte de sedimentos y la dinámica de las corrientes fluviales influyen en la morfología del terreno, lo que puede tener implicaciones significativas para el comportamiento hidráulico, la permeabilidad del suelo y la estabilidad de las estructuras construidas en la zona.

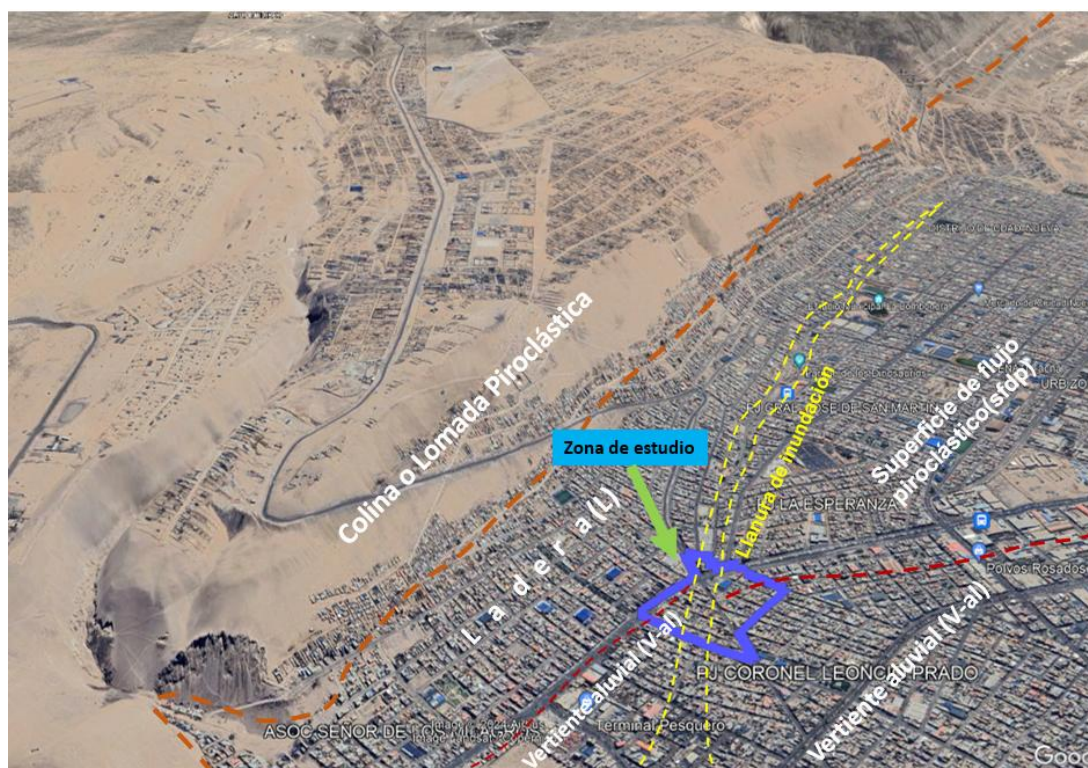
4.1.5.2.5 Llanura de Inundación (PI_i)

Una llanura aluvial de inundación, también conocida como valle de inundación, es una área de relieve plano que forma parte del fondo orográfico de un cauce, y que tiene la capacidad de ser inundada durante crecidas de agua originadas por precipitaciones intensas. En la zona de estudio, esta unidad geomorfológica está constituida principalmente por depósitos aluviales y rellenos, producto de la acción de las aguas de las laderas y zonas altas de la ciudad, especialmente de la zona de

Ciudad Nueva. Durante la temporada de lluvias, las aguas provenientes de estas áreas fluyen a través de la Avenida Canadá, conduciendo el agua hacia la Avenida Jorge Basadre, donde se generan inundaciones debido a la saturación del sistema de drenaje y la falta de capacidad para manejar el volumen de agua. Este fenómeno de inundación tiene implicaciones directas sobre la infraestructura urbana, la seguridad de los habitantes y la estabilidad de las edificaciones en las zonas bajas cercanas al cauce.

Figura 19

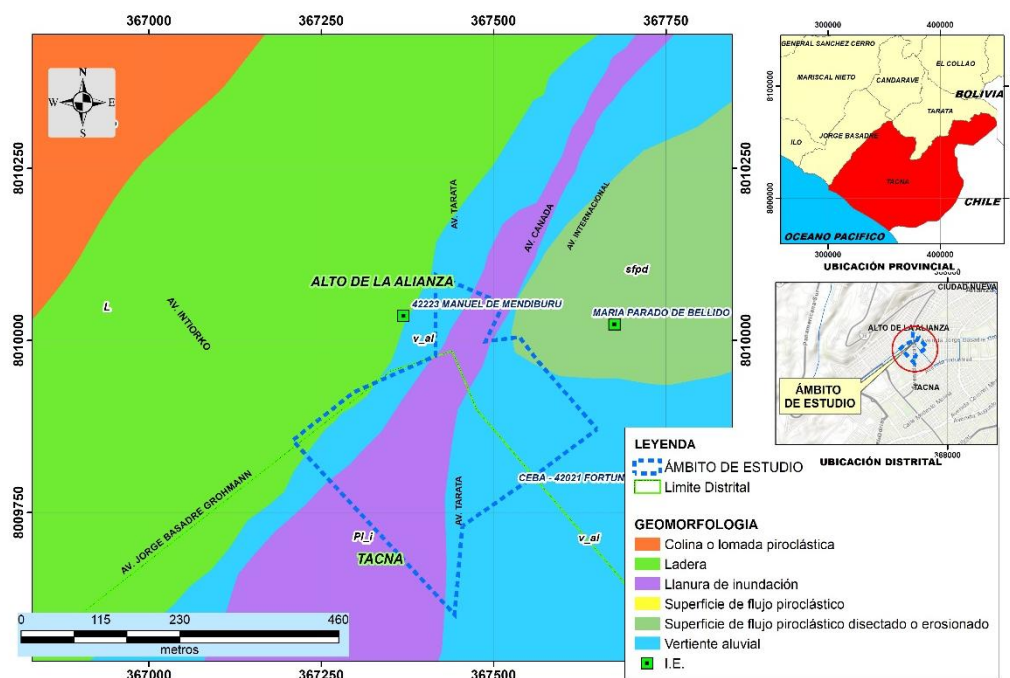
Zona de estudio y unidades geomorfológicas superpuestas sobre imagen satelital de Google Earth



Nota. Imagen satelital modificada por el autor para mostrar la ubicación de la zona de estudio, así como unidades geomorfológicas y posibles zonas de inundación en el distrito de Alto de la Alianza, Tacna. Fuente: Imagen base de Google Earth (2024).

Figura 20

Mapa geomorfológico del ámbito de estudio en el distrito de Alto de la Alianza, Tacna



Nota. Mapa elaborado por el autor a partir de datos geomorfológicos obtenidos del INGEMMET, con delimitación del ámbito de estudio y categorización adaptada al contexto local. Fuente: Adaptado de INGEMMET (2024).

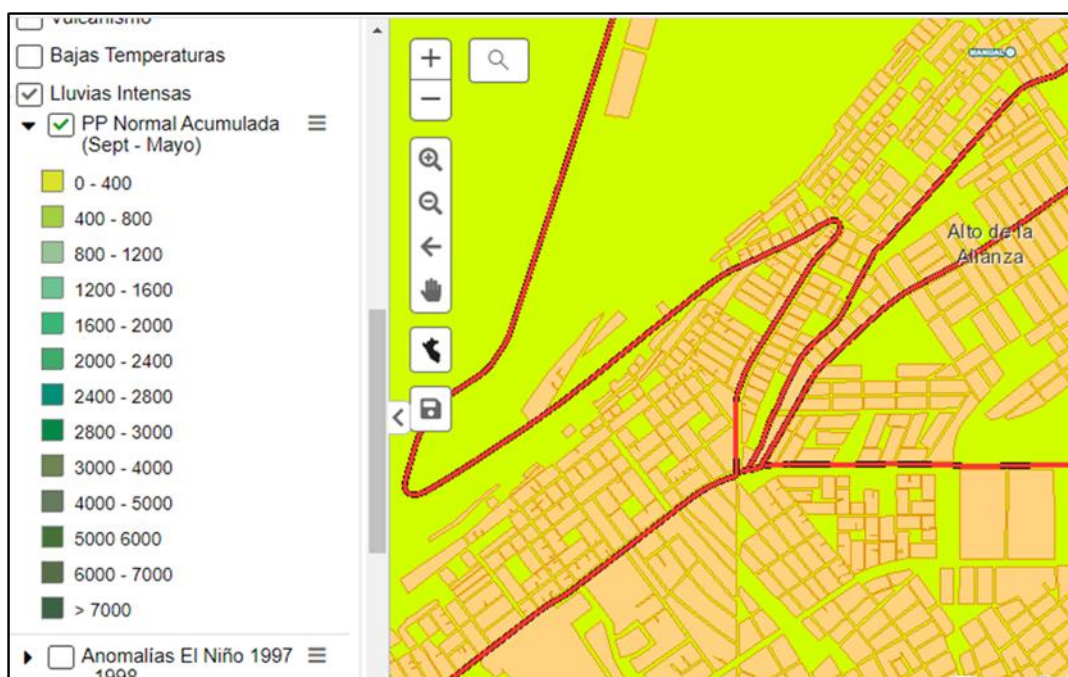
4.1.5.3 Precipitaciones

Las precipitaciones más frecuentes en la zona de estudio ocurren entre los meses de noviembre y abril. En términos generales, las precipitaciones acumuladas anuales varían entre los 10 mm y 400 mm, con los meses de septiembre a mayo registrando los mayores niveles de precipitación. Para este análisis, se ha considerado la precipitación máxima en 24 horas (P24) proveniente de dos estaciones pluviométricas cercanas al área de estudio.

Para evaluar el impacto potencial de las lluvias extremas, se calculará la precipitación máxima en 24 horas con un periodo de retorno de 100 años, ya que se espera que esta magnitud sea suficiente para generar inundaciones en el área del proyecto. Según el Procedimiento N° 08, el análisis hidrológico recomienda calcular los caudales máximos de diseño para tiempos de retorno de 100 años en zonas urbanas y de 50 años en zonas rurales. Dado que el área en cuestión es urbana, se adoptará un periodo de retorno de 100 años para el análisis de caudales extremos y la evaluación del riesgo de inundación.

Figura 21

Mapa de precipitación normal acumulada (septiembre–mayo) en el distrito de Alto de la Alianza, Tacna



Nota. Precipitación normal acumulada expresada en milímetros, basada en registros históricos para el periodo septiembre–mayo. Fuente: portal Geoservidor del MINAM (2024)

4.1.5.3.1 Recolección de información

La información de precipitación máxima en 24 horas a escala temporal anual de las estaciones MAP-Jorge Basadre y CP-Calana fue adquirida del SENAMHI, Ver Tabla 12 y Tabla 13.

Tabla 12

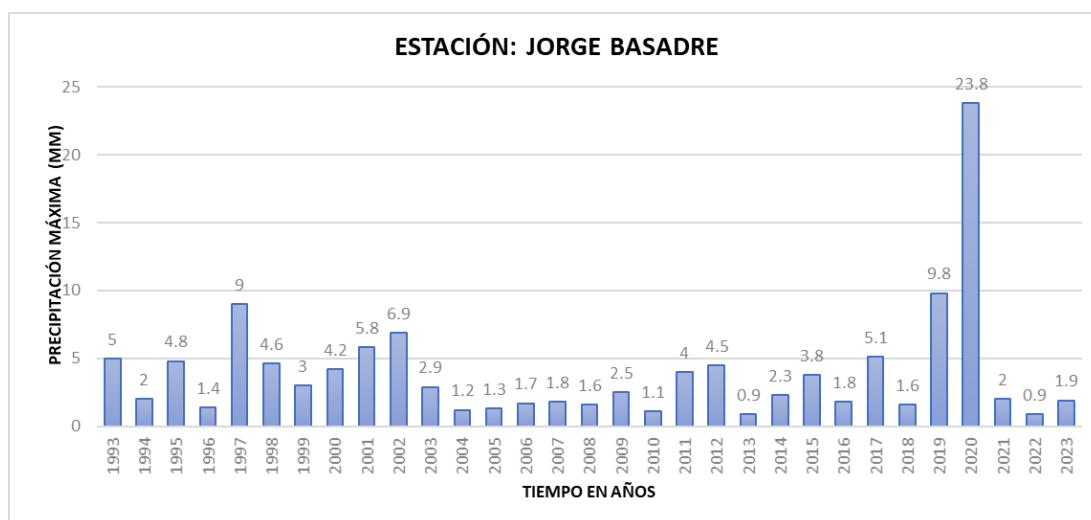
Valor máximo de lluvia en 24 horas por año de MAP-Jorge Basadre

Año	PP	Año	PP	Año	PP	Año	PP	Año	PP
1993	5	2000	4.2	2007	1.8	2014	2.3	2021	2
1994	2	2001	5.8	2008	1.6	2015	3.8	2022	0.9
1995	4.8	2002	6.9	2009	2.5	2016	1.8	2023	1.9
1996	1.4	2003	2.9	2010	1.1	2017	5.1	-	-
1997	9	2004	1.2	2011	4	2018	1.6	-	-
1998	4.6	2005	1.3	2012	4.5	2019	9.8	-	-
1999	3	2006	1.7	2013	0.9	2020	23.8	-	-

Nota. Fuente SENAMHI(2024).

Figura 22

Precipitación máxima anual en 24 horas registrada en la estación Jorge Basadre (1993–2023)



Nota. Registro de la precipitación máxima diaria anual (en mm) en la estación Jorge Basadre para el periodo 1993–2023. Se observa un valor atípico en el año 2020. Fuente: SENAMHI (2024).

Tabla 13

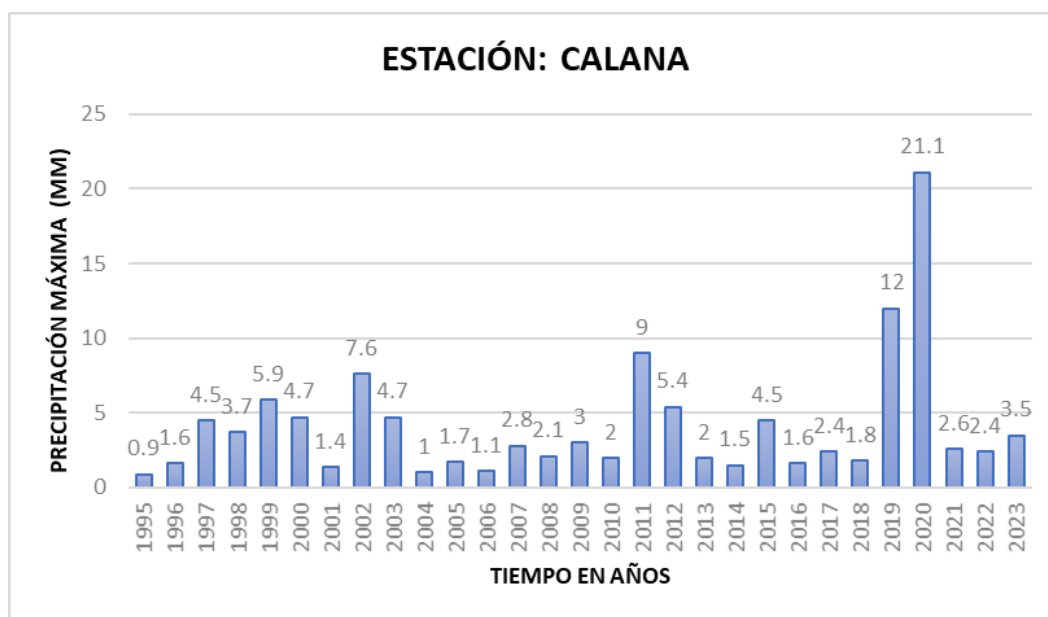
Precipitación máxima anual en 24 horas de CP-Calana

Año	PP	Año	PP	Año	PP	Año	PP	Año	PP
1995	0.9	2002	7.6	2009	3	2016	1.6	2023	3.5
1996	1.6	2003	4.7	2010	2	2017	2.4	-	-
1997	4.5	2004	1	2011	9	2018	1.8	-	-
1998	3.7	2005	1.7	2012	5.4	2019	12	-	-
1999	5.9	2006	1.1	2013	2	2020	21.1	-	-
2000	4.7	2007	2.8	2014	1.5	2021	2.6	-	-
2001	1.4	2008	2.1	2015	4.5	2022	2.4	-	-

Nota. Fuente SENAMHI (2024).

Figura 23

Precipitación máxima anual en 24 horas registrada en la estación Calana



Nota. Registro de la precipitación máxima diaria anual (en mm) en la estación Jorge Basadre para el periodo 1993–2023. Se observa un valor atípico en el año 2020. Fuente: SENAMHI (2024).

Tabla 14

Precipitación máxima en 24 hrs(mm) estimada por tiempo de retorno en las estaciones Calana y Jorge Basadre

ID	Tiempo Retorno (años)	Estaciones SENAMHI	
		Calana	J. Basadre
1	500	60.09	57.54
2	200	41.35	39.9
3	175	39.11	37.78
4	140	35.54	34.4
5	100	30.69	29.79
6	50	23.8	26.9
7	25	16.03	15.78
8	10	10.2	10.2
9	5	6.45	6.48
10	2	3.13	3.3

Nota. Fuente SENAMHI (2024).

4.1.5.4 Red de estaciones

La elección de las estaciones cercanas al área de estudio se realizó utilizando el portal web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI 2024). Considerando además las delimitación de las microcuencas. Las estaciones elegidas, MAP-Jorge Basadre y CP-Calana, están ubicadas dentro de la jurisdicción de la Dirección Zonal 7 del SENAMHI. Las coordenadas geográficas y el datum WGS84 de estas estaciones se encuentran en la Tabla 15, y su localización está ilustrada en la Figura 24.

Tabla 15

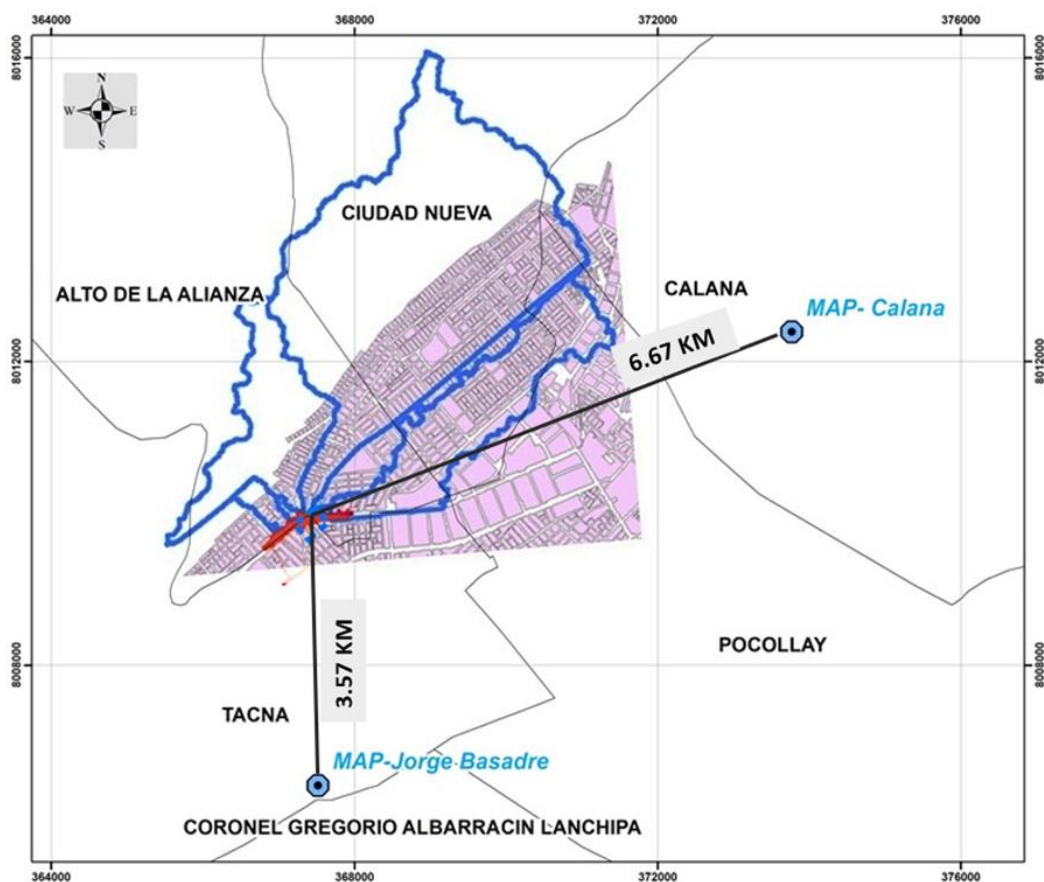
Información red de estaciones para Proyecto

Item	Estación	Tipo	Latitud	Longitud	Altitud
1	MAP-Jorge Basadre	Meteorológica	18°01'36.8"	70°15'05.5"	538 msnm
2	CP-Calana	Meteorológica	17°58'28.5"	70°11'33.5"	785

Nota. Coordenadas geográficas y altitud de las estaciones meteorológicas consideradas para el análisis de precipitación en el distrito de Alto de la Alianza, Tacna. Fuente: SENAMHI (2024).

Figura 24

Subcuencas urbanas y Ubicación red estaciones para el estudio



Nota. Mapa muestra la localización de las estaciones meteorológicas MAP-Jorge Basadre y CP-Calana respecto a la zona de estudio, incluyendo las distancias lineales aproximadas y las microcuencas asociadas.

4.1.5.5 Identificación de Datos Atípicos en la Precipitación Máxima en 24 Horas

La definición de valores extraños o dato anómalo, según (OMM, 2011) es “aquel que aparece alejado del conjunto de datos”.

La identificación de los valores extremos de la información de precipitación máxima anual en 24 horas de las estaciones seleccionadas para el ámbito de estudio es determinada a partir del gráfico de cajas (box plot) y la prueba de Grubbs-Beck.

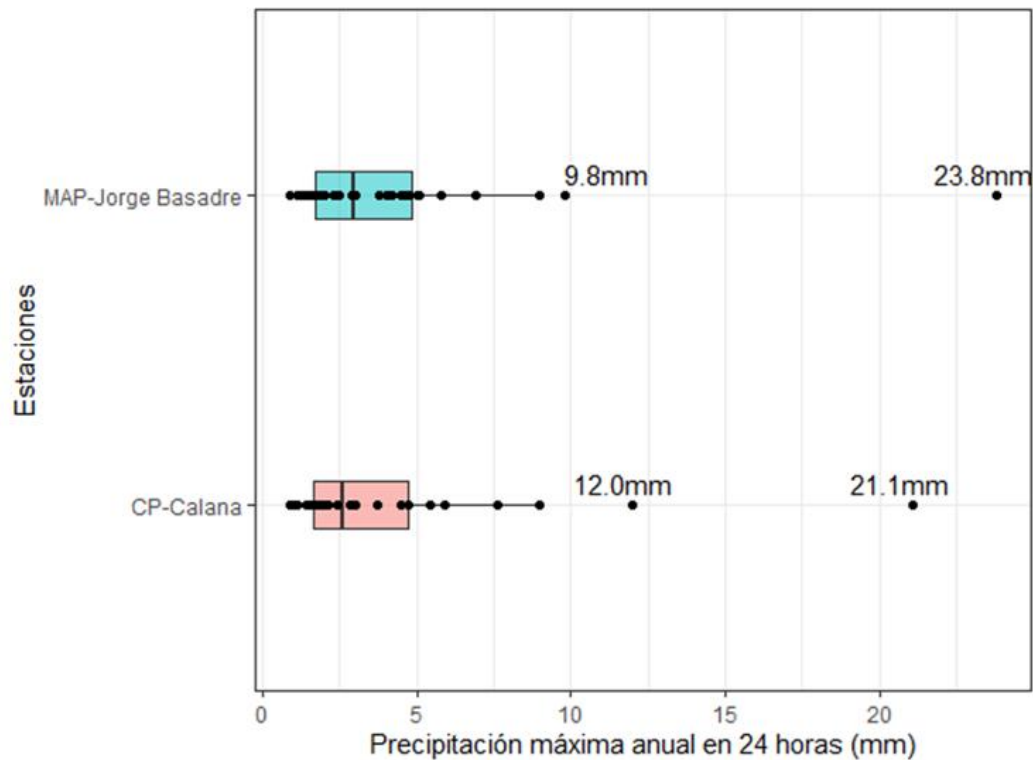
4.1.5.5.1 Gráfico de cajas

También conocido como diagrama de caja, el box plot es una representación gráfica que muestra un rectángulo alineado con el primer y tercer cuartil de la muestra. Dentro del rectángulo se encuentra la mediana (segundo cuartil). Se extienden líneas hacia arriba y hacia abajo que abarcan hasta 1.5 veces el rango intercuartílico. Los valores que se encuentran fuera de estos límites se consideran atípicos (Naghattini, 2017).

La **Figura 25** muestra la variabilidad de la precipitación máxima anual en 24 horas para las estaciones MAP-Jorge Basadre y CP-Calana. Se observa que, aunque ambas estaciones presentan distribuciones similares, la estación CP-Calana registra valores ligeramente más altos en su mediana (12.0 mm frente a 9.8 mm en Jorge Basadre), lo cual podría deberse a su mayor altitud (785 msnm vs. 538 msnm). Además, ambas series presentan valores atípicos, destacando en Jorge Basadre un evento extremo de 23.8 mm en un solo día, correspondiente al año 2020. Este tipo de análisis permite identificar la recurrencia de eventos intensos de precipitación, fundamentales para la evaluación de amenazas hidrometeorológicas en zonas urbanas vulnerables como el distrito de Alto de la Alianza.

Figura 25

Boxplot de las precipitaciones máximas anual en 24 horas de las estaciones



4.1.5.6 Pruebas de Bondad de Ajuste

Esta prueba se utiliza para verificar si la distribución de probabilidad de una población puede representar adecuadamente la realidad observada en los puntos de la muestra (Naghttini, 2017). La prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov (KS) se basa en la mayor diferencia entre los valores de una distribución acumulativa empírica y la distribución esperada, calculada para todos los puntos en una muestra de una variable aleatoria continua. La prueba KS no es adecuada para variables aleatorias discretas (Naghttini, 2017). Las hipótesis que se evalúan son las siguientes:

H0 : La distribución de probabilidad representa los valores evaluados.

H1 : La distribución de probabilidad no representa los valores evaluados.

Se asignó la distribución de probabilidad teórica de Weibull para realizar la prueba de bondad de ajuste..

En la Tabla 17, todas las distribuciones de probabilidad se ajustan adecuadamente a los datos de precipitaciones máximas anuales en 24 horas de las estaciones, ya que los estadísticos tabulados para MAP-Jorge Basadre (0.2570) y CP-Calana (0.2667) superan a los estadísticos calculados. Sin embargo, la distribución Gamma de 2 parámetros, utilizando el método de momentos lineales, no proporciona un buen ajuste para ambas estaciones.

La distribución de probabilidad seleccionada para representar la información de las estaciones es LogPearson Tipo III porque su estadístico calculado de la prueba KS es menor en comparación de sus estadísticos correspondientes de las estaciones.

Tabla 16

Estadísticos calculados de la prueba KS

Item	Distribución de Probabilidad	MAP-Jorge Basadre		CP-Calana	
		MO	ML	MO	ML
1	Normal	0.2135	0.1889	0.1992	0.1905
2	LogNormal 2 parámetros	0.1072	0.1054	0.1100	0.1078
3	LogNormal 3 parámetros	0.0955	-	0.0933	-
4	Gamma 2	0.1088	0.3069	0.1366	0.3379
5	Gamma 3	**	**	**	**
6	LogPearson Tipo III	0.0938	0.09181	0.0904	0.09411
7	Gumbel	0.1973	0.1266	0.1863	0.1359
8	LogGumbel	0.1247	0.1199	0.1171	0.1091

Nota. Fuente SENAMHI

4.1.5.7 Umbrales de precipitación establecidos para el área de intervención:

Los umbrales de precipitación sirven para caracterizar las lluvias en extremadamente lluvioso; muy lluvioso; lluvioso y moderadamente lluvia mediante sus percentiles. Considerar lluvia diaria a las precipitaciones acumuladas en 24 horas mayores a 0.1mm (PP>0.1mm). Las precipitaciones debajo del percentil 75 son consideradas lluvias usuales (Alfaro Lozano, 2014).

En la Tabla 17 se pueden observar los umbrales de precipitación clasificados según la cantidad de lluvia registrada, 5 lluvias son caracterizadas extremadamente lluvioso; 10 muy lluviosas; 5 lluviosas; 7 moderadamente lluviosas y 1 lluvia usual. Los percentiles determinados son 99p igual a 5.2 mm; 95pp igual a 2.5 mm; 90p igual a 1.7 mm; 75p igual a 1.0. Mencionar que desde el año 2017 hasta el 2020 son caracterizadas desde muy lluviosas hasta extremadamente lluviosas.

Se considera como una zona de alta pluviosidad, ya que la precipitación máxima en 24 horas, con un período de retorno de 100 años, alcanza los 29.79 mm en la estación Jorge Basadre, valor que supera el percentil 99p.

Tabla 17

Estación MAP-Jorge Basadre: Umbrales calculados de las precipitaciones diarias

Item	Umbrales de precipitación diaria	Caracterización de lluvias extremas	Umbrales calculados (mm)	Cantidad lluvias
1	99p < PP	Extremadamente lluvioso	5.2 < PP	5
2	95p < PP < 99p	Muy lluvioso	2.5 < PP < 5.2	10
3	90p < PP < 95p	Lluvioso	1.7 < PP < 2.5	5
4	75p < PP < 90p	Moderadamente	1.0 < PP < 1.7	7
5	PP < 75p	Lluvia usual	PP < 1.0	1

Nota. Fuente SENAMHI

4.1.5.8 Pendientes

Este parámetro representa el ángulo de inclinación del terreno, el cual se expresa en grados o porcentajes, y juega un papel importante en los procesos de inundación, puesto que, mientras menos pronunciada sea la pendiente, mayor predisposición a que el área se expuesta a una inundación, ante la ocurrencia de un evento de precipitación extrema como lo ocurrido el 21 de febrero del 2020.

En las cercanías del área de estudio, se observan pendientes que van desde muy bajas hasta medias, según los rangos definidos en la Tabla N°18. Este parámetro es fundamental para la estabilidad de las laderas, ya que influye en los procesos de erosión. A medida que la pendiente disminuye, aumenta la susceptibilidad a las inundaciones.

El diseño del mapa de pendientes del área de estudio se elaboró utilizando el Modelo Digital de Elevación (MDE), el cual fue generado a partir del levantamiento topográfico de la zona. Para su desarrollo, se emplearon técnicas y herramientas de geoprocésamiento, como el análisis espacial, la construcción de modelos y el área de influencia, utilizando ArcGIS 10.8, con el fin de representar de manera gráfica los ángulos de inclinación del relieve en la zona de estudio. Los rangos de pendiente son los siguientes:

Tabla 18

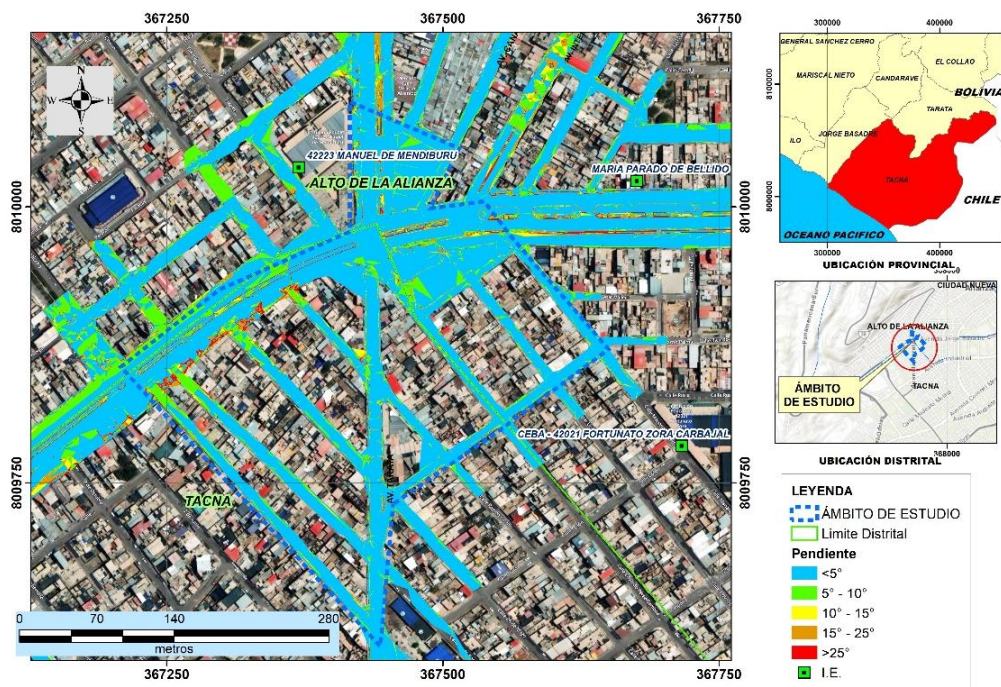
Rangos de pendientes del terreno del ámbito de estudio

Rangos	Descripción
<5°	Pendiente Muy Baja
5° - 10°	Pendiente Baja
10° - 15°	Pendiente Media
15° - 25°	Pendiente Fuerte
>25°	Pendiente Muy Fuerte

Nota. La tabla presenta la clasificación de las pendientes utilizada para la caracterización del área de estudio

Figura 26

Mapa de pendiente del ámbito de estudio



Nota. Mapa muestra las pendientes del ámbito de estudio, obtenidas a partir del modelo digital de elevación (DEM).

4.1.5.9 Temperatura

La temperatura es el factor más estrechamente relacionado con las variaciones altitudinales (orografía). En la cuenca bajo estudio, la temperatura regional oscila entre un máximo de 27.25°C y un mínimo de 23.81°C , correspondiendo a una altitud aproximada de 530 msnm, que corresponde a la altura promedio de las estaciones cercanas al área de estudio.

4.1.5.10 Hidrología

La zona evaluada está ubicada en la cuenca hidrográfica Caplina, la cual pertenece a la región hidrográfica de la vertiente del Pacífico.

Región Hidrográfica : Vertiente del Pacífico

Cuenca Hidrográfica : Caplina (13156)

Así mismo el área evaluada está ubicado en la jurisdicción de la Autoridad Administrativa del Agua (AAA) de Caplina-Ocoña y de la Autoridad Local del Agua (ALA) de Caplina-Ocoña.

Se ha realizado una extrapolación de las precipitaciones máximas en 24 horas para diversos períodos de retorno, como se detalla en el siguiente cuadro.

Tabla 19

Estaciones seleccionadas: Precipitaciones máximas en 24 horas por período de retorno

Item	Tr	$P(x \leq RR)$	$P(x > RR)$	MAP-Jorge Basadre	CP-Calana
1	100	0.01	0.99	29.79	30.69
2	50	0.02	0.98	26.90	23.80
3	25	0.04	0.96	15.78	16.03
4	10	0.10	0.90	10.20	10.20
5	5	0.20	0.80	6.48	6.45
6	2	0.50	0.50	3.30	3.13

El caudal de diseño para las Unidades Hidrográficas, calculado para los períodos de retorno de 25, 59 y 100 años, se presenta en la Tabla N° 21, expresado en m³/s

Tabla 20

Microcuencas: caudales de las descargas para los tiempos de retorno

Item	Microcuenca	Caudal (cms)		
		25 años	50 años	100 años
1	Av. Canadá	0.332	2.084	3.819
2	Av. Internacional	0.105	0.461	0.635
3	Av. Jorge Basadre	0.424	1.607	2.369
4	Av. Tarata	0.012	0.333	0.513

5	Calle Blondell	0.002	0.010	0.013
6	Calle Chavín	0.002	0.058	0.095
7	Calle Pachacamac	0.005	0.020	0.026
8	Calle Takana	0.013	0.062	0.078
9	Calle Yuri Gagarin	0.003	0.014	0.018

4.1.6 Simulación Hidráulica IBER

La aplicación de un modelo hidrodinámico es una herramienta crucial en el ordenamiento territorial y la toma de decisiones. Constituye un apoyo técnico esencial en la evaluación de amenaza, riesgo y vulnerabilidad, evitando que estas evaluaciones se basen en suposiciones arbitrarias y carentes de datos reales.

Iber es un modelo numérico avanzado para la simulación de flujos turbulentos en lámina libre en régimen no permanente, así como para el análisis de procesos medioambientales en hidráulica fluvial. Su aplicación abarca diversas áreas, incluyendo la hidrodinámica fluvial, la simulación de la rotura de presas, la evaluación de zonas inundables, el cálculo del transporte de sedimentos y el modelado del flujo de mareas en estuarios.

El modelo Iber se compone de tres módulos de cálculo fundamentales: un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia y un módulo de transporte de sedimentos. Todos los módulos operan sobre una malla no estructurada de volúmenes finitos, utilizando elementos triangulares o cuadriláteros. El módulo hidrodinámico, que constituye la base del modelo Iber, resuelve las ecuaciones bidimensionales de aguas someras promediadas en profundidad, también conocidas como las ecuaciones de St. Venant 2D (Bladé et al., 2014).

Además, el modelo Iber es validado para cauces que interceptan en 90° como son las calles (Bladé et al., 2014).

4.1.6.1 Topografía del área de estudio

Para la ejecución de los levantamientos topográficos en el área de estudio, se emplearon dos metodologías complementarias: levantamiento mediante tecnología GPS en modo RTK (Real Time Kinematic) y levantamiento con estación total a través del método de radiación. La adquisición de datos se realizó a partir de una poligonal base y una poligonal de apoyo, establecidas previamente mediante observaciones combinadas de GPS diferencial y topografía convencional.

El sistema RTK permite obtener coordenadas precisas en tiempo real sin requerir visibilidad directa entre la estación base y el receptor móvil. Esto se logra gracias a algoritmos avanzados que resuelven las ambigüedades de fase mediante un proceso de inicialización, permitiendo la corrección continua de datos a través de señales transmitidas por radio con una potencia de 0.5 W. Dichos algoritmos recalculan las correcciones de forma automática en menos de un segundo por cada punto topográfico medido.

Utilizando las curvas de nivel y con la ayuda del software ArcGIS 10.8, se elaboró un Modelo Digital de Elevación (MDE) en formato ráster, el cual fue convertido a formato ASCII para su posterior importación en el Iber 2D. Con este archivo en formato ASCII, se incorporó la información de elevación a la malla de cálculo del modelo. El área correspondiente al ámbito de intervención del presente estudio.

4.1.6.2 Modelo digital de terreno (DEM)

Apartir de las curvas de nivel con el uso del ArcGis 10.8 se creó El modelo de elevación digital (DEM) utilizado tiene resolución de 0.20 m. La tolerancia de la malla no estructura es 0.01; la longitud máxima es 5 metros y la longitud mínima es 0.50 metros.

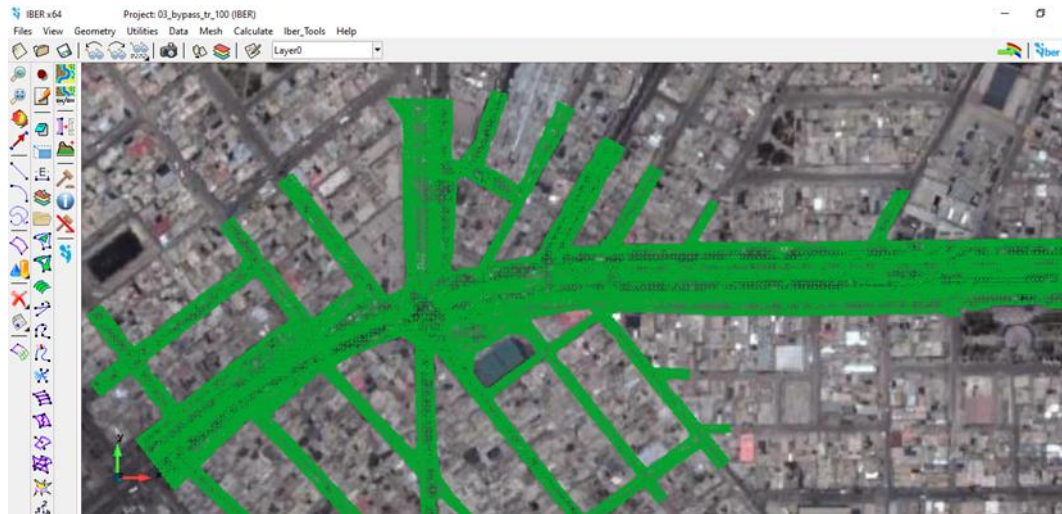
El modelo digital de elevación DEM de 0.2 m considerado en el estudio fue generado a partir del levantamiento topográfico realizado para la creación del paso a desnivel en este sector seguidamente lo he procesado en el software Qgis y a partir de este he obtenido el formato ASCII y de esta manera al importar este último

formato podremos trabajar limpiamente nuestro modelo Hidrológico en IBER. Los datos de precipitación de dos estaciones de aforo fueron suministrados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

4.1.6.3 Generación del enmallado Calculo

Para generar la malla de cálculo en el programa IBER, se utilizó la herramienta “RTIN” (Triangulación Irregular de Nodos), que permite crear e importar una geometría formada por triángulos rectangulares a partir de un Modelo Digital del Terreno (MDT) en formato ASCII, previamente generado en ArcInfo.

Con el propósito de preservar la exactitud del modelo digital, se definió una tolerancia máxima de importación de 0,1 m, coherente con la precisión altimétrica del MDT empleado. Asimismo, se estableció un límite máximo de 0.5 m para la longitud de los lados de los triángulos, asegurando una representación topográfica adecuada del área en análisis.

Figura 27*Construcción de malla Iber***Figura 28***Esquema del proceso de modelado hidráulico en el software Iber*

Nota. El diagrama muestra el flujo de trabajo para el modelado hidráulico, que incluye la topografía del terreno, el modelo digital de elevación (DEM), la

generación de la malla de cálculo, así como los insumos como el caudal máximo de inundación y el coeficiente de Manning. Los resultados incluyen la altura y velocidad del agua, y el mapa de peligros.

4.1.6.4 Resultados del Modelo

Con base en los resultados obtenidos del modelamiento hidrológico, se procedió a ejecutar la simulación hidráulica correspondiente al escenario de un periodo de retorno de 100 años dentro del ámbito de estudio.

Es importante señalar que dicha simulación fue desarrollada considerando las condiciones topográficas, así como las características hidrológicas e hidráulicas propias del área analizada.

Figura 29

Distribución espacial del calado (m) en el área de estudio tras simulación hidráulica en IBER



Nota. El mapa muestra la profundidad del agua (calado) generada por una simulación hidráulica bidimensional en el software Iber, basada en un escenario de

inundación en la intersección de la Av. Jorge Basadre con Av. Tarata e Internacional, distrito de Alto de la Alianza. Las zonas en rojo representan mayor profundidad. Fuente: Gobierno Regional de Tacna (2021).

Para validar aún más los diferentes modelos, se utilizaron observaciones in situ, incluyendo su tiempo y geoposición, para compararlas con los resultados de la simulación. Las profundidades de inundación se estimaron a partir de imágenes georreferenciadas que se muestran en la Figura 30 utilizando objetos como personas, vehículos, calles, paradas de autobús, etc.

Figura 30

Evidencia de inundación superficial en la zona de estudio asociada al evento pluvial del 21 de febrero de 2020 en zonas críticas del distrito de Alto de la Alianza, Tacna



Nota. Fotografías captadas el 21 de febrero de 2020, durante el evento de lluvia intensa que precedió el huaico en la Quebrada del Diablo. Las imágenes muestran el anegamiento de vías urbanas en áreas donde se identificó riesgo por asentamientos diferenciales en edificaciones. A) Inundación en la calle Canadá; B) Acumulación de agua en la avenida Tarata.; C) Desborde en la avenida Jorge Basadre. Fuente: Fotografía propia (2020).

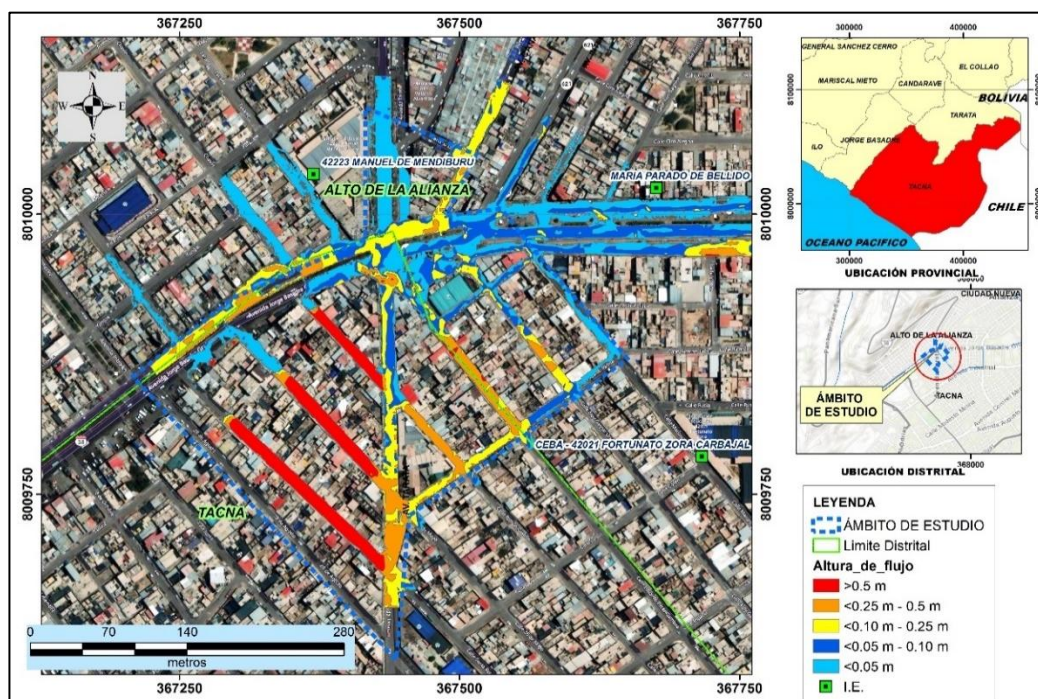
Las imágenes presentadas en la Figura 30 evidencian la magnitud de los eventos de inundación que afectan recurrentemente al distrito de Alto de la Alianza, Tacna. En

estos eventos se observa la acumulación significativa de agua sobre vías urbanas, plazas y viviendas, lo que confirma que el área de estudio está sujeta a eventos pluviales extremos con periodos de retorno relativamente cortos.

A partir de los niveles de agua generados por las máximas avenidas en el área de estudio, se elaborará el mapa de inundación correspondiente. Este será construido en función de las alturas de lámina de agua, las cuales se utilizarán como parámetro clave para la evaluación del riesgo de inundación pluvial en el ámbito de intervención.

Figura 31

Mapa de Inundación superficial generado a partir del modelado hidráulico en el ámbito crítico de Alto de la Alianza, Tacna



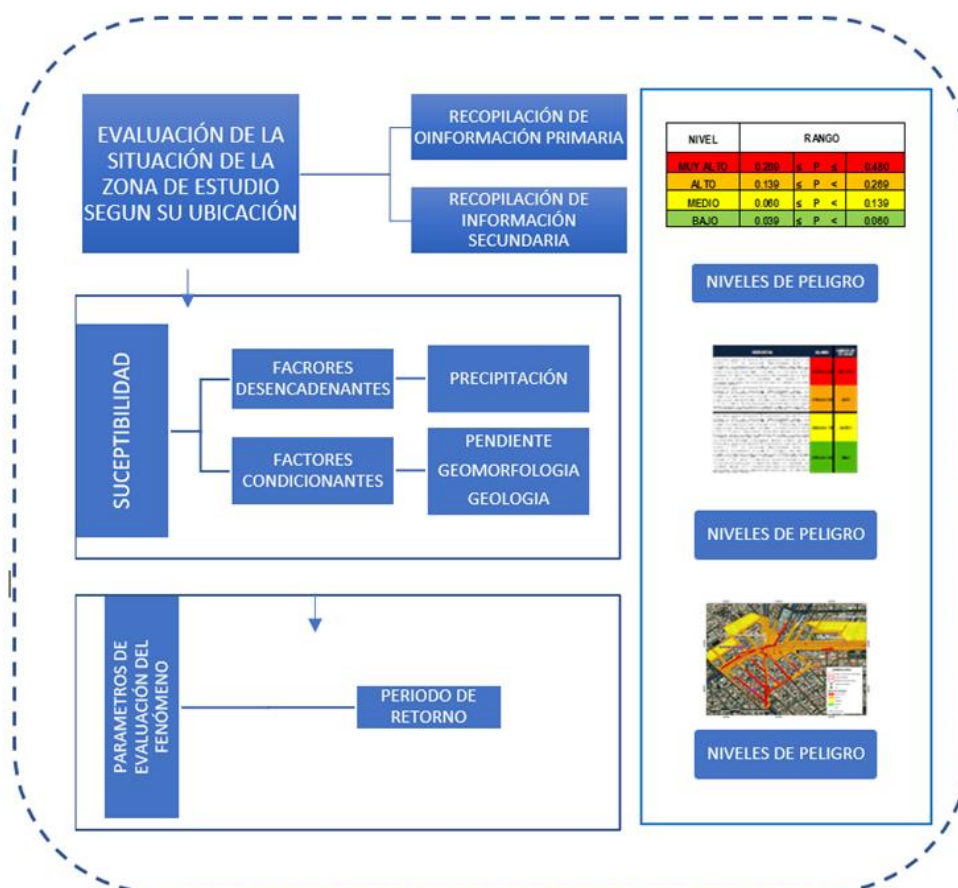
Nota. Mapa generado a partir de la simulación hidráulica bidimensional con el software Iber, utilizando como insumo el estudio hidrológico desarrollado por el Gobierno Regional de Tacna (2021). Se representa la distribución espacial de la altura de lámina de agua bajo condiciones de escorrentía superficial, identificando zonas críticas propensas a inundación y riesgo de asentamientos diferencial.

4.1.7 Determinación del peligro.

En la presente investigación se ha identificado un peligro natural de origen hidrometeorológico, específicamente el relacionado con inundaciones pluviales. Si bien en el área de estudio también se manifiestan otros tipos de amenazas como geodinámica interna y externa, riesgos biológicos, fenómenos hidrometeorológicos adicionales e incluso peligros inducidos por la actividad humana, el análisis se enfocará exclusivamente en el peligro de inundación pluvial. Esta decisión responde a que los niveles altos de amenaza por inundación influyen significativamente en la estabilidad y comportamiento de los asentamientos diferenciales en edificaciones, aspecto central del presente estudio. Dichas inundaciones pueden generar variaciones en el nivel freático y en la humedad del suelo, lo que afecta directamente los asentamientos del terreno y, por ende, compromete la integridad estructural de las construcciones ubicadas en zonas críticas a inundación en la ciudad de Tacna.

Figura 32

Metodología general para determinar el nivel de peligro



Nota. Diagrama metodológico aplicado para determinar niveles de peligro por inundación, integrando factores físicos (pendiente, geología, geomorfología), precipitaciones y periodo de retorno.

4.2 DISEÑO DE LA PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.2.1 Estudio de Mecánica de Suelos

4.2.1.1 Exploración Geotécnica

La exploración geotécnica incluyó la ejecución de una calicata de 10.5 m y dos perforaciones diamantinas, con profundidades alcanzadas de 34 y 34.5 metros. Los ensayos se realizaron en el laboratorio de mecánica de suelos de HI GEOPROJECT CONSULTORÍA S.R.L. Los resultados obtenidos para esta investigación fueron

tomados del estudio geotécnico realizado para el expediente definitivo de la creación de un paso a desnivel en la zona.

A continuación, se presenta un cuadro con las ubicaciones de las exploraciones de acuerdo con las coordenadas UTM WGS-84.

Tabla 21

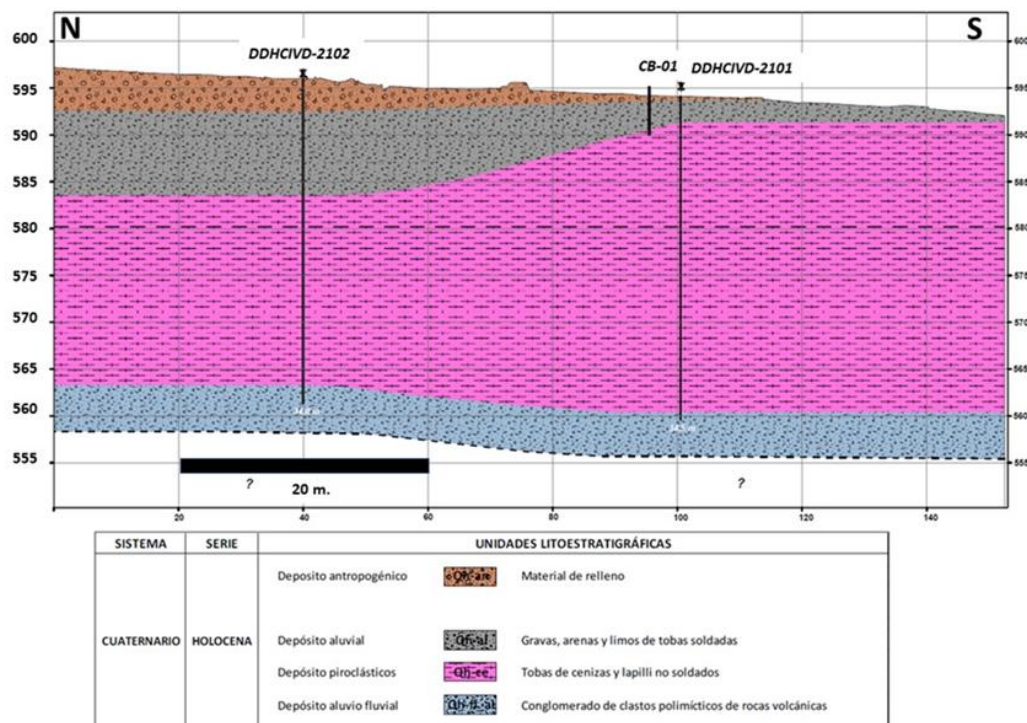
Exploración geotécnica para el análisis de asentamientos diferenciales en zonas críticas de inundación, Alto de la Alianza - Tacna

Método de exploración	Norte (UTM 19K)	Este (UTM 19K)	Cota (m)	Longitud de sondeo (m)	Azimut (°)	Inclinación (°)	Ubicación
Perforación DDHCIVD-2101	8009950	367450	584	34.5	0	-90	Estribo derecho intercambio vial
Perforación DDHCIVD-2102	8010008	367447	586	34.0	0	-90	Estribo derecho intercambio vial
Calicata CB-01	8009979	367541	587	10.5	0	-90	Estribo izquierdo intercambio vial

Nota. Perforaciones y calicata ejecutadas como parte del estudio geotécnico utilizado para evaluar el riesgo de asentamientos diferenciales en zonas críticas de inundación.

Figura 34

Perfil estratigráfico N–S del subsuelo en la zona de estudio – Alto de la Alianza, Tacna



Nota. Se muestran las unidades litológicas identificadas en los sondeos DDHCIVD-2101, DDHCIVD-2102 y CB-01. Predominan depósitos piroclásticos (tobas de cenizas y lapilli no soldados), subyacentes a depósitos aluviales y rellenos antrópicos. Este perfil geológico fue fundamental para el análisis de asentamientos diferenciales en una vivienda unifamiliar expuesta a riesgo de inundación.

4.2.1.2 Contenido de humedad de las muestras (ASTM D 2216)

Los valores obtenidos del contenido de humedad natural en las muestras analizadas varían entre 0.63 % y 0.78 %, lo cual indica una humedad relativamente baja en los suelos evaluados al momento de la extracción. Estos resultados son característicos de materiales de origen volcánico piroclástico como la ceniza volcánica, la cual, pese a su elevada porosidad, presenta bajo contenido de humedad en condiciones secas debido a su alta capacidad de drenaje y su textura suelta.

No obstante, esta baja humedad natural no debe considerarse como un indicador de estabilidad permanente, ya que los suelos de baja plasticidad y cohesión aparente como los SM identificados previamente pueden incrementar significativamente su humedad en eventos de precipitación o inundación, generando procesos de pérdida de estructura, colapso y asentamientos diferenciales.

Estos resultados refuerzan el análisis realizado en esta investigación sobre la susceptibilidad del terreno a deformaciones inducidas por el agua. En escenarios donde el nivel freático asciende o donde el agua se infiltra por falta de drenaje superficial adecuado, estos suelos pueden cambiar súbitamente sus propiedades mecánicas, afectando la estabilidad de las cimentaciones. Tal condición es especialmente crítica en edificaciones ubicadas en zonas inundables, como las analizadas en el presente estudio.

Tabla 22

Contenido de humedad de las muestras

Método de Exploración	NORTE	ESTE	Muestra	Profundidad	Contenido de Humedad (%)
Perforación DDH/CIVD-2101	8009550	367450	M-01	De 2.8m a 20m	0.76
			M-02	De 20m a 27.8m	0.70
			M-03	De 3.5m a 12.5m	0.63
Perforación DDH/CIVD-2102	8010008	367447	M-04	De 12.5m a 18.8m	0.78
			M-05	De 18.8m a 24.2m	0.69
Calicata CB-01	8009979	367541	C-01	10.5m	0.71

Nota. Fuente: Informe de ensayos de Muestras de Perforación y calicata Paso a desnivel GORET, 2021.

4.2.1.3 Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D 422)

Los resultados del análisis granulométrico muestran que las muestras del área de estudio presentan un alto porcentaje de arena (67 % – 80 %), con una fracción de finos significativa que oscila entre 19.84 % y 33.42 %, y una presencia mínima o nula de grava. Todas las muestras han sido clasificadas bajo el sistema SUCS como SM (arena limosa), lo que indica la presencia de partículas finas no plásticas en una matriz arenosa dominante.

Esta composición granulométrica es típica de materiales piroclásticos alterados, como la ceniza volcánica, y representa un suelo de granularidad media, con una capacidad limitada para resistir esfuerzos en condiciones de saturación. La fracción fina (limo) incrementa la susceptibilidad del suelo a variaciones volumétricas y colapsos al aumentar el contenido de humedad, lo cual es especialmente relevante en escenarios de infiltración o eventos extremos como lluvias intensas o inundaciones.

Desde una perspectiva geotécnica, esta distribución granulométrica refuerza la hipótesis central de esta investigación: el suelo bajo estudio posee baja cohesión natural, alta porosidad, y una estructura suelta, condiciones que lo hacen propenso a experimentar asentamientos diferenciales si no se controla adecuadamente la humedad o si se sobrecarga estructuralmente sin mejoramiento previo.

Tabla 23*Análisis granulométrico de las muestras*

Método de Exploración	NORTE	ESTE	Muestra	Profundidad	% Grava	% Arena	% Finos	SUCS
Perforación DDH/CIV D-2101	8009550	367450	M-01	De 2.8m a 20m	0.8	67.21	31.99	SM
			M-02	De 20m a 27.8m	0.55	67.24	32.21	SM
			M-03	De 3.5m a 12.5m	0.0	80.16	19.84	SM
Perforación DDH/CIV D-2102	8010008	367447	M-04	De 12.5m a 18.8m	0.29	68.44	31.27	SM
			M-05	De 18.8m a 24.2m	0.0	67.62	32.38	SM
Calicata CB-01	8009979	367541	C-01	10.5m	0.0	66.58	33.42	SM

Nota. Fuente: Informe de ensayos de Muestras de Perforación y calicata Paso a desnivel GORET, 2021.

4.2.1.4 Límites atterberg (ASTM D 4318)

Los resultados del ensayo de límites de consistencia muestran valores bajos del índice plástico (IP), con un rango que va de 0.91 a 1.33, calculado como la diferencia entre el límite líquido (LL) y el límite plástico (LP). Estos valores reflejan suelos de muy baja plasticidad, típicos de materiales arenosos limosos como los clasificados previamente como SM (arena limosa), presentes en las muestras evaluadas.

Este comportamiento es coherente con la naturaleza de los depósitos de ceniza volcánica parcialmente meteorizada, los cuales, al estar compuestos por partículas finas no cohesivas, tienden a tener límites de consistencia cercanos entre sí, generando índices plásticos bajos. Este tipo de suelo tiene una capacidad limitada para absorber deformaciones plásticas, lo que lo hace altamente susceptible a cambios volumétricos y asentamientos cuando se encuentra en condiciones de

saturación, especialmente en situaciones como las inundaciones recurrentes descritas en el área de estudio.

La baja plasticidad también implica que estos suelos tienen una estructura frágil, con un comportamiento cercano al de un material granular en estado seco, pero que puede experimentar pérdida abrupta de resistencia cuando se incrementa el contenido de humedad. Este efecto es crítico en zonas con deficiente drenaje superficial o mal manejo de las aguas pluviales, pues facilita la ocurrencia de asentamientos diferenciales no homogéneos en edificaciones sin cimentaciones profundas o con cargas mal distribuidas.

Tabla 24

Limites de consistencia de las muestras

Método de Exploración	NORTE	ESTE	Muestra	Profundidad	LL	LP	IP
Perforación DDH/CIVD-2101	8009550	367450	M-01	De 2.8m a 20m	34.56	33.58	0.98
			M-02	De 20m a 27.8m	36.04	35.07	0.97
			M-03	De 3.5m a 12.5m	21.83	20.5	1.33
Perforación DDH/CIVD-2102	8010008	367447	M-04	De 12.5m a 18.8m	35.01	34.09	0.91
			M-05	De 18.8m a 24.2m	35.57	34.38	1.19

Nota. Fuente: Informe de ensayos de Muestras de Perforación y calicata Paso a desnivel GORET(2021).

4.2.1.5 Proctor modificado (ASTM D 1557)

Del análisis del ensayo Proctor Modificado se obtuvieron valores de densidad seca máxima entre 1.293 y 1.398 g/cm³, y un óptimo contenido de humedad (O.C.H.) aproximado del 21 %, en las muestras representativas del área de estudio. Estos resultados son característicos de suelos ligeros, porosos y de estructura suelta, como las cenizas volcánicas presentes en el lugar.

Los valores relativamente bajos de densidad máxima reflejan una alta compresibilidad del terreno, condición que lo hace vulnerable a asentamientos cuando se incrementa la humedad, especialmente en zonas expuestas a inundaciones. El alto contenido de humedad óptimo indica que estos suelos alcanzan su mejor grado de compactación con elevados niveles de humedad, lo cual representa un riesgo adicional si no se controlan las condiciones de drenaje o si se omite un adecuado proceso de compactación durante la construcción.

En este contexto, los resultados obtenidos respaldan la hipótesis central de la investigación, al demostrar que el terreno natural presenta condiciones desfavorables para la estabilidad de cimentaciones superficiales, lo que podría derivar en asentamientos diferenciales en edificaciones ubicadas en zonas críticas. Se recomienda considerar estos parámetros en el diseño y planificación de medidas de mejoramiento del terreno y control de infiltración.

Tabla 25

Resultados del ensayo de Proctor Modificado

Método de Exploración	NORTE	ESTE	Muestra	Profundidad	D. Max (gr/cm³)	% O.C.H.
Perforación DDH/CIVD-2101	8009550	367450	M-01	De 2.8m a 20m	1.383	21.78
			M-02	De 20m a 27.8m	-	-
			M-03	De 3.5m a 12.5m	-	-
Perforación DDH/CIVD-2102	8010008	367447	M-04	De 12.5m a 18.8m	1.293	21.26
			M-05	De 18.8m a 24.2m	-	-
Calicata CB-01	8009979	367541	C-01	10.5m	1.398	21.84

Nota. Fuente: Informe de ensayos de Muestras de Perforación y calicata Paso a desnivel GORET, 2021.

4.2.1.6 Compresión triaxial consolidado no drenado CU

Los resultados del análisis de laboratorio muestran que los suelos evaluados presentan una clasificación SUCS del tipo SM (arena limosa), lo que indica materiales de granulometría intermedia, con comportamiento friccional predominante. El ángulo de fricción interna varía entre 26.58° y 27.09° , mientras que los valores de cohesión no drenada oscilan entre 0.073 kg/cm^2 y 0.116 kg/cm^2 (equivalente a 7.3–11.6 kPa).

Estos valores de cohesión, aunque bajos, son esperables en suelos arenosos limosos como la ceniza volcánica alterada presente en el área de estudio. Dichos suelos poseen una cohesión aparente inducida por la humedad y compactación, pero presentan una alta susceptibilidad a la pérdida de resistencia cuando se saturan. Esta característica, sumada al bajo nivel de cohesión, aumenta la vulnerabilidad de las cimentaciones superficiales a experimentar asentamientos diferenciales, sobre todo bajo condiciones de inundación.

La escasa variabilidad del ángulo de fricción interna sugiere una homogeneidad litológica relativa en los estratos evaluados, sin embargo, la variabilidad en la cohesión podría estar relacionada con cambios en la compactación natural o la alteración del material piroclástico, lo que incrementa el riesgo de deformaciones localizadas al aplicar cargas estructurales desiguales.

Por tanto, estos resultados respaldan la necesidad de aplicar factores de seguridad geotécnicos adicionales y considerar métodos de mejora del terreno o rediseño estructural, particularmente en edificaciones ubicadas sobre suelos volcánicos en zonas críticas de escurrimiento superficial.

Tabla 26*Resultados del ensayo de triaxial consolidado no drenado (CU)*

Método de Exploración	NORTE	ESTE	Muestra	Profundidad	Clasificación SUCS	Ángulo de Fricción (°)	Cohesión (kg/cm ²)
Perforación DDH/CIV D-2101	8009550	367450	M-01	De 2.8m a 20m	SM	27.09	0.073
			M-02	De 20m a 27.8m	SM	26.86	0.084
			M-03	De 3.5m a 12.5m	SM	26.58	0.116
Perforación DDH/CIV D-2102	8010008	367447	M-04	De 12.5m a 18.8m	SM	27.08	0.107
			M-05	De 18.8m a 24.2m	SM	26.77	0.091
Calicata CB-01	8009979	367541	C-01	10.5m	SM	26.91	0.081

Nota. Fuente: Informe de ensayos de Muestras de Perforación y calicata Paso a desnivel GORET, 2021.

4.2.1.7 Potencial de colapso

Los resultados del ensayo de índice de colapso realizados en muestras obtenidas mediante perforaciones y calicatas revelan valores que fluctúan entre 0.75 % y 1.30 %, todos clasificados como de grado de colapso leve. Si bien estos valores no implican un riesgo inminente de colapso estructural, evidencian la presencia de suelos susceptibles a experimentar asentamientos adicionales en condiciones de saturación, especialmente en estratos ubicados por debajo de los 2.5 metros de profundidad.

Esta condición es coherente con la problemática identificada en el área de estudio, donde las edificaciones evaluadas se encuentran cimentadas sobre depósitos de ceniza volcánica dentro de una zona con riesgo de inundación. Dichos materiales, caracterizados por su alta porosidad y baja cohesión, tienden a perder su estructura

cuando el contenido de humedad se incrementa, ya sea por lluvias extremas o anegamientos temporales.

En este contexto, los resultados del índice de colapso refuerzan la hipótesis central de esta investigación, al demostrar que el terreno presenta un comportamiento potencialmente inestable ante eventos de infiltración de agua. Lo anterior justifica la necesidad de implementar medidas de prevención y mitigación de asentamientos diferenciales, tales como el mejoramiento del suelo, el control del nivel freático o el rediseño de las cimentaciones para futuras construcciones en zonas similares.

Tabla 27

Resultados del ensayo de Colapso

Método de Exploración	NORTE	ESTE	Muestra	Profundidad	Índice de Colapso (%)	Grado de Colapso
Perforación DDH/CIVD-2101	8009950	367450	M-01	De 2.8m a 20m	1.25	Leve
			M-02	De 20m a 27.8m	1.13	Leve
Perforación DDH/CIVD-2102	8010008	367447	M-03	De 3.5m a 12.5m	0.75	Leve
			M-04	De 12.5m a 18.8m	1.3	Leve
			M-05	De 18.8m a 24.2m	1.05	Leve
Calicata CB-01	8009979	367541	C-01	10.5m	1.25	Leve

Nota. Fuente: Fuente: Informe de ensayos de Muestras de Perforación y calicata Paso a desnivel GORET, 2021.

Tabla 28*Tabla de Clasificación del índice de colapsabilidad*

Grado de Colapso	Índice de Colapso I_c (%)
Ninguno	0
Leve	0.1 a 2.0
Moderado	2.1 a 6.0
Moderado severo	6.1 a 10.0
Severo	>10.0

Fuente: Tabla N°10 de la Norma Técnica E.050 Suelos y Cimentaciones 2018

4.2.1.8 Ensayo de Placa de carga (PLT) (ASTM D -1194)

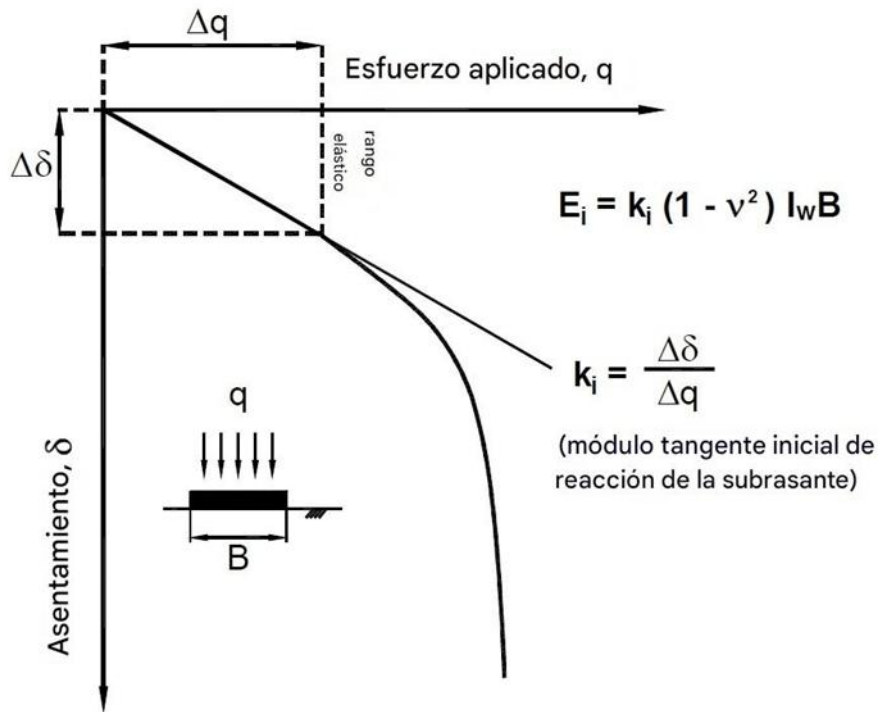
El ensayo de placa de carga realizado conforme a la norma ASTM D-1194 permitió evaluar la capacidad portante y el comportamiento deformacional del suelo bajo cargas verticales. Se utilizó una placa circular de 600 mm de diámetro, y se aplicaron ciclos progresivos de carga y descarga, midiendo los asentamientos correspondientes.

Los resultados obtenidos mostraron una capacidad admisible del terreno (Q_{adm}) de 1.39 kg/cm², con un módulo de reacción del suelo (k) de 2.77 kg/cm³ y un módulo de elasticidad (E) de 112.25 kg/cm². Estos valores reflejan un terreno con baja rigidez y alta compresibilidad, lo cual es coherente con la presencia de ceniza volcánica suelta identificada en el área de estudio. Asimismo, el módulo de compresibilidad (E_v) fue de 4.95, lo que confirma la tendencia del suelo a sufrir deformaciones apreciables bajo cargas moderadas.

La curva tensión-asentamiento mostró un comportamiento no lineal, evidenciando un incremento progresivo del asentamiento con el aumento de carga, alcanzando valores de hasta 0.518 cm bajo tensiones cercanas a 2.3 kg/cm². Este comportamiento es característico de materiales con estructura frágil y porosa, como los presentes en la zona de estudio.

Figura 35

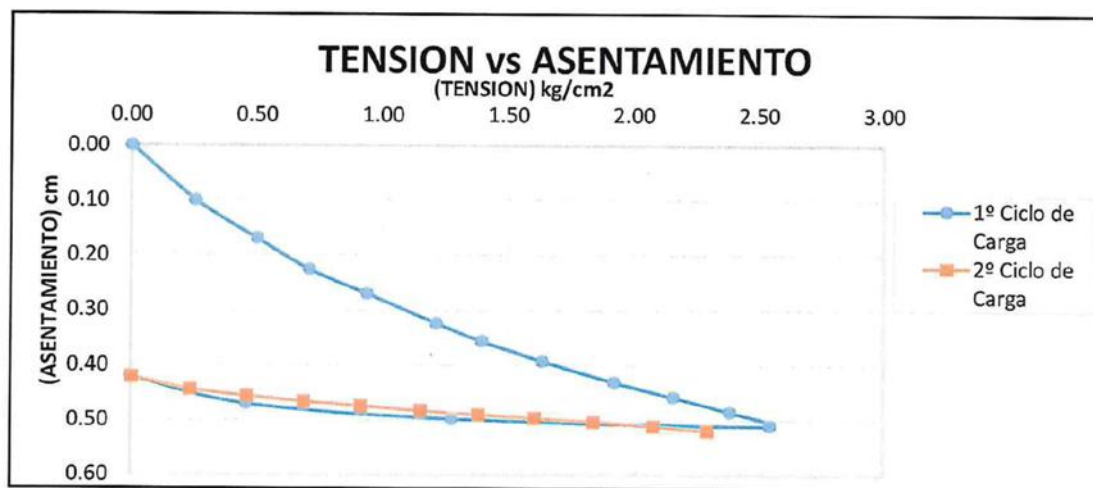
Esquema del comportamiento de tensión versus asentamiento de la prueba de Placa de carga



Nota. Representación esquemática del comportamiento carga-asentamiento en fundaciones sometidas a presión uniforme. El módulo k_i se determina como la pendiente tangente inicial del tramo elástico. El módulo de elasticidad del suelo (E_i) se relaciona con k_i considerando las propiedades geométricas y el coeficiente de Poisson. Fuente: Adaptado de Bowles (1997) y Hetényi (1946).

Figura 36

Relación tensión–asentamiento en dos ciclos de carga aplicados al suelo de fundación



Nota. Fuente: Certificado oficial del ensayo de placa de carga correspondiente al proyecto en la Av. Jorge Basadre (GORE Tacna, 2019)

Figura 37

Parámetros geotécnicos derivados del ensayo de carga con placa para ambos ciclos de carga

	1º Ciclo carga	2º Ciclo carga	
$\Delta\sigma = \sigma_{02} - \sigma_{01}$ [kg/cm ²]	1.019	0.918	
$\Delta S = S_2 - S_1$ [cm]	0.41	0.07	
$E_v(v_1/v_2) = 1.5r\Delta\sigma/\Delta s$ [kg/cm ²]	1.12E+02	5.53E+02	
$E_v = E_{v1}/E_{v2}$ [kg/cm ²]	4.95		Modulo de compresibilidad
$K = \sigma/s$ [kg/cm ³]	2.77		Modulo de Reaccion o coeficiente de balasto
Qadm	1.39		Capacidad de carga
$E = \pi(1 - \mu_2) * (\sigma/s) * (D/4)$ [kg/cm ²]	112.25		Modulo de elasticidad

Nota. Valores calculados a partir del ensayo de carga con placa según la norma ASTM D1194, realizado con placa circular de 600 mm. Se observa una disminución

significativa del asentamiento en el segundo ciclo ($\Delta S = 0.07$ cm), lo que se refleja en un aumento del módulo de deformación ($E_v \approx 553$ kg/cm²), indicando un suelo más rígido tras la primera carga.

4.2.2 Ensayo de Succión Matricial del suelo

La succión matricial del suelo puede determinarse mediante métodos directos e indirectos, los cuales se basan en principios energéticos o termodinámicos, dependiendo de la técnica empleada. Los métodos directos miden de manera explícita la energía libre del agua en los poros del suelo, mientras que los métodos indirectos obtienen parámetros físicos que se correlacionan con la succión mediante curvas de calibración previamente establecidas (Luciano López, 2006).

Entre los métodos indirectos más utilizados se encuentra el método del papel filtro, debido a su simplicidad, bajo costo y capacidad para medir tanto la succión matricial como la succión total, lo que lo convierte en una técnica ampliamente aceptada en estudios de suelos no saturados.

Tabla 29

Técnicas para medición de succión en suelos

Técnica	Medida de succão	Intervalo (kPa)	Tempo de equilibrio
Psicrômetro	total	100 a 71000	minutos
Papel filtro (com contato)	mátrica	30 a 30000	7 dias
Papel filtro (sem contato)	total	400 a 30000	7-14 dias
Bloco poroso	mátrica	30 a 30000	semanas
Sensor de condutividade térmica	mátrica	0 a 300	semanas
Placa de succão	mátrica	0 a -90	horas
Placa de pressão	mátrica	0 a 1500	horas
Tensiômetro padrão	mátrica	0 a -100	minutos
Tensiômetro osmótico	mátrica	0 a 1500	horas
Tensiômetro tipo Imperial College	mátrica	0 a -1800	Minutos

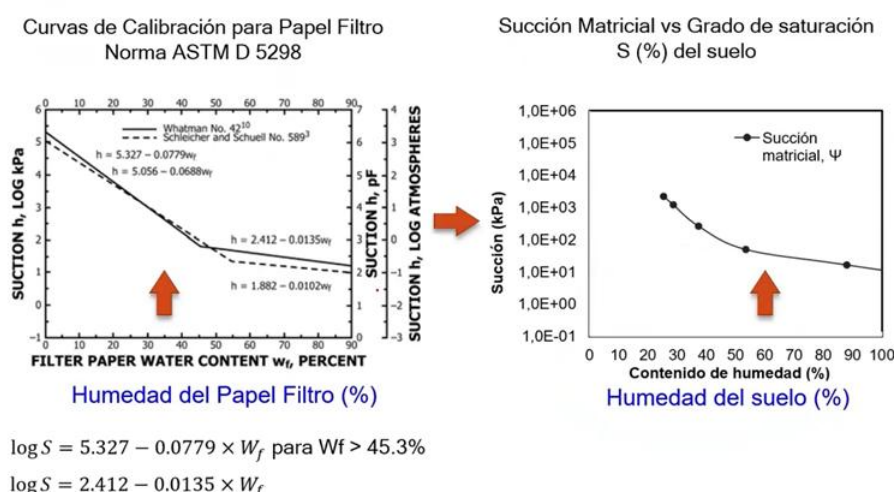
Nota. Fuente: (Luciano Lopez 2006)

La medición de la succión matricial del suelo mediante el método del papel de filtro se basa en el procedimiento de la norma ASTM D5298-10. El diámetro del papel de filtro (Whatman No.42) es de 5,5 cm. Para contener la muestra de suelo y papeles

de filtro, se utilizaron recipientes de vidrio con un volumen de 120 ml. Para estimar la succión matricial del suelo se utilizó el método de contacto propuesto en el procedimiento ASTM 5298-10. Se utilizó la fórmula de calibración recomendada por el procedimiento de ASTM D5298-10 para calcular la succión matricial del suelo y se dio como (Fig. 38). Este método es el único que permite medir la succión total y succión matricial.

Figura 38

Curvas de calibración del contenido de agua de succión mediante el método del papel de filtro.



Nota. La figura muestra la relación entre la succión matricial y el grado de saturación del suelo, representando la curva característica de humedad en suelos no saturados. Estas curvas son fundamentales para establecer la Curva de Contenido de Agua de Succión (SWCC) en estudios de suelos parcialmente saturados, con base en datos de calibración de Whitman (1970), Scheicher y Schuell No. 589.

Para el análisis se utilizaron cinco muestras de suelo inalterado, extraídas de los núcleos de perforación diamantina obtenidos en el pozo DDHCIVD-2101, ejecutado por el GORE para la elaboración del expediente del intercambio vial a desnivel. Desde el punto de vista geológico, el suelo se clasificó como una toba de ceniza y lapilli no soldada de color beige, mientras que, geotécnicamente, correspondió a una arena limosa (SM). Se realizaron ensayos de caracterización

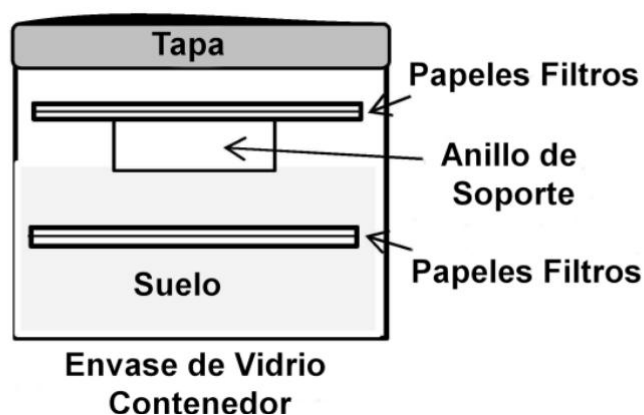
básica, obteniéndose un límite líquido de 34,56 %, un límite plástico de 33,58 %, un índice de plasticidad de 0,98 % y una gravedad específica de 2,65.

En primer lugar, el papel filtro se secó en un horno. Posteriormente, se retiraron tres papeles de filtro del desecador y se colocaron uno sobre otro en contacto físico con la muestra de suelo. Los papeles de filtro exteriores actuaron como protección, evitando la contaminación del papel de filtro central, el cual se utilizó para el análisis de la succión matricial. Este papel central fue recortado con tijeras, de modo que su diámetro fuera entre 3 y 4 mm menor que el de los exteriores, con el fin de impedir el contacto directo del suelo con dicho papel.

Para medir la succión del suelo, las muestras fueron colocadas en recipientes de vidrio herméticamente cerrados. Con el propósito de reducir variaciones por cambios de temperatura, las muestras se distribuyeron en dos tipos de recipientes: uno de polipropileno y otro de poliestireno expandido, donde permanecieron durante siete días.

Figura 39

Esquema experimental del ensayo de papel filtro para medición de succión matricial



Nota. Fuente extraído de Chavez et al 2013

Figura 40

Preparación de muestras para el análisis de succión matricial mediante el método del papel filtro



Nota. Fotografías del proceso de preparación de muestras de ceniza volcánica, utilizadas en el ensayo de succión matricial. El procedimiento incluye el moldeado, secado y almacenamiento controlado, en el marco del estudio sobre asentamientos diferenciales por riesgo de inundación en zonas críticas del distrito Alto de la Alianza, Tacna.

Después del período de siete días, se retiraron las hojas de papel de filtro y se registraron los pesos húmedos de cada una.

Teniéndose la relación entre succión y humedad del papel filtro, la succión del suelo puede ser obtenida refiriéndose a la curva de calibración(Fig.38).

El papel de filtro Whatman No. 42, que se utilizó en este estudio, se usa comúnmente para las pruebas de papel de filtro. ASTM D5298-10 presenta una curva de calibración entre agua absorbida y succión para este tipo de

papel de filtro. Las ecuaciones de la curva de calibración propuestas en esta norma son las siguientes:

Para %Wpf < 47%

$$\psi_m = 10^{(4.48 - 0.0622 \cdot \log_{10}(\%Wpf))} \dots\dots\dots(1)$$

Para %Wpf ≥ 47%

$$\psi_m = 10^{(6.05 - 2.48 \cdot \log_{10}(\%Wpf))} \dots\dots\dots(2)$$

En donde:

ψ_m = Succión matricial en (kpa)

%Wpf = porcentaje de humedad en el papel filtro

La ecuación (2) mostró coherencia con los resultados experimentales obtenidos, especialmente en los tres primeros puntos evaluados. Sin embargo, para contenidos de humedad inferiores al 47%, se consideró inapropiado el uso de la ecuación (1), ya que los valores de succión resultantes fueron físicamente irreales (del orden de 10^4 a 10^5 kPa), lo cual no refleja el comportamiento de los suelos volcánicos no cohesivos evaluados.

En su lugar, se implementó una regresión empírica basada en los datos experimentales obtenidos en laboratorio, ajustando la siguiente ecuación:

4.2.2.1 regresión empírica basada en los datos experimentales obtenidos en laboratorio

Para la estimación de la succión matricial (ψ_m) a partir del contenido de agua del papel filtro (%Wpf) para los valores de %Wpf menores a <47%, se optó por aplicar una regresión empírica ajustada a los datos experimentales obtenidos durante el ensayo, en lugar de utilizar directamente las fórmulas estándar propuestas por la norma ASTM D5298-10. Esta decisión se fundamenta en que las expresiones empíricas tradicionales (fórmulas tipo exponencial logarítmica), aunque ampliamente referenciadas, tienen un rango limitado de aplicabilidad y fueron

desarrolladas bajo condiciones controladas que no necesariamente reflejan las características específicas del suelo en estudio (ceniza volcánica) ni las condiciones ambientales locales.

Tal como señalan Fredlund y Rahardjo (1993), las relaciones entre succión y humedad en suelos no saturados deben ser calibradas experimentalmente siempre que sea posible, ya que dependen fuertemente de factores como la estructura del suelo, textura, mineralogía, y la precisión del método de ensayo. En este sentido, la obtención de una curva de regresión del tipo:

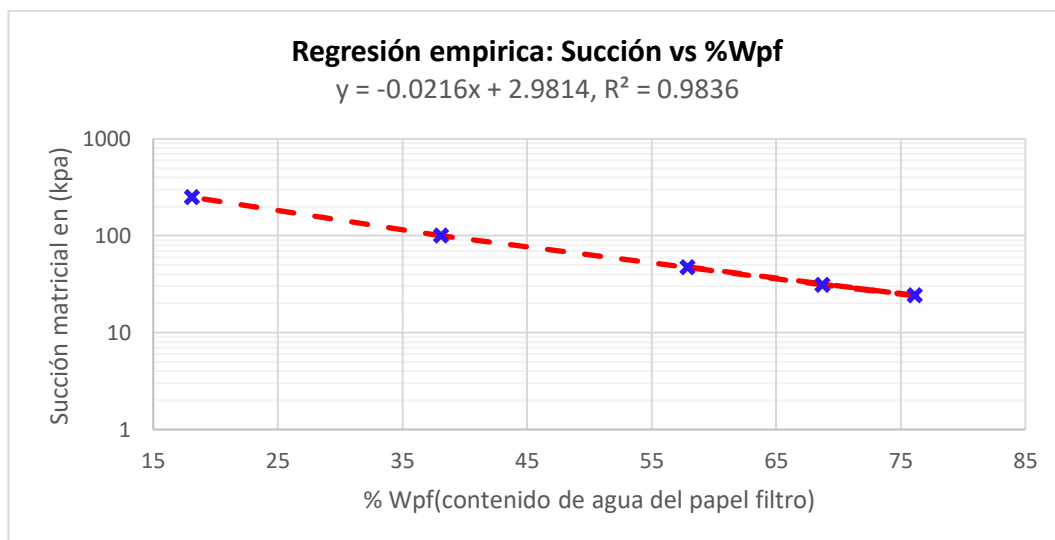
$$\psi_m = 10^{(2.9814 - 0.0216 * (\%W_{pf}))} \dots\dots\dots(3)$$

basada en los valores reales obtenidos en el laboratorio, permite representar con mayor precisión el comportamiento del suelo específico bajo análisis. Esta aproximación reduce el error de extrapolación y mejora la coherencia física entre los parámetros empleados en modelos de análisis geotécnico, como los realizados en software numérico.

Adicionalmente, autores como Ridley y Burland (1993) recomiendan el uso de modelos empíricos ajustados directamente a los datos obtenidos por el método del papel filtro, debido a que las curvas estándar pueden subestimar o sobreestimar la succión en rangos intermedios (entre 50 y 300 kPa), rango en el cual se sitúan varios de los valores registrados en este estudio.

Figura 41

Regresión empírica entre succión matricial y el contenido de humedad del papel filtro, basada en los datos experimentales obtenidos en laboratorio



Nota. Curva de regresión empírica obtenida a partir del método del papel filtro, aplicada sobre muestras compactadas de ceniza volcánica. La ecuación de ajuste (con base logarítmica) presenta un coeficiente de determinación $R^2=0.9836$, indicando alta correlación entre la succión y el contenido de humedad. Estos resultados fueron fundamentales para estimar las condiciones de retención de agua del suelo en el análisis de asentamientos diferenciales.

Este enfoque permitió obtener estimaciones coherentes en el rango de succión intermedio (50–300 kPa), donde la fórmula estándar no es representativa para este tipo de suelo. Este proceso se realizó para los contenidos de agua del papel filtro (%Wpf) iguales a 38.12% y 18.14%, en donde los valores de succión matricial por este método fueron 143.88 y 388.67 kPa respectivamente (ver Tabla 30). La aplicación de este modelo empírico garantizó consistencia entre los datos experimentales y los cálculos utilizados para estimar el grado de saturación (S_e) y el módulo de elasticidad E_{sat} .

Tabla 30

Resultados experimentales para muestras para el ensayo de succión Matricial por el método del papel filtro.

Papel filtro superior/ Papel filtro inferior (circulo)	Superior Inferior	Superior Inferior	Superior Inferior	Superior Inferior	Superior Inferior
Masa (bolsa hermética). g (Tc)	7.06	7.05	6.99	7.06	7.06
Masa del papel filtro húmedo + Masa (bolsa hermética), g (M1)	7.51	7.51	7.44	7.45	7.39
Masa del papel filtro seco + Masa (bolsa hermética), g (M2)	7.34	7.31	7.26	7.34	7.34
Masa del papel filtro seco, g (Mf)	0.28	0.26	0.27	0.28	0.28
Masa del agua en el papel filtro, g (Mw)	0.16	0.20	0.18	0.11	0.05
Contenido de agua del papel filtro, g (Wf)	57.88	76.15	68.73	38.12	18.14
Succión, log kPa (h)	1.63	1.38	1.48	1.90	2.17
Succión matricial, kPa (hm)	47.75	24.18	31.18	143.88	388.67

Nota. Fuente: Datos experimentales de succión en papel filtro, 2024.

De acuerdo con los datos obtenidos de la prueba del papel de filtro, se puede observar que la succión matricial mínima tuvo un valor de 24.18 kPa para un contenido de humedad del suelo de 76.15%. Además, la succión matricial máxima obtenida para el mismo material fue de 388.67 kPa para un contenido de humedad del suelo de 18.14%

4.2.2.2 Curva característica humedad succión (SWCC) en proceso de humedecimiento

Para calcular la SWCC, se utilizó el programa SWRC Fit, el cual ha sido diseñado para establecer los parámetros de retención de agua y las funciones de conductividad hidráulica en suelos insaturados, facilitando así el análisis del movimiento del agua en estos suelos. SWRC Fit es una herramienta en línea que permite crear curvas de retención de agua del suelo (SWRC) de diferentes modelos hidráulicos a partir de datos medidos, todo con un solo clic. Puedes acceder a esta aplicación en <https://purl.org/net/swrc/>. Además, SWRC Fit se basa en la biblioteca de Python llamada insatfit, que incluye diversos tipos de suelo.

La Figura 42, muestra la curva de retención de agua del suelo (SWCC) ajustada mediante tres modelos empíricos: Brooks & Corey (BC), Van Genuchten (VG) y Fredlund & Xing (FX). En el eje X se presenta la succión matricial en escala logarítmica, en el eje Y, el contenido volumétrico de agua. Los puntos azules representan los valores medidos experimentalmente.

Cada modelo está representado con una línea distinta:

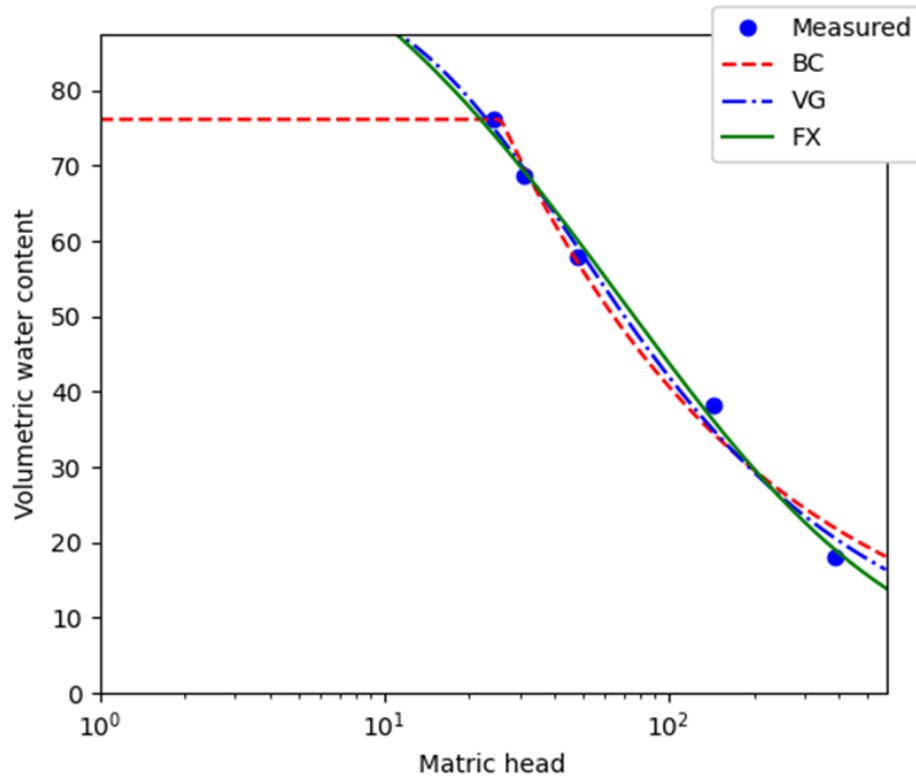
- Línea roja discontinua: Modelo de Brooks & Corey (BC).
- Línea azul punteada: Modelo de van Genuchten (VG).
- Línea verde continua: Modelo de Fredlund & Xing (FX).

Para representar matemáticamente la SWCC, se utilizaron tres modelos de ajuste: Brooks & Corey, van Genuchten, y Fredlund & Xing. De estos, el modelo de Van GVeuchten El modelo de retención de agua que mejor se ajustó a los datos experimentales fue el modelo de van Genuchten, con un coeficiente de determinación $R^2=0.9915$ y un valor de AIC de 14.69, el más bajo entre los modelos evaluados. Esto indica que este modelo representa con mayor precisión el comportamiento de la curva de retención de agua del suelo evaluado (ceniza volcánica)

La figura 43 muestra las ecuaciones, parámetros de ajuste, coeficiente de determinación R^2 y el criterio de información de Akaike (AIC) para los tres modelos aplicados:

Figura 42

Curva característica de retención de humedad ajustada con los modelos de Brooks & Corey, van Genuchten y Fredlund & Xing



Nota. Resultados experimentales procesados con el software **SWRC Fit v5.3**. Los datos corresponden a muestras de ceniza volcánica obtenidas en el área de estudio, distrito Alto de la Alianza, Tacna.

Figura 43

Parámetros de ajuste de los modelos de retención de humedad aplicados a la ceniza volcánica

Model	Equation	Parameters	R ²	AIC
Brooks and Corey	$S_e = \begin{cases} (h/h_b)^{-\lambda} & (h > h_b) \\ 1 & (h \leq h_b) \end{cases}$	$\theta_s = 76.15$ $\theta_r = 1.2524e-22$ $h_b = 25.804$ $\lambda = 0.4606$	0.9874	16.63
van Genuchten	$S_e = \left[\frac{1}{1 + (\alpha h)^n} \right]^m \quad (m = 1 - 1/n)$	$\theta_s = 96.29$ $\theta_r = 2.0879e-19$ $\alpha = 0.04142$ $n = 1.5556$	0.9915	14.69
Fredlund and Xing	$S_e = \left[\frac{1}{\ln[e + (h/a)^n]} \right]^m$	$\theta_s = 114.22$ $\theta_r = 1.9128e-13$ $a = 127.04$ $m = 3.9605$ $n = 0.66735$	0.9939	15.02

Nota. Los parámetros fueron obtenidos mediante regresión no lineal utilizando programa **SWRC Fit**, en base a los datos experimentales de contenido de humedad y succión matricial en donde $h = u_a - u_w$ (succión matricial).

4.2.3 Estimación de las propiedades del suelo

4.2.3.1 Curva característica suelo-agua (SWCC)

La curva característica suelo-agua (SWCC) del till Indian Head se midió utilizando el método del papel filtro siguiendo la norma ASTM D5298-10 (Fig. 44). El análisis de mejor ajuste se realizó utilizando la ecuación de Van Genuchten (1994) y los parámetros de ajuste se muestran en la figura.

$$S_e = \left[\frac{1}{1 + (\alpha(u_a - u_w))^n} \right]^m \quad \text{con } m = 1 - \frac{1}{n} \dots \dots \dots (4)$$

Donde:

S_e = Grado efectivo de saturación.

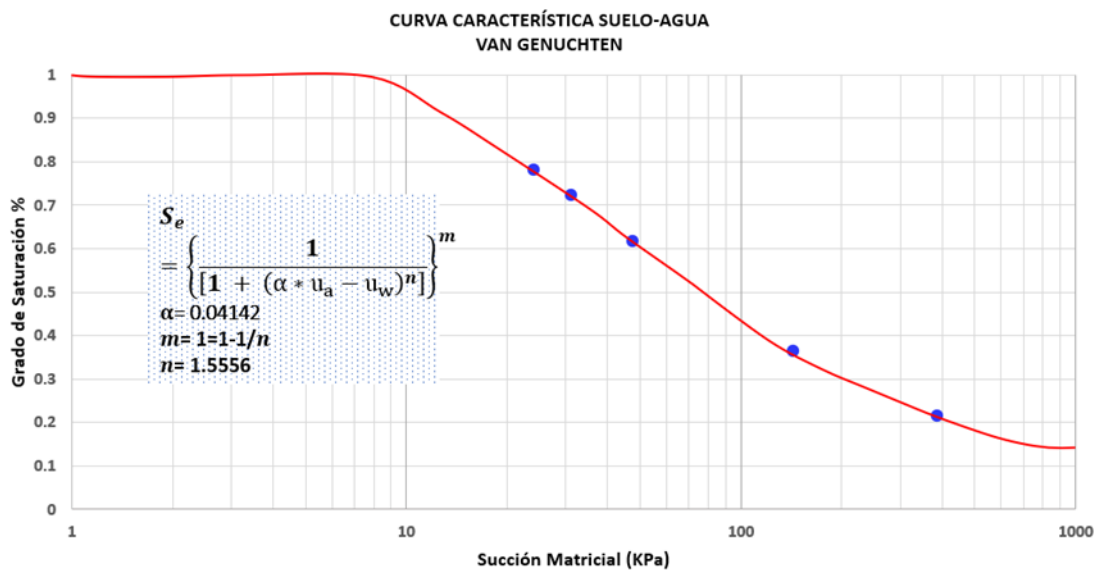
$u_a - u_w$ = succión.

α , n , m = parámetros de ajuste.

La figura 33 presenta los resultados experimentales obtenidos mediante el uso de papel filtro y la técnica de traslación de ejes para la muestra M01. Con el ensayo de papel filtro se lograron succiones en un amplio intervalo que va desde 24 hasta 388.67 kPa.

Figura 44

Curva característica suelo-agua (SWCC) ajustada con el modelo de van Genuchten para ceniza volcánica



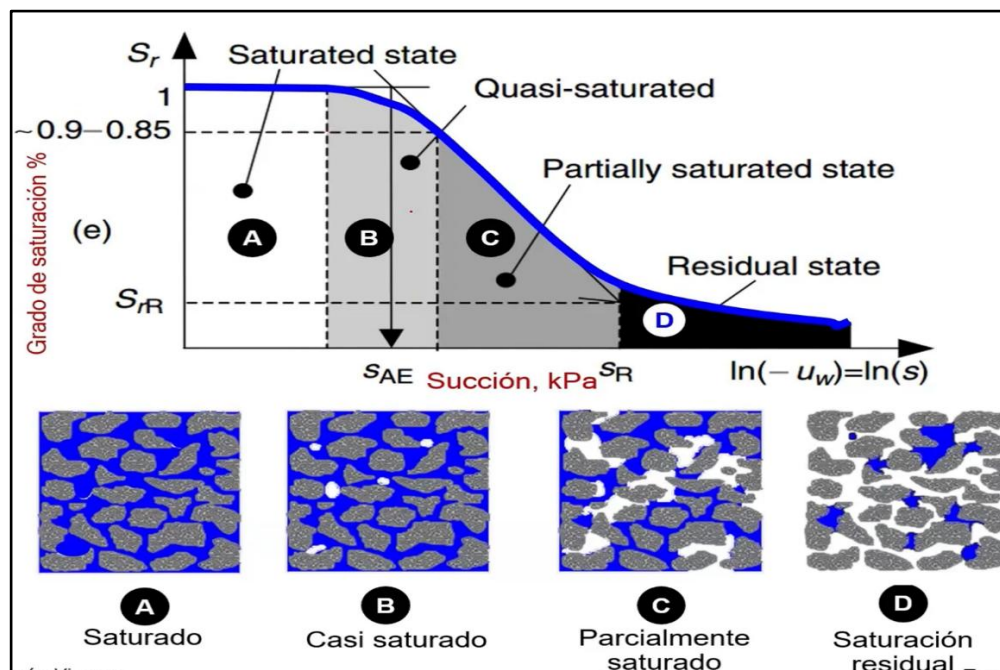
Nota. Datos experimentales procesados con el modelo de van Genuchten. Se utilizaron parámetros $\alpha = 0.04142$ y $n = 1.5556$, obtenidos mediante ajuste no lineal. La curva representa la relación entre el grado de saturación y la succión matricial en muestras de ceniza volcánica

Los cambios en la pendiente dividen el SWCC en tres áreas distintas: la "zona de efecto límite" en el rango de succión más bajo, la "zona de transición" entre el valor de entrada de aire y el valor residual, y la "zona residual" en succiones altas del suelo que alcanzan hasta 1.000.000 kPa. De manera similar, también se observan

cambios en la pendiente a lo largo de la SWCC. Esto indica que el suelo se dirige hacia una condición de sin almacenamiento de agua o a condiciones secas.

Figura 45

Estados de saturación del suelo en función de la succión matricial



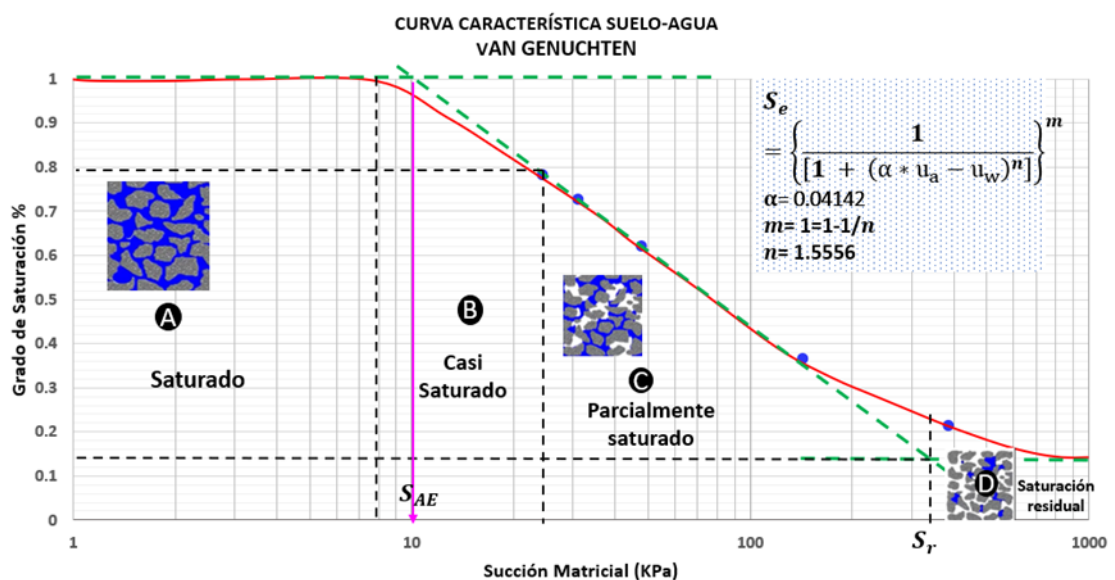
Nota. Representación esquemática de la curva de retención de agua (SWRC) que ilustra los estados de saturación: saturado (A), casi saturado (B), parcialmente saturado (C) y estado residual (D). Se observa cómo varía el grado de saturación (S_r) con el aumento de la succión matricial (s), especialmente en suelos granulares no cohesivos. Esta conceptualización es clave para interpretar el comportamiento hidromecánico de los suelos en condiciones de no saturación. Fuente: Adaptado de Tuller & Or (2000).

Los datos relacionados con la curva de retención de agua del suelo (SWCC) se representan generalmente como el contenido de agua (en términos gravimétricos) frente al logaritmo de la succión del suelo. La forma típica de la SWCC de desorción se ilustra en la Figura 1. A lo largo de la SWCC, se observan dos cambios notables

en la pendiente, que definen dos puntos clave para caracterizar la curva. El primer punto, conocido como "valor de entrada de aire" del suelo, marca el inicio de la formación de los poros más grandes, los cuales empiezan a desaturarse a medida que aumenta la succión. El segundo punto, denominado "condiciones residuales", indica el momento en que la eliminación de agua del suelo se vuelve mucho más difícil, requiriendo una cantidad significativamente mayor de energía para eliminación de agua.

Figura 46

Curva característica suelo-agua ajustada con el modelo de Van Genuchten para muestras de ceniza volcánica.



Nota. Curva de retención de agua obtenida a partir de ensayos de succión matricial por el método del papel filtro en suelo de ceniza volcánica del asentamiento humano Eloy G. Ureta. Se identifican las zonas de saturación (A), casi saturado (B), parcialmente saturado (C) y estado de saturación residual (D). El modelo de Van Genuchten fue ajustado con parámetros $\alpha=0.04142$, $n=1.5556$, $m=0.357$, logrando representar el comportamiento del suelo no saturado en condiciones de riesgo por inundación.

4.2.3.2 Variación del asentamiento elástico con succión matricial

Los asentamientos elásticos de la zapata modelo disminuyen gradualmente con un aumento en los valores del módulo de elasticidad a medida que aumenta la succión matricial en la zona de efecto límite. En la zona de transición, se pueden observar tendencias decrecientes de asentamientos elásticos en la región de succión inferior. Sin embargo, los asentamientos elásticos

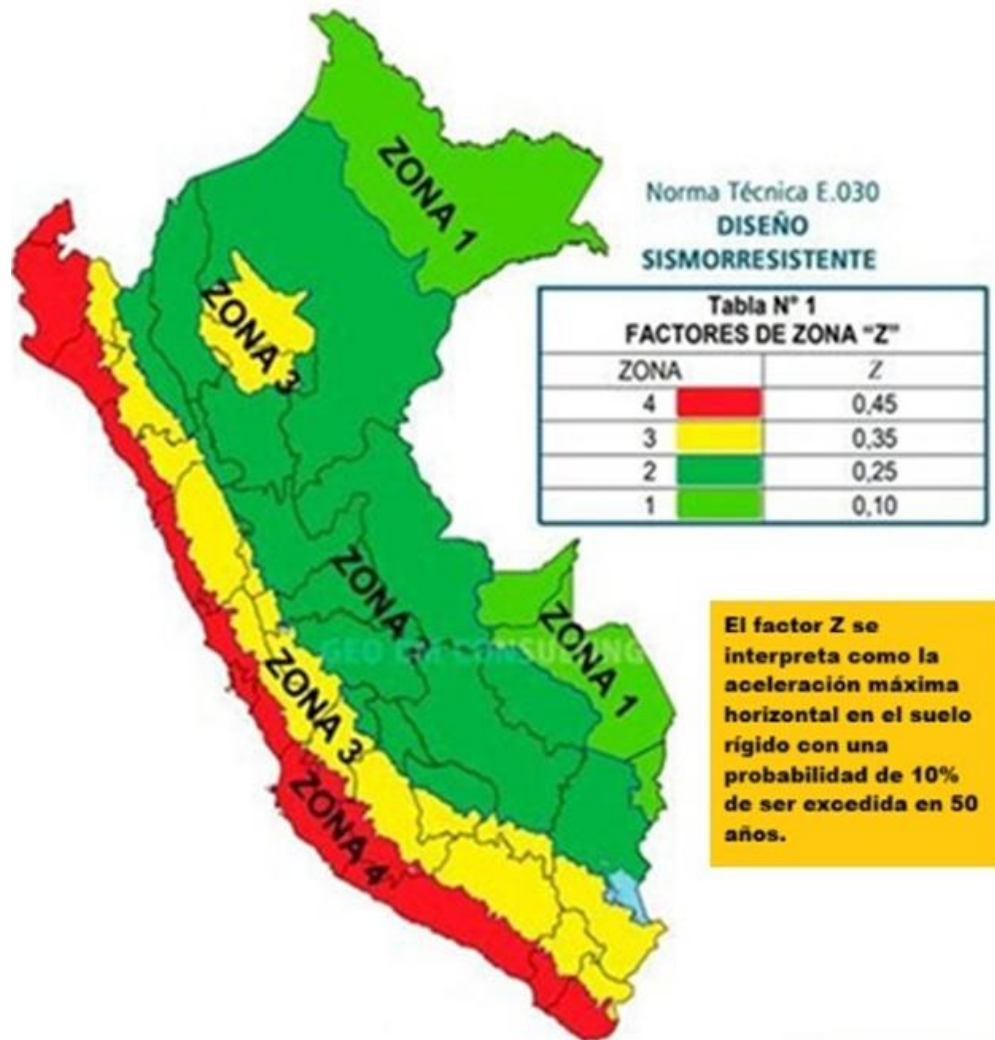
comienzan a aumentar gradualmente a medida que la succión se acerca a la zona residual. Tal comportamiento se puede atribuir a la disminución gradual del módulo de elasticidad en esta zona. Los asentamientos elásticos en la zona residual son casi constantes independientemente e del aumento en los valores de succión matricial. Es interesante observar que los valores de asentamiento elástico en succión matricial cero (es decir, condición saturada) y 10 kPa (es decir, condición residual) son casi los mismos para la arena de grano grueso probada (ver Figura 14)

4.2.4 Mapeo Sismica

La norma peruana E.030 categoriza el país en cuatro zonas sísmicas, basándose en el nivel de riesgo sísmico de cada región. Para cada una de estas zonas, se establece un parámetro Z , que representa la máxima aceleración horizontal en un suelo rígido, con una probabilidad del 10% de que se supere durante un periodo de 50 años (Norma E.030 – Art. 2.1) (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016).

Figura 47

Mapa de Zonificación Sísmica del Perú.



Nota. Fuente: Norma Técnica E.030 (2018).

Tabla 31

Factor de Zona Z.

Zona Sísmica	Z
4	0.45 g
3	0.35 g
2	0.25 g
1	0.10 g

Fuente: Adaptación de Norma E.030 -2018.

Los edificios evaluados se encuentran ubicado en los distritos de Tacna y Alto de la Alianza, en la región de Tacna, lo que lo coloca en la Zona Sísmica 4. En esta zona, el parámetro Z es igual a 0.45g

4.2.4.1 Perfil y parámetro del suelo

La norma peruana E.030 establece cuatro categorías sísmicas para clasificar los suelos. A continuación, se presenta un resumen de estos perfiles, junto con los parámetros que los distinguen, de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 32

Perfiles del suelo y características - Perú.

Suelo Tipo	V _s (m/s)	N ₆₀	Su (MPa)
S0 - Roca Dura	> 1500	-	-
S1 - Roca o Suelos muy rígidos	1500 - 500	> 50	> 0.100
S2 - Suelos Intermedios	500 - 180	50 - 15	0.100 - 0.050
S3 - Suelos Blandos	< 180	< 15	0.050 - 0.025
S4 - Condiciones Excepcionales	*	*	*

Nota. V_s = Velocidad promedio de propagación de ondas de corte (m/s). N₆₀ = Promedio ponderado de los valores obtenidos de un ensayo de penetración estándar. Para suelos granulares (golpes/pie). Su = Promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada. Para suelos cohesivos (MPa). *Fuente:* Adaptación de Norma E.030 (2016).

4.2.4.2 Clasificación de las edificaciones y factor de uso

De acuerdo con su función, las construcciones se agrupan en cuatro categorías, cada una asociada a un factor de uso (U) que refleja su relevancia para la sociedad. La edificación abordada en esta tesis corresponde a una vivienda estándar, por lo que se clasifica en la Categoría C – Edificaciones Comunes. En este caso, el factor de uso (U) es igual a 1.

Tabla 33

Categoría de las Edificaciones y Factor de Uso – Perú

Categoría	Descripción	Factor de Uso U
A - Edificaciones Esenciales	A1: Establecimientos de Salud de segundo y tercer nivel según el Ministerio de Salud A2: Edificios gubernamentales, de servicios públicos y edificios esenciales en caso de catástrofe	1 (Con Aislación Sísmica) 1.5
B - Edificaciones Importantes	Bibliotecas, museos y edificios con frecuente aglomeración de personas	1.3
C - Edificaciones Comunes	Edificios comunes como viviendas, oficinas, hoteles y restaurantes	1
D - Edificaciones Temporales	Construcciones Provisionales para depósitos, casetas y otras similares	A criterio del Proyectista

Nota. Fuente: Norma Técnica Peruana E.030 Diseño Sismorresistente, 2016.

4.2.4.3 Carga Sísmico

En el caso de un sismo que afecta a una estructura, se toma en cuenta tanto la carga muerta total como una fracción de la carga viva, la cual depende del tipo de edificación. Para el caso de la vivienda de categoría C que se examina en esta tesis, se consideró que un 25% de la carga viva influye en la respuesta sísmica de la estructura.

Tabla 34

Peso Sísmico - Perú.

Edificación	CM	CV
Categoría A y B	100%	50%

Categoría C	100%	25%
Depósitos	100%	80%
Azoteas y Techos	100%	25%
Tanques y Silos	100%	100%

Nota. Fuente: Norma Técnica Peruana E.030 Diseño Sismorresistente, 2016.

4.2.5 Medrado de cargas

La estimación de las cargas verticales es un aspecto esencial en el diseño sismorresistente, ya que permite determinar las fuerzas que afectan a los diversos elementos estructurales de una edificación. Usualmente, el cálculo de estas cargas se simplifica, descartando los efectos hiperestáticos generados por los momentos flectores, a menos que su influencia sea significativa (San Bartolomé, 1998, pág. 1).

El cálculo de las cargas para esta estructura incluye tanto las cargas gravitacionales (CM y CV) como las cargas sísmicas (CS). Las cargas distribuidas y los pesos unitarios se determinan conforme a lo establecido en la Norma E-020 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).

4.2.5.1 Medrado de cargas de Vivienda 1

La vivienda seleccionada para el presente estudio se ubica en el asentamiento humano Eloy G. Ureta MZ 06, Lote 24 pasaje Manco Cápac, distrito de Alto de la Alianza, provincia de Tacna. Corresponde a una edificación unifamiliar de tres niveles, construida en un lote rectangular. La estructura fue edificada sin diseño estructural formal, sobre un terreno compuesto por depósitos de ceniza volcánica no cementada.

Desde el punto de vista arquitectónico, la vivienda presenta una distribución convencional, con ambientes definidos para uso doméstico en cada planta. En el primer nivel se ubican la sala, comedor, cocina y un baño; el segundo y tercer nivel están destinados a dormitorios y zonas de uso múltiple. No se evidencia la presencia

de un sistema de evacuación pluvial ni protección perimetral, lo que la hace más vulnerable frente a eventos de inundación superficial.

En el aspecto estructural, el sistema portante está conformado por muros de albañilería confinada y columnas de concreto armado. Las losas de entrepiso son aligeradas y están apoyadas directamente sobre vigas de concreto armado. La cimentación se realiza mediante zapatas aisladas distribuidas bajo columnas, según se observa en el plano estructural base. La edificación no cuenta con un estudio de mecánica de suelos previo ni control técnico en obra, factores que la hacen susceptible a asentamientos diferenciales en un contexto de suelos de baja capacidad portante y alta variabilidad de humedad.

El análisis realizado en esta tesis parte del metrado de cargas gravitacionales aplicadas sobre la cimentación, considerando los tres niveles estructurales, para evaluar los asentamientos inducidos bajo condiciones de saturación parcial en el perfil geotécnico identificado.

Figura 48

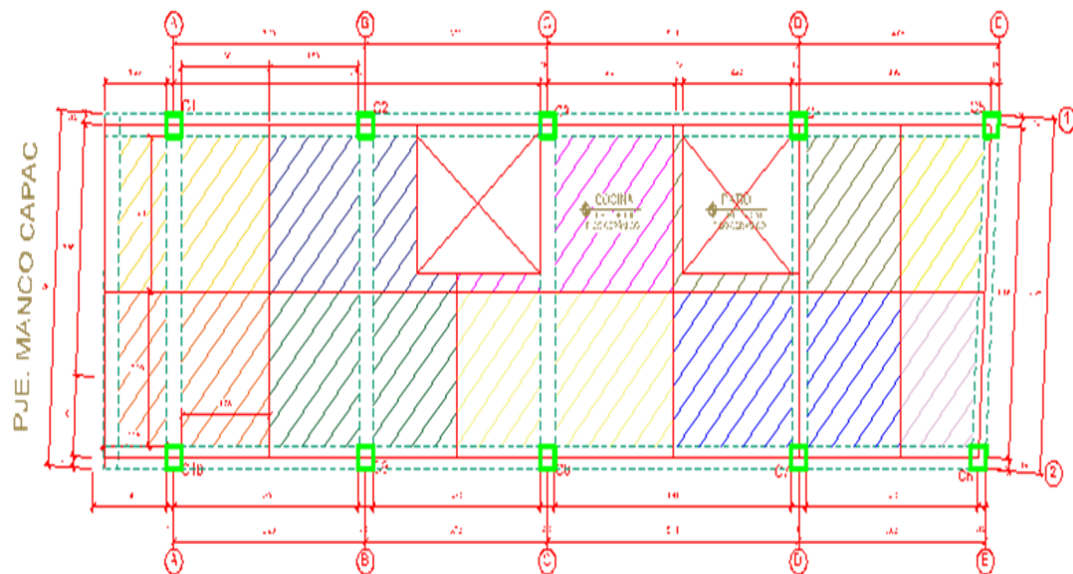
Vista frontal de la vivienda unifamiliar evaluada en el asentamiento humano Eloy G. Ureta – Alto de la Alianza, Tacna



Nota. Fotografía de la vivienda de tres niveles construida sobre suelo de ceniza volcánica. Esta estructura fue seleccionada como caso de estudio para el análisis de asentamientos diferenciales bajo condiciones de riesgo por inundación.

Figura 49

Plano estructural de cimentación de la vivienda evaluada para el cálculo de cargas y asentamientos diferenciales



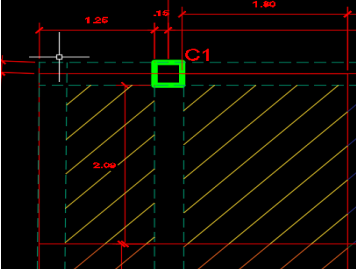
Nota. Distribución de elementos estructurales y cargas estimadas sobre cimentaciones superficiales. Este plano fue utilizado como base para el metrado de cargas aplicadas al suelo y la posterior modelación numérica del comportamiento de asentamientos, adaptación de planos proporcionados por propietario.

4.2.5.2 Procedimiento de metrado de cargas por Área tributaria para zapata C-1

Tabla 35

Cálculo de la Carga Muerta y Viva del Área Tributaria de la Columna C1

ÁREA TRIBUTARIA		C-1
EJE "X"	1_1	
EJE "Y"	A_A	
ANCHO	2.09 m	
LARGO	3.05 m	
PESO DE SERVICIO	CM + CV = 6.7 + 1.27 = 7.98 Tn	



CÁLCULO DE LA CARGA MUERTA					
ELEMENTOS ESTRUCTURALES	SECCIÓN		ALTO / LARGO [m]	CARGA [Tn/m ³]	PESO [Tn]
	t1 [m]	t2 [m]			
COLUMNAS	0.3	0.3	3.475	2.4	0.75
VIGAS PRINCIPALES	0.3	0.3	7.23	2.4	1.56
VIGAS SECUNDARIAS					
	ÁREA		# VECES	CARGA [Tn/m ²]	PESO [Tn]
	ANCHO	LARGO			
LOSA	5.74		1	0.35	2.01
ACABADOS	6.37		1	0.1	0.64
MUROS DE TABIQUERIA	DESCRIPCIÓN	LONGITUD [m]	ALTURA [m]	CARGA [Tn/m ²]	PESO [Tn]
MURO COMPLETO	EJE "Y"	3.35	3.475	0.15	1.75
	-	-	-	-	-
MURO ALFAIZER	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-
CARGA MUERTA					6.70

CÁLCULO DE LA CARGA VIVA				
SOBRECARGA (S/c)	ÁREA		CARGA [Tn/m ²]	PESO [Tn]
	ANCHO [m]	LARGO [m]		
S/C PARA EL PRIMER PISO = 0	2.09	3.05	0.2	1.27
CARGA VIVA				1.27

4.2.5.3 Resumen de metrados de cargas

Tabla 36

Resumen de metrados de carga por área tributaria Vivienda Ubicado en el A.H.

Eloy G Ureta

1er PISO							
EJE	A.T.		Tipo de columna	CM [Tn]	CV [Tn]	P.S. [Tn]	
	Nro	Área [m ²]					
1_1	A_A	01	6.17	C1	6.70	1.27	7.97
	B_B	02	5.83	C2	6.72	1.17	7.89
	C_C	03	5.43	C3	8.62	1.09	9.71
	D_D	04	4.95	C4	6.86	0.99	7.85
	E_E	05	3.42	C5	5.29	0.68	5.97
2_2	E_E	06	0.67	C6	4.96	0.63	5.59
	D_D	07	4.93	C7	11.86	1.94	13.80
	C_C	08	7.56	C8	9.42	1.98	11.40
	B_B	09	6.75	C9	7.10	1.59	8.69
	A_A	10	2.86	C10	6.82	1.59	8.41
2do PISO							
EJE	A.T.		Tipo de columna	CM [Tn]	CV [Tn]	P.S. [Tn]	
	Nro	Área [m ²]					
1_1	A_A	01	6.17	C1	6.70	1.27	7.97
	B_B	02	0.00	C2	6.72	1.17	7.89
	C_C	03	0.00	C3	8.62	1.09	9.71
	D_D	04	0.00	C4	6.86	0.99	7.85
	E_E	05	0.00	C5	5.29	0.68	5.97
2_2	E_E	06	0.67	C6	4.96	0.63	5.59
	D_D	07	4.93	C7	11.86	1.94	13.80
	C_C	08	7.56	C8	9.42	1.98	11.40
	B_B	09	6.75	C9	7.10	1.59	8.69
	A_A	10	2.86	C10	6.82	1.59	8.41
3er PISO							
EJE	A.T.		Tipo de columna	CM [Tn]	CV [Tn]	P.S. [Tn]	
	Nro	Área [m ²]					
1_1	A_A	01	6.17	C1	6.70	1.27	7.97
	B_B	02	0.00	C2	6.72	1.17	7.89
	C_C	03	0.00	C3	8.62	1.09	9.71
	D_D	04	0.00	C4	6.86	0.99	7.85
	E_E	05	0.00	C5	5.29	0.68	5.97
2_2	E_E	06	0.67	C6	4.96	0.63	5.59
	D_D	07	4.93	C7	11.86	1.94	13.80
	C_C	08	7.56	C8	9.42	1.98	11.40
	B_B	09	6.75	C9	7.10	1.59	8.69
	A_A	10	2.86	C10	6.82	1.59	8.41
TOTAL						261.88	

4.2.5.4 Peso total de la estructura

Con el propósito de realizar un análisis estructural y geotécnico preciso de la edificación localizada en el asentamiento humano Eloy G. Ureta, se efectuó el cálculo detallado de las cargas por nivel, abarcando tanto las cargas permanentes (carga muerta) como las variables (carga viva). El peso inicial estimado, sin aplicar correcciones normativas, fue de 261.88 toneladas.

Sin embargo, en cumplimiento de los criterios establecidos por la Norma Técnica Peruana E.020 – Cargas (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento., 2020), se procedió a modificar los valores considerados en el diseño estructural. Esta normativa indica que en los niveles intermedios (primer y segundo piso) debe considerarse el 50 % de la carga viva, mientras que en el nivel superior o azotea, por tratarse de una zona de uso ocasional, corresponde solo el 25 %.

Luego de aplicar estos ajustes, se determinó que la carga total efectiva utilizada para el análisis de cimentaciones y deformaciones del terreno asciende a 239.25 toneladas. Este valor corregido permite una representación más fiel del comportamiento estructural y responde a los lineamientos del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú, promoviendo un enfoque de diseño seguro y conservador.

Tabla 37

Peso de la estructura por niveles

Piso	CM(ton)	CV(ton)
1er piso	74.36	12.93
2do piso	74.36	12.93
3er piso	74.36	12.93

Ppiso típico = CM + 50% CVentrepiso

Pazotea = CM + 25% CVazotea

Tabla 38*Pesos estructurales para análisis sísmico por planta.*

Piso	Peso(ton)
1er piso	80.83
2do piso	80.83
3er piso	77.59
Peso total de la edificación	239.25

4.2.5.4.1 Cargas que soporta la Simentación**Tabla 39***Cargas de servicio en la base de las zapatas Eje 1*

	1A	1B	1C	1D	1E
p.p zapata(*)	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54
C muerta	20.11	20.16	25.87	20.59	15.86
c viva	3.81	3.51	3.27	2.97	2.04
C. sismo	10.77	10.65	13.11	10.60	8.06
C. servicio (Tonf)	39.23	38.86	46.79	38.70	30.50
q(Kgf/cm2)	0.93	0.93	1.11	0.92	0.73

Nota. Se consideró el peso específico del concreto 2.4 tonf/m³**Tabla 40***Cargas de servicio en la base de las zapatas Eje 2*

	2A	2B	2C	2D	2E
p.p zapata(*)	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54
C muerta	14.88	35.58	28.26	21.30	20.46
c viva	1.89	5.82	5.94	4.77	4.77
C. sismo	7.55	18.63	15.39	11.73	11.35
C. servicio (Tonf)	28.85	64.57	54.13	42.34	41.12
q(Kgf/cm2)	0.69	1.54	1.29	1.01	0.98

Nota. Se consideró el peso específico del concreto 2.4 tonf/m³

4.3 RESULTADOS

4.3.1 Niveles de Peligro

En el siguiente cuadro se presentan los resultados de los niveles de peligro determinados mediante el análisis jerárquico, conforme a la metodología del CENEPRED, para la zona de estudio.

Tabla 41

Niveles de peligro

NIVEL	RANGO				
MUY ALTO	0.269	≤	P	≤	0.480
ALTO	0.139	≤	P	<	0.269
MEDIO	0.060	≤	P	<	0.139
BAJO	0.039	≤	P	<	0.060

4.3.1.1 Estratificación del nivel de peligrosidad

En el siguiente cuadro se presenta la matriz de peligros identificados:

Tabla 42*Matriz de peligro*

DESCRIPCIÓN	RANGOS	NIVELES DE PELIGRO
<p>Precipitación superior a Percentil P99; La precipitación máxima en 24 horas superior a 29.79 mm, clasificada como "Extremadamente lluviosa", se utiliza como un parámetro fundamental para la evaluación de las zonas propensas a inundación. Las áreas afectadas por este fenómeno se determinaron a través de simulaciones hidráulicas, utilizando un periodo de retorno de 100 años para caudales máximo como datos anormales o anómalos, cCon profundidades de flujo inferiores a 0.05 metros. Se encuentra geomorfológicamente en la unidad llanura de inundación, con pendientes bajas menores a 5° y litológicamente situado sobre depósito aluvial, con elementos expuesto población, vías, etc.</p>	0.269<P<0.480	MUY ALTO
<p>Precipitación superior a Percentil P99;La precipitación máxima en 24 horas superior a 29.79 mm, clasificada como "Extremadamente lluviosa", se utiliza para determinar las áreas de inundación. Los parámetros para la evaluación de estas áreas se obtuvieron mediante simulaciones hidráulicas, considerando un tiempo de retorno de 100 años para caudales máximo como datos anormales o anómalos,Con profundidades de flujo inferiores a 0.05 metros. Se encuentra geomorfológicamente en la unidad vertiente aluvial, con pendientes moderada a suave que esta entre 5° a 10° y litológicamente situado sobre depósito fluvio aluvial, con elementos expuesto población, vías, etc.</p>	0.139<P<0.269	ALTO
<p>Precipitación superior a Percentil P99; La precipitación máxima en 24 horas superior a 29.79 mm, clasificada como "Extremadamente lluviosa", se emplea como un parámetro clave para la evaluación de las áreas propensas a inundación. Esta evaluación se realizó mediante simulaciones hidráulicas, utilizando un periodo de retorno de 100 años para estimar el comportamiento y la extensión de las inundaciones en la zona de estudio para caudales máximo como datos anormales o anómalos, Con profundidades de flujo inferiores a 0.05 metros. Se encuentra geomorfológicamente en la unidad Superficie de flujo piroclástico disectada y en laderas, con pendientes moderada a suave que esta entre 10° a 25° y litológicamente situado sobre depósitos deluvialesl, con elementos expuesto población, vías, etc.</p>	0.060<P<0.139	MEDIO

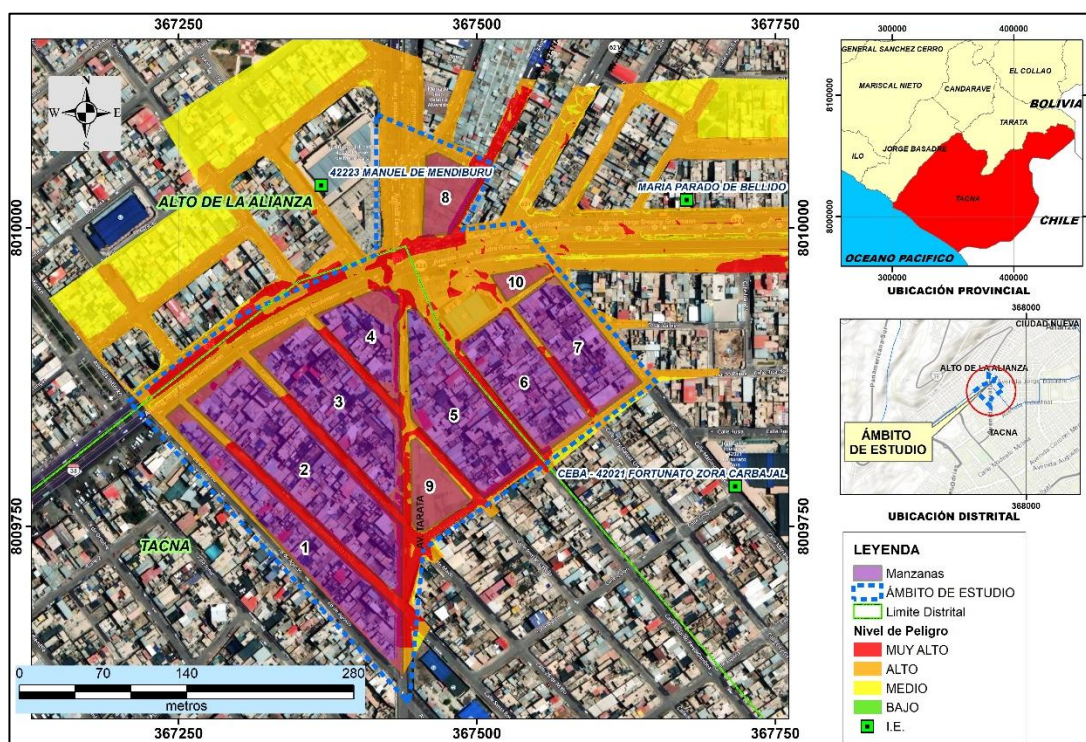
<p>Precipitación superior a Percentil P99;La precipitación máxima en 24 horas superior a 29.79 mm, clasificada como "Extremadamente lluviosa", se utiliza como parámetro principal para evaluar las áreas de inundación. Estos parámetros de evaluación fueron obtenidos a través de simulaciones hidráulicas, considerando un tiempo de retorno de 100 años para modelar las posibles inundaciones en la zona de estudio para caudales máximo como datos anormales o anómalos, Con profundidades de flujo inferiores a 0.05 metros. Se encuentra geomorfológicamente en la unidad denominada colina o lomada piroclástica, con pendientes muy inclinadas mayores a 25° y litológicamente situado la unidad geológica denominado Formación Huaylillas superior(ignimbritas), con elementos expuesto población, vías, etc.</p>	<p>0.039<P<0.060 BAJO</p>
---	--

4.3.1.2 Mapa de Peligrosidad

Dentro de la zona de estudio se desarrollo un mapa de peligro, los mapas se desarrollaron analizando los valores pluviométricos de dos estaciones meteorologicas cercanas al área de estudio, el mapa de peligros muestra la extensión de las inundaciones y la profundidad del agua asociado a la inundacion pluvial para una períodos de retorno de 100 años. Los mapas proporcionan la profundidad del agua para inundaciones pluviales (también conocidas como inundaciones repentinas). En el mapa de peligro generado en el ámbito de estudio se puede apreciar que la zona en donde se encuentran las viviendas evaluadas. Se encuentra ubicado en los niveles de peligro Muy Alto y Nivel de peligro Alto como se puede apreciar en la **Fig. N° 50**.

Figura 50

Zonificación del nivel de peligro por inundación en el asentamiento humano Eloy G. Ureta y Leoncio prado – Alto de la Alianza, Tacna



Nota. Mapa de evaluación de riesgo por inundación superficial obtenido mediante análisis de susceptibilidad y exposición, considerando factores como geomorfología, pendiente, precipitación y condiciones del entorno urbano. Se identifican 10 manzanas dentro del ámbito de estudio, clasificadas en cuatro niveles de peligro: muy alto (rojo), alto (naranja), medio (amarillo) y bajo (verde), destacando las zonas críticas de acumulación de escorrentía.

4.3.2 Niveles de Vulnerabilidad

Los niveles de vulnerabilidad ante inundación pluvial en el área de estudio se detallan a continuación. En el siguiente cuadro, se presentan los niveles de vulnerabilidad y sus rangos correspondientes, los cuales fueron obtenidos mediante la aplicación del Proceso de Análisis Jerárquico.

Tabla 43*Calculo de Rangos de fragilidad social y rangos de la Vulnerabilidad Social*

Ppar	Pdesc	Valor Fragilidad Social	Peso Fragilidad Social	Valor Dimensión Social	Peso Dimensión Social
1.00	0.447	0.447	1.00	0.447	0.65
1.00	0.303	0.303	1.00	0.303	0.65
1.00	0.118	0.118	1.00	0.118	0.65
1.00	0.090	0.090	1.00	0.090	0.65
1.00	0.042	0.042	1.00	0.042	0.65

Nota. Resultados basados en el Manual para la Evaluación de Riesgo del CENEPRED.

Tabla 44:*Calculo de Rangos de la Fragilidad Económica*

Material de construcción predominante en las paredes		Vivienda con abastecimiento de agua		Vivienda con servicio higiénico		Valor Fragilidad Económica	Peso Fragilidad Económica
Ppar	Pdesc	Ppar	Pdesc	Ppar	Pdesc	Valor Fragilidad Económica	Peso Fragilidad Económica
0.739	0.440	0.179	0.435	0.082	0.443	0.439	0.60
0.739	0.280	0.179	0.285	0.082	0.281	0.281	0.60
0.739	0.179	0.179	0.186	0.082	0.174	0.180	0.60
0.739	0.063	0.179	0.061	0.082	0.067	0.063	0.60
0.739	0.039	0.179	0.033	0.082	0.035	0.037	0.60

Nota. Resultados basados en el Manual para la Evaluación de Riesgo del CENEPRED.

Tabla 45*Indicadores para Calcular la Resiliencia Económica*

Ppar	Pdesc	Valor Resiliencia Económica	Peso Resiliencia Económica
1.00	0.444	0.444	0.40
1.00	0.301	0.301	0.40
1.00	0.155	0.155	0.40
1.00	0.062	0.062	0.40
1.00	0.038	0.038	0.40

Nota. Resultados basados en el Manual para la Evaluación de Riesgo del CENEPRED.

Tabla 46:

Valoración de la vulnerabilidad

Valor Vulnerabilidad Social	Peso Social	Valor Vulnerabilidad Económica	Peso Económica	Valor de Vulnerabilidad
0.447	0.65	0.441	0.35	0.440
0.303	0.65	0.289	0.35	0.286
0.118	0.65	0.170	0.35	0.173
0.090	0.65	0.063	0.35	0.063
0.042	0.65	0.038	0.35	0.038

Nota. Resultados basados en el Manual para la Evaluación de Riesgo del CENEPRED.

Tabla 47

Niveles de vulnerabilidad

Nivel de Vulnerabilidad	Rango (V)
Muy Alto	$0.298 < V \leq 0.445$
Alto	$0.136 < V \leq 0.298$
Medio	$0.080 < V \leq 0.136$
Bajo	$0.041 \leq V \leq 0.080$

Nota. Resultados basados en el Manual para la Evaluación de Riesgo del CENEPRED..

4.3.2.1 Estratificación de la Vulnerabilidad

La evaluación de vulnerabilidad en el asentamiento humano Eloy G. Ureta se realizó considerando factores socioeconómicos, etarios y condiciones constructivas. A continuación, se presenta la descripción técnica para cada nivel de vulnerabilidad definido según el valor del índice P.

Tabla 48*Estratificación de la Vulnerabilidad*

NIVELES DE VULNERABILIDAD	RANGOS	DESCRIPCIÓN
MUY ALTO	0.298<P<0.445	El grupo etario predominante en el área de estudio son los adultos mayores de 65 años. Las viviendas, construidas principalmente con materiales como piedra o sillar con cal o cemento, o piedra con barro, carecen de acceso a agua potable, ya que se abastecen de fuentes como pozos, manantiales, puquios, ríos o acequias. Además, no cuentan con un sistema de desagüe y, en su lugar, los servicios higiénicos se encuentran al aire libre o en el campo. El tipo de vivienda en esta zona es de carácter improvisado
ALTO	0.136<P<0.298	Grupo Etario predominante de 0 a 14 años. Las viviendas presentan material de construcción predominante en las paredes de adobe, tapia, quincha (caña con barro); no cuentan con servicio de agua potable solo se abastecen mediante camión cisterna u otro similar; Las viviendas no disponen de un sistema de desagüe, y su único servicio higiénico está ubicado al aire libre, en el campo abierto o junto a un río. Además, estas estructuras no están concebidas para ser utilizadas como viviendas habitables
MEDIO	0.080<P<0.136	El grupo de edad predominante en la zona de estudio abarca a personas entre 15 y 64 años. Las viviendas están mayormente construidas con materiales como madera (poma, tornillo, etc.), triplay, calamina y estera para las paredes. El suministro de agua se realiza a través de una pileta pública o una red pública externa a la vivienda, pero dentro de la misma edificación. Además, las viviendas están conectadas a un sistema de desagüe público fuera de la vivienda, pero dentro de la edificación, o bien cuentan con alternativas como pozo séptico, tanque séptico o biodigestor. El tipo de vivienda predominante incluye quintas, casas de vecindad o departamentos en edificios
BAJO	0.041<P<0.080	El grupo etario mayoritario en la zona de estudio se encuentra en el rango de 30 a 44 años. Las viviendas, mayormente construidas con ladrillo o bloque de cemento, cuentan con un sistema de abastecimiento de agua proveniente de la red pública, la cual llega directamente a cada vivienda. Asimismo, disponen de un sistema de desagüe conectado a la red pública dentro de la misma. En su mayoría, las viviendas son de tipo independiente

Nota. Resultados basados en el Manual para la Evaluación de Riesgo del CENEPRED.

4.3.2.2 Mapa de Vulnerabilidad

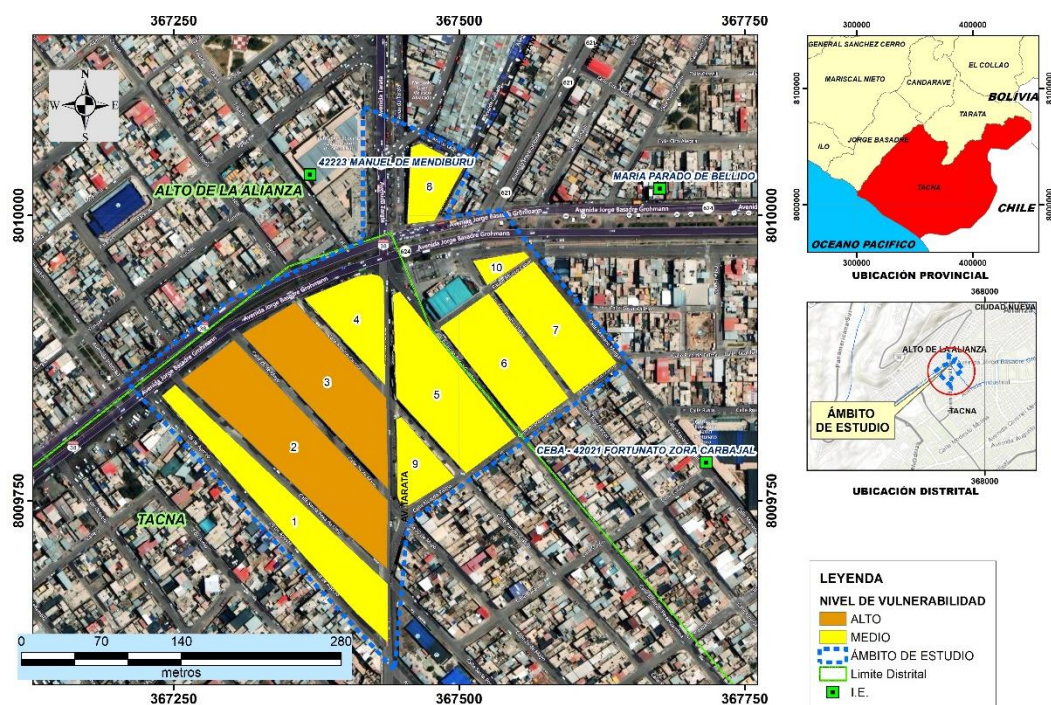
El mapa temático de vulnerabilidad del área de estudio ubicada en el distrito Alto de la Alianza, en la ciudad de Tacna, Perú. Se identifican diez sectores diferenciados

especialmente, en los que se ha aplicado una clasificación por niveles de vulnerabilidad: Alto y Medio, representados en tonos naranja y amarillo, respectivamente. La delimitación de estos niveles se ha realizado en función del índice compuesto P, que considera variables demográficas (grupo etario predominante), condiciones constructivas de las viviendas y acceso a servicios básicos como agua potable y desagüe. El análisis revela que los sectores 1 y 2 concentran el nivel Alto de vulnerabilidad, al presentar características críticas como presencia de adultos mayores o menores de edad, viviendas construidas con materiales precarios (piedra, barro, quincha), y deficiente infraestructura sanitaria.

Los sectores restantes (3 al 10) han sido clasificados con vulnerabilidad media, evidenciando mejores condiciones en términos de materiales de construcción (madera, triplay, estera), acceso parcial a servicios públicos y presencia de población en edad productiva. No se identificaron zonas con vulnerabilidad baja dentro del ámbito evaluado.

Figura 51

Zonificación del nivel de vulnerabilidad en el área de estudio – Alto de la Alianza, Tacna



Nota. Mapa temático que muestra la distribución espacial del nivel de vulnerabilidad en las 10 manzanas del área de estudio. La clasificación se realizó en función de variables sociales, constructivas y de acceso a servicios básicos, categorizando los sectores en niveles de vulnerabilidad *alto* (naranja) y *medio* (amarillo). La información recopilada permite identificar sectores críticos para la gestión del riesgo ante eventos de inundación.

4.3.3 Niveles de Riesgos

Los niveles de riesgo por inundación Pluvial del ámbito de estudio se detallan a continuación:

Tabla 49*Calculo de Riesgos en el ámbito de estudio*

Valor de Peligro (P)	Valor de la Vulnerabilidad (V)	Riesgo (P × V = R)
0.480	0.445	0.214
0.269	0.298	0.080
0.139	0.136	0.019
0.060	0.080	0.005
0.039	0.041	0.002

Nota. Resultados basados en el Manual para la Evaluación de Riesgo del CENEPRED.

Tabla 50*Niveles de Riesgo según rango de valores*

Nivel	Rango (R)
Muy Alto	$0.080 \leq R \leq 0.214$
Alto	$0.019 \leq R < 0.080$
Medio	$0.005 \leq R < 0.019$
Bajo	$0.002 \leq R < 0.005$

Nota. Resultados basados en el Manual para la Evaluación de Riesgo del CENEPRED.

4.3.3.1 Matriz de Riesgos

Se observa que el nivel de riesgo incrementa a medida que aumentan tanto la peligrosidad como la vulnerabilidad. Las combinaciones críticas, donde ambos factores son elevados, generan los valores más altos de riesgo (hasta 0.214), mientras que aquellas con bajos niveles en ambas dimensiones presentan los valores más reducidos (alrededor de 0.005). Esta matriz constituye una herramienta útil para detectar zonas prioritarias de intervención dentro del proceso de gestión del riesgo.

Tabla 51

Matriz de riesgo en función del valor de peligro y vulnerabilidad.

PMA	0.480	0.039	0.065	0.143	0.214
PA	0.269	0.022	0.037	0.080	0.120
PM	0.139	0.011	0.019	0.042	0.062
PB	0.060	0.005	0.008	0.018	0.027
		0.080	0.136	0.298	0.445
		VB	VM	VA	VMA

Nota. Resultados basados en el Manual para la Evaluación de Riesgo del CENEPRED.

4.3.3.2 Estratificación del Nivel de Riesgos

La clasificación de los niveles de riesgo presentada en la tabla permite comprender cómo la combinación de factores hidrometeorológicos extremos, como la precipitación superior al percentil P99, con condiciones de vulnerabilidad estructural y social, incrementa significativamente la exposición de las edificaciones en zonas críticas de Tacna. Esta relación se hace evidente en áreas donde predominan viviendas autoconstruidas, sin acceso a servicios básicos y habitadas por poblaciones vulnerables, como adultos mayores. En el contexto del análisis de asentamientos diferenciales, estas condiciones no solo agravan el riesgo de colapso estructural frente a inundaciones, sino que también reflejan la necesidad de priorizar intervenciones integrales en sectores con riesgo muy alto. La información detallada por nivel, además, respalda la segmentación territorial aplicada en la tesis para proponer medidas de mitigación diferenciadas según el grado de exposición.

Tabla 52

Descripción de los niveles de riesgo en función del rango de valores.

NIVEL ES DE RIESG O	RANGOS	DESCRIPCIÓN
MUY ALTO	0.080<P<0.2 14	<p>La precipitación registrada en la zona supera el percentil P99, con una precipitación máxima en 24 horas superior a 29.79 mm, lo que clasifica el evento como "Extremadamente lluvioso". Los parámetros de evaluación de las áreas de inundación fueron obtenidos mediante simulaciones hidráulicas con un tiempo de retorno de 100 años para los caudales máximos, considerados como datos anómalos. Las alturas de flujo en la zona son superiores a 0.5 metros. Geomorfológicamente, el área se encuentra en una unidad de llanura de inundación, con pendientes bajas inferiores al 5%, y está situada sobre depósitos aluviales. Los elementos expuestos a este riesgo incluyen la población, las vías de comunicación y otros componentes.</p> <p>El grupo etario predominante en esta zona es el de mayores de 65 años. Las viviendas en el área están principalmente construidas con materiales como piedra o sillar con cal o cemento, y/o piedra con barro. Estas viviendas carecen de acceso a agua potable, siendo abastecidas a través de pozos, manantiales, puquios, ríos o acequias. Además, no cuentan con servicio de desagüe, y solo disponen de un servicio higiénico al aire libre o en el campo. El tipo de vivienda es de construcción improvisada</p>
ALTO	0.019<P<0.0 80	<p>La precipitación registrada en la zona supera el percentil P99, con una precipitación máxima en 24 horas superior a 29.79 mm, lo que se clasifica como un evento extremadamente lluvioso. Este fenómeno se ha evaluado utilizando simulaciones hidráulicas con un tiempo de retorno de 100 años para los caudales máximos, considerados como datos atípicos, con alturas de flujo entre 0.25 y 0.5 metros. Geomorfológicamente, la zona se ubica en una unidad vertiente aluvial, con pendientes moderadas a suaves, que oscilan entre 5° y 10°, y está situada sobre depósitos fluvioaluviales. Los elementos expuestos a este riesgo incluyen la población, las vías de comunicación, entre otros. El grupo etario predominante en esta área es el de 0 a 14 años. En cuanto a las viviendas, estas están predominantemente construidas con materiales como adobe, tapia y quincha (caña con barro). No cuentan con acceso a agua potable, dependiendo del abastecimiento a través de camiones cisterna u otros métodos similares. Además, carecen de servicio de desagüe y sólo disponen de un servicio higiénico al aire libre, al campo o al río. Estas viviendas no están destinadas para uso habitacional.</p>
MEDIO		<p>La precipitación registrada en la zona supera el percentil P99, con una precipitación máxima en 24 horas superior a 29.79 mm, lo que clasifica el evento como "Extremadamente lluvioso". Los parámetros de evaluación de las áreas de inundación fueron obtenidos mediante simulaciones hidráulicas con un tiempo de retorno de 100 años para los caudales máximos, considerados como datos anómalos. Las alturas de flujo en la zona están comprendidas entre 0.05 y 0.25 metros. Geomorfológicamente, el área se encuentra en la unidad de superficie de flujo piroclástico disectada y en laderas, con pendientes moderadas a</p>

0.005<P<0.019	<p>suaves que oscilan entre 10° y 25°. Litológicamente, está situada sobre depósitos diluviales, y los elementos expuestos a este riesgo incluyen la población, las vías de comunicación y otros componentes. El grupo etario predominante en esta zona es el de personas de entre 15 y 64 años. Las viviendas en el área están predominantemente construidas con materiales como madera (poma, tornillo, entre otros), triplay, calamina y estera. Estas viviendas se abastecen de agua a través de una pileta pública y/o red pública fuera de la vivienda, pero dentro de la edificación. Además, cuentan con un sistema de desagüe conectado a la red pública fuera de la vivienda, pero dentro de la edificación, y/o pozo séptico, tanque séptico o biodigestor. El tipo de vivienda corresponde a quintas, casas de vecindad o departamentos en edificios.</p>
BAJO 0.002<P<0.005	<p>La precipitación en el área de estudio supera el percentil P99, alcanzando una precipitación máxima en 24 horas superior a 29.79 mm, lo que la clasifica como "Extremadamente lluviosa". Los parámetros utilizados para evaluar las zonas de inundación fueron obtenidos mediante simulaciones hidráulicas, con un tiempo de retorno de 100 años para los caudales máximos, los cuales se consideran como valores anómalos. La altura de flujo en la zona es inferior a 0.05 metros. Geomorfológicamente, el área está ubicada en la unidad de colina o lomada piroclástica, con pendientes muy pronunciadas, superiores al 25°. En términos litológicos, la zona se encuentra sobre la unidad geológica denominada Formación Huaylillas Superior (ignimbritas), con elementos expuestos al riesgo como la población y las vías de comunicación, entre otros.</p> <p>El grupo etario predominante en esta zona es el de 30 a 44 años. Las viviendas de la zona están construidas con materiales como ladrillo o bloque de cemento en sus paredes. El abastecimiento de agua se realiza a través de la red pública, con el suministro directamente dentro de la vivienda. Asimismo, estas viviendas cuentan con un sistema de desagüe conectado a la red pública dentro de la misma. El tipo de vivienda es independiente</p>

Nota. La clasificación de riesgo se obtuvo integrando el nivel de peligro (derivado de simulaciones hidráulicas con caudales de 100 años) y el nivel de vulnerabilidad (basado en datos demográficos, condiciones constructivas y acceso a servicios básicos). Cada nivel está definido por rangos del índice de riesgo PPP, y describe condiciones hidrogeomorfológicas, sociales y estructurales que influyen en la exposición de la población ante eventos extremos, con base en simulaciones hidráulicas y criterios técnicos del análisis multivariable.

4.3.3.3 Mapa de Riesgos

El mapa de riesgos obtenido evidencia una clara zonificación del nivel de riesgo en el ámbito de estudio ubicado en el distrito Alto de la Alianza, Tacna. Destacan las manzanas 1, 2, 3, 6 y 8 clasificadas como zonas de **riesgo muy alto** y **alto**, las cuales coinciden con áreas donde confluyen elevados valores de peligro

hidrometeorológico (precipitaciones superiores al percentil P99), vulnerabilidad estructural (viviendas construidas sobre ceniza volcánica) y condiciones socioeconómicas críticas.

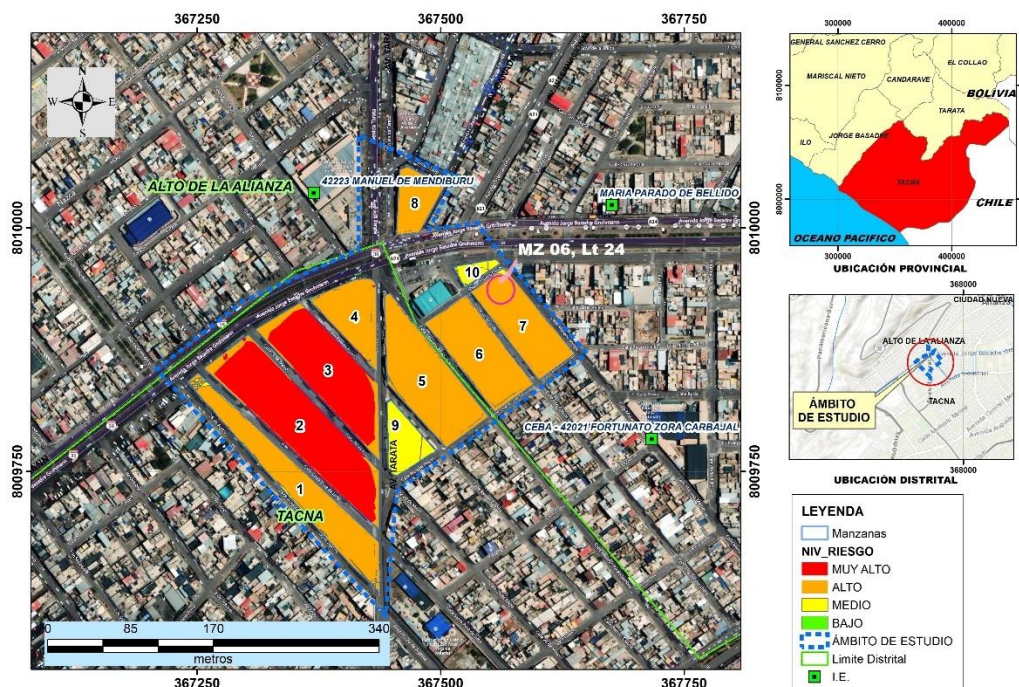
Estas zonas críticas presentan edificaciones de tres niveles construidas sin diseño geotécnico ni control técnico, lo que incrementa la probabilidad de asentamientos diferenciales severos frente a eventos extremos de lluvia o saturación del suelo. Además, la ausencia de sistemas adecuados de drenaje superficial y subterráneo agrava la retención de agua, reduciendo la capacidad portante del suelo e intensificando la deformación diferencial entre estructuras contiguas.

Las zonas clasificadas con riesgo medio y bajo (como las manzanas 4, 5, 7, 9 y 10) presentan mejores condiciones relativas en cuanto a servicios básicos, accesibilidad y densidad edificatoria, pero no están exentas del fenómeno, especialmente por la heterogeneidad del suelo local y la falta de mantenimiento de infraestructura urbana.

Este mapa consolida el análisis espacial del riesgo geotécnico en la tesis y aporta evidencia gráfica clave para priorizar acciones de mitigación estructural, mejoramiento del suelo y gestión del drenaje pluvial urbano, así como la planificación urbana resiliente en zonas de expansión informal.

Figura 52

Mapa de riesgos mostrando la vivienda evaluada dentro de la zonificación de riesgo por inundación pluvial



Nota. La figura muestra la localización geográfica de la vivienda analizada (marcada en la manzana 6, lote 24), la cual fue utilizada como modelo representativo para el análisis de asentamientos diferenciales sobre suelo de ceniza volcánica. Esta se encuentra en una zona clasificada con riesgo alto, producto de la superposición de peligro hidrológico y vulnerabilidad social y económico, basada en análisis geoespacial y simulación hidráulica.

Tabla 53

Resultados de evaluación de riesgos por asentamiento humano Área de estudio: Distrito Alto de la Alianza, Tacna - 2024

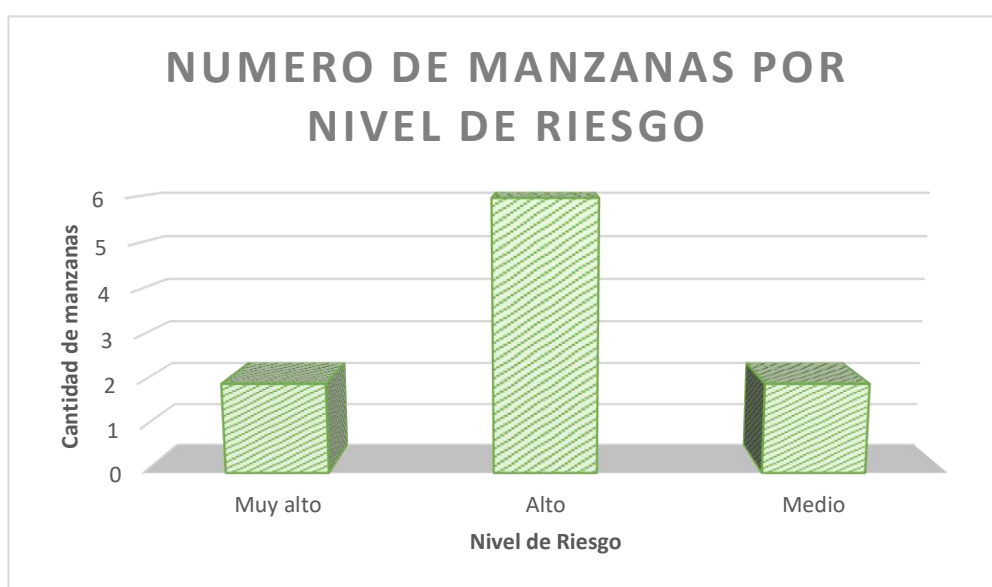
N.º	Manzana	Asentamiento humano	Nivel de riesgo
1	14	AA.HH. Leoncio Prado	Alto
2	10	AA.HH. Leoncio Prado	Muy alto
3	6	AA.HH. Leoncio Prado	Muy alto
4	1	AA.HH. Leoncio Prado	Alto
5	2	AA.HH. Leoncio Prado	Alto

6	7	AA.HH. Eloy G. Ureta	Alto
7	6	AA.HH. Eloy G. Ureta	Alto
8	A	AA.HH. Juan Velazco Alvarado	Alto
9	43	AA.HH. Leoncio Prado	Medio
10	11	AA.HH. Eloy G. Ureta	Medio

Nota. Resultados de evaluación de riesgo del área de estudio.

Figura 53

Número de manzanas por nivel de riesgo en el área de estudio



Nota. Resultados del análisis de riesgo en asentamientos humanos del distrito de Alto de la Alianza, Tacna (2024).

4.3.4 Cálculo de asentamientos por el método elástico

El cálculo del asentamiento de la cimentación se realizó aplicando la teoría de la elasticidad (Lambe y Whitman, 1964), tomando en cuenta el tipo de cimentación superficial recomendado para el estudio, lo que permitió evaluar el comportamiento de la estructura frente a las cargas aplicadas y la deformación esperada en el suelo..

La vivienda seleccionada para el análisis de asentamientos diferenciales se ubica en el Asentamiento Humano Eloy G. Ureta, dentro de una manzana clasificada con riesgo alto a inundación. Esta elección se fundamenta en criterios técnicos que incluyen: la presencia de ceniza volcánica como material de cimentación,

caracterizado por su alta compresibilidad y baja capacidad portante; las condiciones geomorfológicas que favorecen la acumulación de agua superficial; y la tipología constructiva vulnerable predominante en el sector, con edificaciones de varios niveles y cimentaciones poco profundas.

Adicionalmente, la zona alberga un grupo poblacional vulnerable (adultos mayores) y fue seleccionada por su representatividad dentro del área crítica de estudio. Esta vivienda constituye un caso adecuado para evaluar el comportamiento del terreno frente a esfuerzos estructurales y modelar escenarios de asentamientos diferenciales en contextos de suelos no saturados, utilizando parámetros como la succión matricial y el módulo de elasticidad derivado de ensayos in situ y de laboratorio.

4.3.4.1 Módulo elástico

Las pruebas de placa PLT, las pruebas de penetración de cono, los ensayos presiometricos y los métodos geofísicos (método sísmico) se utilizan habitualmente para estimar los valores de módulo de elasticidad in situ. Las pruebas de carga de placa (Plate Load Test, PLT) se emplean habitualmente para la estimación del módulo de elasticidad in situ del suelo. En el marco de la teoría de la elasticidad, el módulo de elasticidad puede determinarse a partir de la relación entre la presión aplicada y el asentamiento medido, de acuerdo con la siguiente expresión (Timoshenko y Goodier, 1951):

$$E = \frac{(1 - \nu^2) q B}{\delta} \dots\dots\dots (1)$$

donde E es el módulo de elasticidad del suelo, ν es el coeficiente de Poisson, q es la presión aplicada, B es el ancho de la placa y δ es el asentamiento correspondiente

El valor del módulo de elasticidad obtenido mediante el ensayo de carga de placa corresponde a una condición de humedad específica del suelo, es decir, a un estado no saturado. Dado que el comportamiento mecánico del suelo varía significativamente con el contenido de humedad y la succión matricial, se incorporó un modelo empírico que permite ajustar el módulo de elasticidad en función del estado de saturación del suelo.

En este contexto, Oh et al. (2009) analizaron el comportamiento carga–asentamiento en ensayos con zapatas modelo sobre suelos arenosos bajo diferentes condiciones de succión matricial, proponiendo una formulación semiempírica para estimar el módulo de elasticidad del suelo en condición no saturada en función del módulo de elasticidad saturado, la succión matricial y el grado de saturación efectivo. Dicha expresión se fundamenta en la curva característica suelo–agua (SWCC) y se define como:

$$E_{unsat} = E_{sat} \left[1 + \alpha \frac{(u_a - u_w)}{(P_a/101.3)} S^\beta \right] \dots\dots\dots(2)$$

En donde E_{unsat} = Modulo Elástico del Suelo no saturado, E_{sat} = Modulo Elastico del suelo saturado, y α, β , Esta formula requiere el módulo de elasticidad para la condición saturada y el SWCC (es decir la succión matricial $(u_a - u_w)$ vs grado de saturación (S)). En este estudio, para el calculo del modulo de eslasticidad se empleo la Ecuación 1 con valores de los parámetros de ajuste $\alpha = 0,1$ y $\beta = 2$ para estimar el módulo de elasticidad de suelos no saturados en los análisis numéricos.

Para evaluar el comportamiento mecánico del suelo en condición no saturada, se aplicó la formulación empírica desarrollada por Oh et al. (2009), la cual permite estimar el módulo de elasticidad en condición saturada (E_{sat}) a partir del módulo insaturado (E_{unsat}), la succión matricial ($u_a - u_w$), el grado de saturación efectivo S , y dos parámetros de ajuste empírico (α y β):

En el presente estudio, el módulo de elasticidad no saturado E_{unsat} fue determinado experimentalmente mediante el ensayo de carga de placa (PLT). A partir de dicho valor, la ecuación (2) fue despejada con el fin de estimar el módulo de elasticidad en condición saturada, el cual representa el estado mecánico más desfavorable del suelo bajo escenarios de infiltración pluvial. El despeje se expresa como:

$$E_{sat} = \left[\frac{E_{unsat}}{1 + \alpha \frac{(u_a - u_w)}{(P_a/101.3)} S^\beta} \right] \dots\dots\dots(3)$$

En la condición de saturación total del suelo, cuando la succión matricial es nula ($u_a - u_w = 0$), el término de ajuste se anula y la expresión anterior se reduce a:

$$E_{unsat} = E_{sat} \dots\dots\dots(4)$$

El valor del módulo de elasticidad en condición saturada E_{sat} fue deducido a partir del valor experimental del módulo de elasticidad no saturado $E_{unsat} = 10.98\text{MPa}$, obtenido mediante el ensayo de carga de placa en suelos de ceniza volcánica. Aplicando la formulación empírica propuesta por Oh et al. (2009), con parámetros $\alpha=0.1$ y $\beta=2$, una succión matricial de 143.88 kPa y un grado de saturación efectivo de 0.36, se obtuvo el valor correspondiente de E_{sat} , el cual fue utilizado como base para la modelación de los módulos elásticos bajo diferentes condiciones de humedad. Los resultados se presentan en la Tabla 54.

Los resultados evidencian que, si bien el módulo de elasticidad en condición no saturada aumenta con la succión matricial hasta cierto umbral, el módulo de elasticidad en condición saturada presenta una **variación acotada** dentro de un rango estrecho (3.79–4.44 MPa), lo que indica una adecuada coherencia del modelo empírico aplicado a suelos de ceniza volcánica no cementada. Este comportamiento refleja el incremento de rigidez asociado a los efectos de succión capilar, sin que ello implique modificaciones estructurales permanentes en la microestructura del suelo.

El análisis desarrollado justifica el uso de un modelo elástico dependiente de la humedad para la estimación de asentamientos diferenciales bajo condiciones de variabilidad climática. En particular, la edificación ubicada en la Mz. 06, Lt. 24 del Asentamiento Humano Eloy G. Ureta, evaluada en esta tesis, se cimenta directamente sobre ceniza volcánica no cementada, material altamente sensible a cambios de humedad y succión matricial. Esto refuerza la necesidad de considerar

mecanismos de rigidez variable al modelar su comportamiento estructural frente a eventos de inundación pluvial

Tabla 54

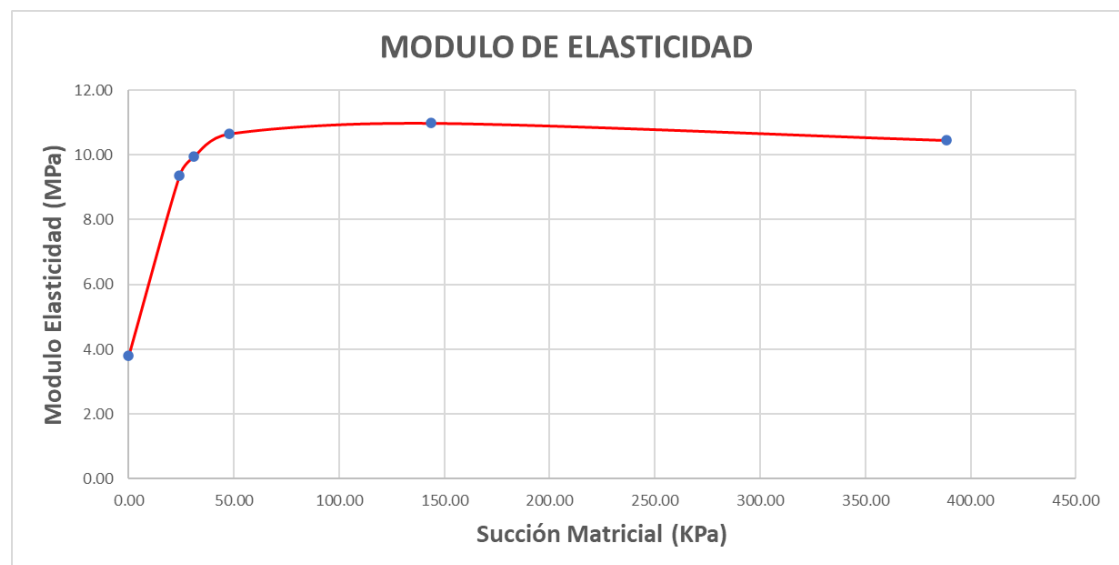
Resultados del cálculo de Esat a partir de Eunsat y succión matricial

Succión (kPa)	S	S ^β	Esat (MPa)
0.00	1.0	1.0	3.79
24.18	0.78	0.61	4.44
31.18	0.72	0.52	4.18
47.75	0.62	0.38	3.91
143.88	0.36	0.13	3.79
388.67	0.21	0.05	3.98

Nota. Cálculos realizados con la fórmula empírica de Oh et al. (2009) formula..(3), asumiendo $E_{unsat} = 10.98$ Mpa, $\alpha = 0.1$, $\beta = 2$ y $P_a = 101.3$ kPa.

Figura 54

Variación del módulo de elasticidad con respecto a la succión matricial en muestras de ceniza volcánica no saturadas



Nota. Curva experimental que muestra la variación del módulo de elasticidad del suelo en función de la succión matricial, obtenida a partir de ensayos indirectos y

ajustada mediante el modelo propuesto por Oh et al. (2009). Se observa un incremento del módulo de elasticidad con el aumento de la succión hasta un punto de estabilización, seguido de una leve reducción, evidenciando el comportamiento típico de materiales no saturados, basada en datos experimentales del área de estudio.

Se puede observar que el comportamiento de los módulos de elasticidad es diferente en las tres etapas de saturación, es decir, la zona de efecto límite, la zona de transición y la zona residual (Vanapalli et al., 1999).

(i) Zona de efecto límite: el módulo de elasticidad aumenta linealmente hasta el valor de entrada de aire (10Kpa)

(ii) Zona de transición: el módulo de elasticidad aumenta de forma no lineal hasta un cierto valor de succión matricial y luego disminuye gradualmente.

(iii) Zona residual: el módulo de elasticidad disminuye y se aproxima al valor constante

Tabla 55

Variación del módulo de elasticidad del suelo (E_{unsat}) en función de la succión matricial

Succión Matricial ($u_a - u_w$)Kpa	S %	S ^B	(E _{sat}) Mpa	(E _{unsat}) Mpa	(E _{unsat}) Kg/cm ²
0.00	1.00	1.00	3.79	3.79	38.65
24.18	0.78	0.61	4.44	9.37	95.56
31.18	0.72	0.52	4.18	9.95	101.48
47.75	0.62	0.38	3.91	10.65	108.60
143.88	0.36	0.13	3.79	10.98	111.95
388.67	0.21	0.05	3.98	10.45	106.55

Nota. El módulo de elasticidad en condición no saturada (E_{unsat}) se obtuvo considerando la influencia de la succión matricial sobre el módulo de elasticidad saturado (E_{sat}). Los valores se expresan en MPa y kg/cm².

4.3.4.2 El coeficiente de Poisson(ν)

En el presente estudio se adoptó un valor de $\nu = 0.35$ como coeficiente de Poisson para caracterizar el comportamiento mecánico del suelo de ceniza volcánica en estado parcialmente saturado. Esta elección se fundamenta en que dicho valor se encuentra dentro del intervalo comúnmente reportado para suelos de textura fina, con compacidad baja a intermedia y humedad moderada, condiciones propias de depósitos poco cementados y con estructura débilmente consolidada.

Según la literatura especializada, como Bowles (1997) y Das (2010), los valores del módulo de Poisson en suelos cohesivos y materiales de origen volcánico no cementados suelen fluctuar entre 0.30 y 0.45, en función de factores como la estructura interna del suelo y su grado de saturación. Asimismo, investigaciones desarrolladas en materiales con propiedades comparables (Oh et al., 2009; Tuller & Or, 2000) han utilizado valores cercanos a 0.35 para modelar la deformabilidad de estos suelos bajo condiciones de humedad no saturada, mostrando coherencia con el comportamiento hidromecánico observado en la curva de retención de agua y los módulos de elasticidad calculados.

De forma complementaria, la Norma Técnica Peruana E.050 – Suelos y Cimentaciones (2022) contempla el uso de valores de Poisson en el rango de 0.30 a 0.40 para suelos volcánicos no consolidados en modelaciones numéricas, especialmente cuando no se cuenta con ensayos triaxiales específicos. Por lo tanto, la adopción del valor $\nu = 0.35$ se considera técnicamente adecuada y prudente para los fines del análisis de asentamientos diferenciales realizados en esta investigación.

Si bien se realizaron ensayos triaxiales consolidado no drenado (CU) para la determinación de parámetros de resistencia al corte, dichos ensayos no incluyeron instrumentación para la medición de deformaciones laterales, por lo que no fue posible obtener directamente el coeficiente de Poisson. En ese contexto, el valor de ν fue adoptado conforme a los rangos recomendados por la Norma Técnica Peruana E.050 para suelos volcánicos no consolidados, siendo el valor de 0.35 representativo del material estudiado

4.3.4.3 Detalle de la Cimentación

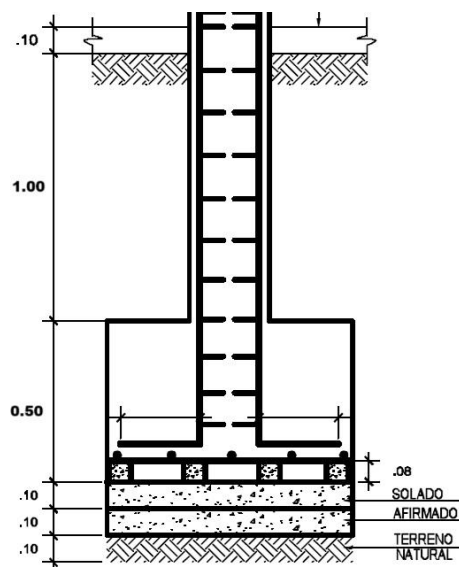
La cimentación de la vivienda evaluada, ubicada en la manzana 6 lote 24 del asentamiento humano Eloy G. Ureta, corresponde a una zapata aislada de concreto armado, típica para construcciones de baja a media altura en zonas urbanas periféricas. Esta zapata soporta columnas de concreto y transmite las cargas gravitacionales al terreno de fundación compuesto por depósitos de ceniza volcánica.

El detalle constructivo incluye una capa de solado de concreto pobre (0.08 m), seguida de una capa de afirmado granular compactado (0.10 m) que mejora la estabilidad inmediata del apoyo. Bajo estas capas se encuentra el terreno natural, que fue caracterizado geotécnicamente mediante ensayos de campo y laboratorio. Esta configuración estructural fue empleada como base para el análisis de asentamientos diferenciales a partir de cargas estimadas, considerando las variaciones del módulo de elasticidad con la succión matricial.

Figura 55

Detalle de la cimentación, zapata típica empleada en la vivienda evaluada – A.H.

Eloy G. Ureta, Tacna



Nota. Corte vertical de una zapata aislada de concreto armado utilizada como cimentación en la vivienda objeto de estudio.

Tabla 56

Dimensiones de las zapatas en la vivienda utilizada para el presente estudio

Parámetro	Valor
Ejes	1 - 2
B Ancho (m)	2.00
L Largo (m)	2.10
h _a Altura (m)	0.45
Df Desplante (m)	1.50

Nota. Detalle de las zapatas aisladas utilizadas en la vivienda objeto de estudio.

4.3.4.4 Cálculo de asentamiento basado en la teoría de elasticidad

Los asentamientos en las zapatas de la vivienda analizada fueron determinados mediante un método basado en la teoría de la elasticidad. En las Tablas 59, 60 y 61 se presentan los resultados del cálculo de asentamientos para diferentes condiciones

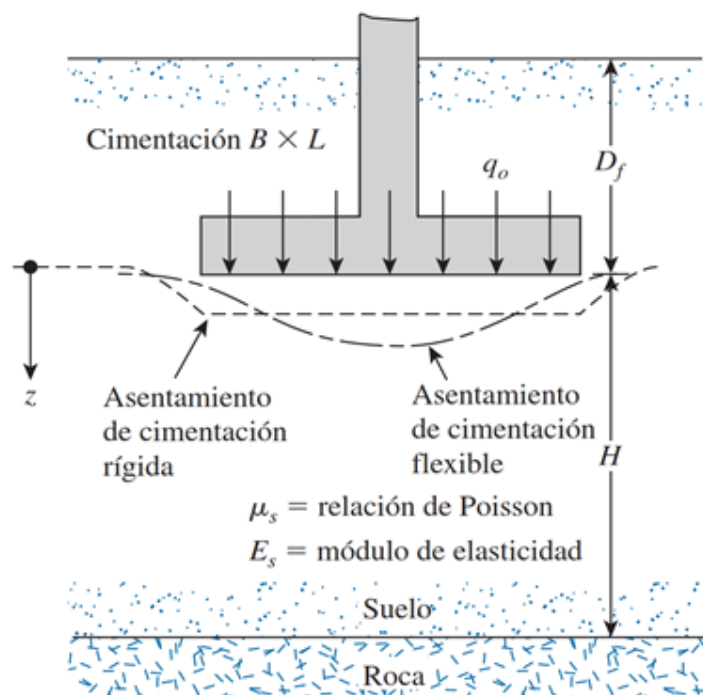
de humedad del suelo. Para este análisis, los valores del módulo de elasticidad saturado (E_{sat}) fueron obtenidos a partir de ensayos de carga de placa (PLT) realizados por el Gobierno Regional de Tacna (GRT) en el marco del proyecto de creación del paso a desnivel en el sector de estudio.

Cuando el suelo de fundación experimenta variaciones significativas en su contenido de humedad, pueden generarse asentamientos y daños estructurales en las edificaciones. Un incremento excesivo de humedad puede conducir a la saturación del terreno, especialmente en suelos limosos o arcillosos, reduciendo su rigidez y resistencia. Esta condición suele estar asociada a deficiencias en el drenaje superficial, filtraciones en redes de agua o ascensos temporales del nivel freático, factores que favorecen la ocurrencia de asentamientos en las cimentaciones superficiales.

Para la estimación de los asentamientos elásticos diferenciales en la vivienda evaluada, se aplicó el método propuesto por **Bowles (1987)**, basado en la teoría de la elasticidad para cimentaciones superficiales apoyadas sobre suelos homogéneos.

Figura 56

Esquema de asentamientos bajo cimentación rígida y flexible en suelos con comportamiento elásticos



Nota. Representación esquemática del comportamiento de asentamientos bajo una cimentación superficial rectangular sometida a carga uniforme q_0 . Se diferencia el asentamiento total de una cimentación rígida respecto al de una flexible, considerando parámetros del suelo como el módulo de elasticidad E_s y la relación de Poisson. Este modelo conceptual es aplicable en la estimación de deformaciones en suelos con comportamiento elástico bajo cargas gravitacionales. Fuente: Adaptado de Das (2011).

Para estimar los asentamientos elásticos diferenciales en la vivienda evaluada, se aplicó el método propuesto por Bowles (1987), basado en la teoría de elasticidad para cimentaciones superficiales apoyadas sobre suelos homogéneos.

Parámetros de entrada definidos:

- Tipo de cimentación: zapata rectangular

- Dimensiones de la zapata:
 - Ancho (B): 2.00 m
 - Largo (L): 2.10 m
 - Altura (h_a): 0.45 m
- Profundidad de desplante (Df): 1.50 m
- Espesor del estrato bajo análisis (H): 30 m
- Presión neta aplicada (q_0): variable, según zapata kg/cm^2
- Módulo de elasticidad del suelo (E_s): variable según succión matricial kg/cm^2
- Relación de Poisson (μ_s): 0.35

$$S_e = q_0 (\alpha B') \frac{1 - \mu_s^2}{E_s} I_s I_f \dots \dots \dots (5)$$

S_e = Asentamiento instantáneo (cm)

μ_s = Relación de Poisson

E_s = Modulo de Elasticidad (ton/m²)

I_f = Factor de Influencia (cm/m)

q_0 = Presión neta aplicada a la cimentación (kg/cm²)

B' = Ancho de Cimentación (cm)

- **Esenario definido**

Se consideran tres escenarios representativos del comportamiento del suelo en función de la succión matricial y su correspondiente módulo de elasticidad no saturado (Eunsat):

1. Escenario 1 (0 kPa, Eunsat = 3.79 MPa): Representa la condición de suelo saturado tras eventos de lluvia intensa o inundación. La rigidez del suelo es mínima, generando mayor deformabilidad y asentamiento. Es el estado de mayor vulnerabilidad estructural.

2. Escenario 2 (31.18 kPa, Eunsat = 9.95 MPa): Corresponde a un estado intermedio, parcialmente saturado. Aunque la rigidez es mayor que en el estado saturado, el suelo sigue siendo susceptible a asentamientos diferenciales, especialmente en ceniza volcánica.

3. Escenario 3 (143.88 kPa, Eunsat = 10.98 MPa): Describe el suelo en estado seco. Presenta máxima rigidez y es el escenario con menor probabilidad de asentamientos importantes. Sirve como referencia comparativa para contrastar el efecto de la saturación inducida.

Tabla 57

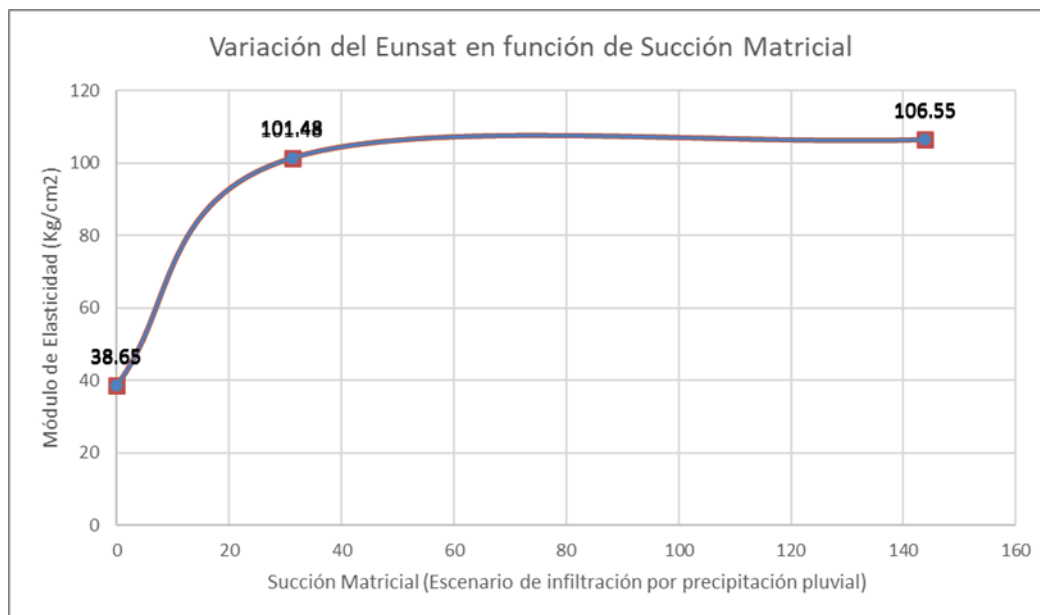
Variación del módulo de elasticidad en condición no saturada (E_{unsat}) en función de la succión matricial para el análisis de asentamientos diferenciales.

Escenario	Succión matricial (kPa)	Eunsat (MPa)	Eunsat Kg/cm ²
1 - Saturado	0.00	3.79	38.65
2 - Transición	31.18	9.95	101.48
3 - Alta succión	143.88	10.98	106.55

Nota. Se presentan los valores del módulo de elasticidad del suelo en condición no saturada (E_{unsat}) estimados para tres escenarios de succión matricial representativos, utilizados en el análisis de asentamientos elásticos diferenciales con base en el modelo de Oh et al. (2009).

Figura 57

Variación del módulo de elasticidad en condición no saturada (E_{unsat}) en función de la succión matricial para el análisis de asentamientos diferenciales.



Nota. La figura muestra la relación entre la succión matricial y el módulo de elasticidad del suelo en condición no saturada (E_{unsat}) estimado a partir del módulo saturado (E_{sat}) mediante el modelo de Oh et al. (2009). Los valores de E_{unsat} fueron utilizados como parámetro de entrada en el cálculo de asentamientos elásticos mediante teoría de elasticidad.

Los parámetros de entrada empleados para el cálculo de los asentamientos elásticos mediante la teoría de la elasticidad corresponden a las dimensiones reales de las zapatas y a las propiedades mecánicas del suelo de fundación, definidas a partir de ensayos geotécnicos y criterios normativos. En el **Tabla 58** se resumen los parámetros geométricos y mecánicos utilizados como base para el análisis.

La presión neta aplicada (q_0) no se consideró como un valor único, sino como una variable dependiente de cada zapata, determinada a partir del metrado de cargas estructurales de la vivienda evaluada. De manera similar, el módulo de elasticidad del suelo (E_s) fue tratado como un parámetro variable, en función de la condición

de succión matricial del suelo, considerando escenarios representativos de saturación total, condición parcialmente saturada y condición de alta succión.

Los valores específicos de q_0 y E_s empleados en los cálculos se presentan de forma detallada en las tablas de resultados correspondientes (Tablas 59 a 61), diferenciados por zapata y por escenario de humedad del suelo.

Tabla 58

Parámetros de entrada para el cálculo de asentamiento (Bowles, 1987)

Parámetro	Valor
Tipo de cimentación	Zapata rectangular
Ancho (B)	2.00 m
Largo (L)	2.10 m
Altura (h_a)	0.45 m
Profundidad de desplante (Df)	1.50 m
Espesor del estrato analizado (H)	30 m
Relación de Poisson (μ_s)	0.35

Nota. Los parámetros de entrada indicados corresponden a la zapata real de la vivienda evaluada en esta tesis, ubicada en el Asentamiento Humano Eloy G. Ureta. Estos valores fueron utilizados para el cálculo de asentamientos elásticos diferenciales mediante el modelo de Bowles (1987).

Cabe precisar que la presión neta aplicada (q_0) y el módulo de elasticidad del suelo (E_s) fueron tratados como variables en el presente análisis, dado que sus valores dependen de la zapata evaluada y de la condición de humedad del suelo asociada a la succión matricial. Por tal motivo, dichos parámetros no se incluyen en la Tabla 58 y se presentan de manera específica en las tablas de resultados correspondientes (Tablas 59 a 61), diferenciados por zapata y por escenario de humedad del suelo.

Tabla 59

Los resultados correspondientes a los asentamientos en las zapatas de la vivienda

localizada en Eloy G. Ureta en condiciones de saturación residual, Succión matricial $(u_a - u_w) = 0$ Kpa, $E = 38.65$ kg/cm²

	1A/1B/1D	1C/2C	1E	2A	2B	2D/2E
B(m)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
L(m)	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
Df(m)	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
H(m)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
m'	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
n'	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
A0	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
A1	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
A2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F1	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
F2	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Is	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
q(Kgf/ cm ²)	0.93	1.29	0.73	0.69	1.54	1.01
α'	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
B'(m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
v'	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Es(kgf/ cm ²)	38.65	38.65	38.65	38.65	38.65	38.65
IF	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Se(flexible)(mm)	33.31	46.20	26.15	24.71	55.16	36.17
Se(rig)(mm)	30.98	42.97	24.32	22.98	51.29	33.64

Nota. Los resultados correspondientes a los asentamientos en las zapatas de la vivienda localizada en Eloy G. Ureta

La **Tabla 59** presenta los resultados de los asentamientos elásticos calculados para las zapatas de la vivienda evaluada, situada en el Asentamiento Humano Eloy G. Ureta, identificado como una zona crítica con alta exposición a eventos hidrometeorológicos extremos en la ciudad de Tacna. El análisis corresponde a una condición de saturación residual del suelo, asociada a una succión matricial de 0 kPa, lo cual representa un escenario postinundación tras precipitaciones pluviales intensas. Para este estado, se utilizó un módulo de elasticidad del suelo igual a 38.65 kg/cm², determinado mediante correlaciones empíricas a partir de resultados de ensayos geotécnicos de laboratorio.

q(Kgf/ cm ²)	0.93	1.29	0.73	0.69	1.54	1.01
α'	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
B'(m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
v'	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Es(kgf/ cm ²)	101.48	101.48	101.48	101.48	101.48	101.48
IF	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Se(flexible)(mm)	12.69	17.60	9.96	9.41	21.01	13.78
Se(rig)(mm)	11.80	16.36	9.26	8.75	19.54	12.81

Nota. Fuente: Resultados correspondientes a los asentamientos en las zapatas de la vivienda localizada en Eloy G Ureta.

En la **Tabla 60** se presentan los resultados del análisis de asentamientos elásticos para las zapatas de la vivienda ubicada en el Asentamiento Humano Eloy G. Ureta, bajo condiciones de parcial saturación del suelo, correspondientes a una succión matricial de 31.18 kPa. Este valor intermedio representa el estado natural del terreno durante temporadas secas o con humedad intermedia, sin alcanzar la saturación plena. Para este escenario, se consideró un módulo de elasticidad del suelo de 101.48 kg/cm², obtenido mediante correlaciones empíricas basadas en ensayos de campo y laboratorio.

Los asentamientos fueron estimados para dos configuraciones estructurales: en el caso de estructura flexible, el valor máximo alcanzó 21.01 mm (zapata 2B), y el mínimo fue de 9.41 mm (zapata 2A). Para la estructura rígida, los asentamientos variaron entre 8.75 mm y 19.54 mm, siendo nuevamente la zapata 2B la más afectada. Estos valores muestran una disminución significativa de los asentamientos respecto al estado de saturación total (Tabla 57), lo cual está directamente relacionado con la mayor resistencia mecánica del suelo parcialmente saturado, producto de la presencia de succión matricial.

Todos los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por la Norma Técnica Peruana E.070 – Cimientos, los cuales recomiendan un asentamiento máximo de 50 mm para edificaciones convencionales. Este resultado indica un bajo nivel de riesgo estructural en esta condición de humedad intermedia, lo que refuerza la importancia de mantener el

v'	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Es(kgf/ cm ²)	106.55	106.55	106.55	106.55	106.55	106.55
IF	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Se(flexible)(mm)	12.08	16.76	9.48	8.96	20.01	13.12
) Se(rig)(mm)	11.24	15.59	8.82	8.34	18.61	12.20

Nota. La tabla muestra los parámetros de entrada y los resultados de asentamientos calculados para diferentes configuraciones de zapatas

Tabla 61 muestra los resultados obtenidos para los asentamientos elásticos en las zapatas de la vivienda ubicada en el Asentamiento Humano Eloy G. Ureta, considerando la condición más estable del suelo evaluado, correspondiente a una succión matricial elevada de 143.88 kPa, asociada a un contenido de humedad bajo o estado seco. En este escenario, se utilizó un módulo de elasticidad del suelo de 106.55 kg/cm², obtenido a partir de correlaciones empíricas con base en ensayos de laboratorio.

Para una estructura flexible, los asentamientos oscilaron entre 8.96 mm (zapata 2A) y 20.01 mm (zapata 2B). En el caso de estructura rígida, los valores estuvieron entre 8.34 mm y 18.61 mm, siendo nuevamente la zapata 2B la que presentó el mayor asentamiento. Todos los valores obtenidos se encuentran muy por debajo del límite permisible de 50 mm definido por la Norma Técnica Peruana E.050 – Suelos y Cimentaciones, lo que refleja un comportamiento geotécnico favorable del terreno en esta condición de alta succión.

Al comparar estos resultados con los obtenidos en estados de mayor humedad (Tablas 59 y 60), se observa que los asentamientos tienden a disminuir conforme aumenta la succión matricial y mejora la rigidez del suelo. Sin embargo, la reducción en los asentamientos respecto al estado parcialmente saturado (Tabla 61) no es tan significativa, lo que sugiere que el suelo alcanza un nivel de rigidez casi constante a partir de cierto umbral de succión.

Estos hallazgos resaltan la influencia directa del contenido de humedad y la succión matricial en el comportamiento del suelo de fundación, y refuerzan la necesidad de

considerar el rango de variabilidad hídrica estacional en el análisis de asentamientos diferenciales, particularmente en zonas de Tacna expuestas al riesgo de inundación o desecación prolongada.

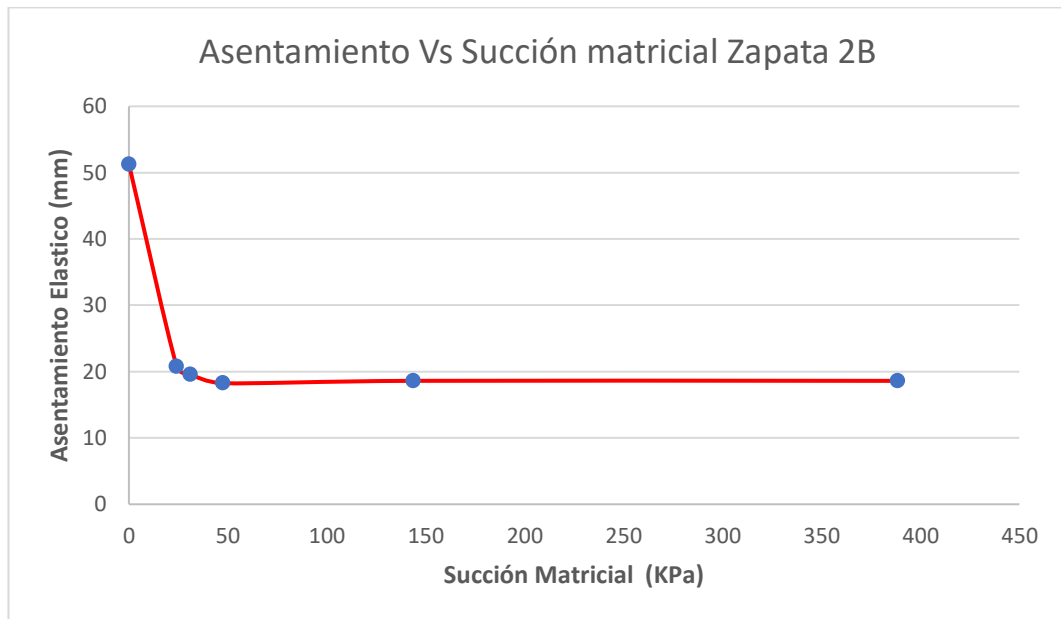
4.3.4.5 Variación del asentamiento con succión matricial

El análisis comparativo de asentamientos elásticos en las zapatas de la vivienda evaluada muestra una tendencia decreciente del asentamiento a medida que aumenta la succión matricial del suelo, es decir, conforme el suelo pasa de un estado saturado a uno parcialmente seco. Este comportamiento es coherente con la teoría de los suelos no saturados, donde la succión matricial incrementa la rigidez y resistencia aparente del suelo, reduciendo su deformabilidad ante cargas.

- En condición de saturación total (succión = 0 kPa), se registraron los asentamientos más altos, con valores de hasta 55.16 mm.
- En condición parcialmente saturada (succión = 31.18 kPa), los asentamientos disminuyeron significativamente, alcanzando un máximo de 21.01 mm.
- En condición de alta succión (143.88 kPa), los asentamientos fueron similares a los de la condición anterior, con valores máximos de 20.01 mm, lo que indica que el suelo tiende a estabilizar su rigidez a partir de cierto umbral de succión.

Figura 58

*Variación de succión matricial con asentamiento en la zapata 2B, $q_0=1.54$
Kg/cm²*



Nota. El gráfico muestra la variación del asentamiento elástico de la zapata 2B bajo diferentes niveles de succión matricial

4.3.4.6 Calculo de asentamientos diferenciales

En este estudio se adoptó el modelo de asentamiento rígido por zapata para el análisis de asentamientos diferenciales, dado que las cimentaciones evaluadas no presentan conectividad estructural. La diferencia entre estos asentamientos rígidos refleja la distorsión angular inducida en la edificación ante infiltración pluvial.

Se analizaron los asentamientos elásticos obtenidos mediante el método basado en la teoría de elasticidad para diferentes ejes de la cimentación. En la Tabla 60 se resumen los valores:

Para calcular el asentamiento diferencial se utilizo el siguiente quiterio

$$S_d = |S_{m\acute{a}x} - S_{m\acute{i}n}| \dots \dots \dots (6)$$

$$S_d = |51.29 - 22.98| = 28.31 \text{ mm}$$

Además del análisis de los asentamientos verticales totales, se evaluó la distorsión angular entre columnas estructurales con el fin de estimar el efecto del asentamiento diferencial sobre el comportamiento estructural de la edificación. Este parámetro

representa la inclinación relativa entre dos puntos apoyados sobre el terreno y constituye un criterio técnico esencial para prevenir fisuramientos, fallos en elementos no estructurales y afectaciones en el funcionamiento general de la edificación.

La distorsión angular θ se calculó mediante la siguiente expresión:

$$\theta = \frac{\delta s}{L} \dots \dots \dots (7)$$

donde:

- δs es el asentamiento diferencial entre dos puntos (en mm).
- L es la distancia horizontal entre esos puntos (en mm).

En este caso, se consideró el asentamiento diferencial máximo registrado de $\delta s = 17.447$ mm, con una distancia real entre columnas de $L = 3.60$ m = 3600 mm, obteniéndose:

$$\theta = \frac{17.447}{3600} = 0.00485 \text{ rad} \approx \frac{1}{206}$$

De Este valor indica que por cada 206 mm de longitud horizontal, se produce una deformación vertical diferencial de 1 mm.

Según lo establecido por la Norma Técnica Peruana E.050 – Suelos y Cimentaciones, los asentamientos y deformaciones admisibles en una cimentación deben ser controlados para evitar fisuramientos perjudiciales, tanto en elementos estructurales como en cerramientos y particiones. Aunque la norma no especifica un límite numérico exacto para θ , establece que se debe evitar que las diferencias de asentamiento entre elementos adyacentes generen deformaciones excesivas.

En este contexto, se recurre a los límites empíricos internacionalmente aceptados que la E.050 permite considerar, tales como:

- $\theta \leq 1/300$ para estructuras convencionales de albañilería o de baja rigidez.
- $\theta \leq 1/500$ para estructuras de concreto armado o con alta sensibilidad a deformaciones.

Dado que el valor obtenido (1/206) excede ampliamente ambos límites de referencia, se concluye que existe un riesgo geotécnico y funcional elevado, con alta probabilidad de aparición de fisuras, agrietamientos o daños en los elementos no estructurales. Este hallazgo justifica la implementación de medidas de mitigación tales como:

- Mejoramiento del terreno de fundación en zonas de asentamiento crítico.
- Uso de cimientos rígidos combinados o profundos.
- Redistribución de cargas en el diseño estructural para evitar concentraciones excesivas de esfuerzos en sectores vulnerables.

Tabla 62

Resumen de asentamientos diferenciales calculados

Punto	EJE 1 (Se mm)	EJE 2 (Se mm)	Sed EJE 1 (mm)	Sed EJE 2 (mm)
A	30.98	22.98	6.66	0
B	30.98	51.29	6.66	28.31
C	42.97	42.97	18.65	19.99
D	30.98	33.64	6.66	10.66
E	24.32	33.64	0	10.66

Nota. Donde Asentamiento diferencial(Sed)

En la **Tabla 62** presentamos los asentamientos diferenciales (Sed) calculados por punto para cada eje, considerando como referencia el asentamiento mínimo en cada eje:

- En el EJE 1, el asentamiento diferencial máximo es 18.65 mm en el punto C.
- En el EJE 2, el asentamiento diferencial máximo es 28.31 mm en el punto B.

De acuerdo con los criterios establecidos en la Norma Técnica Peruana E.050 Suelos y Cimentaciones, el asentamiento diferencial permitido está condicionado a que la distorsión angular no sobrepase ciertos umbrales, generalmente aceptados como 1/500 (equivalente a 7.20 mm) y 1/300 (12.00 mm), considerando una luz estructural de 3.60 metros entre apoyos.

En el presente estudio, los valores máximos de asentamiento diferencial alcanzados 18.65 mm en el Eje 1 y 28.31 mm en el Eje 2 superan ambos parámetros de referencia. Esta situación evidencia un incumplimiento técnico respecto a lo normado y podría dar lugar a la aparición de grietas tanto en elementos estructurales como en componentes no estructurales. Por ello, se recomienda realizar una revisión geotécnica detallada que contemple medidas correctivas, tales como el reforzamiento o rediseño de las cimentaciones en el área evaluada.

- 1/500 → 7.20 mm
- 1/300 → 12.00 mm

Tabla 63

Comparación de Asentamientos Diferenciales Máximos con los Límites Permitidos de Distorsión Angular según la NTE E.050

Eje	Sed máx (mm)	Límite 1/500 (mm)	Límite 1/300 (mm)	¿Supera límite?
Eje 1	18.65	7.20	12.00	Sí
Eje 2	28.31	7.20	12.00	Sí

Nota. Se evalúa el cumplimiento de los valores máximos de asentamiento diferencial respecto a los límites normativos establecidos para distorsiones angulares de 1/500 y 1/300, donde (Se) asentamiento diferencial.

Tabla 64

Comparación de asentamientos elásticos por ubicación de zapata en función de la succión matricial

Ubicación de Zapata	Succión 0 kPa (Se mm)	Succión 31.18 kPa (mm) (Se mm)	Succión 143.88 kPa (Se mm)
1A/1B/1D	30.98	11.8	11.24
1C/2C	42.97	16.36	15.59
1E	24.32	9.26	8.82
2A	22.98	8.75	8.34
2B	51.29	19.54	18.61
2D/2E	33.64	12.81	12.2

Nota. Los valores de asentamiento (Se) están expresados en milímetros (mm) y fueron calculados bajo tres condiciones de succión matricial: 0 kPa (saturación total), 31.18 kPa (parcialmente saturado) y 143.88 kPa (alta succión). Se evidencia una reducción progresiva de los asentamientos con el incremento de la succión, en correspondencia con el aumento del módulo de elasticidad del suelo.

La figura ilustra, mediante un gráfico de barras, cómo varían los asentamientos medidos en milímetros en seis posiciones distintas de zapatas (1A/1B/1D, 1C/2C, 1E, 2A, 2B y 2D/2E), evaluadas bajo tres escenarios de succión matricial: 0 kPa (saturación completa), 31.18 kPa (estado parcialmente saturado) y 143.88 kPa (alta succión).

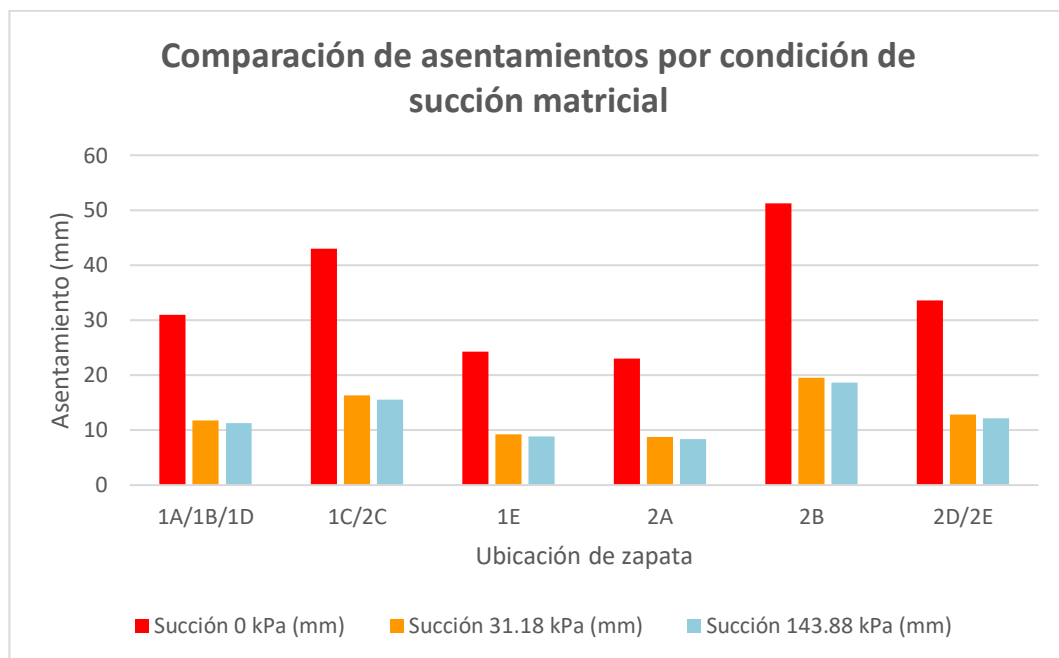
Los datos revelan una tendencia decreciente en los valores de asentamiento conforme se incrementa la succión del suelo. La condición de saturación total (0 kPa) registra los mayores desplazamientos verticales, evidenciando una menor resistencia del suelo en ese estado. De manera destacada, la ubicación 2B presenta el mayor asentamiento bajo esta condición (cercano a 52 mm). En contraste, al

alcanzar niveles de succión más altos (143.88 kPa), los asentamientos se reducen notablemente, situándose entre 9 y 18 mm.

Este patrón de comportamiento se alinea con los principios del análisis de suelos no saturados, donde el aumento de la succión matricial está asociado a una mayor rigidez y menor deformabilidad del material. Estos hallazgos subrayan la relevancia de incorporar las condiciones de humedad del terreno en el diseño y análisis geotécnico de cimentaciones sobre suelos de origen volcánico

Figura 59

Comparación de asentamientos elásticos por condición de succión matricial en zapatas



Nota. El gráfico muestra los asentamientos (mm) de las zapatas bajo tres niveles de succión matricial (0, 31.18 y 143.88 kPa). Se evidencia que a mayor succión, los asentamientos disminuyen, lo que indica un aumento en la rigidez del suelo.

4.3.4.7 Interpretación de resultados

- En el escenario saturado (succión = 0 kPa), el asentamiento máximo alcanzó 51.29 mm, muy por encima del límite normativo de 25 mm.

- A medida que la succión matricial aumenta (mayor rigidez por menor contenido de agua), los asentamientos se reducen drásticamente a la mitad, con máximos de ≈ 19 mm.

En todos los escenarios, el asentamiento diferencial supera los 10 mm, que es el valor límite recomendado si la separación entre zapatas es de 5 m (según NTP E.050: 1/500).

En el escenario saturado, el asentamiento diferencial de 28.31 mm representa una amenaza para la integridad estructural (riesgo de grietas, distorsión de elementos no estructurales).

Los resultados muestran que los asentamientos totales y diferenciales disminuyen significativamente a medida que la succión matricial del suelo aumenta. Este comportamiento es coherente con el modelo empírico propuesto por Oh et al. (2009), el cual establece que el módulo de elasticidad del suelo no saturado incrementa con la succión, mejorando su capacidad de carga y reduciendo deformaciones verticales.

Desde el enfoque de esta investigación análisis de asentamientos diferenciales inducidos por riesgo de inundación pluvial este fenómeno tiene gran relevancia práctica. En condiciones normales o secas, el suelo presenta succiones altas, lo que se traduce en mayor rigidez y menores asentamientos. Sin embargo, durante o después de eventos de precipitación intensa o prolongada, como los que afectan periódicamente a zonas críticas de Tacna, se produce infiltración de agua en el terreno, lo que disminuye drásticamente la succión matricial.

Esta reducción de succión debilita la estructura del suelo, disminuye su módulo de elasticidad y genera un aumento en los asentamientos, especialmente en zonas donde la carga estructural está mal distribuida o el perfil geotécnico es heterogéneo. El resultado es un incremento de los asentamientos diferenciales, los cuales, como se evidencia en el escenario de succión 0 kPa, pueden superar ampliamente los límites permisibles normativos establecidos en la NTP E.050.

Por tanto, los resultados del análisis no solo validan el uso del modelo de Oh et al. (2009) para condiciones variables de humedad, sino que también resaltan la importancia de considerar el impacto de la infiltración pluvial en la estabilidad de edificaciones ubicadas en suelos de origen volcánico, como los presentes en el sector Eloy G. Ureta. Esta evaluación es clave para el diseño de cimentaciones en zonas expuestas a lluvias extremas y sugiere la necesidad de estrategias de mitigación, como mejoramiento del terreno, drenajes subterráneos o conectividad estructural entre zapatas.

4.4 PRUEBA ESTADÍSTICA

En la presente investigación no se aplicaron pruebas estadísticas inferenciales, debido a que el estudio no se basa en el análisis de muestras aleatorias ni en la estimación de parámetros poblacionales. El enfoque metodológico corresponde a un análisis cuantitativo de carácter determinístico, propio de la ingeniería geotécnica, sustentado en ensayos de laboratorio, cálculos mecánicos, modelación por escenarios de succión matricial y comparación directa con criterios normativos establecidos en la Norma Técnica Peruana E.050 – Suelos y Cimentaciones.

En este contexto, la validación de los resultados y de las hipótesis planteadas se realizó mediante el contraste técnico entre los valores calculados de cargas, asentamientos y asentamientos diferenciales con los límites admisibles normativos, criterio ampliamente aceptado en estudios geotécnicos aplicados.

4.5 COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

De los análisis cualitativos se comprueba que:

El área de estudio se encuentra expuesta a un riesgo de inundación considerablemente alto a muy alto, condicionado por una topografía con pendientes desfavorables y una alta frecuencia de eventos de precipitación intensa, de acuerdo con los registros pluviométricos históricos. Un ejemplo de ello es el evento ocurrido en el año 2020, donde se registró una lluvia acumulada de 23 mm en un período de

24 horas , lo que evidencia la presencia de precipitaciones de corta duración y alta intensidad. Estas condiciones hidrometeorológicas adversas representan una amenaza crítica para la infraestructura proyectada , particularmente en lo que respecta a la estabilidad y desempeño geotécnico de las cimentaciones , debido al incremento del grado de saturación del suelo, potencial pérdida de capacidad portante y mayor riesgo de asentamientos diferenciales.

Los resultados obtenidos del análisis geotécnico del terreno de fundación, ubicado en un área con alta susceptibilidad a inundaciones, corroboran parcialmente la hipótesis planteada en esta investigación, al evidenciar la presencia de suelos colapsables . Dichos materiales presentan una estructura metaestable con elevada porosidad en condiciones secas , la cual experimenta una reducción abrupta de volumen ante el incremento del grado de saturación. Este comportamiento es coherente con lo esperado en la hipótesis, ya que confirma que la variación del contenido de humedad , especialmente bajo eventos de lluvia intensa, puede generar asentamientos súbitos que comprometan la estabilidad de las cimentaciones. Por lo tanto, se refuerza la necesidad de incorporar criterios de evaluación y diseño específicos para suelos colapsables en zonas con riesgo hidrológico elevado

Las cargas actuantes debido a las edificaciones que se encuentran en la zona de estudio presentan presiones de contacto que varían aproximadamente entre 0.69 y 1.54 t/m², de acuerdo con los resultados del metrado estructural realizado. Estos valores confirman que las cargas transmitidas al terreno superan el umbral de 1 t/m² considerado en la hipótesis, siendo coherentes con edificaciones de albañilería portante de hasta tres niveles.

El análisis de asentamientos diferenciales realizado para las zapatas de la edificación evaluada evidenció valores máximos de hasta 28.31 mm entre apoyos adyacentes. Estos valores superan los límites de distorsión angular comúnmente aceptados por la Norma Técnica Peruana E.050 (1/300 y 1/500), lo que confirma la ocurrencia de asentamientos diferenciales no admisibles desde el punto de vista normativo. En consecuencia, se valida la hipótesis planteada respecto a la

superación de los límites máximos permisibles de asentamiento diferencial en la zona de estudio.

De la integración de los resultados obtenidos se comprueba la hipótesis general de la investigación. La zona de estudio presenta un riesgo alto a muy alto de inundación pluvial, lo que favorece la saturación del suelo de fundación. El análisis geotécnico evidenció la presencia de suelos volcánicos colapsables, altamente sensibles a la variación del contenido de humedad. Bajo el escenario crítico de saturación (succión matricial cercana a 0 kPa), y considerando cargas estructurales reales que alcanzan presiones de contacto de hasta 1.54 t/m², se registraron asentamientos diferenciales máximos del orden de 28.31 mm, valores que superan los límites admisibles establecidos por la Norma Técnica Peruana E.050. En consecuencia, se confirma que los asentamientos diferenciales inducidos por el riesgo de inundación pluvial son elevados y comprometen el adecuado desempeño de las edificaciones en la zona de estudio.

4.6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La evaluación del riesgo por precipitaciones intensas en los asentamientos humanos de Leoncio Prado, Eloy G. Ureta y Juan Velasco Alvarado reveló una marcada exposición de estas zonas frente a eventos hidrometeorológicos extremos. A través de la metodología establecida por CENEPRED, se identificaron niveles de riesgo elevado y muy elevado en varias manzanas, producto de la confluencia entre alta peligrosidad por escorrentías superficiales y lluvias intensas y una notable vulnerabilidad socioeconómica vinculada a la pobreza, edificaciones precarias y ausencia de servicios básicos.

Estos hallazgos se sustentan en el análisis de datos pluviométricos procedentes de las estaciones MAP-Jorge Basadre y CP-Calana, donde se registraron precipitaciones superiores a los 25.8 mm en 24 horas, superando la capacidad de infiltración del terreno urbano compactado y generando un incremento significativo del escurrimiento superficial. La situación se ve agravada

por la falta de una infraestructura de drenaje adecuada, la ocupación informal de zonas bajas y la deficiente planificación urbana.

La zonificación de riesgo elaborada guarda concordancia con investigaciones previas sobre la cuenca del río Caplina, las cuales destacan que el riesgo urbano ante fenómenos hidrometeorológicos no responde únicamente a causas naturales, sino también al uso desordenado del suelo por parte del ser humano. Estas conclusiones coinciden con lo indicado por Bravo & Cepeda (2021) y Tairo (2023), quienes señalaron que la precariedad de las infraestructuras, la baja capacidad portante del terreno y los efectos derivados de lluvias intensas incrementan la vulnerabilidad de las zonas urbanas marginales.

Los ensayos de laboratorio, complementados con información del expediente técnico del GORE Tacna, indicaron que el subsuelo del A.H. Mariscal Eloy G. Ureta está compuesto principalmente por ceniza volcánica no cementada. Este tipo de suelo se caracteriza por su alta porosidad, escasa cohesión y considerable heterogeneidad granulométrica. Los análisis de clasificación, que incluyeron pruebas de granulometría, límites de Atterberg, corte directo y triaxial, determinaron que se trata de un suelo limoso-arenoso con comportamiento colapsable, lo que coincide con lo reportado por Flores (2017) en el cerro Intiorko.

Mediante la técnica del papel filtro se cuantificó la succión matricial, permitiendo establecer tres escenarios representativos del estado hídrico del terreno:

Tabla 65

Resumen de escenarios de succión matricial considerados en el análisis

Escenario	Succión matricial (kPa)	Condición del suelo	Descripción del escenario
1	0.00	Suelo completamente saturado	Representa la condición de máxima saturación del suelo, con humedad plena y ausencia de succión.

2	31.18	Estado parcialmente saturado	Condición intermedia que refleja el estado natural del terreno durante temporadas secas o con humedad intermedia.
3	143.88	Suelo con alta succión	Escenario de elevada succión, correspondiente a suelos con muy baja humedad y condiciones cercanas a sequedad.

Nota. Resultados en base a los valores de succión matricial considerados para el análisis de asentamientos diferenciales.

Estas condiciones reflejan la sensibilidad del suelo frente a la infiltración. Se evidenció que, al incrementarse la succión, la rigidez del suelo mejora como consecuencia del efecto de la tensión capilar, lo cual es coherente con la teoría de comportamiento de suelos no saturados propuesta por Fredlund & Rahardjo (1993) y Tuller & Or (2000). Este patrón fue validado mediante la correlación entre contenido de humedad y succión usando el modelo de retención de humedad de van Genuchten.

Este comportamiento revela que el suelo no solo cambia en su respuesta hidráulica según su grado de saturación, sino también en su comportamiento mecánico, lo que influye directamente en el módulo de elasticidad y en la magnitud de los asentamientos que puede experimentar una estructura.

El módulo de elasticidad en condición insaturada (E_{unsat}) fue estimado con base en los niveles de succión determinados experimentalmente, aplicando las correlaciones empíricas propuestas por Oh et al. (2009) y Bulut et al. (2001, 2002). Los resultados obtenidos fueron:

- 38.65 kg/cm² para succión 0 kPa (saturación total),
- 101.48 kg/cm² para succión 31.18 kPa (parcialmente saturado),
- 106.55 kg/cm² para succión 143.88 kPa (alta succión).

Estos valores muestran un incremento progresivo del módulo de elasticidad con el aumento de la succión, lo que indica una mejora en la rigidez del suelo conforme disminuye el contenido de agua. Este comportamiento es característico de suelos no saturados, en los que la succión actúa como una fuerza de unión temporal que incrementa la resistencia estructural del material.

En el contexto de diseño de cimentaciones, este comportamiento reviste gran importancia, especialmente al tratarse de ceniza volcánica. Cuando el suelo se encuentra saturado, su módulo de elasticidad disminuye considerablemente, lo que incrementa la posibilidad de asentamientos importantes. Estas conclusiones son coherentes con estudios internacionales (Fredlund, 1995; Le et al., 2020), los cuales recomiendan incluir la succión como un parámetro mecánico clave en zonas con frecuentes eventos de infiltración pluvial.

La aplicación de un módulo de elasticidad variable, adaptado al estado de humedad del suelo, representa una mejora metodológica frente a enfoques tradicionales que solo consideran condiciones completamente secas o saturadas.

A partir del análisis estructural de una vivienda de tres pisos ubicada en el A.H. Mariscal Eloy G. Ureta, se calcularon las cargas muertas y vivas que actúan sobre las zapatas. Esta edificación, construida en albañilería portante, presenta una carga axial promedio en las zapatas de aproximadamente 1.54 kg/cm^2 . Aunque este valor no es elevado, resulta significativo dada la naturaleza colapsable del suelo de cimentación.

El estudio detallado evidenció diferencias notables entre las cargas transmitidas en los distintos ejes estructurales (Eje 1 y Eje 2), lo que genera presiones desiguales sobre el terreno. Esta disparidad, combinada con la variabilidad espacial del módulo de elasticidad, puede dar lugar a asentamientos diferenciales.

Las cargas obtenidas permitieron aplicar fórmulas empíricas para la estimación de asentamientos según el método propuesto por Bowles (1987). Estas fueron comparadas bajo las tres condiciones de humedad:

Tabla 66

Relación entre succión matricial, módulo de elasticidad y asentamiento máximo en suelo de ceniza volcánica

Succión Matricial (kPa)	Módulo de Elasticidad (kg/cm²)	Asentamiento Máximo (mm)
0 (saturado)	38.65	30.98
31.18 (parcialmente saturado)	101.48	11.8
143.88 (alta succión)	106.55	11.24

Se observó una clara disminución del asentamiento con el aumento de la succión, lo cual evidencia el endurecimiento progresivo del terreno. Bajo condiciones saturadas, el mayor asentamiento registrado fue de 51.29 mm, superando los 25.4 mm permitidos por la Norma Técnica Peruana E.050 para edificaciones convencionales. Esta magnitud sugiere un riesgo significativo de daño estructural en edificaciones de más de un nivel asentadas sobre suelos volcánicos sin tratamiento adecuado.

En el caso de asentamientos diferenciales, se detectó una diferencia de hasta 28.31 mm entre zapatas contiguas, sobrepasando el límite normativo. Esta condición se relaciona directamente con las fisuras observadas en los muros de la vivienda, lo que confirma una deformación no uniforme del terreno que afecta la estabilidad de la estructura.

El uso del método empírico de Bowles (1987) demostró ser útil en contextos donde no se dispone de ensayos de placa de carga ni de simulaciones numéricas avanzadas. No obstante, se recomienda complementar estos estudios con modelaciones como PLAXIS para analizar los efectos a largo plazo de eventos cíclicos de infiltración.

En síntesis, los resultados de esta investigación ratifican la fuerte dependencia del comportamiento mecánico del suelo respecto al contenido de humedad, expresado a través de la succión matricial. Se confirmó que los suelos de ceniza volcánica en el distrito de Alto de la Alianza son altamente susceptibles a perder rigidez con la saturación, lo que incrementa el riesgo de asentamientos diferenciales.

Este comportamiento concuerda con las teorías actuales sobre suelos no saturados y ha sido validado mediante pruebas experimentales, estimación de propiedades mecánicas variables y análisis estructurales específicos. De este modo, se confirma la hipótesis de que los asentamientos diferenciales en suelos volcánicos exceden los límites permisibles en condiciones de alta humedad, comprometiendo la estabilidad de las edificaciones.

Desde el punto de vista metodológico, la integración de análisis de riesgo, ensayos geotécnicos tradicionales y estimaciones basadas en succión resulta eficaz en escenarios urbanos donde no es factible realizar estudios sofisticados. Sin embargo, entre las limitaciones se encuentra el análisis centrado en una única vivienda y el uso de módulos de elasticidad estimados, sin respaldo de ensayos de carga.

A pesar de estas limitaciones, el estudio propone una línea sólida de investigación para futuras evaluaciones geotécnicas en suelos volcánicos, particularmente en ciudades andinas como Tacna, Arequipa y Moquegua, donde el crecimiento urbano continúa sobre terrenos geológicamente inestables.

5 CONCLUSIONES

5.1 Introducción del capítulo

Este capítulo presenta las conclusiones finales derivadas del trabajo de investigación realizado. Dichas conclusiones han sido estructuradas de acuerdo con los objetivos específicos planteados al inicio del estudio, lo que permite una

conexión directa entre los resultados obtenidos, la validación de la hipótesis y las recomendaciones formuladas.

5.2 Conclusiones según objetivos específicos

Conclusión 1. El análisis de riesgo desarrollado bajo la metodología del CENEPRED evidenció que el área de estudio presenta una clasificación de riesgo alta a muy alta, atribuida principalmente a su elevada exposición a precipitaciones intensas, deficiente infraestructura de drenaje pluvial y condiciones constructivas precarias. Esta combinación de factores agrava la vulnerabilidad estructural frente a eventos hidrometeorológicos.

Conclusión 2. El suelo volcánico evaluado se caracteriza por tener una textura limo-arenosa, alta porosidad, cohesión baja y nula plasticidad. Los ensayos de laboratorio proporcionados por el GORE Tacna indicaron una densidad seca máxima de 1.28 g/cm^3 , una humedad óptima de compactación del 31.8 %, cohesión de 0.035 kg/cm^2 y un ángulo de fricción interna de 28.55° . A su vez, el ensayo de placa de carga arrojó un módulo de reacción bajo (1.61 kg/cm^2), reflejando una capacidad limitada de soporte. La succión matricial varió entre 0 y 143.88 kPa, demostrando que el comportamiento mecánico del suelo está altamente condicionado por la humedad.

Conclusión 3. A partir de las succiones obtenidas experimentalmente mediante el método del papel filtro, y utilizando la relación propuesta por Oh et al. (2009), se estimaron módulos de elasticidad de 4.17 MPa para suelos totalmente saturados, 12.01 MPa para suelos parcialmente saturados y 13.11 MPa para condiciones de alta succión. Estos resultados muestran un incremento significativo en la rigidez del suelo con el aumento de la succión, lo cual representa un factor determinante para la estabilidad estructural en zonas con este tipo de litología.

Conclusión 4. El metrado estructural realizado para la vivienda de tres niveles seleccionada permitió identificar cargas de servicio que oscilan entre 28.85 y 64.57

Tonf, generando presiones de contacto sobre el terreno entre 0.69 y 1.54 kgf/cm², valores coherentes con edificaciones de similares características. Esta información resultó clave para el cálculo de los asentamientos, considerando distintos escenarios de humedad del suelo.

Conclusión 5. El escenario más crítico (succión 0 kPa) reveló un asentamiento máximo de 51.29 mm en una de las zapatas del eje 2, mientras que el asentamiento diferencial más alto alcanzó 28.31 mm entre zapatas adyacentes. Ambos valores superan el límite permitido de 25 mm según lo dispuesto en la Norma Técnica Peruana E.050. Este hallazgo pone en evidencia el alto riesgo estructural que enfrentan edificaciones construidas sin un diseño geotécnico adecuado. La investigación reafirma la necesidad de incorporar el análisis de la condición hídrica del terreno y la succión matricial como criterios clave en el diseño de cimentaciones en suelos volcánicos

5.3 Conclusión general del capítulo

Los hallazgos alcanzados respaldan las hipótesis formuladas, evidenciando que los asentamientos diferenciales en suelos de origen volcánico presentan una alta dependencia de las condiciones de humedad del terreno. La incorporación de variables como la succión matricial, el módulo de elasticidad y el riesgo asociado a eventos hidrológicos permite una interpretación más precisa del comportamiento del suelo, favoreciendo un diseño y planificación más adecuados de cimentaciones en áreas expuestas a inundaciones pluviales. En este sentido, los resultados obtenidos constituyen la base para las recomendaciones propuestas, orientadas a mitigar el riesgo estructural en zonas críticas.

6 RECOMENDACIONES

A partir de los hallazgos obtenidos en esta investigación, se presenta el siguiente conjunto de recomendaciones, orientadas a reducir los impactos negativos ocasionados por los asentamientos diferenciales en edificaciones localizadas en

áreas con alta susceptibilidad a inundaciones pluviales, como ocurre en el distrito de Alto de la Alianza, en la región de Tacna.

En función de los principales hallazgos alcanzados, se plantean a continuación las recomendaciones pertinentes, alineadas con los objetivos específicos definidos en este estudio.

Recomendación 1. Incorporar el módulo de elasticidad en condición saturada en el diseño de cimentaciones sobre suelos volcánicos. Es fundamental que los proyectos estructurales ubicados en terrenos con litología volcánica consideren explícitamente el comportamiento del suelo bajo saturación. Para ello, se requiere actualizar los criterios geotécnicos convencionales, integrando evaluaciones de succión matricial y estimaciones de asentamientos diferenciales.

Responsables: Colegios profesionales (CIP – Capítulos de Geotecnia y Estructuras), proyectistas e ingenieros responsables de la revisión de expedientes técnicos.

Recomendación 2. Desarrollar sistemas eficientes de drenaje pluvial superficial y subterráneo en sectores urbanos vulnerables. Las zonas críticas del distrito de Alto de la Alianza y la ciudad de Tacna deben contar con infraestructura hidráulica adecuada que evite el encharcamiento y la saturación de suelos de fundación durante lluvias intensas. Esta medida permitirá conservar la succión matricial y mantener la rigidez del terreno. **Responsables:** Municipalidad Distrital de Alto de la Alianza y Municipalidad Provincial de Tacna.

Recomendación 3. Implementar métodos de mejoramiento del terreno en obras nuevas o intervenciones estructurales. Para reducir deformaciones y aumentar la capacidad portante del suelo, se recomienda aplicar técnicas como compactación dinámica, columnas de grava, estabilización con agentes químicos (cal o cemento) o el uso de geosintéticos. Estas intervenciones deben estar alineadas a las condiciones geotécnicas locales. **Responsables:** Propietarios de las viviendas afectadas y especialistas responsables de la rehabilitación estructural.

Recomendación 4. Se sugiere incorporar en futuros proyectos de edificación una evaluación minuciosa de las cargas estructurales y las presiones de contacto ejercidas sobre el terreno, particularmente en edificaciones multifamiliares. Esta evaluación debe correlacionarse con la capacidad portante del suelo bajo diferentes condiciones de humedad, con el fin de optimizar el diseño de cimentaciones en contextos geotécnicos complejos como los suelos volcánicos. **Responsables:** Proyectistas estructurales; revisores de expedientes técnicos.

Recomendación 5. Promover el uso de modelamiento numérico avanzado en el análisis suelo-estructura bajo saturación. Es necesario fomentar el empleo de software especializado como PLAXIS 2D/3D, GeoStudio u otros equivalentes, para evaluar con mayor precisión el comportamiento del terreno y las deformaciones inducidas por cargas estructurales en condiciones de humedad crítica. Responsables: Oficinas técnicas municipales, proyectistas estructurales y centros de investigación en ingeniería civil y geotecnia.

Conclusión del apartado

Las recomendaciones presentadas guardan una relación directa con los objetivos específicos y los hallazgos obtenidos en el desarrollo de esta investigación. Su implementación contribuirá significativamente a fortalecer la capacidad técnica y el criterio de diseño frente a la complejidad que representa el comportamiento de los suelos volcánicos en entornos urbanos expuestos a eventos pluviales intensos.

REFERENCIAS

- Alfaro Soto, M. A. (2008). Geotecnia en suelos no saturados. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 32(125), 471-482. [https://doi.org/10.18257/raccefyn.32\(125\).2008.2315](https://doi.org/10.18257/raccefyn.32(125).2008.2315)
- Alva Hurtado, J. E. (2010). *Diseño de cimentaciones* (1.^a ed.). Instituto de la Construcción y Gerencia.
- AN Ingenieros y Consultores. (2021, abril 14). *Asentamientos: Un riesgo para las estructuras*. AN Ingenieros. <https://www.anic.com.mx/post/asentamientos-en-suelos>
- Atterberg, A. (1911). Die Plastizität der Tone. *Internationale Mitteilungen der Bodenkunde*, 1, 4-37.
- Bravo Albuja, J. P., & Cepeda Changoluisa, G. D. (2023). *Modelación numérica geotécnica–estructural de una vivienda unifamiliar, aplicando un método de recalce de cimentación, limitando los asentamientos diferenciales [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana]*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25568>
- Bucx, T. H. M., van Ruiten, C. J. M., Erkens, G., & de Lange, G. (2015). An integrated assessment framework for land subsidence in delta cities. *Proceedings of IAHS*, 372, 485-491. <https://doi.org/10.5194/piahs-372-485-2015>
- Casagrande, A. (1948). Classification and identification of soils. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 113(1), 901-930. <https://doi.org/10.1061/TACEAT.0006109>

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED). (2014). *Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales. Versión 02. (Biblioteca SIGRID)*.

<https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/257>

Das, B. M. (2013). *Fundamentos de ingeniería geotécnica* (4.^a edición). Cengage Learning Editores.

Facundo Chinguel, L. (2021). *Asentamiento diferencial de una estructura inducida por la falla de los terrenos en el distrito de Ancón, Lima–2021*.

[Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo].

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/75351>

Flores Mello, A. O. (2017). *Determinación del tipo de suelo y potencial de colapso del suelo del Puesto de Salud Intiorko, distrito de Ciudad Nueva, departamento de Tacna–2017*. [Tesis de licenciatura, Universidad Privada de Tacna]. <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/417>

Fredlund, D. G., & Rahardjo, H. (1993). *Soil Mechanics for Unsaturated Soils*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470172759>

Gobierno Regional de Tacna – Gerencia de Infraestructura. (2021). *Creación del intercambio vial a desnivel en la Av. Jorge Basadre Grohmann, intersecciones con Av. Tarata e Internacional, distrito de Alto de la Alianza—Provincia de Tacna—Departamento de Tacna: Estudio de geología y geotecnia [Informe técnico inédito]*.

- Instituto Geográfico Nacional (IGN). (2024). *Límites políticos del Perú: Distritales, provinciales y departamentales [Archivo shapefile]. Instituto Geográfico Nacional*. <https://www.ign.gob.pe/>
- Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). (2011). *Manual de estimación del riesgo ante inundaciones fluviales*.
<http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc1743/doc1743-contenido.pdf>
- Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual [INDECOPI]. (2014). *NTP 339.134: Suelos. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, SUCS)*.
- Kassimali, A. (2015). *Análisis estructural* (5.^a edición). Thomson Engineering.
- Lade, P. V. (2016). *Triaxial Testing of Soils*. Wiley-Blackwell.
- Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (2014). *Mecánica de Suelos: Vol. 2.^a edición*. Limusa.
- Le, T., Gallipoli, D., Sánchez, M., & Wheeler, S. (2013). Rainfall-induced differential settlements of foundations on heterogeneous unsaturated soils. *Géotechnique*, 63(15), 1346-1355. <https://doi.org/10.1680/geot.12.P.181>
- Lozano Cortijo, O. (2008). *Metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo ante inundaciones y sismos, de las edificaciones en centros urbanos*. Centro de Estudios y Prevención de Desastres (PREDES).
<https://www.eird.org/plataforma-tematica-riesgo-urbano/recopilacion-de-articulos/olga-lozano.pdf>

- Mahmoudabadi, V., & Ravichandran, N. (2018). Coupled geotechnical-hydrological design of shallow foundation considering site specific data: Theoretical framework and application. *Journal of GeoEngineering*, 13(3), 93-103. [https://doi.org/10.6310/jog.201809_13\(3\).1](https://doi.org/10.6310/jog.201809_13(3).1)
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018a, octubre). *Norma Técnica E.030 Diseño sismorresistente*.
<https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/211900-355-2018-vivienda>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018b, diciembre 3). *Norma Técnica E.050: Suelos y cimentaciones*.
<https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/222983-406-2018-vivienda>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2020, diciembre). *Reglamento Nacional de Edificaciones: Norma E.020 Cargas*.
<https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887225-normas-del-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Presidencia del Consejo de Ministros - PCM. (2011, mayo 26). *Reglamento de la Ley N° 29664, Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) | SINIA*. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/reglamento-ley-no-29664-sistema-nacional-gestion-riesgo-desastres>
- Tairo Pimentel, J. A. (2020). *Cálculo de asentamientos diferenciales del pabellón de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNSA* [Universidad Nacional de

San Agustín de Arequipa].

<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/11227>

APÉNDICE

A 1. Matriz de consistencia de informe final de tesis

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES/DIMENSIONES E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>1. INTERROGANTE PRINCIPAL</p> <p>¿Cuál es la magnitud y el comportamiento de los asentamientos diferenciales en edificaciones construidas sobre suelos de ceniza volcánica en zonas críticas expuestas a riesgo de inundación pluvial en el distrito de Alto de la Alianza, Tacna, considerando la influencia de la succión matricial y el módulo de elasticidad del suelo en condición saturada?</p> <p>2. INTERROGANTES ESPECÍFICAS</p> <p>a) ¿Cuál es el nivel de riesgo por inundación pluvial en la zona crítica del distrito de Alto de la Alianza, según el análisis de peligro, vulnerabilidad y exposición?</p> <p>b) ¿Que características geotécnicas presenta el suelo de ceniza volcánica del, y cual es su succión matricial según el método del papel filtro?</p> <p>c) ¿Cuáles son las cargas estructurales actuantes transmitidas al suelo de fundación por la vivienda representativa seleccionada en la zona crítica de estudio?</p> <p>d) ¿Cuál es el valor del módulo de elasticidad del suelo en condición saturada y cómo varía en función de la succión matricial?</p> <p>e) ¿Qué magnitud de asentamientos diferenciales se generan en las zapatas de una vivienda representativa bajo diferentes condiciones de succión, y cómo se comparan con los límites permisibles de la Norma Técnica Peruana E.050?</p>	<p>1. OBJETIVO GENERAL</p> <p>Analizar los asentamientos diferenciales en edificaciones cimentadas sobre suelos de ceniza volcánica, ubicadas en zonas críticas de riesgo por inundación pluvial en el distrito de Alto de la Alianza, Tacna, a partir del módulo de elasticidad del suelo en condición saturada, estimado mediante parámetros derivados de la succión matricial.</p> <p>2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>1. Evaluar el nivel de riesgo por inundación pluvial en la zona crítica del distrito de Alto de la Alianza, mediante la metodología de análisis de peligro, vulnerabilidad y exposición.</p> <p>2. Caracterizar las propiedades geotécnicas del suelo de ceniza volcánica de la zona de estudio, considerando su comportamiento en condición saturada y la determinación de la succión matricial mediante el método del papel filtro.</p> <p>3. Estimar el módulo de elasticidad del suelo de ceniza volcánica en condición saturada, a partir de los valores de succión matricial obtenidos experimentalmente mediante el método del papel filtro.</p> <p>4. Realizar el metrado de cargas estructurales de la edificación evaluada para determinar las tensiones aplicadas al terreno.</p> <p>5. Calcular los asentamientos totales y diferenciales en la cimentación de una vivienda representativa, utilizando métodos empíricos y verificando su magnitud respecto a los límites admisibles establecidos por la Norma Técnica Peruana E.050.</p>	<p>1. HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>Los asentamientos diferenciales en edificaciones por riesgo inundación pluvial en la zona de estudio son excesivas y no cumplen con los parámetros admisibles.</p> <p>2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <p>a) El riesgo de inundación de la zona de estudio es muy alto.</p> <p>b) Los parámetros geotécnicos del suelo inunden de la zona de estudio indican la existencia de suelos colapsables.</p> <p>c) Las cargas actuantes debido a las edificaciones existentes de la zona de estudio son mayores a 1 t/m².</p> <p>d) Los asentamientos diferenciales de las edificaciones existentes de la zona de estudio son mayores a los límites máximos permisibles.</p>	<p>Variable independiente(X): Caracterización geotécnica del suelo de cimentación</p> <p>Dimensiones:</p> <p>Hidrología Indicadores: Peligro, vulnerabilidad y riesgo</p> <p>Geotecnia Indicadores: succión matricial, cohesión, ángulo de fricción, límites de Atterberg, granulometría, Clasificación de suelos SUCS.</p> <p>Estructuras Indicadores: Presión de contacto, cargas estructurales</p> <p>Variable dependiente (Y): Asentamiento Indicador: Asentamientos diferenciales (mm)</p>	<p>-Tipo de Investigación Descriptivo, cuantitativa, explicativa.</p> <p>-Diseño de la Investigación No experimental Transeccional</p> <p>-Ámbito de Estudio Asentamientos humanos en zonas críticas de riesgo por inundación en los distritos de Alto de la Alianza y Tacna. El análisis geotécnico se desarrolló en el A.H. Eloy G. Ureta, Alto de la Alianza.</p> <p>-Población Viviendas ubicadas en zonas críticas de riesgo por inundación pluvial en los distritos de Alto de la Alianza y Tacna.</p> <p>-Muestra Para la evaluación del riesgo por inundación, se consideraron viviendas de tres asentamientos humanos. Para el análisis de asentamientos diferenciales, se utilizó una vivienda representativa y tres puntos de exploración geotécnica en el A.H. Eloy G. Ureta</p> <p>-Técnicas de Recolección de datos Observación directa, ensayo de laboratorio, modelamiento hidráulico con IBER</p>
<p>Relevancia de la investigación</p> <p>Con el análisis de asentamientos diferenciales en edificaciones por riesgo a inundación se contribuye al desarrollo sostenible, dado que el estudio ayudará a que se den parámetros para diseños de proyectos de infraestructura civil adecuados, pertinentes y económicos para tener ciudades y asentamiento humanos seguros, resilientes y sostenibles.</p>				

A 2. Resultados de ensayo de succión matricial



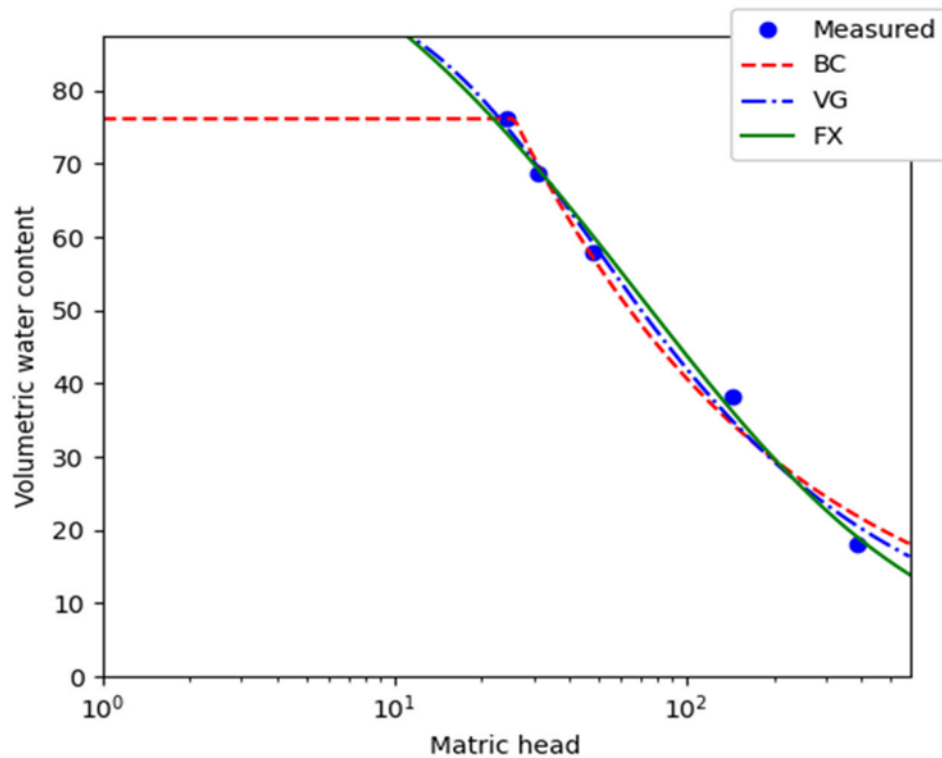
GEOLOGÍA & GEOTECNIA
GEOINGENIERIA E.I.R.L.

Dirección: Asoc. Las Américas Mz. "L" Lote "11", Cnel. Gregorio Albarracín, Tacna. Tef: 151 986441250

MEDICIÓN DE LA SUCCIÓN MATRICIAL DE UN SUELO EMPLEANDO PAPEL FILTRO (ASTM D5298 – 10)

Perforación N°	: DDHCIVD-01
Fecha muestreo	: 27/5/2024
Muestra No	: M-01
Ubicación	: Tacna - Perú
Actividad	: "Análisis de asentamientos diferenciales en edificaciones por riesgo a inundación en zonas críticas de Tacna-Perú"

Papel filtro superior/ Papel filtro inferior (circulo)		Superior Inferior	Superior Inferior	Superior Inferior	Superior Inferior	Superior Inferior
Masa (bolsa hermetica). g	Tc	7.06	7.05	6.99	7.06	7.06
Masa	M1	7.51	7.51	7.44	7.45	7.39
Masa	M2	7.34	7.31	7.26	7.34	7.34
Masa del papel filtro seco, g	Mf	0.28	0.26	0.27	0.28	0.28
Masa del agua en el papel filtro, g	Mw	0.16	0.20	0.18	0.11	0.05
Contenido de agua del papel filtro, g	Wf	57.88	76.15	68.73	38.12	18.14
Succión, log kPa	h	1.63	1.38	1.48	1.90	2.17
Succión matricial, kPa	hm	47.75	24.18	31.18	143.88	388.67



ENSAYO DE PLACA DE CARGA

NORMA: ASTM D-1194

PROYECTO : *CREACION DEL INTERCAMBIO VIAL A DESNIVEL EN LA AV. JORGE BASADRE GROHMANN, INTERSECCIONES CON AV. TARATA E INTERNACIONAL, DISTRITO ALTO DE LA ALIANZA- PROVINCIA DE TACNA - DEPARTAMENTO DE TACNA *
FECHA : 21/09/2019
H. INICIO : 10:30
H. FINAL : 13:50
SOLICITANTE : GOBIERNO REGIONAL DE TACNA
PUNTO : PC-01
φ PLACA (mm): 600
COORDENADAS: 367541 E, 8009979 N

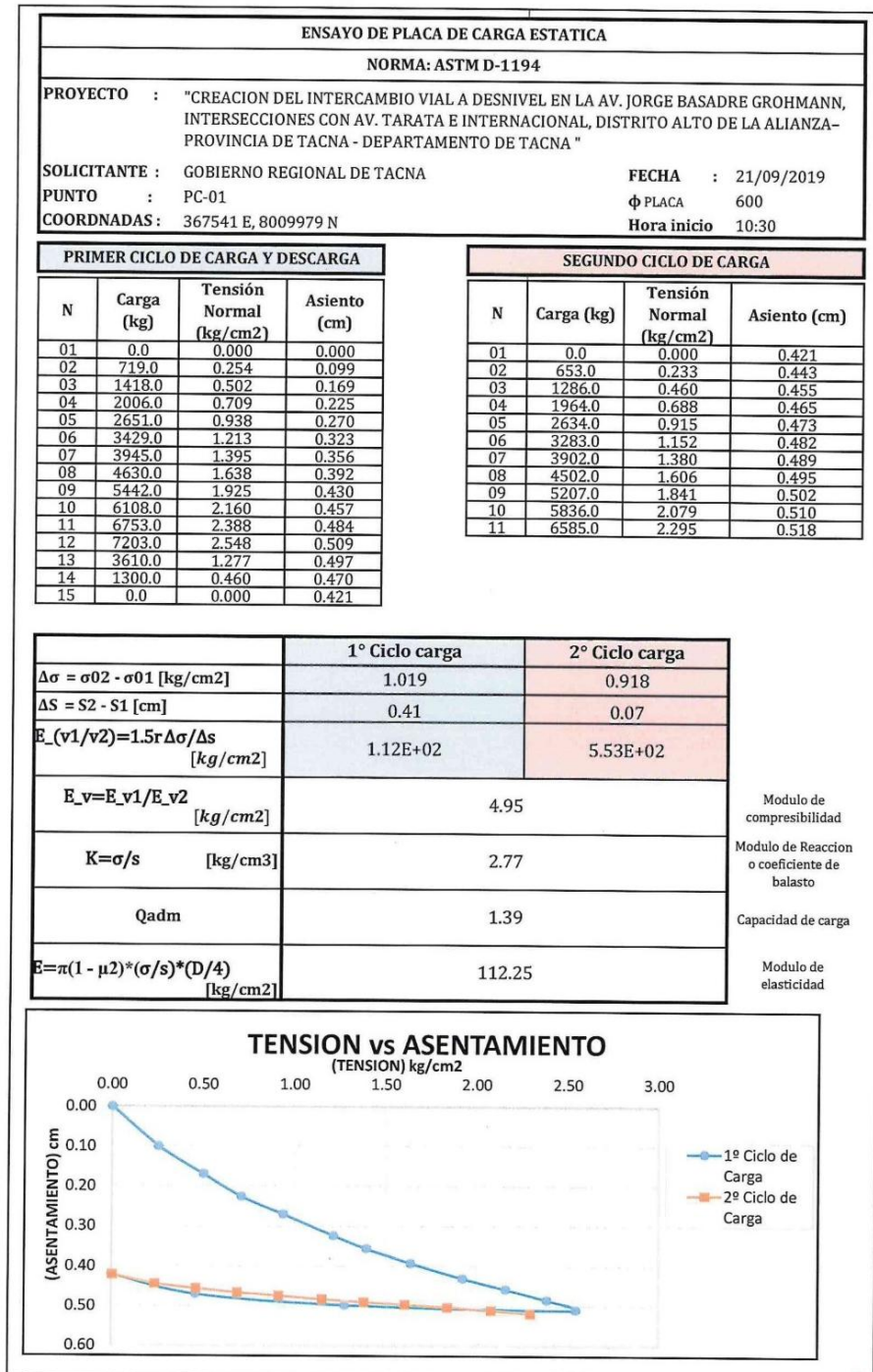
SEGUNDO CICLO DE CARGA								
16	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	4.21	0.4210
17	653.0	0.23	1.0	0.24	0.21	0.21		
	653.0	0.23	1.3	0.24	0.21	0.21		
18	1286.00	0.46	1.0	0.38	0.31	0.33		
	1286.00	0.46	1.3	0.38	0.31	0.33		
19	1964.00	0.69	1.0	0.51	0.39	0.43		
	1964.00	0.69	1.3	0.51	0.39	0.43		
20	2634.00	0.91	1.0	0.62	0.46	0.49		
	2634.00	0.91	1.3	0.62	0.46	0.49		
21	3283.00	1.15	1.0	0.73	0.53	0.57		
	3283.00	1.15	1.3	0.73	0.53	0.57		
22	3902.00	1.38	1.0	0.81	0.60	0.63		
	3902.00	1.38	1.3	0.81	0.60	0.63		
23	4502.0	1.61	1.0	0.89	0.65	0.69		
	4502.0	1.61	1.3	0.89	0.65	0.69		
24	5207.0	1.84	1.0	0.96	0.72	0.75		
	5207.0	1.84	1.3	0.96	0.72	0.75		
25	5836.0	2.08	1.0	1.04	0.79	0.81		
	5836.0	2.08	1.3	1.04	0.79	0.81		
26	6585.0	2.30	1.0	1.12	0.87	0.89		
	6585.0	2.30	1.3	1.12	0.87	0.89		



GOBIERNO REGIONAL DE TACNA

RONALD LEANDRO CHOCQUEHUANCA CAYO
 ING. GEOLOGO - CIP N°161801
 PROYECTISTA

Juan Carlos [Signature]
 INGENIERO CIVIL
 CIP 172122

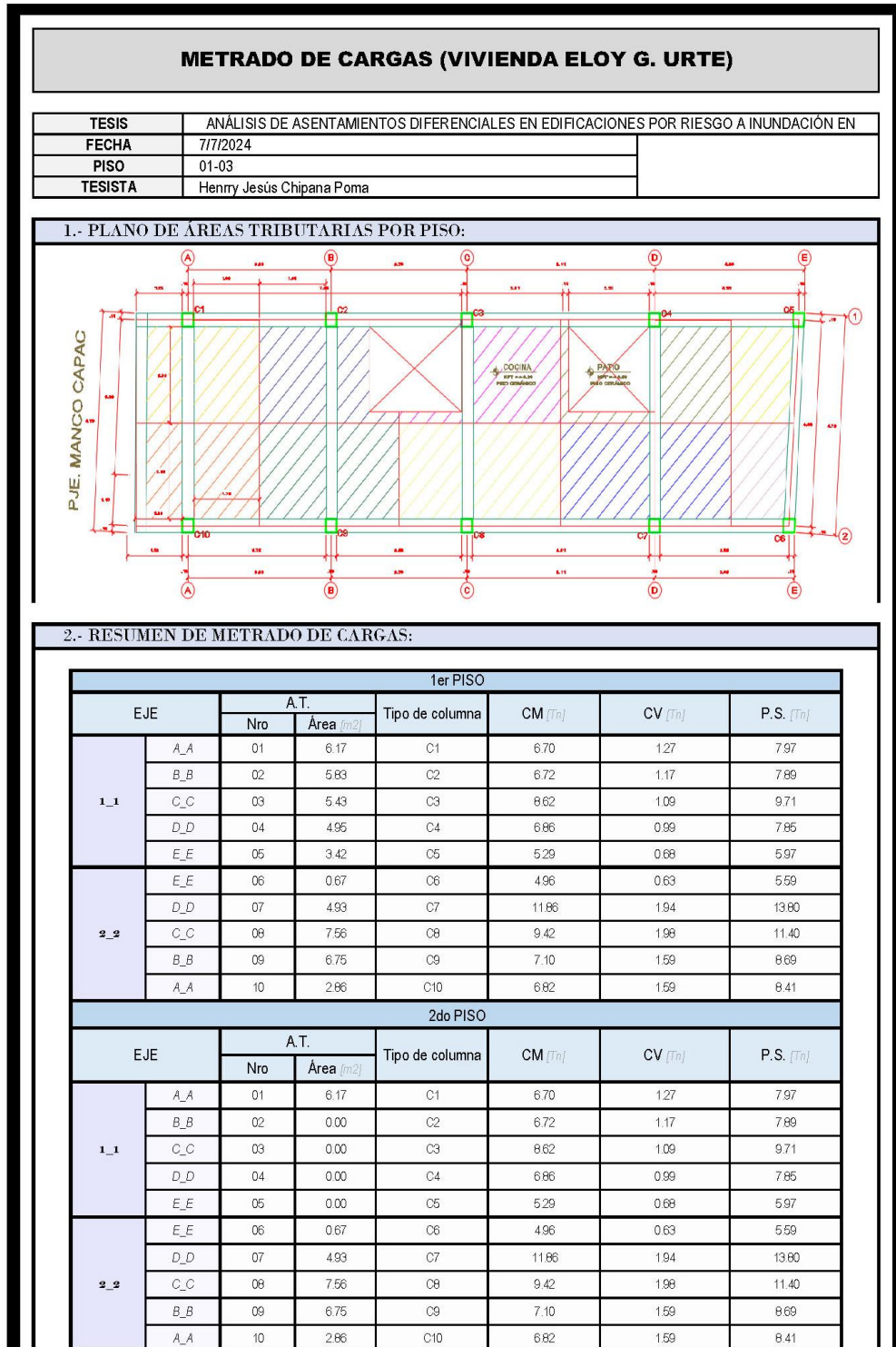


GOBIERNO REGIONAL DE TACNA

RONALD LEANDRO CHOQUEHUANCA CAYO
ING. GEÓLOGO - CIP N°161801
PROYECTISTA

Juan Carlos ...
INGENIERO CIVIL
CIP N° 102222

A 4. Metrado de Cargas (Vivienda Eloy G Ureta)



3er PISO							
EJE	A.T.		Tipo de columna	CM [Tn]	CV [Tn]	P.S. [Tn]	
	Nro	Área [m ²]					
1_1	A_A	01	6.17	C1	6.70	1.27	7.97
	B_B	02	0.00	C2	6.72	1.17	7.89
	C_C	03	0.00	C3	8.62	1.09	9.71
	D_D	04	0.00	C4	6.86	0.99	7.85
	E_E	05	0.00	C5	5.29	0.68	5.97
2_2	E_E	06	0.67	C6	4.96	0.63	5.59
	D_D	07	4.93	C7	11.66	1.94	13.60
	C_C	08	7.56	C8	9.42	1.96	11.40
	B_B	09	6.75	C9	7.10	1.59	8.69
	A_A	10	2.86	C10	6.82	1.59	8.41
TOTAL						261.88	

2.- PESOS DE LA ESTRUCTURA POR NIVELES

PISO		
1er PISO	74.36	12.93
2do PISO	74.36	12.93
3er piso	74.36	12.93

3.- PESO TOTAL DE LA ESTRUCTURA

Piso tipico = 50% Cventrepiso
 Pazotea = CM + 25% CV azotea

PISO	PESO(ton)	
1er piso	80.83	80
2do piso	80.83	80
3er piso	77.59	78
Peso de la edificación	239.25	

3.- CARGA DE SERVICIO EN LA BASE DE LAS ZAPATAS

ZAPATA	1A	1B	1C	1D	1E	2A	2B	2C	2D	2E
p.p. zapata	4.54	4.54	4.54	4.536	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54
C. muerta	20.1	20.2	25.9	20.59	15.9	14.9	35.6	28.3	21.3	20.5
C. viva	3.81	3.51	3.27	2.97	2.04	1.89	5.82	5.94	4.77	4.77
C. sismo	10.8	10.7	13.1	10.6	8.06	7.55	18.6	15.4	11.7	11.4
C. servicio (Tonf)	39.2	38.9	46.8	38.7	30.5	28.9	64.6	54.1	42.3	41.1
q(kg/cm ²)	0.93	0.93	1.11	0.92	0.73	0.69	1.54	1.29	1.01	0.98

METRADO DE CARGAS (VIVIENDA ELOY G. URTE)

TESIS	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES EN EDIFICACIONES POR RIESGO A INUNDACIÓN EN ZONAS CRÍTICAS DE TACNA-PERÚ.	
TEMA	METRADO DE CARGAS	
FECHA	7/7/2024	
PISO	01-03	
TESISTA	Henry Jesús Chipana Poma	

1.- DATOS TÉCNICOS:

COMPONENTES	CARGAS	NORMATIVA
ELEMENTOS ESTRUCTURALES	2.40 Tn/m ³	RNE / ANEXO 1: "Pesos unitarios"
LOSA e = 0.25 m	0.35 Tn/m ²	RNE / ANEXO 1: "Pesos unitarios"
ACABADOS	0.10 Tn/m ²	RNE / ANEXO 1: "Pesos unitarios"
MUROS DE TABIQUERIA	0.10 Tn/m ²	RNE / CAP III / Art.6.3: Tabiquería móvil
ALFEIZER	0.05 Tn/m ²	RNE / CAP III / Art.6.3: Tabiquería móvil
SOBRECARGA	Variable	RNE / CAP III / Tabla 1: "C.V. mínimas repartidas"

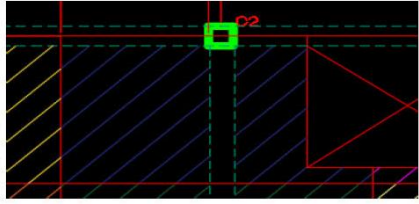
2.- PROCEDIMIENTO:

ÁREA TRIBUTARIA		C-1
EJE "X"	1 _ 1	
EJE "Y"	A _ A	
ANCHO	2.09 m	
LARGO	3.05 m	
PESO DE SERVICIO	CM + CV = 6.7 + 1.27 = 7.98 Tn	

CÁLCULO DE LA CARGA MUERTA					
ELEMENTOS ESTRUCTURALES	SECCIÓN		ALTO / LARGO [m]	CARGA [Tn/m ³]	PESO [Tn]
	t1 [m]	t2 [m]			
COLUMNAS	0.3	0.3	3.475	2.4	0.75
VIGAS PRINCIPALES	0.3	0.3	7.23	2.4	1.56
VIGAS SECUNDARIAS					
	ÁREA		# VECES	CARGA [Tn/m ²]	PESO [Tn]
	ANCHO	LARGO			
LOSA	5.74		1	0.35	2.01
ACABADOS	6.37		1	0.1	0.64
MUROS DE TABIQUERIA	DESCRIPCIÓN	LONGITUD [m]	ALTURA [m]	CARGA [Tn/m ²]	PESO [Tn]
MURO COMPLETO	EJE "Y"	3.35	3.475	0.15	1.75
	-	-	-	-	-
MURO ALFAIZER	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-
CARGA MUERTA					6.70

CÁLCULO DE LA CARGA VIVA				
SOBRECARGA(S/φ)	ÁREA		CARGA [Tn/m ²]	PESO [Tn]
	ANCHO [m]	LARGO [m]		
S/C PARA EL PRIMER PISO = 0	2.09	3.05	0.2	1.27
CARGA VIVA				1.27

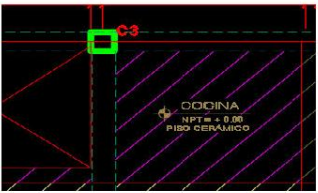
ÁREA TRIBUTARIA		C2
EJE "X"	1_1	
EJE "Y"	B_B	
ANCHO	2.39 m	
LARGO	2.44 m	
PESO DE SERVICIO	CM + CV = 6.72 + 1.17 = 7.89 Tn	



CÁLCULO DE LA CARGA MUERTA					
ELEMENTOS ESTRUCTURALES	SECCIÓN		ALTO / LARGO [m]	CARGA [Tn/m ³]	PESO [Tn]
	t1 [m]	t2 [m]			
COLUMNAS	0.3	0.3	3.475	2.4	0.75
VIGAS PRINCIPALES	0.3	0.3	7.29	2.4	1.57
VIGAS SECUNDARIAS					
	ÁREA		# VECES	CARGA [Tn/m ²]	PESO [Tn]
	ANCHO	LARGO			
LOSA	5.83		1	0.35	2.04
ACABADOS	5.83		1	0.1	0.58
MUROS DE TABIQUERIA	DESCRIPCIÓN	LONGITUD [m]	ALTURA [m]	CARGA [Tn/m ²]	PESO [Tn]
MURO COMPLETO	EJE "Y"	3.4	3.475	0.15	1.77
MURO ALFAIZER	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-
CARGA MUERTA					6.72

CÁLCULO DE LA CARGA VIVA				
SOBRECARGA (S/ϕ)	ÁREA		CARGA [Tn/m ²]	PESO [Tn]
	ANCHO [m]	LARGO [m]		
S/C PARA EL PRIMER PISO = 0	1	1	0.2	1.17
CARGA VIVA				1.17


ÁREA TRIBUTARIA		C-3
EJE "X"	1_1	
EJE "Y"	C_C	
ANCHO	5.43 m	
LARGO	1.00 m	
PESO DE SERVICIO	CM + CV = 8.62 + 1.09 = 9.71 Tn	



CÁLCULO DE LA CARGA MUERTA					
ELEMENTOS ESTRUCTURALES	SECCIÓN		ALTO / LARGO [m]	CARGA [Tn/m ³]	PESO [Tn]
	t1 [m]	t2 [m]			
COLUMNAS	0.3	0.3	3.475	2.40 Tn/m ³	0.75
VIGAS PRINCIPALES	0.3	0.3	7.87	2.40 Tn/m ³	1.70
VIGAS SECUNDARIAS					
	ÁREA		# VECES	CARGA [Tn/m ²]	PESO [Tn]
	ANCHO	LARGO			
LOSA	5.43		1	0.35	1.90
ACABADOS	5.43		1	0.1	0.54
MUROS DE TABIQUERIA	DESCRIPCIÓN	LONGITUD [m]	ALTURA [m]	CARGA [Tn/m ²]	PESO [Tn]
MURO COMPLETO	EJE "Y"	7.26	3.425	0.15	3.73
MURO ALFAIZER					
CARGA MUERTA					8.62

CÁLCULO DE LA CARGA VIVA				
SOBRECARGA (S/ϕ)	ÁREA		CARGA [Tn/m ²]	PESO [Tn]
	ANCHO [m]	LARGO [m]		
S/C PARA EL PRIMER PISO = 0	1	1	0.2	1.09
CARGA VIVA				1.09

ÁREA TRIBUTARIA		C-4
EJE "X"	1_1	
EJE "Y"	D_D	
ANCHO	1.07 m	
LARGO	4.63 m	
PESO DE SERVICIO	CM + CV = 6.86 + 0.99 = 7.86 Tn	



CÁLCULO DE LA CARGA MUERTA					
ELEMENTOS ESTRUCTURALES	SECCIÓN		ALTO / LARGO [m]	CARGA [Tn/m ³]	PESO [Tn]
	t1 [m]	t2 [m]			
COLUMNAS	0.3	0.3	3.475	2.40 Tn/m ³	0.75
VIGAS PRINCIPALES	0.3	0.3	6.82	2.40 Tn/m ³	1.47
VIGAS SECUNDARIAS					
	ÁREA		# VECES	CARGA [Tn/m ²]	PESO [Tn]
	ANCHO	LARGO			
LOSA	4.95		1	0.35	1.73
ACABADOS	4.95		1	0.1	0.50
MUROS DE TABIQUERIA	DESCRIPCIÓN	LONGITUD [m]	ALTURA [m]	CARGA [Tn/m ²]	PESO [Tn]
MURO COMPLETO	EJE "Y"	4.63	3.475	0.15	2.41
MURO ALFAIZER.					
CARGA MUERTA					6.86

CÁLCULO DE LA CARGA VIVA				
SOBRECARGA (S/ø)	ÁREA		CARGA [Tn/m ²]	PESO [Tn]
	ANCHO [m]	LARGO [m]		
S/C PARA EL PRIMER PISO = 0	1	1	0.2	0.99
CARGA VIVA				0.99

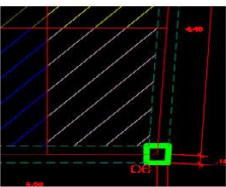
ÁREA TRIBUTARIA		C-5
EJE "X"	1_1	
EJE "Y"	E_E	
ANCHO	1.72 m	
LARGO	1.99 m	
PESO DE SERVICIO	CM + CV = 5.29 + 0.68 = 5.97 Tn	



CÁLCULO DE LA CARGA MUERTA					
ELEMENTOS ESTRUCTURALES	SECCIÓN		ALTO / LARGO [m]	CARGA [Tn/m ³]	PESO [Tn]
	t1 [m]	t2 [m]			
COLUMNAS	0.3	0.3	3.475	2.40 Tn/m ³	0.75
VIGAS PRINCIPALES	0.3	0.3	4.13	2.40 Tn/m ³	0.89
VIGAS SECUNDARIAS					
	ÁREA		# VECES	CARGA [Tn/m ²]	PESO [Tn]
	ANCHO	LARGO			
LOSA	3.42		1	0.35	1.20
ACABADOS	3.42		1	0.1	0.34
MUROS DE TABIQUERIA	DESCRIPCIÓN	LONGITUD [m]	ALTURA [m]	CARGA [Tn/m ²]	PESO [Tn]
MURO COMPLETO	EJE "Y"	4.1	3.425	0.15	2.106375
MURO ALFAIZER					
CARGA MUERTA					5.29

CÁLCULO DE LA CARGA VIVA				
SOBRECARGA (S/φ)	ÁREA		CARGA [Tn/m ²]	PESO [Tn]
	ANCHO [m]	LARGO [m]		
S/C PARA EL PRIMER PISO = 0	1	1	0.2	0.68
CARGA VIVA				0.68

ÁREA TRIBUTARIA		C-6
EJE "X"	2_2	
EJE "Y"	E_E	
ANCHO	1.70 m	
LARGO	1.86 m	
PESO DE SERVICIO	CM + CV = 4.96 + 0.63 = 5.59 Tn	



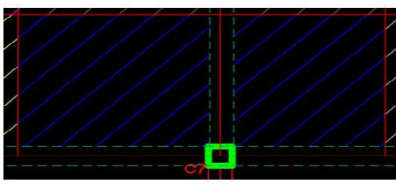
CÁLCULO DE LA CARGA MUERTA					
ELEMENTOS ESTRUCTURALES	SECCIÓN		ALTO / LARGO [m]	CARGA [Tn/m ³]	PESO [Tn]
	t1 [m]	t2 [m]			
COLUMNAS	0.3	0.3	3.475	2.40 Tn/m ³	0.75
VIGAS PRINCIPALES	0.3	0.3	3.82	2.40 Tn/m ³	0.83
VIGAS SECUNDARIAS					
	ÁREA		# VECES	CARGA [Tn/m ²]	PESO [Tn]
	ANCHO	LARGO			
LOSA	3.17		1	0.35	1.11
ACABADOS	3.17		1	0.1	0.32

MUROS DE TABIQUERIA	DESCRIPCIÓN	LONGITUD [m]	ALTURA [m]	CARGA [Tn/m2]	PESO [Tn]
MURO COMPLETO	EJE "Y"	3.81	3.43	0.15	1.96
MURO ALFAIZER					

CARGA MUERTA	4.96
---------------------	-------------

CÁLCULO DE LA CARGA VIVA				
SOBRECARGA (S/φ)	ÁREA		CARGA [Tn/m2]	PESO [Tn]
	ANCHO [m]	LARGO [m]		
S/C PARA EL PRIMER PISO = 0	1	1	0.2	0.63

CARGA VIVA	0.63
-------------------	-------------

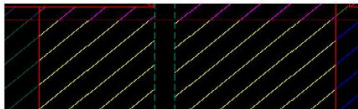
ÁREA TRIBUTARIA		C-7
EJE "X"	2_2	
EJE "Y"	D_D	
ANCHO	2.24 m	
LARGO	4.63 m	
PESO DE SERVICIO	CM + CV = 11.86 + 1.94 = 13.8 Tn	

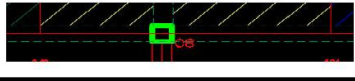
CÁLCULO DE LA CARGA MUERTA					
ELEMENTOS ESTRUCTURALES	SECCIÓN		ALTO / LARGO [m]	CARGA [Tn/m³]	PESO [Tn]
	t1 [m]	t2 [m]			
COLUMNAS	0.3	0.3	3.475	2.40 Tn/m3	0.75
VIGAS PRINCIPALES	0.3	0.3	6.42	2.40 Tn/m3	1.39
VIGAS SECUNDARIAS					
	ÁREA		# VECES	CARGA [Tn/m2]	PESO [Tn]
	ANCHO	LARGO			
LOSA	9.07		1	0.35	3.17
ACABADOS	10.37		1	0.1	1.04
MUROS DE TABIQUERIA	DESCRIPCIÓN	LONGITUD [m]	ALTURA [m]	CARGA [Tn/m2]	PESO [Tn]
MURO COMPLETO	EJE "Y"	10.73	3.43	0.15	5.51
MURO ALFAIZER					

CARGA MUERTA	11.86
---------------------	--------------

CÁLCULO DE LA CARGA VIVA				
SOBRECARGA (S/φ)	ÁREA		CARGA [Tn/m2]	PESO [Tn]
	ANCHO [m]	LARGO [m]		
S/C PARA EL PRIMER PISO = 0	4.63	2.09	0.2	1.94

CARGA VIVA	1.94
-------------------	-------------

ÁREA TRIBUTARIA		C-8
EJE "X"	2_2	
EJE "Y"	C_C	
ANCHO	2.24 m	

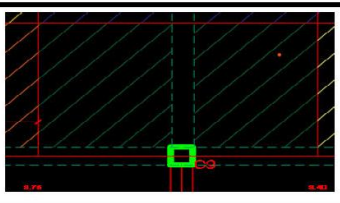
LARGO	4.41 m	
PESO DE SERVICIO	CM + CV = 9.42 + 1.98 = 11.39 Tn	

CÁLCULO DE LA CARGA MUERTA					
ELEMENTOS ESTRUCTURALES	SECCIÓN		ALTO / LARGO [m]	CARGA [Tn/m ³]	PESO [Tn]
	t1 [m]	t2 [m]			
COLUMNAS	0.3	0.3	3.475	2.40 Tn/m ³	0.75
VIGAS PRINCIPALES	0.3	0.3	6.2	2.40 Tn/m ³	1.34
VIGAS SECUNDARIAS					
	ÁREA		# VECES	CARGA [Tn/m ²]	PESO [Tn]
	ANCHO	LARGO			
LOSA	8.59		1	0.35	3.01
ACABADOS	9.88		1	0.1	0.99
MUROS DE TABIQUERIA	DESCRIPCIÓN	LONGITUD [m]	ALTURA [m]	CARGA [Tn/m ²]	PESO [Tn]
MURO COMPLETO	EJE "Y"	6.49	3.43	0.15	3.33
MURO ALFAIZER					

CARGA MUERTA	9.42
---------------------	-------------

CÁLCULO DE LA CARGA VIVA				
SOBRECARGA(S/ϕ)	ÁREA		CARGA [Tn/m ²]	PESO [Tn]
	ANCHO [m]	LARGO [m]		
S/C PARA EL PRIMER PISO = 0	2.24	4.41	0.2	1.98

CARGA VIVA	1.98
-------------------	-------------

ÁREA TRIBUTARIA	C-9	
EJE "X"	2_2	
EJE "Y"	B_B	
ANCHO	2.09 m	
LARGO	3.80 m	
PESO DE SERVICIO	CM + CV = 7.1 + 1.59 = 8.69 Tn	

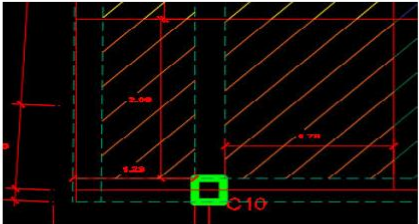
CÁLCULO DE LA CARGA MUERTA					
ELEMENTOS ESTRUCTURALES	SECCIÓN		ALTO / LARGO [m]	CARGA [Tn/m ³]	PESO [Tn]
	t1 [m]	t2 [m]			
COLUMNAS	0.3	0.3	3.475	2.40 Tn/m ³	0.75
VIGAS PRINCIPALES	0.3	0.3	5.57	2.40 Tn/m ³	1.20
VIGAS SECUNDARIAS					
	ÁREA		# VECES	CARGA [Tn/m ²]	PESO [Tn]
	ANCHO	LARGO			
LOSA	7.32		1	0.35	2.56
ACABADOS	7.94		1	0.1	0.79
MUROS DE TABIQUERIA	DESCRIPCIÓN	LONGITUD [m]	ALTURA [m]	CARGA [Tn/m ²]	PESO [Tn]
MURO COMPLETO	EJE "Y"	3.48	3.43	0.15	1.79
MURO ALFAIZER					

CARGA MUERTA	7.10
---------------------	-------------

CÁLCULO DE LA CARGA VIVA

SOBRECARGA(S/ø)	ÁREA		CARGA [Tn/m2]	PESO [Tn]
	ANCHO [m]	LARGO [m]		
S/C PARA EL PRIMER PISO = 0	2.09	3.8	0.2	1.59

CARGA VIVA	1.59
------------	------

ÁREA TRIBUTARIA		C-10	
EJE "X"	2_2		
EJE "Y"	A_A		
ANCHO	2.09 m		
LARGO	3.37 m		
PESO DE SERVICIO	CM + CV = 6.82 + 1.59 = 8.41 Tn		

CÁLCULO DE LA CARGA MUERTA					
ELEMENTOS ESTRUCTURALES	SECCIÓN		ALTO / LARGO [m]	CARGA [Tn/m ³]	PESO [Tn]
	t1 [m]	t2 [m]			
COLUMNAS	0.3	0.3	3.475	2.40 Tn/m ³	0.75
VIGAS PRINCIPALES	0.3	0.3	7.5	2.40 Tn/m ³	1.62
VIGAS SECUNDARIAS					
	ÁREA		# VECES	CARGA [Tn/m ²]	PESO [Tn]
	ANCHO	LARGO			
LOSA	5.78		1	0.35	2.02
ACABADOS	7.04		1	0.1	0.70
MUROS DE TABIQUERIA	DESCRIPCIÓN	LONGITUD [m]	ALTURA [m]	CARGA [Tn/m ²]	PESO [Tn]
MURO COMPLETO	EJE "Y"	3.35	3.43	0.15	1.72
MURO ALFAIZER					

CARGA MUERTA	6.82
--------------	------

CÁLCULO DE LA CARGA VIVA				
SOBRECARGA(S/ø)	ÁREA		CARGA [Tn/m2]	PESO [Tn]
	ANCHO [m]	LARGO [m]		
S/C PARA EL PRIMER PISO = 0	2.09	3.8	0.2	1.59

CARGA VIVA	1.59
------------	------

A 5. Calculo de Grado de Saturación y Modulo de Elasticidad

CÁLCULO DE GRADO DE SATURACIÓN Y MODULO DE ELASTICIDAD

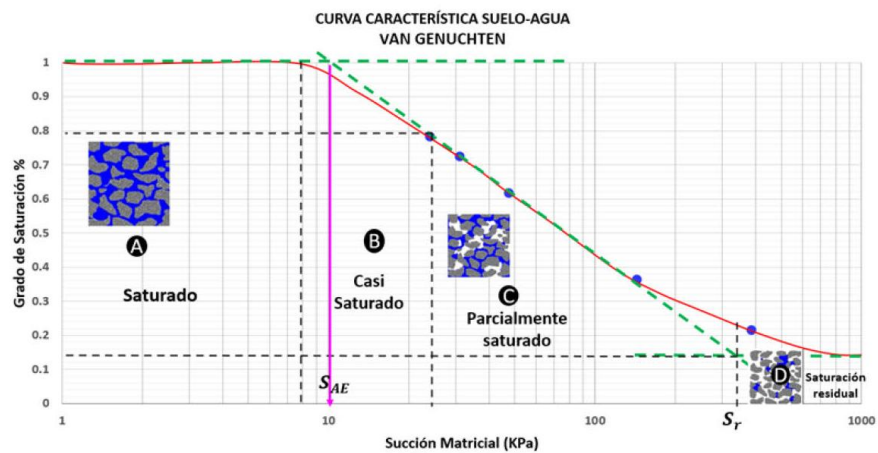
TESIS "Análisis de asentamientos diferenciales en edificaciones por riesgo a inundación en zonas críticas de Tacna-Perú"
UBICACIÓN Tacna - Perú **Fecha:** jul-24

1). Ciculo de grado de Saturación según Van Genuchten

$$S_e = \left\{ \frac{1}{[1 + (\alpha * \Psi)^n]} \right\}^m$$

$\alpha = 0.04142$
 $m = 1 - 1/n$
 $n = 1.5556$

Succión Matricial Kpa	Contenido volumetrico de agua (%Wpf)	Grado de saturación(Se)
24.18	76.15	0.780399507
31.18	68.73	0.722101955
47.75	57.88	0.615701304
143.88	38.12	0.363080132
388.67	18.14	0.212607242

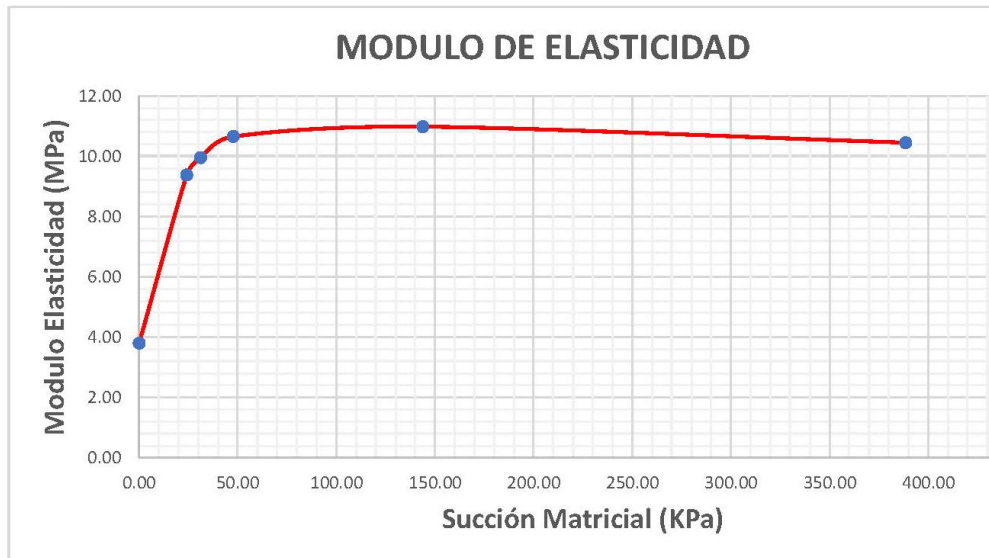


2). Ciculo de Modulo de Elasticidad E_{unsat} y E_{sat}

$$E_{sat} = \left[\frac{E_{unsat}}{1 + \alpha \frac{(u_a - u_w)}{(P_a/101.3)} S^\beta} \right] \quad E_{unsat} = E_{sat} \left[1 + \alpha \frac{(u_a - u_w)}{(P_a/101.3)} S^\beta \right]$$

TIPO de SUI	SM	Eunsat	10.98 Mpa
Pa	101.3 Kpa	β	2 Suelo no cohe:
α	0.1	S	0.96

Succión Matricial Kpa	Grado de Saturación(Se) %	S^B	Modulo de Elasticidad Saturado (Esat) Mpa	Modulo de Elasticidad Insaturado (Eunsat) Mpa	Modulo de Elasticidad Insaturado (Eunsat) Kg/cm2
0.00	1.00	1.00	3.79	3.79	38.65
24.18	0.78	0.61	4.44	9.37	95.56
31.18	0.72	0.52	4.18	9.95	101.48
47.75	0.62	0.38	3.91	10.65	108.60
143.88	0.36	0.13	3.79	10.98	111.95
388.67	0.21	0.05	3.98	10.45	106.55



A 6. Calculo de asentamientos

CÁLCULO DE ASENTAMIENTO BASADO EN LA TEORÍA DE ELASTICIDAD

Proyecto: ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES EN EDIFICACIONES POR RIESGO A INUNDACIÓN EN ZONAS CRÍTICAS DE TACNA-PERÚ. Fecha: 1/6/2025

Ubicación: Tacna, Perú

$$S_s = q_o(\alpha B') \frac{1 - \mu_s^2}{E_s} I_f I_f$$

Según Bowles (1987), del libro Braja Das, Fundamentos de Ingeniería de cimentaciones, Séptima Edición, Ecuación 5.33

Datos de Cálculo

Lado cimentación L : 2.10 m

Ancho Cimentación B : 2.00 m Df/B = 0.8

Nivel de desplante cimentación Df : 1.50 m B/L = 1.0

Espesor del estrato de suelo H : 30.00 m L/B = 1.1 = m'

Presión neta aplicada sobre la cimentación q_o : 1.54 kg/cm²

Modulo de elasticidad ponderada E_s : 106.55 kg/cm² 10.98 Mpa

Relación de Poisson μ_s : 0.35

Cimentación B × L, q_o, Df, H, μ_s, E_s, Suelo, Resaca

	z (m)		Δz (m)	Es kg/cm ²
	Desde	Hasta		
	0.00	3.00	3.00	433.4
	3.00	8.00	5.00	611.8
$E_s = \frac{\sum E_{s(z)} \Delta z}{\bar{z}} =$				544.90

	B'	α	m'	n'	A ₀	A ₁	A ₂	F1	F2	I _s	I _F
Centro:	1.00	4	1.10	30	0.861	0.914	0.001	0.565	0.006	0.567	0.695
Esquina:	2.00	1	1.10	15	0.824	0.877	0.005	0.542	0.012	0.547	

Centro de la Cimentación

Se = 2.001 cm Flexible

= 20.007 mm

Esquina de la Cimentación

Se = 0.964 cm

= 9.642 mm

Difencial

Se = 1.037 cm

= 10.366 mm

Se = 1.861 cm Rígida

= 18.607 mm

Calculado Por: _____

Aprobado Por: _____

Asentamientos, zapatas Vivienda Eloy G Ureta, obtenidos por el método basado en la teoría de Elasticidad

En condiciones de saturación residual Succión matricial = 0 Kpa $E_s=38.65 \text{ kg/cm}^2$

	1A/1B/ 1D	1C/2C	1E	2A	2B	2D/2E
B(m)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
L(m)	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
Df(m)	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
H(m)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
m'	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
n'	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
A0	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
A1	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
A2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F1	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
F2	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Is	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
q(Kgf/cm2)	0.93	1.29	0.73	0.69	1.54	1.01
α'	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
B'(m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
v'	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Es(kgf/cm2)	38.65	38.65	38.65	38.65	38.65	38.65
IF	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Se(flexible)(mm)	33.31	46.20	26.15	24.71	55.16	36.17
Se(rig)(mm)	30.98	42.97	24.32	22.98	51.29	33.64

Asentamientos, zapatas Vivienda Eloy G Ureta, obtenidos por el método basado en la teoría de Elasticidad

En condiciones Saturado Succión matricial = 31.18 Kpa $E_s=101.48 \text{ kg/cm}^2$

	1A/1B/ 1D	1C/2C	1E	2A	2B	2D/2E
B(m)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
L(m)	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
Df(m)	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
H(m)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
m'	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
n'	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
A0	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
A1	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
A2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F1	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
F2	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Is	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
q(Kgf/cm2)	0.93	1.29	0.73	0.69	1.54	1.01
α'	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
B'(m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
v'	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Es(kgf/cm2)	101.48	101.48	101.48	101.48	101.48	101.48
IF	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Se(flexible)(mm)	12.69	17.60	9.96	9.41	21.01	13.78
Se(rig)(mm)	11.80	16.36	9.26	8.75	19.54	12.81

Asentamientos, zapatas Vivienda Eloy G Ureta, obtenidos por el método basado en la teoría de Elasticidad

En condiciones parcialmente Succión matricial = 143.88 Kpa $E_s=106.55 \text{ kg/cm}^2$

	1A/1B/ 1D	1C/2C	1E	2A	2B	2D/2E
B(m)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
L(m)	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
Df(m)	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
H(m)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
m'	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
n'	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
A0	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
A1	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
A2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F1	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
F2	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Is	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
q(Kgf/cm2)	0.93	1.29	0.73	0.69	1.54	1.01
α'	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
B'(m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ν'	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Es(kgf/cm2)	106.55	106.55	106.55	106.55	106.55	106.55
IF	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Se(flexible)(mm)	12.08	16.76	9.48	8.96	20.01	13.12
Se(rig)(mm)	11.24	15.59	8.82	8.34	18.61	12.20

A 7. Resumen de resultados de las pruebas de laboratorio GORE

Perforación DDHCIVD-2102	8010008	367447	3	De 3.5m a 12.5m De 12.5m a 18.8m De 18.8m a 24.2m
Calicata CB-01	8009979	367541	1	10.5m

Figura N° 1: Ubicación de los puntos de muestreo en la zona de estudio.



En la presente figura se observa la ubicación de los puntos de muestreo para la ejecución de los ensayos estándares y especiales.

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el servicio de laboratorio de suelos para la elaboración de ensayos estándares y especiales para suelos colapsables.

2.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Realizar los siguientes ensayos estándares y especiales:

Cuadro N° 2: Ensayos a realizar.

ENSAYOS ESTANDAR DE SUELOS			
ITEM	DESCRIPCION	ASTM	CANTIDAD
1	Contenido de humedad	D 2216	6
2	Análisis granulométrico por tamizado	D 422	6
3	Limite liquido	D 4318	6
4	Limite plástico	D 4318	6
5	Clasificación de suelos SUCS	D 2478	6
6	Proctor modificado	D 1557	3
7	Ensayo CBR	D 1883	3
ENSAYOS ESPECIALES PARA CIMENTACIONES			
ITEM	DESCRIPCION	ASTM	CANTIDAD

JONATAN EDILBERTO ROJAS CANAZA
Ingeniero Civil
C.I.P. N° 186048

4 INVESTIGACIONES GEOTECNICAS

4.1 ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS DE LABORATORIO SUELOS COLAPSABLES

Teniendo en consideración las características de las muestras M-01, M-02, M-03, M-04 y M-05 y C-01; se obtuvieron los siguientes resultados de las pruebas de laboratorio.

Cuadro N° 5: Características de las muestras.

MUESTRA	Método de exploración	Profundidad	Peso específico (gr/cm ³)	Densidad Natural (gr/cm ³)	Humedad (%)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Límite Líquido (%)	Clasificación n SUCS	Tipo de muestra
M-01	Perforación DDHCIVD-2101	De 2.8m a 20m	2.088	1.267	0.72	1.258	34.56	SM	Inalterada
M-02		De 20m a 27.8m	2.088	1.275	0.68	1.266	36.04	SM	Inalterada
M-03	Perforación DDHCIVD-2102	De 3.5m a 12.5m	2.500	1.53	0.65	1.52	21.87	SM	Inalterada
M-04		De 12.5m a 18.8m	2.088	1.281	0.75	1.272	35.01	SM	Inalterada
M-05		De 18.8m a 24.2m	2.088	1.187	0.65	1.179	35.01	SM	Inalterada
C-01	CB-01	10.5m	2.088	1.239	0.74	1.23	34.79	SM	Remoldeada

Figura N° 4: Parámetros de Límite Líquido y densidad seca en el gráfico de Holtz y Hilf para las muestras M-01 y M-02.

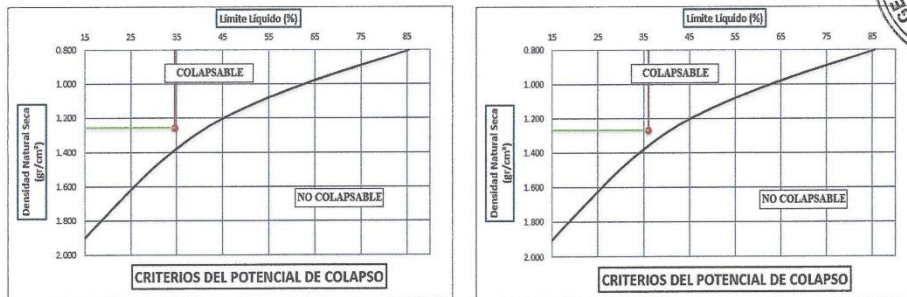
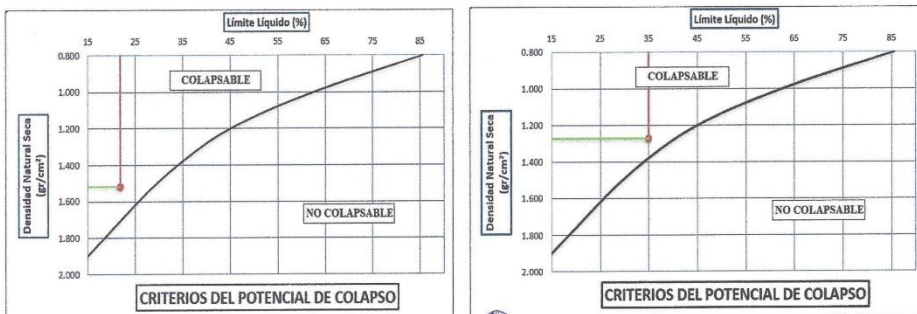
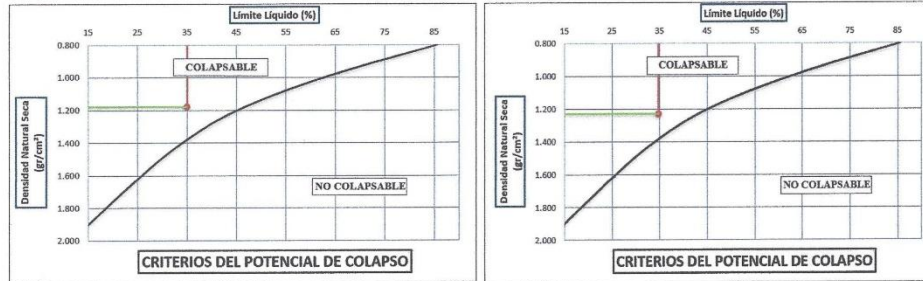


Figura N° 5: Parámetros de Límite Líquido y densidad seca en el gráfico de Holtz y Hilf para las muestras M-03 y M-04.



JONATAN EDILBERTO ROJAS CANAZA
Ingeniero Civil
C.I.P. N° 186048

Figura N° 6: Parámetros de Limite líquido y densidad seca en el gráfico de Holtz y Hilf para las muestras M-05 y C-01



La relación entre los suelos colapsables y no colapsables en función de sus parámetros de límite líquido (LL) y peso volumétrico seco se evaluaron de acuerdo a los criterios de Potencial de colapso según la norma Norma Técnica E.050 "Suelos y Cimentaciones" del R.N.E, capítulo VI Problemas especiales de Cimentación. Evaluando la ubicación de las características de las muestras M-01, M-02, M-03, M-04, M-05 y C-01 en las gráficas propuestas por Holtz y Hilf se observa que todos los puntos se encuentran dentro del parámetro de suelos colapsables.

La norma técnica también indica que el profesional requerido establece la severidad del problema de colapso mediante los siguientes grados de colapso, los suelos dentro de la zona activa de la cimentación no pueden tener un $I_c > 6$ por considerarse un colapso moderadamente severo.



Cuadro N° 6: Clasificación del índice de Colapso.

Ic (%)	Grado de Colapso
0	Ninguno
0.1 a 2.0	Leve
2.1 a 6.0	Moderado
6.1 a 10.0	Moderadamente severo
>10.0	Severo

Cuadro N° 7: Resultados del ensayo de colapso potencial según la norma ASTM D-5333.

MUESTRA	Método de exploración	Profundidad	Carga aplicada (Kg/cm²)	Índice de Colapso Ic (%)	Interpretación
M-01	Perforación	De 2.8m a 20m	2.00	1.25	Leve
M-02	DDHCIVD-2101	De 20m a 27.8m	2.00	1.13	Leve
M-03	Perforación DDHCIVD-2102	De 3.5m a 12.5m	2.00	0.75	Leve
M-04		De 12.5m a 18.8m	2.00	1.30	Leve
M-05		De 18.8m a 24.2m	2.00	1.05	Leve
C-01	CB-01	10.5m	2.00	1.25	Leve

JONATAN EDILBERTO ROJAS CANAZA
 Ingeniero Civil
 C.I.P. N° 186048

Según la clasificación del índice de colapso (Cuadro N° 06) los resultados de los ensayos solicitados a las muestras M-01, M-02, M-03, M-04, M-05 y C-01 sometidos a presión de $2\text{Kg}/\text{cm}^2$, analizadas mediante el ensayo de Colapso Potencial (ASTM D – 5333) define al suelo como "Suelo con grado de colapso leve" ya que la mayoría de los resultados de I_c oscilan entre 1.05% - 1.25% a excepción de la muestra M-04 que arroja menor porcentaje de $I_c=0.75\%$.

5 ENSAYOS DE LABORATORIO

5.1 ENSAYOS ESTANDAR DE SUELOS

5.1.1 CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D 2216)

El contenido de humedad de las muestras está en el rango de 0.63 – 0.78%, lo que significa que las muestras tienen humedad baja.

Cuadro N° 8: Contenido de humedad de las muestras

METODO DE EXPLORACION	COORDENADAS UTM-WGS 84 (19K)		MUESTRA	PROFUNDIDAD	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
	NORTE	ESTE			
Perforación DDHCIVD-2101	8009950	367450	M-01	De 2.8m a 20m	0.76
			M-02	De 20m a 27.8m	0.70
Perforación DDHCIVD-2102	8010008	367447	M-03	De 3.5m a 12.5m	0.63
			M-04	De 12.5m a 18.8m	0.78
			M-05	De 18.8m a 24.2m	0.69
Calicata CB-01	8009979	367541	C-01	10.5m	0.71



Fotografía N° 9: Contenido de humedad (ASTM D 2216) de la muestra CB-01.





PROYECTO: "CREACION DEL ITERCAMBIO VIAL A DESNIVEL EN LA AV JORGE BASADRE GROHMANN, ITERSECCIONES CON AV TARATA E INTERNACIONAL, DISTRITO ALTO DE LA ALIANZA – PROVINCIA DE TACNA – DEPARTAMENTO DE TACNA"



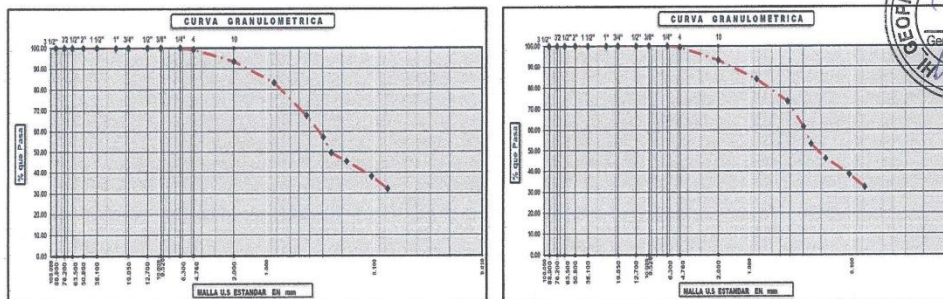
5.1.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D 422)

Del análisis granulométrico realizado se observa que las muestras están en un rango de 0.00 - 0.80% de gravas, 66.58 – 80.16% de arenas y 19.84 - 33.42% de finos y son clasificadas como SM (arena limosa).

Cuadro N° 9: Análisis granulométrico de las muestras

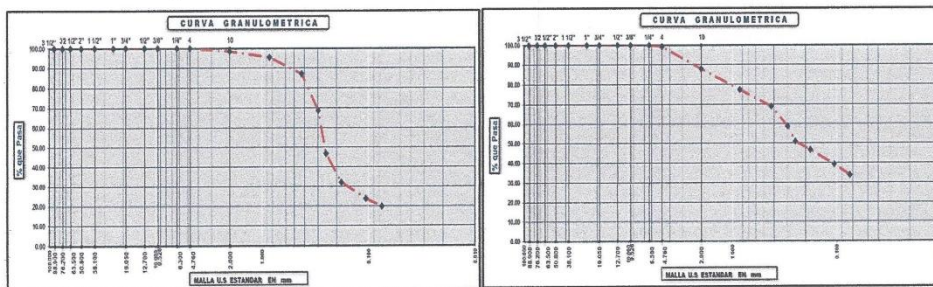
METODO DE EXPLORACION	COORDENADAS UTM-WGS 84 (19K)		MUESTRA	PROFUNDIDAD	GRANULOMETRIA			SUCS
	NORTE	ESTE			% GRAVA	% ARENA	% FINOS	
Perforación DDHCIVD-	8009950	367450	M-01	De 2.8m a 20m	0.80	67.21	31.99	SM
			M-02	De 20m a 27.8m	0.55	67.24	32.21	SM
Perforación DDHCIVD-2102	8010008	367447	M-03	De 3.5m a 12.5m	0.00	80.16	19.84	SM
			M-04	De 12.5m a 18.8m	0.29	68.44	31.27	SM
			M-05	De 18.8m a 24.2m	0.00	67.62	32.38	SM
Calicata CB-01	8009979	367541	C-01	10.5m	0.00	66.58	33.42	SM

Figura N° 7: Granulometría de las muestras M-01 (DDHCIVD-2101) y M-02 (DDHCIVD-2101).



En la figura de la (Izquierda) Curva granulométrica de la muestra M-01 (DDHCIVD-2101) profundidad 2.8m a 20m, (Derecha) Curva granulométrica de la muestra M-02 (DDHCIVD-2101) a una profundidad de 20m a 27.8m.

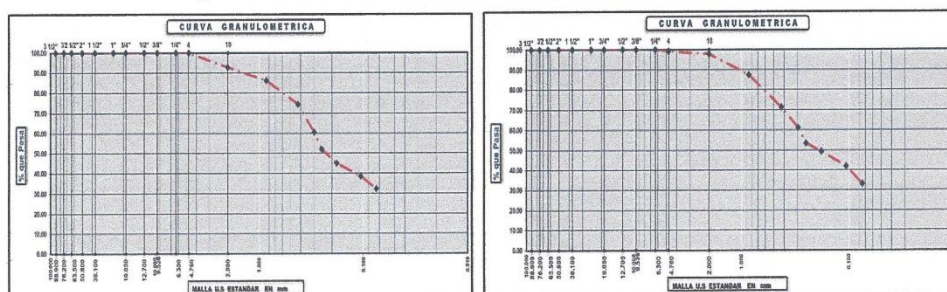
Figura N° 8: Granulometría de las muestras M-03 (DDHCIVD-2102) y M-04 (DDHCIVD-2102)



JRC
JONATAN EDILBERTO ROJAS CANAZA
 Ingeniero Civil
 C.I.P. N° 186048

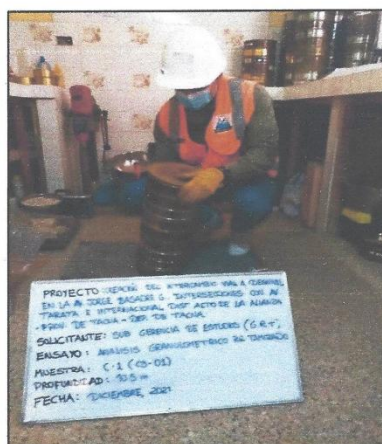
En la figura de la (Izquierda) Curva granulométrica de la muestra M-03 (DDHCIVD-2102) a una profundidad de 3.5m a 12.5m, (Derecha) Curva granulométrica de la muestra M-04 (DDHCIVD-2102) a una profundidad de 12.5m a 18.8m.

Figura N° 9: Granulometría de las muestras M-05 (DDHCIVD-2102) y C-01 (CB-01).



(Izquierda) Curva granulométrica de la muestra M-05 (DDHCIVD-2102) a una profundidad de 18.8m a 24.2m. (Derecha) Curva granulométrica de la muestra C-01 (CB-01)

Fotografía N° 10: Análisis granulométrico (ASTM D 422) de la muestra CB-01.



5.1.3 LÍMITES ATTERBERG (ASTM D 4318)

Las muestras analizadas presentan rangos de 34.56-36.04% para el límite líquido y 20.50-35.07% para límite plástico a excepción de la muestra M-03 que tiene valores de 21.83% y 20.5% respectivamente, con respecto al índice de plasticidad presentan rangos de 0.91-1.37%, según el cuadro N° 8, el suelo presenta una plasticidad baja ya que su índice de plasticidad máximo es de 1.37%.

Cuadro N° 10: Limites de consistencia de las muestras

METODO DE EXPLORACION	COORDENADAS UTM-WGS 84 (19K)		MUESTRA	PROFUNDIDAD	LIMITES		
	NORTE	ESTE			LL	LP	IP
Perforación DDHCIVD-2101	8009950	367450	M-01	De 2.8m a 20m	34.56	33.58	0.98
			M-02	De 20m a 27.8m	36.04	35.07	0.97
Perforación DDHCIVD-2102	8010008	367447	M-03	De 3.5m a 12.5m	21.83	20.50	1.33
			M-04	De 12.5m a 18.8m	35.01	34.09	0.91
			M-05	De 18.8m a 24.2m	35.57	34.38	1.19
Calicata CB-01	8009979	367541	C-01	10.5m	34.79	33.76	1.04

Cuadro N° 11: Calificación de suelos según el Índice de Plasticidad

Índice de plasticidad	Plasticidad	Característica
IP>20	Alta	Suelos muy arcillosos
7<IP≤20	Media	Suelos arcillosos
IP<7	Baja	Suelos poco arcillosos
IP=0	No plástico (N.P.)	Suelos exentos de arcillas

FUENTE: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos, Sección suelos y pavimentos MTC-2013



Fotografía N° 11: Límite de Atterberg - Limite Líquido (ASTM D 4318) de la muestra CB-01.



JONATAN EDILBERTO ROJAS CANAZA
 Ingeniero Civil
 C.I.P. N° 186048

Fotografía N° 12: Límite de Atterberg - Límite Plástico (ASTM D 4318) de la muestra CB-01.



5.1.4 PROCTOR MODIFICADO (ASTM D 1557)

El ensayo de Proctor Modificado realizado a tres (3) muestras presentan valores de D. MAX. que oscilan entre 1.293 gr/cm³ a 1.398 gr/cm³ y los resultados para el O.C.H. oscilan entre 21.26% a 21.84%.



Cuadro N° 12: Resultados del ensayo de Proctor Modificado

METODO DE EXPLORACION	COORDENADAS UTM- WGS 84 (19K)		MUESTRA	PROFUNDIDAD	PROCTOR MODIFICADO	
	NORTE	ESTE			D. MAX (gr/cm ³)	% O.C.H.
Perforación DDHCIVD-2101	8009950	367450	M-01	De 2.8m a 20m	1.383	21.78
			M-02	De 20m a 27.8m	-	-
Perforación DDHCIVD-2102	8010008	367447	M-03	De 3.5m a 12.5m	-	-
			M-04	De 12.5m a 18.8m	1.293	21.26
			M-05	De 18.8m a 24.2m	-	-
Calicata CB-01	8009979	367541	C-01	10.5m	1.398	21.84

Cuadro N° 15: Datos utilizados para el ensayo de triaxial consolidado no drenado (CU)

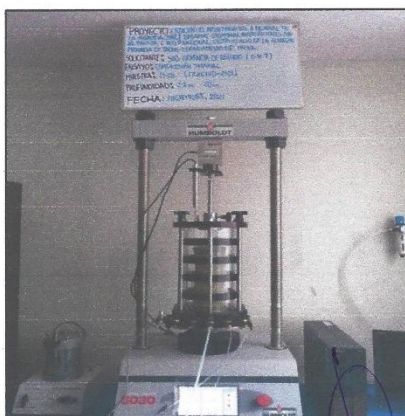
METODO DE EXPLORACION	COORDENADAS UTM-WGS 84 (19K)		MUESTRA	PROFUNDIDAD	CLASIFICACION SUCS	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD IN SITU	
	NORTE	ESTE					NATURAL (gr/cm ³)	SECA (gr/cm ³)
Perforación DDHCIVD-2101	8009950	367450	M-01	De 2.8m a 20m	SM	0.71	1.267	1.258
			M-02	De 20m a 27.8m	SM	0.71	1.275	1.266
Perforación DDHCIVD-2102	8010008	367447	M-03	De 3.5m a 12.5m	SM	0.60	1.530	1.520
			M-04	De 12.5m a 18.8m	SM	0.75	1.278	1.268
			M-05	De 18.8m a 24.2m	SM	0.64	1.182	1.174
Calicata CB-01	8009979	367541	C-01	10.5m	SM	0.80	1.239	1.230

los resultados se muestran en el siguiente Cuadro.

Cuadro N° 16: Resultados del ensayo de triaxial consolidado no drenado (CU)

METODO DE EXPLORACION	COORDENADAS UTM-WGS 84 (19K)		MUESTRA	PROFUNDIDAD	CLASIFICACION SUCS	TRIAIXIAL CU	
	NORTE	ESTE				ANGULO DE FRICCION (°)	COHESION (kg/cm ²)
Perforación DDHCIVD-2101	8009950	367450	M-01	De 2.8m a 20m	SM	27.090	0.073
			M-02	De 20m a 27.8m	SM	26.860	0.084
Perforación DDHCIVD-2102	8010008	367447	M-03	De 3.5m a 12.5m	SM	26.580	0.116
			M-04	De 12.5m a 18.8m	SM	27.280	0.070
			M-05	De 18.8m a 24.2m	SM	26.770	0.091
Calicata CB-01	8009979	367541	C-01	10.5m	SM	26.910	0.081

Fotografía N° 15: Ensayo triaxial Consolidado No drenado CU de la muestra M-01 (DDHCIVD-2101)



Página 21 de 32

5.2.2 POTENCIAL DE COLAPSO (ASTM D 5333)

Para clasificar el potencial de colapso se toma como referencia la Tabla N°10 de la Norma Técnica E.050 Suelos y Cimentaciones 2018. (ver Cuadro N°14)

Cuadro N° 17: Tabla de clasificación del Índice de colapso

CLASIFICACION DEL INDICE DE COLAPSO I _c	
Grado de Colapso	Índice de Colapso I _c (%)
Ninguno	0
Leve	0.1 a 2.0
Moderado	2.1 a 6.0
Moderado severo	6.1 a 10.0
Severo	>10.0

Fuente: Tabla N°10 de la Norma Técnica E.050 Suelos y Cimentaciones 2018

Se realizó el ensayo a las muestras otorgadas por la sub gerencia de estudios del Gobierno Regional de Tacna. Las características de las muestras se aprecian a continuación:

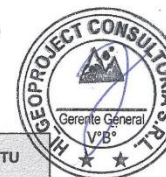
Cuadro N° 18: Datos utilizados para el ensayo de Colapso

METODO DE EXPLORACION	COORDENADAS UTM-WGS 84 (19K)		MUESTRA	PROFUNDIDAD	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD IN SITU	
	NORTE	ESTE				NATURAL (gr/cm3)	SECA (gr/cm3)
Perforación DDHCIVD-2101	8009950	367450	M-01	De 2.8m a 20m	0.72	1.269	1.260
			M-02	De 20m a 27.8m	0.68	1.273	1.264
Perforación DDHCIVD-2102	8010008	367447	M-03	De 3.5m a 12.5m	0.65	1.527	1.517
			M-04	De 12.5m a 18.8m	0.75	1.281	1.268
			M-05	De 18.8m a 24.2m	0.65	1.187	1.179
Calicata CB-01	8009979	367541	C-01	10.5m	0.74	1.234	1.224

Los resultados se muestran en el siguiente Cuadro:

Página 22 de 32



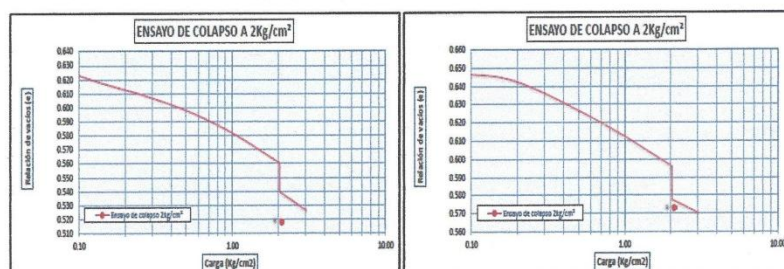



Cuadro N° 19: Resultados del ensayo de Colapso

METODO DE EXPLORACION	COORDENADAS UTM-WGS 84 (19K)		MUESTRA	PROFUNDIDAD	INDICE DE COLAPSO I_c (%)	GRADO DE COLAPSO
	NORTE	ESTE				
Perforación DDHCIVD-2101	8009950	367450	M-01	De 2.8m a 20m	1.25	Leve
			M-02	De 20m a 27.8m	1.13	Leve
Perforación DDHCIVD-2102	8010008	367447	M-03	De 3.5m a 12.5m	0.75	Leve
			M-04	De 12.5m a 18.8m	1.30	Leve
			M-05	De 18.8m a 24.2m	1.05	Leve
Calicata CB-01	8009979	367541	C-01	10.5m	1.25	Leve

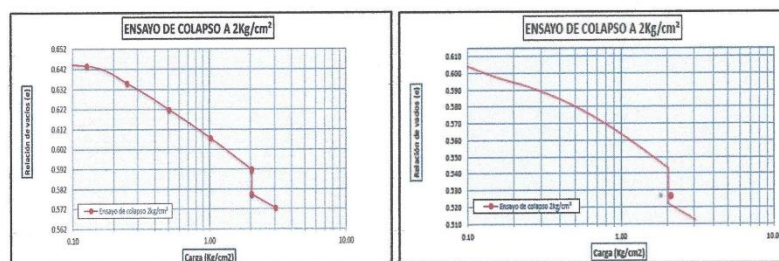
A continuación, se presenta las siguientes curvas resultantes del ensayo de Colapso:

Figura N° 10: Prueba de colapso para la muestra M-01 (DDHCIVD-2101) y M-02 (DDHCIVD-2101)



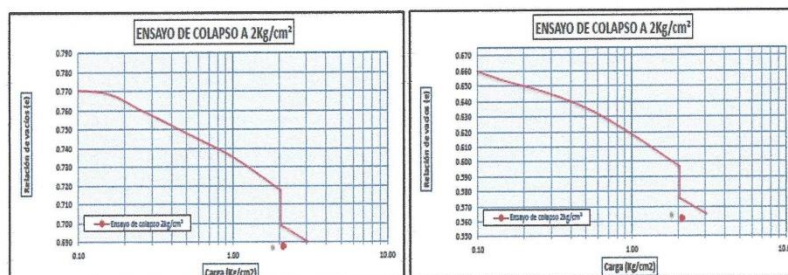
(Izquierda) Curva de Esfuerzo vs Deformación de la muestra M-01 (DDHCIVD-2101) a una profundidad de 2.8m a 20m., (Derecha) Curva de Esfuerzo vs Deformación de la muestra M-02 (DDHCIVD-2101) a una profundidad de 20m a 27.8m.

Figura N° 11: Prueba de colapso para la muestra M-03 (DDHCIVD-2102) y M-04 (DDHCIVD-2101)



(Izquierda) Curva de Esfuerzo vs Deformación de la muestra M-03 (DDHCIVD-2102) a una profundidad de 3.5m a 12.5m, (Derecha) Curva de Esfuerzo vs Deformación de la muestra M-04 (DDHCIVD-2102) a una profundidad de 12.5m a 18.8m.

Figura N° 12: Prueba de colapso para la muestra M-05 (DDHCIVD-2102) y C-01 (DDHCIVD-2101)



(Izquierda) Curva de Esfuerzo vs Deformación de la muestra M-05 (DDHCIVD-2102) a una profundidad de 18.8m a 24.2m. (Derecha) Curva de Esfuerzo vs Deformación de la muestra C-01 (CB-01).

Fotografía N° 16: Ensayo de Colapso (Método A) (ASTM D 5333) de la muestra C-01 (CB-01).




5.2.3 CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL (ASTM D 2435)

Se realizó el ensayo a las muestras otorgadas por la sub gerencia de estudios del Gobierno Regional de Tacna. Las características de las muestras se aprecian a continuación:

Cuadro N° 20: Datos utilizados para el ensayo de Consolidación

METODO DE EXPLORACION	COORDENADAS UTM- WGS 84 (19K)		MUESTRA	PROFUNDIDAD	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD IN SITU	
	NORTE	ESTE				NATURAL (gr/cm ³)	SECA (gr/cm ³)
Perforación DDHCIVD-2101	8009950	367450	M-01	De 2.8m a 20m	0.85	1.265	1.254
			M-02	De 20m a 27.8m	0.65	1.274	1.266
Perforación DDHCIVD-2102	8010008	367447	M-03	De 3.5m a 12.5m	0.68	1.533	1.523
			M-04	De 12.5m a 18.8m	0.78	1.274	1.264
			M-05	De 18.8m a 24.2m	0.79	1.141	1.132
Calicata CB-01	8009979	367541	C-01	10.5m	0.80	1.298	1.287

Página 24 de 32



JONATAN EDILBERTO ROJAS CANAZA
 Ingeniero Civil
 C.I.P. N° 186043



PROYECTO: "CREACION DEL ITERCAMBIO VIAL A DESNIVEL EN LA AV JORGE BASADRE GROHMANN, INTERSECCIONES CON AV TARATA E INTERNACIONAL, DISTRITO ALTO DE LA AJUANZA - PROVINCIA DE TACNA - DEPARTAMENTO DE TACNA"

los resultados se muestran en el siguiente Cuadro.

Cuadro N° 21: Resultados del ensayo de Consolidación

MET. DE EXPLORACION	COORDENADAS UTM-WGS 84 (19K)		MUESTRA	PROFUND.	CONSOLIDACION							
	NORTE	ESTE			Esfuerzo vertical (kPa)	Esfuerzo vertical (kg/cm²)	Cv (cm²/seg)	Cc (cm²/seg)	Cs (cm²/seg)	Carga Inducida (kg/cm²)	Espesor analizado (m)	Asentamiento (cm)
Perforación DDHCVD-2101	8009950	367450	M-01	De 2.8m a 20m	1.020	0.000132	0.04623	N.P.	3.000	17.200	22.200	490.00
					2.040	0.000126						
					3.060	0.000113						
					6.120	0.000091						
					1.020	0.000107						
Perforación DDHCVD-2102	8010008	367447	M-02	De 20m a 27.8m	2.040	0.000098	0.07205	N.P.	3.000	7.800	9.850	485.00
					3.060	0.000092						
					6.120	0.000087						
					1.020	0.000827						
					2.040	0.002862						
Perforación DDHCVD-2102	8010008	367447	M-03	De 3.5m a 12.5m	3.060	0.001714	0.01127	N.P.	3.000	9.000	3.310	485.00
					6.120	0.002112						
					1.020	0.000123						
					2.040	0.000118						
					3.060	0.000113						
Calicata CB-01	8009979	367541	C-01	De 12.5m a 18.8m	6.120	0.000096	0.06167	N.P.	3.000	6.300	8.470	480.00
					1.020	0.000150						
					2.040	0.000143						
					3.060	0.000136						
					6.120	0.000125						
Calicata CB-01	8009979	367541	C-01	De 18.8m a 24.2m	1.020	0.000149	0.06414	N.P.	3.000	5.400	5.590	485.00
					2.040	0.000136						
					3.060	0.000121						
					6.120	0.000102						
					1.020	0.000136	0.02722	N.P.	3.000	10.500	13.200	480.00



000194





PROYECTO: "CREACION DEL ITERCAMBIO VIAL A DESNIVEL EN LA AV JORGE BASADRE GROHMANN, ITERSECCIONES CON AV TARATA E INTERNACIONAL, DISTRITO ALTO DE LA ALIANZA – PROVINCIA DE TACNA – DEPARTAMENTO DE TACNA"



Figura N° 13: Lectura del Dial vs Logaritmo del tiempo – 600 Kpa de la muestra C-01 (CB-01).

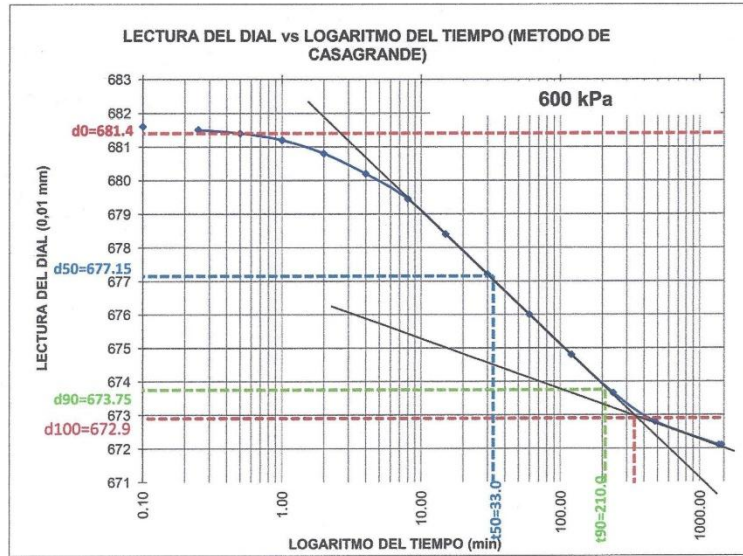
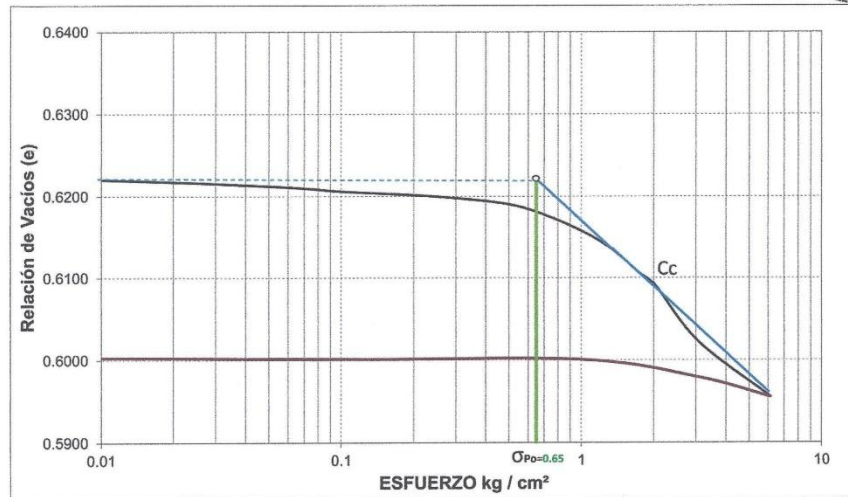


Figura N° 14: Determinación de Cs y Cc de la muestra C-01 (CB-01).



JONATAN EDUARDO ROJAS CANAZA
 Ingeniero Civil
 C.I.P. N° 186048

Fotografía N° 17: Ensayo de Consolidación de la muestra M-01 (DDHCIVD-2101).



Fotografía N° 18: Ensayo de Consolidación (ASTM D 2435) de la muestra C-01 (CB-01).



5.2.4 PESO UNITARIO DE SUELO (NLT-204)

Se ha desarrollado el ensayo de peso unitario del suelo para las muestras entregadas al laboratorio, se obtuvo resultados de valores máximos correspondientes a la muestra M-03 el cual posee una densidad mínima de 1.492 y resultados mínimos correspondientes a la muestra M-05 con una densidad mínima de 0.795.

Cuadro N° 22: Resultados para el ensayo de Peso unitario del suelo

METODO DE EXPLORACION	COORDENADAS UTM-WGS 84 (19K)		MUESTRA	PROFUNDIDAD	PESO UNITARIO (gr/cm3)
	NORTE	ESTE			
Perforación DDHCIVD-2101	8009950	367450	M-01	De 2.8m a 20m	0.876
			M-02	De 20m a 27.8m	0.838
Perforación DDHCIVD-2102	8010008	367447	M-03	De 3.5m a 12.5m	1.492
			M-04	De 12.5m a 18.8m	0.837
			M-05	De 18.8m a 24.2m	0.795
Calicata CB-01	8009979	367541	C-01	10.5m	0.830




JONATAN EDIBERTO ROJAS CANAZA
 Ingeniero Civil
 C.I.P. N° 186048



PROYECTO: "CREACION DEL ITERCAMBIO VIAL A DESNIVEL EN LA AV JORGE BASADRE GROHMANN, ITERSECCIONES CON AV TARATA E INTERNACIONAL, DISTRITO ALTO DE LA ALIANZA – PROVINCIA DE TACNA – DEPARTAMENTO DE TACNA"



Fotografía N° 19: Ensayo de Peso unitario del suelo de la muestra M-02 (DDHCIVD-2101).



5.3 ANALISIS QUIMICO DE SUELOS (MTC E 219, ASTM D 516, ASTM D 512)

Los ensayos de análisis químico del suelo para las muestras presentan valores de Sales solubles Totales que oscilan entre 1530 a 1540 p.p.m., para Contenido de Cloruros valores entre 480 a 490 p.p.m. y para el Contenido de Sulfatos valores entre 972 a 985 p.p.m., siendo su grado de alteración leve. (Ver Cuadro N°20).

Cuadro N° 23: Límites permisibles de sales solubles totales, cloruros y sulfatos en los suelos recomendados por la ACI 318-14

ELEMENTOS QUÍMICOS	P.P.M.	GRADO DE ALTERACIÓN	OBSERVACIONES
Sulfatos	0-1000	Leve	Ocasiona un ataque químico al concreto de la cimentación.
	1000-2000	Moderado	
	2000-20000	Severo	
	> 20000	Muy Severo	
Cloruros	> 6000	Perjudicial	Ocasiona problemas de corrosión de armaduras o elementos.
Sales Solubles Totales	> 15000	Perjudicial	Ocasiona problemas de pérdida de resistencia mecánica por problemas de lixiviación.

Fuente: Comité ACI 318-14

Cuadro N° 24: Resultados de Análisis Químico

METODO DE EXPLORACION	COORDENADAS UTM-WGS 84 (19K)		MUESTRA	PROFUNDIDAD	ANALISIS QUIMICO		
	NORTE	ESTE			SALES SOLUBLES TOTALES (p.p.m)	CLORUROS (p.p.m)	SULFATOS (p.p.m)
Perforación DDHCIVD-2101	8009950	367450	M-01	De 2.8m a 20m	1536.00	490.00	980.00
			M-02	De 20m a 27.8m	1530.00	485.00	975.00

JONATAN EDULBERTO ROJAS CANAZA
Ingeniero Civil
C.I.P. N° 186048

Página 28 de 32

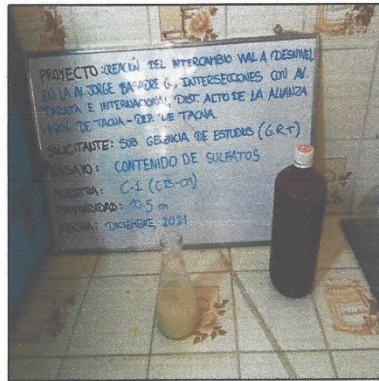


PROYECTO: "CREACION DEL ITERCAMBIO VIAL A DESNIVEL EN LA AV JORGE BASADRE GROHMANN, ITERSECCIONES CON AV TARATA E INTERNACIONAL, DISTRITO ALTO DE LA ALIANZA - PROVINCIA DE TACNA - DEPARTAMENTO DE TACNA"

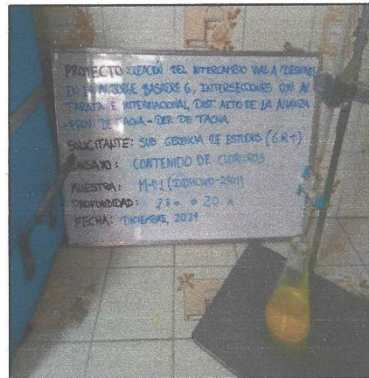


Perforación DDHCIVD-2102	8010008	367447	M-03	De 3.5m a 12.5m	1535.00	485.00	980.00
			M-04	De 12.5m a 18.8m	1540.00	480.00	985.00
			M-05	De 18.8m a 24.2m	1538.00	485.00	972.00
Calicata CB-01	8009979	367541	C-01	10.5m	1535.00	480.00	980.00

Fotografía N° 20: Análisis Químico – Contenido de sulfatos (ASTM D 516) para la muestra CB-01.



Fotografía N° 21: Análisis Químico – Contenido de cloruros de la muestra M-01 (DDHCIVD-2101)




JONATAN EDILBERTO ROJAS CANAZA
 Ingeniero Civil
 C.I.P. N° 186048

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Con los resultados obtenidos de los ensayos estándar de suelos realizados a las muestras M-01, M-02, M-03, M-04, M-05 y C-01 (ensayo de análisis granulométrico, límite de Atterberg y contenido de humedad) se clasificaron los suelos según el Sistema de Clasificación S.U.C.S., se presentan en el siguiente Cuadro.

MUESTRA	CODIGO	COORDENADAS UTM WGS-84		PROF. (m)	HUMEDAD %	ANALISI GRANULOMETRICO			LIMITES DE ATTERBERG			S.U.C.S
		ESTE	NORTE			GRAVA %	ARENA %	LIMO %	L.L. %	L.P. %	I.P. %	
M-01	DDHCIVD-2101	367450	8009950	2.8 - 20.0	0.76	0.8	67.21	31.99	34.56	33.58	0.98	SM
M-02	DDHCIVD-2101	367450	8009950	20.0 - 27.8	0.7	0.55	67.24	32.21	36.04	35.07	0.97	SM
M-03	DDHCIVD-2102	367447	8010008	3.5 - 12.5	0.63	0	80.16	19.84	21.83	20.5	1.33	SM
M-04	DDHCIVD-2102	367447	8010008	12.5 - 18.8	0.78	0.29	68.44	31.27	35.01	34.09	0.91	SM
M-05	DDHCIVD-2102	367447	8010008	18.8 - 24.2	0.69	0	67.62	32.38	35.57	34.38	1.19	SM
C-01	CB-01	367541	8009979	10.5	0.71	0	66.58	33.42	34.79	33.76	1.04	SM

- Los ensayos de CBR solicitados para las muestras M-1, M-04 y C-01 presentaron al 100% de su máxima densidad seca para penetración 1" valores entre 13.10 a 14.00 y para penetración 2" valores de 19.40 y 20.00. Pero para el 95% de su máxima densidad seca a una penetración 1" los valores oscilan entre 8.30 a 9.20 y para penetración 2" valores de 14.60 y 15.40; por lo que, según el Manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos: Suelos y Pavimentos se categoriza un valor de CBR > 6% y CBR < 10% como sub rasante regular.

METODO DE EXPLORACION	COORDENADAS UTM-WGS 84 (19K)		MUESTRA	PROFUNDIDAD	CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)			
	NORTE	ESTE			100 MDS		95 MDS	
					1"	2"	1"	2"
Perforación DDHCIVD-2101	8009950	367450	M-01	De 2.8m a 20m	14	20	9.2	15.4
Perforación DDHCIVD-2102	8010008	367447	M-04	De 12.5m a 18.8m	13.1	19.4	8.4	14.6
Calicata CB-01	8009979	367541	C-01	10.5m	13.2	19.4	8.3	14.6

- Los resultados de Análisis químico a las muestras M-01, M-02, M-03, M-04, M-05 y C-01 arrojaron valores de contenido de sulfatos solubles en Suelos (NTP 339.178) que oscilan


JONATAN EDILBERTO ROJAS CANAZA
 Ingeniero Civil
 C.I.P. N° 186048

entre 972.00 ppm – 985.00 lo que indica que los suelos tienen un grado de alteración leve por ataque de sulfatos; el contenido de Cloruros Solubles en Suelos (NTP 339.177) los resultados obtenidos oscilan entre 480.00 ppm – 490.00 ppm lo que indica que los suelos son No Perjudicial, el contenido de Sales Solubles Totales en Suelos (NTP 339.152) los resultados oscilan entre 1530.00 ppm a 1540.00 ppm respectivamente, indica que los suelos son No Perjudicial.

- Se ejecutaron seis (06) ensayos de colapso potencial según la norma ASTM D-5333 a las muestras M-01, M-02, M-03, M-04, M-05 y C-01 sometidos a una presión de 2Kg/cm² y según los rangos establecidos por la Norma Técnica E.050 "Suelos y Cimentaciones" del R.N.E. el promedio de los resultados de I_c oscilan entre 0.75% a 1.25% definiendo al suelo como "Suelo con grado de colapso leve"

MUESTRA	Método de exploración	Profundidad	Carga aplicada (Kg/cm ²)	Índice de Colapso I_c (%)	Interpretación
M-01	Perforación DDHCIVD-2101	De 2.8m a 20m	2.00	1.25	Leve
M-02		De 20m a 27.8m	2.00	1.13	Leve
M-03	Perforación DDHCIVD-2102	De 3.5m a 12.5m	2.00	0.75	Leve
M-04		De 12.5m a 18.8m	2.00	1.30	Leve
M-05		De 18.8m a 24.2m	2.00	1.05	Leve
C-01	CB-01	10.5m	2.00	1.25	Leve

- Según el Artículo 35 del Capítulo VI PROBLEMAS ESPECIALES DE CIMENTACIÓN, de la Norma Técnica E.050 "Suelos y Cimentaciones" del R.N.E. se considera los criterios de Potencial de colapso (Gráfico Holtz y Hilf), el cual muestra la relación entre suelos colapsables y no colapsables en función de los parámetros de Límite Líquido (LL) y densidad natural seca. Se usaron estos criterios para las muestras analizadas dando como resultado "Suelo colapsable"
- Las muestras ensayadas de las perforaciones DDHCIVD-2101 y DDHCIVD-2102 y la calicata CB-01 (C-01); presentan un coeficiente de consolidación C_v50 que varía de 1.07×10^{-4} cm²/seg a 1.50×10^{-4} cm²/seg, a una presión de 1kg/cm², corresponden a una arena limosa de origen volcánico (tobas) a excepción de la muestra M-03 perteneciente a la perforación DDHCIVD-2102, cuyo coeficiente de consolidación C_v50 es de 3.83×10^{-3} cm²/seg, corresponde a una arena limosa de origen sedimentario. Esta variación se debe al origen del suelo de las muestras analizadas. Los asentamientos producidos por diferentes cargas inducidas en el suelo de arena limosa (M-03) son menores respecto a los asentamientos en los suelos de arena limosa (M-01, M-02, M-04, M-05 y C-01), esto se puede atribuir al origen de los suelos.
- En la muestra M-03, la curva (Lectura del dial vs Logaritmo del tiempo) se describe irregularmente con una tendencia recta, la cual dificulta la estimación gráfica del 100% de la consolidación, la expulsión del agua durante el ensayo es más rápida en éste tipo de suelo.





PROYECTO: "CREACIÓN DEL INTERCAMBIO VIAL A DESNIVEL EN LA AV JORGE BASADRE GROHMANN, ITERSECCIONES CON AV TARATA E INTERNACIONAL, DISTRITO ALTO DE LA ALIANZA – PROVINCIA DE TACNA – DEPARTAMENTO DE TACNA"


- Según el Ensayo Triaxial "CU" realizado a las muestras de las perforaciones DDHCIVD-2101 y DDHCIVD-2102 y la calicata CB-01 (C-01), dieron como resultado valores de ángulo de fricción que oscilan entre 26.58° a 27.28° y la cohesión oscila entre 0.070 kg/cm² a 0.116 kg/cm².

6.2 RECOMENDACIONES


- Se debe tener en cuenta que los resultados de laboratorio de índice de colapso (I_c) obtenidos de los ensayos de colapso potencial a las muestras analizadas tienen un grado de colapso leve, si llegara a ser un grado de colapso moderado se deberá proceder con el retiro del suelo antes de iniciar las obras de construcción y reemplazarlo por un relleno controlado, compactado adecuadamente de acuerdo a la norma.
- Se debe tener en consideración los resultados de los ensayos de California Bearing Ratio (CBR) que al 95% de su máxima densidad seca a una penetración 1" los valores oscilan entre 8.30 a 9.20 por lo que se recomienda realizar un mejoramiento del terreno con un estabilizador o reemplazo de material.
- ✓ El suelo al poseer valores permisibles en su análisis químico de sales, sulfatos y cloruros, se recomienda utilizar un cemento tipo I, por no presentar propiedades especiales que afecten al concreto.

Página 32 de 32

JONATAN EDILBERTO ROJAS CANAZA
Ingeniero Civil
C.I.P. N° 186048




REGIÓN TACNA
Autoridad Regional de Gobierno



HI GEOPROJECT CONSULTORIA S.R.L.
Área de Laboratorio y Control de Calidad
RUC. N° 20532715882
Dirección: Av. Señor de los Milagros A-15 Tacna

ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD
ASTM D-2216-92

PROYECTO		UBICACIÓN		INDICACION	
CREACION DEL INTERCAMBIO VIAL A DESNIVEL EN LA AV. JORGE BASAPRE GROMANN, INTERSECCIONES CON AV. TARATA E INTERNACIONAL DISTRITO ALTO DE LA ALIANZA - PROVINCIA DE TACNA - DEPARTAMENTO DE TACNA		DIST. ALTO DE LA ALIANZA, PROV. DE TACNA - DEPART. DE TACNA		DICIEMBRE, 2021	
EJECUTA		SONDAJE		FECHA DE EJECUCIÓN	
HI GEOPROJECT CONSULTORIA S.R.L.					
CLIENTE		UNIDAD		PERFORACIONES Y CALICATA	
SUB GERENCIA DE ESTUDIOS (GOBIERNO REGIONAL DE TACNA)		M-05 (Perforación: 2100) de 20 m a 27.8 m	M-05 (Perforación: 2100) de 20 m a 27.8 m	M-05 (Perforación: 2100) de 18.9 a 24.2 m	M-05 (Perforación: 2100) de 18.9 a 24.2 m
DESCRIPCIÓN		UNIDAD		PERFORACIONES Y CALICATA	
HUMEDAD ASTM D 2216 - 92					
1	TARA Nº	A-2	B-2	C-3	F-4
2	PESO DE LA TARA	95.10	105.30	99.30	95.90
3	PESO SUELO HUMEDO + TARA	247.65	257.83	251.01	257.65
4	PESO SUELO SECO + TARA	246.50	256.77	250.06	256.40
5	PESO DEL AGUA	1.15	1.06	0.95	1.25
6	PESO DEL SUELO SECO	151.40	151.47	150.76	150.70
7	CONTENIDO DE HUMEDAD	0.76	0.70	0.63	0.78
					0.69
					0.71




JONATHAN GUILLERMO ROJAS CANAZA
 Ingeniero Civil
 C.I.P. N° 186048


HI GEOPROJECT CONSULTORIA S.R.L.
 Ingeniería y Control de la Construcción y Alrededores
 Ing. Lab. JOSE IGNACIO GUISEP MATYA



HI GEOPROJECT CONSULTORIA S.R.L.
 Área de Laboratorio y Control de Calidad
 Av. Los Andes s/n. - San Miguelito - Trujillo
 Dirección: Asoc. Señor de los Milagros A-15 Trujillo

CUADRO RESUMEN DE ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS



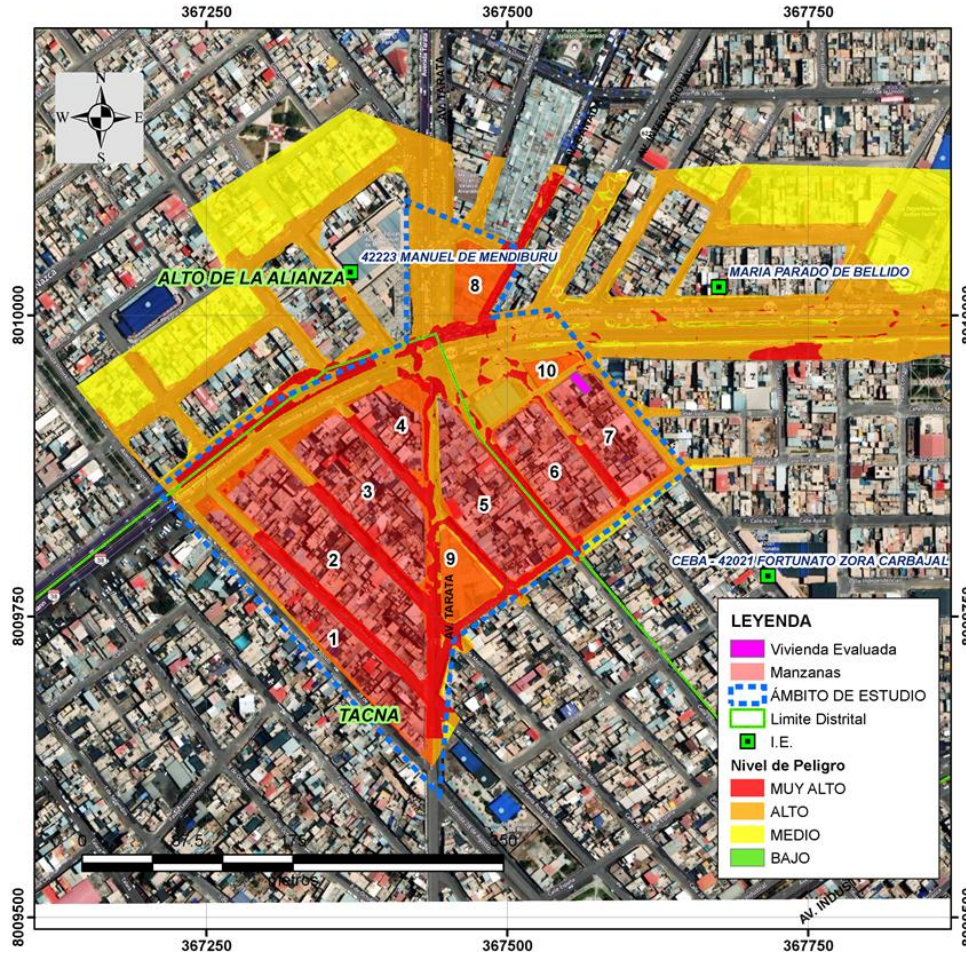
PROYECTO: CREACION DEL INTERCAMBIO VIAL A SERVIDOS EN LA ZONA DE ENSAYOS GEOTECNICOS COMAY TAMAYA
 UBICACIÓN: DISTRITO DE LA ALAMANDA, PROV. DE TACNA, DEPART. DE TACNA
 EMPRESA: HI GEOPROJECT CONSULTORIA S.R.L.
 MUESTRA: MUESTRAS DE ESTUDIO 001
 INGENIERO: IGNACIO QUISEPPE MAYTA
 FECHA: DICIEMBRE 2021

MUESTRA	CODIGO	IDENTIFICACION		CONTENIDO	ANALISIS QUIMICO		LÍMITES DE ATTERRIDO		PREDICCIÓN		MÓDULO ELÁSTICO		MÓDULO DE COMPRESIÓN		MÓDULO DE DEFORMACIÓN		MÓDULO DE RESISTENCIA		MÓDULO DE RESISTENCIA		MÓDULO DE RESISTENCIA		MÓDULO DE RESISTENCIA		
		ESTRATO	PROFUNDIDAD		MOISTUREDA	GRAVA %	ARENA %	LÍMITE LÍQUIDO %	LÍMITE PLÁSTICO %	INDICE DE FLUIDEZ %	INDICE DE CONSOLIDACIÓN %	INDICE DE COMPRESIÓN %	INDICE DE DEFORMACIÓN %	INDICE DE RESISTENCIA %	INDICE DE RESISTENCIA %	INDICE DE RESISTENCIA %	INDICE DE RESISTENCIA %	INDICE DE RESISTENCIA %	INDICE DE RESISTENCIA %	INDICE DE RESISTENCIA %	INDICE DE RESISTENCIA %	INDICE DE RESISTENCIA %	INDICE DE RESISTENCIA %	INDICE DE RESISTENCIA %	INDICE DE RESISTENCIA %
M-01	DPHCHO-0101	387450	000000	2.8 - 20.0	0.76	67.21	31.99	34.56	33.56	0.68	1.303	21.790	0.676	14.000	30.000	8.300	15.400	27.500	0.073	1.250	Leve	460.00	590.00	1030.00	EM
M-02	DPHCHO-0101	387450	000000	20.0 - 27.8	0.70	67.24	32.21	36.04	36.07	0.97	-	0.838	-	-	-	-	-	26.862	0.084	1.130	Leve	460.00	570.00	1000.00	EM
M-03	DPHCHO-0102	387447	000000	3.5 - 12.8	0.63	80.18	18.84	21.83	20.90	1.13	-	1.462	-	-	-	-	-	26.990	0.116	0.700	Leve	460.00	580.00	1030.00	EM
M-04	DPHCHO-0102	387447	000000	12.5 - 18.8	0.76	66.44	31.27	35.01	34.09	0.91	1.203	21.260	0.687	13.100	16.600	8.400	14.800	27.500	0.076	1.000	Leve	460.00	590.00	1040.00	EM
M-05	DPHCHO-0102	387447	000000	18.5 - 24.2	0.69	67.62	32.38	35.67	34.39	1.19	-	0.795	-	-	-	-	-	26.770	0.091	1.090	Leve	460.00	572.00	1030.00	EM
C-01	CB-01	387541	000000	10.90	0.71	66.58	33.42	34.79	33.76	1.04	1.308	21.840	0.650	13.200	16.400	8.300	14.800	26.910	0.081	1.200	Leve	460.00	580.00	1030.00	EM

HI GEOPROJECT CONSULTORIA S.R.L.
 Ingenieros Consultores para la Construcción y Minería
 Ing. JOSÉ IGNACIO QUISEPPE MAYTA
 Tec. Lab. JOSÉ IGNACIO QUISEPPE MAYTA

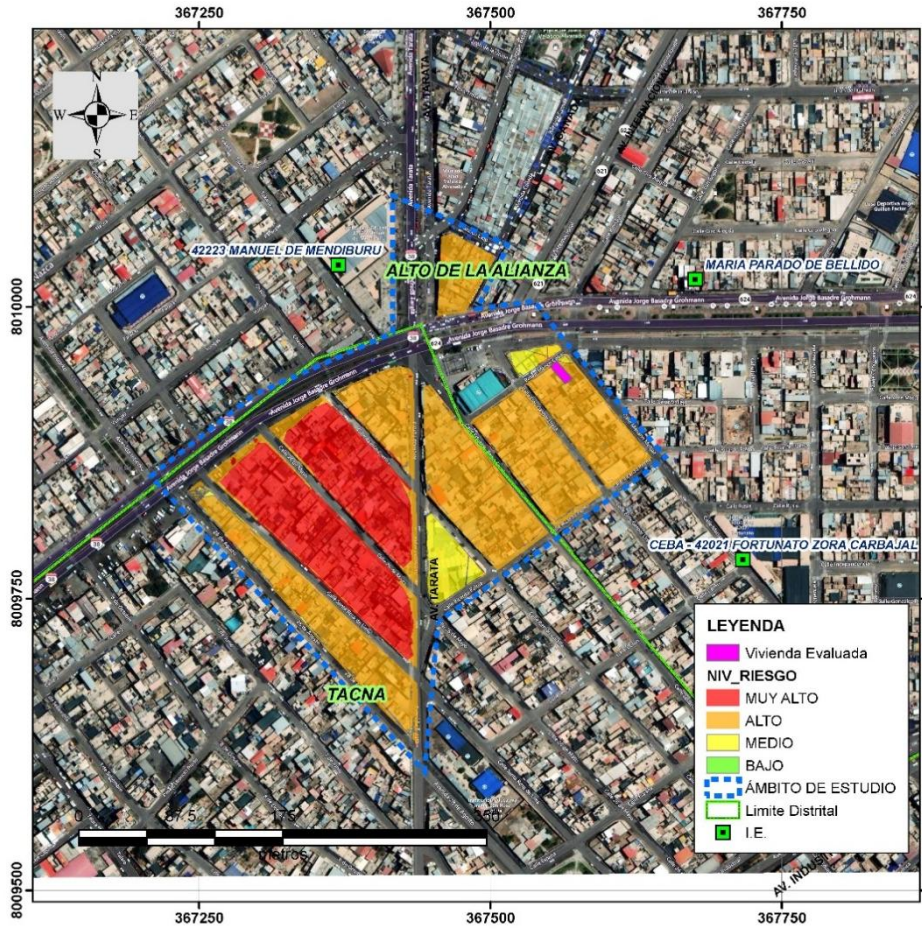
JOSÉ IGNACIO QUISEPPE MAYTA
 Ingeniero Civil
 C.I.P. N° 186048

A 8. Mapa de Peligro a Inundación Pluvial



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA			
Region de Tacna, Provincia Tacna - D. A. del Alianza			
TESIS: ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES EN EDIFICACIONES POR RIESGO A INUNDACIÓN EN ZONAS CRÍTICAS DE TACNA-PERÚ,			
PLANO: MAPA DE PELIGRO			
ELABORADO POR:	FECHA:	ESCALA:	N° PLANO:
H.J.C.P	Junio 2024	1:3000	01

A 9. Mapa de Riesgo a Inundación Pluvial



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA			
Region de Tacna, Provincia Tacna - D. A. del Alianza			
TESIS: ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES EN EDIFICACIONES POR RIESGO A INUNDACIÓN EN ZONAS CRÍTICAS DE TACNA-PERÚ,			
PLANO: MAPA DE RIESGOS			
ELABORADO POR:	FECHA:	ESCALA:	N° PLANO:
H.J.C.P	Junio 2024	1:3000	02