



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis

**“Efecto de la adición de Gel base 200 y 280 en la densidad seca, cohesión
y ascension capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San
Sebastián, Cusco, 2023”**

Línea de investigación: Ciencia, tecnología y gestión de calidad en la ingeniería.

Presentado por:

Bach. Caceres Ruffran, Roberto Gonzalo

<https://orcid.org/0009-0005-5421-0526>

Bach. Esquivel Choquehuanca, Diego Simón

<https://orcid.org/0009-0007-6272-0213>

Para optar al título profesional de Ingeniero civil.

Asesor:

Ing. Solis Tapia, Victor Edher

<https://orcid.org/0000-0001-83196878>

CUSCO-PERÚ

2023



Metadatos

Datos del autor	
Nombres y apellidos	
Número de documento de identidad	
URL de Orcid	
Datos del autor	
Nombres y apellidos	
Número de documento de identidad	
URL de Orcid	
Datos del asesor	
Nombres y apellidos	
Número de documento de identidad	
URL de Orcid	
Datos del jurado	
Presidente del jurado (jurado 1)	
Nombres y apellidos	
Número de documento de identidad	
Jurado 2	
Nombres y apellidos	
Número de documento de identidad	
Jurado 3	
Nombres y apellidos	
Número de documento de identidad	
Jurado 4	
Nombres y apellidos	
Número de documento de identidad	
Datos de la investigación	
Línea de investigación de la Escuela Profesional	



Tesis Efecto de adicción de gel base

por ROBERTO GONZALO CACERES RUFFRAN



Fecha de entrega: 08-feb-2024 11:34p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2290182333

Nombre del archivo: Tesis_Roberto_Ca_ceres__Diego_Esquivel_OLO.docx (22.52M)

Total de palabras: 24586

Total de caracteres: 130956



1
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis

**“Efecto de la adición de Gel base 200 y 280 en la densidad seca, cohesión
y ascension capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San
Sebastián, Cusco, 2023”**

57

Nombre(s) y apellido(s) de los autores:

Bach. Caceres Ruffran, Roberto Gonzalo

Bach. Esquivel Choquehuanca, Diego Simón

1

Para optar al título profesional de Ingeniero
civil.

Asesor:

Ing. Solis Tapia, Victor Edher

CUSCO-PERÚ

2023



INFORME DE ORIGINALIDAD

11%

INDICE DE SIMILITUD

11%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

5%

2

repositorio.uandina.edu.pe

Fuente de Internet

1%

3

Submitted to Universidad Andina del Cusco

Trabajo del estudiante

1%

4

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

<1%

5

www.uandina.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

6

Submitted to Centro de Investigación y
Docencia Económicas AC

Trabajo del estudiante

<1%

7

www.coursehero.com

Fuente de Internet

<1%

8

Submitted to Pontificia Universidad Catolica
del Ecuador - PUCE

Trabajo del estudiante

<1%



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: ROBERTO GONZALO CACERES RUFFRAN
Título del ejercicio: SystemErrorBD-1
Título de la entrega: Tesis Efecto de adicción de gel base
Nombre del archivo: Tesis_Roberto_Ca_ceres__Diego_Esquivel_OLO.docx
Tamaño del archivo: 22.52M
Total páginas: 165
Total de palabras: 24,586
Total de caracteres: 130,956
Fecha de entrega: 08-feb.-2024 11:34p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre... 2290182333

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis

“Efecto de la adición de Gel base 200 y 280 en la densidad seca, cohesión y ascension capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023”

Nombre(s) y apellido(s) de los autores:
Bach. Caceres Ruffran, Roberto Gonzalo
Bach. Esquivel Choquehuanca, Diego Simón

Para optar al título profesional de Ingeniero civil.
Asesor:
Ing. Solis Tapia, Victor Ether
CUSCO-PERÚ
2023





Agradecimientos

Agradezco a dios por haberme dado la fuerza, sabiduría y por haberme guiado en este camino y permitirme vivir este momento; a mis padres, hermanas en por todo el apoyo incondicional brindado.

A mi casa de estudios la “Universidad Andina del Cusco” y a todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por forjarme en sus aulas, impartirme conocimiento y guiarme en el ámbito profesional, siendo testigo de su experiencia y amistad, que recordare con mucha nostalgia.

Al Mgt. Ing. Victor Edher Solis Tapia, por la confianza que puso en nosotros, por su compromiso y por todos los consejos brindados para poder llegar a este momento.

Diego S. Esquivel Choquehuanca

Agradezco a mi familia por su apoyo incondicional y amor. Sus consejos y aliento fueron mi fuente de inspiración en cada etapa de mi educación. A la universidad andina del cusco, le agradezco por proporcionarme el conocimiento necesario para convertirme en un profesional en la carrera que tanto me apasiona. También quiero expresar mi reconocimiento al Mgt. Ing. Victor Edher Solis Tapia, nuestro asesor de Tesis, por su orientación, paciencia para este proceso de investigación. Por último, a todas las personas que brindaron su apoyo moral y colaboraron en esta investigación, les estoy profundamente agradecido. Su contribución fue invaluable en la realización de este proyecto. Este logro no habría sido posible sin la ayuda y apoyo de todas estas personas y entidades. A todos ustedes, gracias de corazón

Roberto Gonzalo Caceres Ruffran



Dedicatoria

Con mucho cariño y amor, a mi familia, en especial a mi madre Laura y a mi padre Walter quienes son mi motivación y mi fuerza en este camino llamado vida.

A mis abuelos Apolinar, Macaria, Simón y Flora que me guían y me protegen desde el cielo.

A mis profesores y mentores, por su dedicación y pasión por la enseñanza y por guiarme en mi camino.

A mis compañeros y amigos, por las risas y el estudio. Por las conversaciones estimulantes, y los momentos que compartimos juntos.

Diego S. Esquivel Choquehuanca

Quiero expresar mi gratitud hacia mis padres, Roberto y Janett, por ser un faro de amor, trabajo y sacrificio a lo largo de mi vida. Su apoyo incondicional siempre ha sido la brújula que me guió. Agradezco sus enseñanzas de esfuerzo y valentía, las cuales me han impulsado a lograr este trabajo.

Mi hermana, Astrid, ha sido mi motivación constante, recordándome que no debo rendirme y que siempre puedo seguir adelante.

A mi abuela Dora, que en paz descansa, le agradezco por ser una fuente inagotable de inspiración, tanto en mi investigación como en mi vida en general.

Roberto Gonzalo Caceres Ruffran



Nombres y Apellidos del jurado de la tesis y asesor

Asesor De Tesis:

- Mgt. Ing. Victor Edher Solis Tapia

Dictaminantes De Tesis:

- Mgt. Ing. Eigner Roman Villegas.
- Mgt. Ing. Raul Tagle Sanchez



Índice

1.	CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	7
1.2.1	PROBLEMA GENERAL.....	7
1.2.2	PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	7
1.2.2.1	PROBLEMA ESPECÍFICO 1:.....	7
1.2.2.2	PROBLEMA ESPECÍFICO 2:.....	8
1.2.2.3	PROBLEMA ESPECÍFICO 3:.....	8
1.2.2.4	PROBLEMA ESPECÍFICO 4:.....	8
1.2.2.5	PROBLEMA ESPECÍFICO 5:.....	8
1.2.2.6	PROBLEMA ESPECÍFICO 6:.....	8
1.3	JUSTIFICACIÓN	8
1.3.1	CONVENIENCIA	8
1.3.2	RELEVANCIA SOCIAL	9
1.3.3	IMPLICANCIAS PRÁCTICAS	9
1.3.4	VALOR TEÓRICO	9
1.3.5	UTILIDAD METODOLÓGICA.....	9
1.4	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	10
1.4.1	OBJETIVOS GENERALES.....	10
1.4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
1.4.2.1	OBJETIVO ESPECÍFICO 1:.....	10
1.4.2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO 2:.....	10
1.4.2.3	OBJETIVO ESPECÍFICO 3:.....	10
1.4.2.4	OBJETIVO ESPECÍFICO 4:.....	10
1.4.2.5	OBJETIVO ESPECÍFICO 5:.....	10
1.4.2.6	OBJETIVO ESPECÍFICO 6:.....	11
1.5	DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO	11
1.5.1	DELIMITACIÓN ESPACIAL	11
1.5.2	DELIMITACIÓN TEMPORAL.....	12
2.	CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	13
2.1	ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	13
2.1.1	ANTECEDENTE INTERNACIONALES	13



2.1.2	ANTECEDENTES NACIONALES.....	13
2.2	BASES TEÓRICAS	15
2.2.1	SUELOS	15
2.2.1.1	CLASIFICACIÓN DE SUELOS	16
2.2.2	SUELO COLAPSABLE.....	17
2.2.2.1	CORRECCIÓN AL COLAPSO.....	17
2.2.2.1.1	MÉTODO DE REMEDIACIÓN MECÁNICA	18
2.2.2.1.2	MÉTODO DE REMEDIACIÓN QUÍMICA	18
2.2.3	GEL BASE	20
2.2.3.1	ORIGEN DE GEL BASE.....	20
2.2.3.2	TIPOS DE GEL BASE.....	21
2.2.3.3	ELABORACIÓN DE LA GEL BASE.....	22
2.2.3.4	GEL BASE 200 Y GEL BASE 280	23
2.2.3.4.1	GEL BASE 200:	23
2.2.3.4.2	GEL BASE 280:	23
2.2.3.5	FUERZA DE GEL (BLOOM)	23
2.2.4	INTERACCIÓN DEL GEL BASE CON EL SUELO.....	24
2.2.5	ENSAYOS DE LABORATORIO.....	25
2.2.5.1	MUESTREO DE SUELO	25
2.2.5.2	CONTENIDO DE HUMEDAD	26
2.2.5.3	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	26
2.2.5.4	LÍMITE DE CONSISTENCIA DE ATTERBERG.....	31
2.2.5.5	LIMITE LIQUIDO	31
2.2.5.6	LIMITE PLÁSTICO.....	34
2.2.5.7	CLASIFICACIÓN DE SUELOS	36
2.2.5.8	DENSIDAD SECA (ASTM-D7263).....	41
2.2.5.9	COHESIÓN (ASTM D2166)	46
2.2.5.9.1	ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE.....	46
2.2.5.10	ASCENSIÓN CAPILAR.....	49
2.3	MARCO CONCEPTUAL	54
2.4	HIPÓTESIS	55
2.4.1	HIPÓTESIS GENERAL.....	55
2.4.2	HIPÓTESIS ESPECIFICAS.....	55
2.4.2.1	HIPÓTESIS ESPECIFICA 1:.....	55
2.4.2.2	HIPÓTESIS ESPECIFICA 2:.....	56



2.4.2.3	HIPÓTESIS ESPECIFICA 3:.....	56
2.4.2.4	HIPÓTESIS ESPECIFICA 4:.....	56
2.4.2.5	HIPÓTESIS ESPECIFICA 5:.....	56
2.4.2.6	HIPÓTESIS ESPECIFICA 6:.....	56
2.5	VARIABLES E INDICADORES	56
2.5.1	IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	56
2.5.1.1	VARIABLES INDEPENDIENTES	56
2.5.1.2	VARIABLES DEPENDIENTES	57
2.5.2	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	58
3.	CAPITULO III: MÉTODO	59
3.1	ALCANCE DEL ESTUDIO	59
3.1.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN	59
3.1.2	NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	59
3.1.3	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	59
3.2	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	60
3.2.1	DISEÑO METODOLÓGICO	60
3.3	POBLACIÓN	60
3.4	MUESTRA	60
3.4.1	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	60
3.4.2	CUANTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	60
3.5	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.	61
3.5.1	CLASIFICACIÓN DE SUELOS	61
3.5.2	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL.	62
3.5.3	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZAD.	63
3.5.4	DETERMINACIÓN DE LIMITE LIQUIDO	64
3.5.5	DETERMINACIÓN DE LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD	65
3.5.6	PROCTOR MODIFICADO	66
3.5.7	ENSAYO DE DENSIDAD SECA	67
3.5.8	ENSAYO DE COHESIÓN	68
3.5.9	ENSAYO DE ASCENSIÓN CAPILAR.....	69
3.6	VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS.....	70
3.6.1	MUESTREO DE SUELO.	70
3.6.2	DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL	70
3.6.3	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO.	70



3.6.4	DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO.....	71
3.6.5	DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD.	71
3.6.6	COMPACTACIÓN DE SUELO USANDO ENERGÍA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO).....	71
3.6.7	DETERMINACIÓN DE DENSIDAD SECA.....	72
3.6.8	DETERMINACIÓN DE LA COHESIÓN.....	72
3.6.9	ASCENSIÓN CAPILAR.....	72
3.7	PLAN DE ANÁLISIS DE DATOS.....	72
3.7.1	RECOLECCIÓN DE DATOS.....	74
3.7.2	PROCEDIMIENTOS Y ANÁLISIS DE DATOS.....	96
3.7.2.1	CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	96
3.7.2.1.1	DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD.	96
3.7.2.1.2	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	97
3.7.2.1.3	DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO	101
3.7.2.1.4	DETERMINACIÓN DE LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD	103
3.7.2.1.5	CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS.....	104
3.7.2.1.6	ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO.....	108
3.7.2.1.7	ENSAYO DE DENSIDAD SECA.....	111
3.7.2.1.8	ENSAYO DE COHESIÓN.	112
3.7.2.1.9	ENSAYO DE ASCENSIÓN CAPILAR.....	113
4.	CAPITULO 4: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	115
4.1	RESULTADOS RESPECTO A LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	115
4.1.1	DENSIDAD SECA, COHESIÓN Y ASCENSIÓN CAPILAR.....	115
4.1.1.1	DENSIDAD SECA.....	117
4.1.1.2	COHESION	119
4.1.1.3	ASCENSIÓN CAPILAR.....	121
4.2	RESULTADOS RESPECTO AL OBJETIVO GENERAL	123
4.2.1	INTERPRETACIÓN DENSIDAD SECA DS (G/CM3)	123
4.2.2	INTERPRETACIÓN COHESIÓN C (MPA).....	123
4.2.3	INTERPRETACIÓN ASCENSIÓN CAPILAR CWI [KG/(M2XMIN)]	124
5.	CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN	126
5.1	DESCRIPCIÓN DE LOS HALLAZGOS MÁS RELEVANTES Y SIGNIFICATIVOS	126
5.2	LIMITACIONES DEL ESTUDIO.....	127



5.3	COMPARACIÓN CRITICA CON LA LITERATURA EXISTENTE	127
5.4	IMPLICANCIAS DEL ESTUDIO	128
	CONCLUSIONES	129
	RECOMENDACIONES	131
	REFERENCIAS	132
	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	137
	ANEXOS	143



Índice de tablas

TABLA 1. COORDENADAS DE LUGAR DE EXTRACCIÓN DE MATERIAL “CALICATA “1”	3
TABLA 2. COORDENADAS DE LUGAR DE EXTRACCIÓN DE MATERIAL “CALICATA “2”	5
TABLA 3. COORDENADAS DE LUGAR DE EXTRACCIÓN DE MATERIAL “CALICATA “3”	6
TABLA 4. UBICACIÓN EN COORDENADAS DEL APV LA VICTORIA, SAN SEBASTIÁN, CUSCO.	12
TABLA 5. EJEMPLO DE PORCENTAJE RETENIDO	29
TABLA 6. FACTOR PARA LIMITE LÍQUIDO (K)	34
TABLA 7. ÍNDICE DE PRECISIÓN PARA LIMITES PLÁSTICOS	35
TABLA 8. MÉTODOS DE ENSAYO PROCTOR.....	40
TABLA 9. CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	58
TABLA 10. COORDENADAS DE CALICATAS	60
TABLA 11. HOJA DE TRABAJO PARA CLASIFICACIÓN DE SUELOS.....	61
TABLA 12. HOJA DE TRABAJO PARA CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO NATURAL. 62	
TABLA 13. HOJA DE TRABAJO PARA DETERMINAR GRANULOMETRÍA DEL SUELO POR TAMIZADO.....	63
TABLA 14. HOJA DE TRABAJO PARA DETERMINAR LIMITE LÍQUIDO.....	64
TABLA 15. HOJA DE TRABAJO PARA LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE PLASTICIDAD. 65	
TABLA 16. HOJA DE TRABAJO PARA DETERMINAR PROCTOR MODIFICADO....	66
TABLA 17. HOJA DE TOMA DE DATOS PARA DENSIDAD SECA	67
TABLA 18. HOJA DE TOMA DE DATOS PARA COHESIÓN.	68
TABLA 19. HOJA DE TOMA DE DATOS PARA ASCENSIÓN CAPILAR.	69
TABLA 20. DISEÑO EXPERIMENTAL (D- OPTIMAL)	73
TABLA 21. DATOS DE CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO NATURAL.....	77
TABLA 22. DATOS OBTENIDOS DE GRANULOMETRÍA DEL SUELO POR TAMIZADO.	78
TABLA 23. DATOS OBTENIDOS DE LIMITE LIQUIDO.....	80
TABLA 24. DATOS OBTENIDOS DE LIMITE PLÁSTICO	82
TABLA 25. DATOS OBTENIDOS DE PROCTOR	84
TABLA 26. PROPORCIÓN DE GELES BASES.....	86
TABLA 27. DATOS OBTENIDOS DE DENSIDAD SECA	90



TABLA 28. DATOS OBTENIDOS DE COHESIÓN.....	92
TABLA 29. DATOS OBTENIDOS DE ASCENSIÓN CAPILAR	94
TABLA 30. RESULTADOS DE CONTENIDO DE HUMEDAD.....	97
TABLA 31. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	99
TABLA 32. CURVA GRANULOMÉTRICA.....	100
TABLA 33. RESULTADOS DE COEFICIENTES UNIFORMIDAD Y DE CURVATURA. 100	
TABLA 34. RESULTADO DE LIMITE LÍQUIDO	102
TABLA 35. GRÁFICO DE CLASIFICACIÓN -SUCS.....	107
TABLA 36. SUELO CLASIFICADO	107
TABLA 37. RESULTADOS DEL PROCTOR MODIFICADO DEL SUELO NATURAL 110	
TABLA 38. RESULTADOS.	112
TABLA 39. RESULTADOS.	113
TABLA 40. RESULTADOS.	114
TABLA 41. RESULTADOS DE DENSIDAD SECA, COHESIÓN Y ASCENSIÓN CAPILAR 115	
TABLA 42. MATRIZ DE CORRELACIÓN	116
TABLA 43. ESTADÍSTICOS DE BONDAD DEL AJUSTE (DS (G/CM3)).....	117
TABLA 44. ANÁLISIS DE LA VARIANZA DS (G/CM3)	117
TABLA 45. ANÁLISIS DE LA SUMA DE CUADRADOS TIPO III.....	118
TABLA 46. ESTADÍSTICOS DE BONDAD DEL AJUSTE C (MPA).....	119
TABLA 47. ANÁLISIS DE LA VARIANZA C (MPA)	119
TABLA 48. ANÁLISIS DE LA SUMA DE CUADRADOS TIPO III.....	120
TABLA 49. ESTADÍSTICOS DE BONDAD DEL AJUSTE CWI [KG/(M2XMIN)]	121
TABLA 50. ANÁLISIS DE LA VARIANZA CWI [KG/(M2XMIN)]	121
TABLA 51. ANÁLISIS DE LA SUMA DE CUADRADOS TIPO III.....	122
TABLA 52. RECURSO Y PRESUPUESTO	147
TABLA 53. MATRIZ DE CONSISTENCIA DE LA TESIS.....	149



Índice de Figuras

FIG 1.	MACRO LOCALIZACIÓN DEL DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN	2
FIG 2.	MICRO LOCALIZACIÓN DEL DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN	2
FIG 3.	LUGAR DE EXTRACCIÓN DE MATERIAL “CALICATA “1”	3
FIG 4.	EXTRACCIÓN DE MATERIAL “CALICATA “1”	4
FIG 5.	LUGAR DE EXTRACCIÓN DE MATERIAL “CALICATA “2”	4
FIG 6.	EXTRACCIÓN DE MATERIAL “CALICATA “2”	5
FIG 7.	LUGAR DE EXTRACCIÓN DE MATERIAL “CALICATA “3”	6
FIG 8.	EXTRACCIÓN DE MATERIAL “CALICATA “3”	7
FIG 9.	MAPA DE UBICACIÓN APV LA VICTORIA.....	11
FIG 10.	DIAGRAMA DE LA CONVERSIÓN DEL COLÁGENO EN UNA BASE DE GEL.	21
FIG 11.	TAMAÑOS DE MALLAS ESTÁNDAR	27
FIG 12.	TAMICES PARA ZARANDEO	28
FIG 13.	CLASIFICACIÓN DE MATERIALES GRANULAR AASHTO.....	30
FIG 14.	CLASIFICACIÓN DE MATERIALES GRANULAR AASHTO.....	30
FIG 15.	LÍMITES DE ATTERBERG.....	31
FIG 16.	CUCHARA DE CASA GRANDE	32
FIG 17.	SIMBOLOGÍA (SUCS)	37
FIG 18.	TIPOLOGÍA DE SUELOS (SUCS).....	37
FIG 19.	CARTA DE CASAGRANDE.	38
FIG 20.	GRAFICA DE CONTENIDO DE HUMEDAD	41
FIG 21.	BALANZA	42
FIG 22.	HORNO DE SECADO.....	43
FIG 23.	REGLA	44
FIG 24.	VERNIER.....	44
FIG 25.	SIERRA DE ALAMBRE	45
FIG 26.	CAJA DE INGLETE	45
FIG 27.	APARATO DE COMPRESIÓN SIMPLE	47
FIG 28.	REGLA	48
FIG 29.	VERNIER.....	48
FIG 30.	BALANZA	50
FIG 31.	HORNO DE SECADO.....	51
FIG 32.	RECIPIENTE DE VIDRIO	51



FIG 33.	CRONOMETRO	52
FIG 34.	REGLA	53
FIG 35.	VERNIER.....	53
FIG 36.	CALICATA N° 01 UBICADA EN LAS COORDENADAS 13°32'15.83"S- 71°54'54.49"O, APV. LA VICTORIA, SAN SEBASTIÁN CUSCO.....	75
FIG 37.	CALICATA N° 02 UBICADA EN LAS COORDENADAS 13°32'15.79"S- 71°54'55.30"O, APV. LA VICTORIA, SAN SEBASTIÁN CUSCO.....	76
FIG 38.	CALICATA N° 03 UBICADA EN LAS COORDENADAS 13°32'15.60"S- 71°54'56.27"O, APV. LA VICTORIA, SAN SEBASTIÁN CUSCO.....	76
FIG 39.	CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL.....	77
FIG 40.	MUESTRA OBTENIDA.....	79
FIG 41.	CLASIFICACIÓN DE PARTÍCULAS PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO.....	79
FIG 42.	ENSAYO LIMITE LÍQUIDO.....	81
FIG 43.	EQUIPOS.	81
FIG 44.	ENSAYO DE LIMITE PLASTICO	83
FIG 45.	EQUIPOS PARA LIMITE PLASTICO	83
FIG 46.	MATERIALES PARA EL ENSAYO DE PROCTOR	85
FIG 47.	ENSAYO DE PROCTOR	85
FIG 48.	PREPARACIÓN DE ESPECÍMENES	87
FIG 49.	COMPACTACIÓN DE ESPECÍMENES	87
FIG 50.	COMPACTACIÓN DE ESPECÍMENES	88
FIG 51.	EYECCIÓN	88
FIG 52.	ESPÉCIMEN	89
FIG 53.	MATERIALES PARA ENSAYO DE DENSIDAD SECA	91
FIG 54.	EXTRACCIÓN DE MUESTRA PARA LA HUMEDAD.....	91
FIG 55.	ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE.....	93
FIG 56.	FALLA EN ESPECIMEN	93
FIG 57.	ESPECÍMENES EN EL HORNO	95
FIG 58.	MATERIALES DEL ENSAYO DE ASCENSIÓN CAPILAR.....	95
FIG 59.	ENSAYO DE ASCENSIÓN CAPILAR	95
FIG 60.	GRÁFICO RESULTANTE DE LIMITE LÍQUIDO	103
FIG 61.	RESULTADO LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD	104
FIG 62.	CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA SUELO NATURAL.....	105
FIG 63.	CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA SUELO NATURAL.....	106
FIG 64.	SUELO CLASIFICADO	106



FIG 65.	CLASIFICACIÓN DEL SUELO POR SUCS	107
FIG 66.	GRÁFICO DE LA CURVA DE DENSIDAD SECA MÁXIMA	111
FIG 67.	COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LAS VARIABLES	118
FIG 68.	COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LAS VARIABLES	120
FIG 69.	COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LAS VARIABLES	122
FIG 70.	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO	143
FIG 71.	LÍMITE DE CONSISTENCIA	144
FIG 72.	DOSIFICACIÓN Y MEZCLADO	144
FIG 73.	ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES	145
FIG 74.	PROCESO DE EYECCIÓN.....	145
FIG 75.	DENSIDAD SECA.....	145
FIG 76.	COHESIÓN (COMPRESIÓN SIMPLE)	146
FIG 77.	ASCENSIÓN CAPILAR.....	146



Abstract

The present research focuses on identifying the significant effects caused by the addition of base gel 200 and 280 in silty soils, subjected to different laboratory tests. The general objective of this research is to determine the effect of the addition of Base Gel 200 and 280 on the dry density, cohesion and capillary rise of the silty soil of the PAV La Victoria, San Sebastián, Cusco. The research methodology has a quantitative approach, correlational level, hypothetical-deductive method and experimental methodological design. For this purpose, soil was extracted from three exploration pits to obtain samples from APV La Victoria, district of San Sebastián, Province of Cusco, with the purpose of experimenting with said soil in the laboratory, such as determining the plasticity index, liquid limit, moisture content, modified Proctor (optimal moisture content), cohesion, dry density and capillary rise, following the instructions of the materials testing manual of the Ministry of Transportation and Communications. For this, we began by obtaining soil data without alter. After completing the previous tests, the base gel 200 and 280 is incorporated into the soil. The collection of data related to the addition of base gel 200 and 280 begins with the objective of supporting the hypothesis about its effects on the dry density, cohesion and capillary rise of the silty soil of the PAV La Victoria, San Sebastián, Cusco. This research for data analysis was developed with a D-Optimal experimental design, achieving an optimal design of 33 samples composed of silty soil with percentages of 0%, 0.5%, 1% and 1.5% of base gel 200 and base gel 280. Likewise, statistical analysis was used as a tool for data processing (analysis of variance-ANOVA), which allowed us to obtain statistical results. In order to reach the conclusion, the results of the study do not support the hypotheses about Gel Base 200 and Gel Base 280 having a significant impact on the dry density and cohesion of silty soil. However, both gels have a significant effect on soil capillary rise, with Gel Base 280 showing a greater impact than Gel Base 200. These results indicate that the gels can influence certain soil properties, which has important implications for their use in specific applications.



Resumen

La presente investigación se centra en identificar los efectos significativos causados por la adición de gel base 200 y 280 en suelos limosos, sometidos a diferentes ensayos de laboratorio. El objetivo general de esta investigación es determinar el efecto de la adición de Gel base 200 y 280 en la densidad seca, la cohesión y la ascensión capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco. La metodología de la investigación tiene un enfoque cuantitativo, nivel correlacional, método hipotético-deductivo y diseño metodológico de tipo experimental. Para ello, se realizó la extracción de suelo de tres calicatas de exploración para obtener muestras de APV La Victoria, distrito de San Sebastián, Provincia de Cusco, con la finalidad de experimentar con dicho suelo en laboratorio, como la determinación de índice de plasticidad, límite líquido, contenido de humedad, Proctor modificado (contenido de humedad óptimo), cohesión, densidad seca y ascensión capilar, siguiendo las instrucciones del manual de ensayo de materiales del Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Para esto, se inició obteniendo datos del suelo sin alterar. Tras completar las pruebas previas, se procede a incorporar el gel base 200 y 280 al suelo. Se inicia la recopilación de datos relacionados con la adición de gel base 200 y 280 con el objetivo de respaldar la hipótesis sobre sus efectos en la densidad seca, la cohesión y la ascensión capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco. Esta investigación para el análisis de datos se desarrolló con un diseño experimental D-Optimal, logrando obtener un diseño óptimo de 33 muestras compuestas de suelo limoso con porcentajes de 0%, 0.5%, 1% y 1.5% de gel base 200 y gel base 280. Asimismo, se empleó el análisis estadístico como una herramienta para el procesamiento de datos (análisis de la varianza-ANOVA), que nos permitió obtener resultados estadísticos. Para poder llegar a la conclusión, los resultados del estudio no respaldan las hipótesis sobre el Gel Base 200 y el Gel Base 280 teniendo un impacto significativo en la densidad seca y cohesión del suelo limoso. Sin embargo, ambos geles tienen un efecto significativo en la ascensión capilar del suelo, con Gel Base 280 mostrando un mayor impacto que Gel Base 200. Estos resultados indican que los geles pueden influir en ciertas propiedades del suelo, lo que tiene implicaciones importantes para su uso en aplicaciones específicas.



1. Capítulo I: Introducción

1.1 Planteamiento Del Problema

En la actualidad, la industria de la construcción es uno de los sectores principales para el desarrollo del país. Sin embargo, la producción descontrolada de materiales tradicionales de construcción produce gran emisión de contaminantes y consumo energético. Esto se debe a que la producción de los materiales tradicionales de construcción, distintas materias primas pasen por procesos de extracción, explotación, calentamiento y más procesos de transformación para obtener el material para la construcción.

Entre uno de los materiales más contaminantes de la construcción se encuentra el cemento. que la fabricación de cemento ha liberado 1600 millones de millones de metros cúbicos de dióxido de carbono en la atmosfera para el año 2020 (statista,2022). La elaboración del cemento Portland crea la emisión de dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, polvo y desechos sólidos, originando peligrosos problemas en el ambiente.

Este problema ha llevado el interés de investigadores que buscan sustituir el cemento con materiales alternativos que ayuden a disminuir las emisiones contaminantes y consumo de energía como el empleo de cenizas orgánicas (cascara de arroz, trigo, paja de caña de azúcar), polímeros, biopolímeros, geo polímeros.

En esta investigación, se emplearán biopolímeros, como Gel base 200 y Gel base 280, con el objetivo de evaluar su impacto en la densidad seca, cohesión y ascensión capilar del suelo limoso extraído de tres calicatas en el área de estudio. La investigación se llevará a cabo en el departamento de Cusco, específicamente en la provincia de Cusco, distrito de San Sebastián, en la Apv. La Victoria, con coordenadas de latitud $13^{\circ}32'19.88''S$ y longitud $71^{\circ}54'53.07''O$.

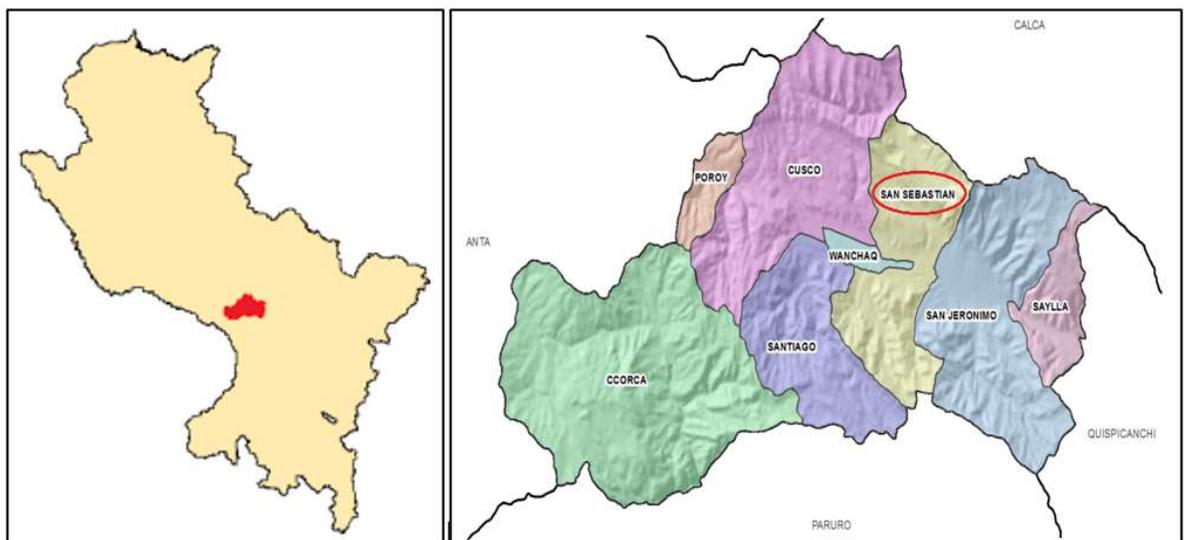


Fig 1. Macro localización del distrito de san Sebastián



Fuente: (EcuRed, 2022)

Fig 2. Micro localización Del Distrito De San Sebastián



Fuente: (Gobierno Regional del Cusco, 2010)

Fig 3. Lugar de Extracción de Material “Calicata “1”



Fuente: (Google Earth, 2023)

Tabla 1. Coordenadas de Lugar de Extracción de Material “Calicata “1”

LATITUD	LONGITUD
13°32'15.83"S	71°54'54.49"O

Fuente: Coordenadas Google Earth

Fig 4. Extracción de material “Calicata “1”



Fuente: Propia

Fig 5. Lugar de Extracción de Material “Calicata “2”



Fuente: (Google Earth, 2023)

Tabla 2. Coordenadas de Lugar de Extracción de Material “Calicata “2”

LATITUD	LONGITUD
13°32'15.79"S	71°54'55.30"O

Fuente: Coordenadas Google Earth

Fig 6. Extracción de material “Calicata “2”



Fuente: Propia

Fig 7. Lugar de Extracción de Material “Calicata “3”



Fuente: (Google Earth, 2023)

Tabla 3. Coordenadas de Lugar de Extracción de Material “Calicata “3”

LATITUD	LONGITUD
13°32'15.60"S	71°54'56.27"O

Fuente: Coordenadas Google Earth



Fig 8. Extracción de material “Calicata “3”



Fuente: Propia

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema General

¿Cuál es el efecto de la adición de Gel base 200 y 280 en la densidad seca, cohesión y ascensión capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023?

1.2.2 Problemas Específicos

1.2.2.1 Problema Específico 1:

¿Cuáles son los impactos que provoca el Gel Base 200 en la densidad seca del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, en el año 2023?



1.2.2.2 Problema Específico 2:

¿Qué impacto tiene el Gel Base 280 en la densidad seca del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023?

1.2.2.3 Problema Específico 3:

¿Cómo afecta el Gel Base 200 a la cohesión del suelo limoso en la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023?

1.2.2.4 Problema Específico 4:

¿Cuál es la influencia del Gel Base 280 en la cohesión del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023?

1.2.2.5 Problema Específico 5:

¿De qué manera incide el Gel Base 200 en la ascensión capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023?

1.2.2.6 Problema Específico 6:

¿Cuál es el impacto del Gel Base 280 en la ascensión capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023?

1.3 Justificación

1.3.1 Conveniencia

Por el uso continuo de cemento para mejorar el suelo limoso, es necesario implementar nuevos materiales alternativos para mejorar el suelo limoso, los cuales pueden mejorar sus propiedades físicas, mecánicas e impermeabilidad del suelo limoso. Por el cual, en esta investigación se implementará Gel (Gel Base 200 y Gel base 280), estos materiales son de venta libre y fácil acceso, debido a que son industrializados.



1.3.2 Relevancia social

Con la presente investigación busca contribuir con la sociedad. Los biopolímeros como los Gel, pueden reducir el consumo y fabricación de cemento a mediano plazo, si es que es posible demostrar que las propiedades físicas, mecánicas e impermeabilidad de los suelos mejoran una vez que se les añade dicho elemento.

De igual manera a un largo plazo servirá de gran aporte a investigadores interesados en el tema, como a Ingenieros de cómo pueden mezclar el suelo limoso.

1.3.3 Implicancias prácticas

Con la sustitución de cemento en la mezcla con suelo, la elaboración de mezcla de suelo limos con Gel (Gel base 200 y Gel Base 280) podría mejorar las propiedades físicas, mecánicas e impermeabilidad, en esta investigación proporciona 33 resultados de los ensayos realizados en laboratorio, los cuales nos describen sus propiedades físicas, mecánicas e impermeabilidad, donde muestran las mejoras y deficiencias de cada muestra creada con diferentes porcentajes de Gel base 200 y Gel Base 280.

1.3.4 Valor teórico

En la presente investigación se desarrolla en la línea de investigación “Ciencia y tecnología de materiales e insumos en ingeniería” (Resolución N° 266-CU-2021-UAC). Siendo significativo la extracción de los datos y resultados de la presente línea de investigación. El efecto de la adición de Gel base con suelo limoso, si es que es posible demostrar que las propiedades físicas, mecánicas e impermeabilidad de los suelos mejoran una vez que se les añade dicho elemento, ayudara como base teórica a futuros investigadores a responder interrogantes.

1.3.5 Utilidad metodológica

Para ver efecto de la adición de Gel base en las propiedades: físicas, mecánicas y de impermeabilidad de suelo limoso, en esta investigación se realizó un análisis estadístico



comparativo, entre el suelo limoso y los Gel (Gel base 200 y Gel Base 280) en diferentes porcentajes, así analizar las propiedades físicas, mecánicas e impermeabilidad del suelo.

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivos Generales

Determinar el efecto de la adición de Gel base 200 y 280 en la densidad seca, la cohesión y la ascensión capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023

1.4.2 Objetivos Específicos

1.4.2.1 Objetivo Específico 1:

Determinar el efecto del Gel Base 200 en la densidad seca del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023.

1.4.2.2 Objetivo Específico 2:

Evaluar el impacto del Gel Base 280 en la densidad seca del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023.

1.4.2.3 Objetivo Específico 3:

Examinar la influencia del Gel Base 200 en la cohesión del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023.

1.4.2.4 Objetivo Específico 4:

Analizar el efecto del Gel Base 280 en la cohesión del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023.

1.4.2.5 Objetivo Específico 5:

Estudiar cómo el Gel Base 200 afecta la ascensión capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023.

1.4.2.6 Objetivo Específico 6:

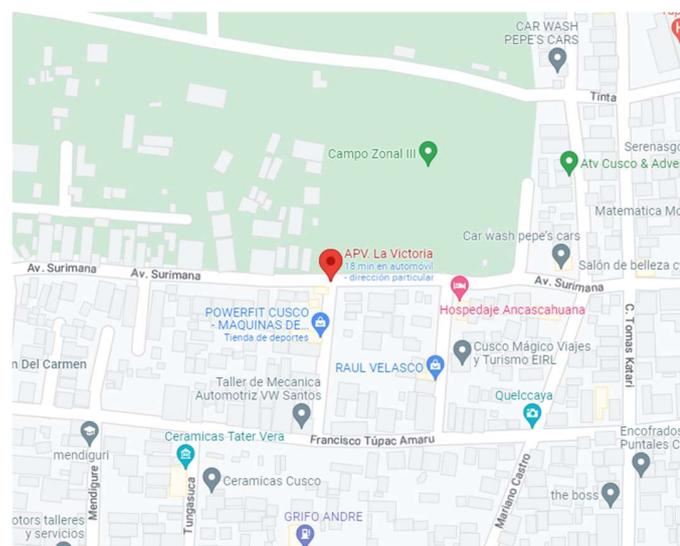
Investigar el impacto del Gel Base 280 en la ascensión capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023.

1.5 Delimitación del estudio

1.5.1 Delimitación espacial

El alcance del estudio del proyecto de tesis se concentra exclusivamente en la Avp. La Victoria, ubicada en el distrito de San Sebastián, provincia de Cusco, departamento de Cusco. El área de estudio se enfocará a la Avp. La Victoria en la extracción de muestras de suelo de tres calicatas. Es relevante destacar que la investigación se centrará en la aplicación de biopolímeros, como Gel base 200 y Gel base 280, con el propósito de evaluar su impacto en la densidad seca, cohesión y ascensión capilar del suelo limoso extraído de las calicatas mencionadas. Una limitación relevante de la investigación es el hecho de que en el área de estudio hay viviendas construidas, lo que dificulta el acceso a algunas zonas. Otra limitación identificada fue que la mayoría de las áreas libres analizadas contenían material de relleno.

Fig 9. Mapa de ubicación APV La Victoria.





Fuente: (Google Earth, 2023)

Tabla 4. Ubicación en Coordenadas del APV La Victoria, San Sebastián, Cusco.

LATITUD	LONGITUD
13°32'19.88"S	71°54'53.07"O

Fuente: Coordenadas Google Earth

1.5.2 Delimitación temporal

La investigación se centró en ver el efecto de la adición de gel base 200 y gel base 280 en la densidad seca, cohesión y ascensión capilar del suelo extraído de tres calicatas del Apv. La Victoria. Lo cual se limita a la información recopilada de la extracción de muestras de suelo de tres calicatas en APV La Victoria.

La investigación se limita en el tiempo del trabajo de campo y trabajo en gabinete.

La investigación se limita en seguir lo procedimientos establecido en las normas, tales como Muestreo de Suelo (MTC E 101), Análisis Granulométrico de Suelo por Tamizado (MTC E 107), Determinación de Contenido de Humedad (MTC E 108), Determinación de Límite Líquido de Suelo (MTC E 110), Determinación de Límite Plástico e Índice de Plasticidad (MTC E 111), Proctor Modificado (MTC E 115), Densidad Seca (ASTM D7263), Cohesión (ASTM D2166) y Ascensión Capilar (UNE EN 77-11:2011).



2. Capítulo II: Marco teórico

2.1 Antecedentes del estudio

2.1.1 Antecedente Internacionales

Primer Antecedente

En la tesis de investigación de (Guo, 2014), que lleva como título "Estabilización de suelos mediante biopolímeros", tiene como objetivo "Evaluar el comportamiento de resistencia del suelo mezclado con biopolímeros biológicos recientemente desarrollados, y determinar el efecto de los bioestabilizadores en las propiedades de ingeniería de suelos tanto cohesivos como no cohesivos". La metodología usada fue Cuantitativa, de diseño Experimental, nivel correlacional. Se realizaron 2 ensayos como resistencia a la compresión simple y corte directo. En este estudio, se evaluó el efecto de aditivos en la resistencia de suelos bioestabilizados. Se utilizaron suelos de LOESS y arena Ottawa 20/30, a los que se les agregaron monómeros y biopolímeros modificados. Se encontró que el monómero mejoró la resistencia y ductilidad del suelo de LOESS después de un tiempo de curado adecuado. Los biopolímeros aumentaron significativamente la resistencia de 1,5 y 2 veces de la arena Ottawa de la arena sin tratar, siendo el biopolímero G54 el más prometedor. Se concluyó que los biopolímeros podrían ser una alternativa viable a los estabilizadores tradicionales en la mejora de suelos. Además, se observaron beneficios en el envejecimiento y la capacidad de curación de los polímeros.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Primer Antecedente

La investigación llevada a cabo por (Benites Zuñiga, 2022), bajo el título "Evaluación de la Estabilización de Suelos en la Subrasante de la Av. Universitaria Carabayllo, Lima - 2020 mediante el Uso de Polímeros Sintéticos," tenía como objetivo principal analizar el efecto de la incorporación de polímeros sintéticos en la mejora de la estabilidad de los suelos en la subrasante de la Av. Universitaria Carabayllo, Lima, en el año 2020. Este estudio se enmarca en la categoría



de investigación aplicada, se diseñó con un enfoque experimental-cuasiexperimental y se basó en el análisis cuantitativo de datos. Entre los hallazgos más notables, se encontró que el Índice de Plasticidad de un suelo natural registró un valor del 9.00%. En cuanto al ensayo de Proctor modificado, se determinó que el contenido óptimo de humedad para el 7% de PET alcanzó un 13.10%, y la máxima densidad seca para el 2% de PET alcanzó 2.017 gr/cm³. Además, en el ensayo de CBR con una tasa de 95% de la Máxima Densidad Seca (MDS), el 2% de PET mostró un valor de 11.70%, mientras que el CBR al 100% de MDS, con la adición del 2% de PET, alcanzó un valor de 14.10%.

Segundo Antecedente

La tesis de investigación realizada por (Curitomay Najarro y Vílchez Peña , 2018), titulada "Mejora de las Propiedades de Suelos Arcillosos en Obras Viales de Mediano Tránsito en la Carretera Pucaloma - Yanayacu, Distrito de Socos, Mediante el Uso de Copolímero Acrílico," se centró en el objetivo principal de analizar la estabilización de suelos arcillosos al aplicar copolímero acrílico con el propósito de mejorar las características del afirmado en la Avenida El Porvenir, ubicada en el distrito de Puente Piedra. Esta investigación se enmarca en la categoría de investigación aplicada y adoptó un enfoque cuantitativo, utilizando un diseño metodológico preexperimental. Entre los resultados destacados, se encontró que a medida que se aumentaba la cantidad de copolímero acrílico en la muestra de suelo natural y se seguía el tiempo de curado propuesto, se observaba un aumento en la resistencia a la compresión de la muestra en el ensayo de compresión simple. Además, en el ensayo de CBR (índice de soporte de California), se verificó que se alcanzó un valor de 7.25% cuando se añadió un 5% de copolímero acrílico. Esto llevó a la conclusión de que el suelo estabilizado con copolímero acrílico experimentó mejoras en sus propiedades mecánicas, físicas y cohesivas, lo que se evidenció especialmente en los ensayos de CBR y compresión no confinada.

Tercer Antecedente

La tesis de investigación realizada por (Huamani Mercado, 2022), bajo el título "Mejora de las Propiedades de la Subrasante Limosa en la Calle Santa Eulalia, San Sebastián, Cusco, Mediante



la Incorporación de Goma Xanthan," tuvo como objetivo principal evaluar el efecto de la goma xanthan en las características físicas y mecánicas del suelo subrasante limoso de la calle Santa Eulalia. En este estudio, se añadieron diferentes cantidades de goma xanthan en dosis que incluyeron 0%, 0.5%, 1.0% y 1.5%. La investigación se clasificó como aplicada, se utilizó un diseño cuasiexperimental con un enfoque cuantitativo y un nivel explicativo. La población de estudio consistió en el material del suelo subrasante de la calle Santa Eulalia, y se tomaron tres muestras representativas. Se realizaron una serie de análisis, que incluyeron la granulometría del suelo, la clasificación según los estándares SUCS y AASHTO, la determinación del contenido de humedad, la medición de los límites de consistencia, el ensayo de Proctor Modificado y el ensayo de CBR (índice de soporte de California). Los resultados de laboratorio revelaron que la adición del 1.0% de goma xanthan condujo a mejoras notables en las propiedades físicas y mecánicas del suelo subrasante limoso. El índice de plasticidad de la muestra sin tratamiento varió del 5.87% al 21.77%, el contenido óptimo de humedad osciló entre el 18.20% y el 20.77%, la densidad seca máxima del suelo sin tratamiento varió de 1.772 gr/cm³ a 2.014 gr/cm³, y el CBR de la muestra sin tratamiento varió del 12.61% al 29.43% después de la adición de goma xanthan, lo que representó un aumento porcentual del 133%.

2.2 Bases teóricas

En esta parte de la presente investigación se encuentra un conjunto de conceptos que darán enfoque preciso del tema vinculado con el enfoque cuantificado del Efecto de la adición de Gel base en las propiedades: físicas, mecánicas y de impermeabilidad de suelo limoso.

2.2.1 Suelos

Los suelos se componen de partículas sólidas que son sedimentos no consolidados, y se forman como resultado de la descomposición de las rocas. Este proceso de descomposición es causado por la erosión, que es provocada por agentes externos, como el agua, el hielo y el viento, y está influenciado por la fuerza de la gravedad, que actúa como una fuerza selectiva direccional. Como resultado de este proceso, el suelo puede contener materia orgánica., (Escobar & Escobar, 2002).



2.2.1.1 Clasificación de Suelos

La estructura del suelo es una característica distintiva ampliamente utilizada para categorizar diferentes tipos de suelos en todos los niveles. La clasificación de los suelos se basa en un análisis físico que determina el tamaño de las partículas de suelo y utiliza indicadores establecidos por varios autores. Estos indicadores se definen de acuerdo al propósito o uso previsto del suelo. A continuación, se proporciona una descripción más detallada de este proceso de clasificación.: (Perez Valcarcel, 2014).

Arcilla. -

Las arcillas son partículas que tienen un tamaño inferior a $< 0,002$ mm, y a menudo exhiben propiedades coloidales. Los suelos compuestos principalmente de arcilla tienden a ser pesados, lo que significa que retienen agua y no se drenan ni se secan con facilidad. Además, estos suelos suelen tener una buena capacidad para retener nutrientes, lo que los hace fértiles. Sin embargo, cuando están extremadamente secos, la labor en estos suelos puede ser difícil debido a la compactación y la dureza que presentan, en gran parte debido a la abundancia de minerales arcillosos en su composición. (Perez Valcarcel, 2014).

Limo. -

Es un material suelto y no cohesivo, las partículas se encuentran en medidas de 0.002 y 0.06mm, debido a que las partículas de limo son relativamente pequeñas se pueden transportar y suspensión por ríos y por vientos, que sedimenta en lechos de cursos de agua o sobre terrenos que han sido inundados. (Perez Valcarcel, 2014).

Arena. -

Es un material granular compuesto principalmente por partículas pequeñas de rocas, minerales. Las partículas se encuentran medidas entre 0.06 y 2 milímetros. Estos granos pueden ser transportados y depositados por el viento, el agua o el hielo, formando características como playas, dunas y desiertos. (Perez Valcarcel, 2014).



Las superficies delgadas con una plasticidad mínima pueden ser sedimentos no orgánicos extraídos de canteras o sedimentos orgánicos presentes en ríos. Estos sedimentos están compuestos por partículas con diámetros que oscilan entre 0.05 mm y 0.00 mm. En su estado saturado y suelto, no son adecuados para soportar cargas a través de cimientos superficiales. Tienen un rango de color que puede variar desde un gris claro hasta un gris oscuro. Además, estos sedimentos presentan una baja permeabilidad, lo que significa que no permiten un flujo fácil de agua a través de ellos, pero tienen una alta capacidad de compresión. Debido a su baja densidad, generalmente se consideran poco adecuados para ser utilizados en trabajos de cimentación. (Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2014)

2.2.2 Suelo Colapsable

Es un tipo de suelo que experimenta un colapso o asentamiento significativo cuando se les somete a cargas o se produce una disminución en la presión del agua intersticial. Este fenómeno suele estar asociado con suelos finos, como arcillas, limos y otros tipos de suelos con partículas pequeñas y capacidad para retener agua.

Los agentes cementantes que existen en la estructura de los suelos colapsables estabilizan el tejido abierto y parcialmente inestable y, por lo tanto, le dan al suelo una alta capacidad de carga en estado no saturado. Sin embargo, la adición de agua al sistema, junto con la alta presión sobre los suelos, suaviza las uniones entre partículas y conduce a una reducción crítica del volumen. (Rust, 2010)

2.2.2.1 Corrección al Colapso

En general, los métodos para tratar el colapso de los suelos se dividen en dos métodos. Métodos de remediación mecánica, que se centran en aumentar la compactación del suelo y reorganizar las partículas del suelo para reducir el colapso, y métodos de remediación química, que utilizan productos químicos para alterar el comportamiento y mejorar la resistencia y estabilidad de los suelos colapsables. Recientemente, se ha utilizado una combinación de los dos métodos que utilizan la compactación del suelo seguida de la estabilización química para tratar



los suelos problemáticos. A continuación, se presentan algunas de las técnicas más comunes con una explicación de las ventajas y desventajas de cada método. (Jefferson, 2008)

2.2.2.1.1 Método de remediación mecánica

Reemplazo del suelo: Uno de los métodos más simples para lidiar con los suelos colapsables es excavar, eliminar el suelo colapsable y reemplazarlo con un suelo compactado con mejores propiedades mecánicas. Este método sólo puede utilizarse si la capa de suelo problemático es delgada y está cerca de la superficie. (Jefferson, 2008)

Control de humedad: Este método limita y controla la infiltración de agua en la estructura del suelo. Esto se puede hacer a través de la instalación de un sistema de drenaje, el uso de materiales impermeables en el suelo, la restricción de la vegetación del paisaje, o la disminución de la permeabilidad del suelo. (Manckenchinie)

Control de compactación: La compactación es el método más común y barato para remediar los problemas de colapso. Esta técnica puede disminuir en gran medida el grado de colapso en zonas compactadas al tiempo que disminuye el estrés inducido al que se somete el suelo colapsable. La compactación puede resolver el problema de colapso para capas de suelo de hasta 10 metros de profundidad; sin embargo, solo puede hacer frente a suelos colapsables por encima de la capa freática con un nivel de saturación inferior al 60%. (Kozubal, 2015)

Tratamiento térmico y pequeñas explosiones: En este método, el gas y el combustible se queman en pozos presurizados a una temperatura de hasta 1000 °C. Esta técnica destruye la estructura para desarrollar un suelo más estabilizado para proyectos de construcción. (Bell & Bruyn)

2.2.2.1.2 Método de remediación química

Se han utilizado métodos de remediación química para cambiar y mejorar las propiedades de ingeniería de los suelos naturales. Hay cuatro factores que pueden mejorarse utilizando técnicas de estabilización química:



- a) Durabilidad: La resistencia del suelo a la intemperie a corto plazo, la erosión y la infiltración de agua.
- b) Estabilidad de volumen: La resistencia del suelo a cualquier cambio en su estructura debido al hinchamiento, colapso, cambio de temperatura y nivel freático.
- c) Resistencia: La cantidad de carga que el suelo puede soportar antes de que sufra una deformación en su estructura.
- d) Permeabilidad: La facilidad de infiltración de agua entre las partículas del suelo.

Cabe señalar que recopilar suficiente información sobre la composición química y su interacción con las partículas del suelo es esencial cuando se utilizan técnicas de estabilización química. Si no se realiza una evaluación previa al tratamiento, se pueden producir riesgos de ingeniería.

Estabilizadores tradicionales: Los estabilizadores a base de cemento estuvieron entre los primeros productos químicos utilizados para estabilizar suelos colapsables. Los estabilizadores de tipo cemento, como las cenizas volantes, el polvo de horno de cemento y una mezcla de cenizas volantes y cenizas de cáscara de arroz, han mostrado resultados prometedores en la remediación del colapso del suelo. Estos tipos de estabilizadores son más aplicables para depósitos de arena fina, incluidos los suelos colapsables, y se pueden usar una vez finalizada la construcción. Sin embargo, se debe realizar una verificación cuidadosa para asegurarse de que los materiales cementosos hayan penetrado a la profundidad deseada para fortalecer la unión de las partículas al humedecerse. (Jefferson, 2008)

Nuevos estabilizadores químicos: Los nuevos productos químicos como el silicato de sodio, el cloruro de calcio, el hidróxido de sodio, el acrilato de amonio y los residuos y lodos de pulpa de papel de cromo lignina son avances recientes en los estabilizadores químicos. Estos materiales forman agentes cementantes gelatinosos, ya sea a través de una reacción química en la propia solución o a través de una reacción entre la solución y la composición química del suelo y dan como resultado la estabilización estructural de los suelos colapsables. (Tabarsa, Latifi, & Manahiloh, 2018)



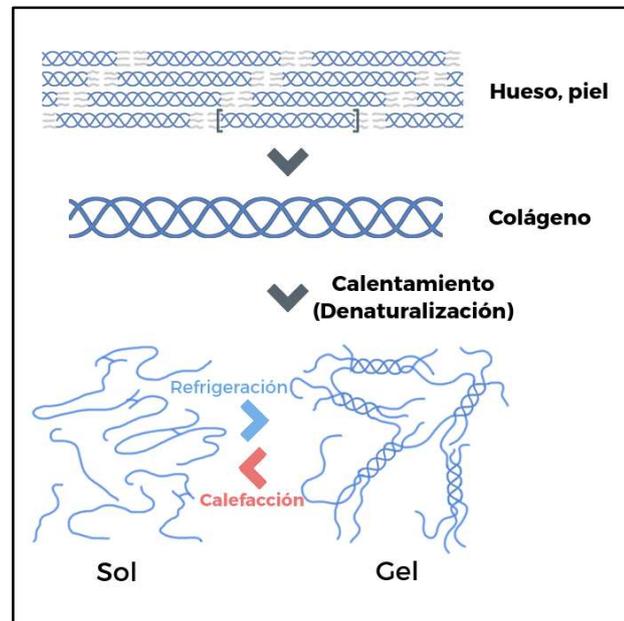
Polímeros: Las deficiencias y desventajas de los materiales anteriores han llevado a los investigadores a centrarse en la búsqueda de nuevos productos químicos y técnicas. Hay algunos ejemplos de polímeros utilizados en el campo de la solidificación del suelo, como la colofonia de urea-formaldehído y la colofonia de hidroquinona-formaldehído, pero el alto precio y la alta toxicidad de los polímeros han limitado su uso. Sin embargo, la introducción de biopolímeros como nuevo agente estabilizador ha superado estos problemas (Khatami & O'Kelly, 2012). Los estudios indican que la solidificación del suelo con biopolímeros es prometedora y el efecto es significativo. La ventaja más destacada de la solidificación de suelo con biopolímeros es que utiliza material menos solidificado. (Ayeldeen, El-Sawwaf, & Kitazume, 2017).

2.2.3 Gel Base

2.2.3.1 Origen De Gel base

El gel base es una sustancia coloidal, incolora e insípida que se obtiene a partir del colágeno presente en huesos, cartílagos y tejidos conectivos de animales, especialmente de cerdos y vacas. El proceso de extracción y producción de gelatina implica la hidrólisis del colágeno mediante tratamientos térmicos o enzimáticos, seguido de una serie de procesos de purificación y secado. El origen de gel base se remonta a siglos atrás, donde se descubrió que al hervir tejidos animales, como huesos y tendones, se obtenía una sustancia gelatinosa que tenía propiedades únicas. A lo largo del tiempo, se perfeccionaron los métodos de producción y la gelatina se utilizó en diversas aplicaciones, desde la fabricación de alimentos hasta la fotografía y la medicina (Schrieber & Gareis, 2007).

Fig 10. Diagrama de la conversión del colágeno en una base de gel.



Fuente: (Labster Theory pages, 2020)

2.2.3.2 Tipos De Gel Base

El gel base se puede clasificar según su origen en los siguientes tipos:

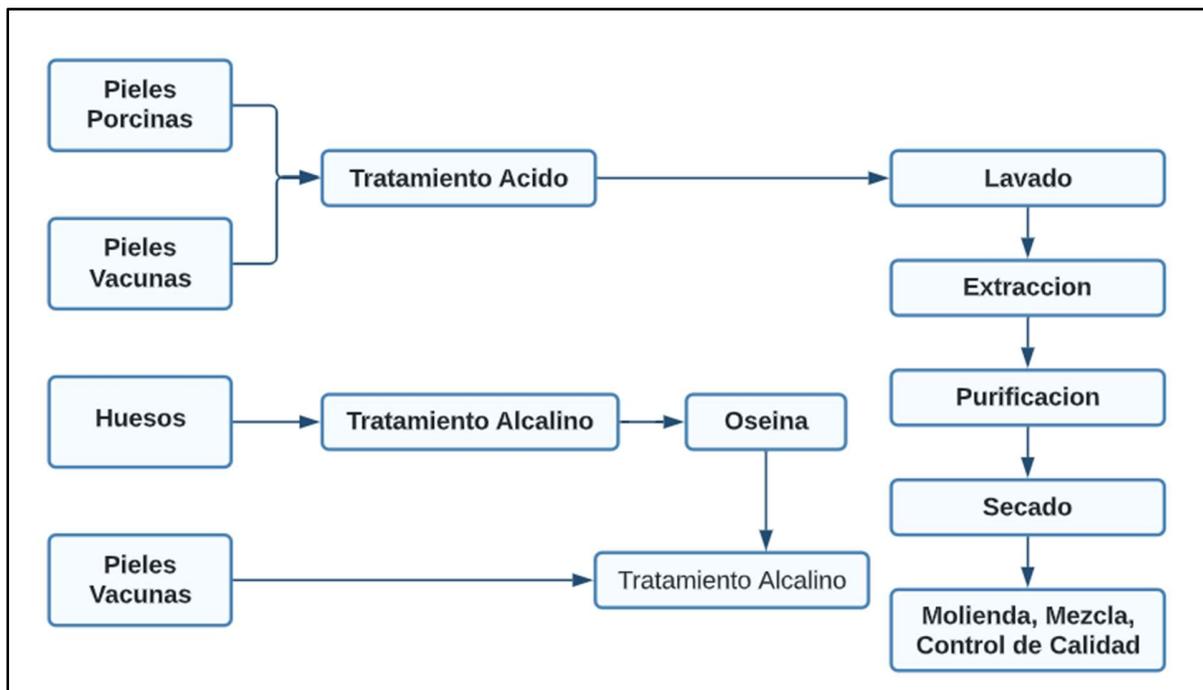
1. Origen mediante los huesos: Esta es la variante más convencional de gel base, obtenida a partir del colágeno contenido en los huesos, piel y tejido conectivo de animales como vacas, cerdos o pescados.
2. Origen vegetal: Es una forma de gel base vegetariana que se elabora a partir de fuentes vegetales, como algas o remolachas, en lugar de colágeno animal.
3. Origen de pescado: Se obtiene a partir del colágeno presente en los tejidos de los peces y se utiliza en algunos países asiáticos en la elaboración de postres y platos tradicionales.

El gel base de huesos es la más común y ampliamente utilizada en la industria alimentaria, mientras que de origen vegetal y de pescado son opciones más específicas y utilizadas en contextos culturales o alimentarios específicos. (Schrieber & Gareis, 2007)



2.2.3.3 Elaboración de la Gel Base

El gel base se produce a partir del colágeno, una proteína estructural que se encuentra en los tejidos conectivos de animales, como huesos, cartílagos y piel. El proceso de elaboración comienza con la selección de materiales ricos en colágeno, que luego se someten a un proceso de limpieza mediante ácido o sustancias alcalinas para eliminar impurezas. Una vez limpio, el tejido se calienta en agua, lo que provoca la ruptura de los enlaces cruzados que mantienen las cadenas de colágeno en su estructura helicoidal característica. Este proceso, conocido como hidrólisis, transforma el colágeno en gelatina, cuyas moléculas se dispersan en el agua caliente. Posteriormente, se elimina parte de la humedad y se enfrían las dispersiones coloidales concentradas. La mezcla resultante se convierte en gelatina en una capa delgada, que luego se seca y comercializa en forma granulada o pulverizada para su uso en diversas aplicaciones, desde la fabricación de alimentos hasta la producción de productos farmacéuticos y cosméticos. La gelatina, en su esencia, representa una transformación del colágeno mediante un proceso cuidadosamente controlado que aprovecha las propiedades únicas de esta proteína para crear un producto versátil y ampliamente utilizado en diversas industrias. (Schrieber & Gareis, 2007)





Fuente: (Schrieber & Gareis, 2007)

2.2.3.4 Gel base 200 y Gel Base 280

El gel base 200 y 280 son un polímero que se obtiene a partir de proteínas animales y que se utiliza como gelificante en la elaboración de diferentes tipos de geles. Al hidratar el gel base en un líquido, se forma un gel que puede ser moldeado en diferentes formas y que se solidifica a medida que enfría. El gel base se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, que incluyen la fabricación de productos cosméticos, productos farmacéuticos, alimentos y otros artículos afines. Debido a sus propiedades gelificantes, espesante y estabilizante. (Insuquímica, 2023)

2.2.3.4.1 Gel base 200:

El gel base 200 tiene una fuerza de gelificación de 200 bloom. Se utiliza comúnmente en una variedad de aplicaciones culinarias, como para hacer gelatinas, postres, rellenos de tartas y otros productos donde se necesita una textura de gel más suave y flexible. También puede usarse en aplicaciones farmacéuticas y en la fabricación de cápsulas de gelatina. (Rousselot, 2020)

2.2.3.4.2 Gel Base 280:

El gel base 280 tiene una fuerza gelificante de 280 bloom. Debido a su mayor poder gelificante, se utiliza en aplicaciones donde se requiere un gel más firme y sólida. Esto incluye la producción de ciertos tipos de caramelos, productos de confitería y otros alimentos donde se necesita una textura más resistente y elástica. (Rousselot, 2020)

2.2.3.5 Fuerza de Gel (Bloom)

La fuerza de gel se relaciona con la capacidad de un gel para resistir la deformación o el cambio de forma cuando se le aplica una fuerza externa. Una métrica común para medir la fuerza de gel es el índice de Bloom, que se emplea en el gel para evaluar su calidad.

El índice de Bloom se utiliza para medir la fuerza de un gel, y se emplea en el gel para evaluar su calidad. se obtiene mediante un ensayo específico llamado "ensayo de Bloom". Bloom



propone una máquina que utiliza una varilla de 12,5 mm de diámetro con la que ejerceremos presión sobre la superficie del gel hasta que esta se desplace exactamente 4 mm. La máquina permite establecer el peso en gramos que es necesario para que la varilla genere el abombamiento del gel ya mencionado. Ese peso en gramos es directamente el número de Bloom también llamado fuerza de gel. (Cocinista, 2018)

2.2.4 Interacción del gel base con el Suelo

Los suelos cohesivos, como los limosos, están compuestos principalmente por partículas finas, incluyendo arcillas y limos. Estas partículas tienen la capacidad de compactarse y formar agregados más pequeños debido a las fuerzas de cohesión entre ellas. La compactación puede resultar en una estructura más cerrada, pero, aun así, los suelos cohesivos suelen tener poros más grandes debido a la irregularidad y a la unión entre partículas.

Al añadir el gel base al suelo limoso, se introducen agentes aglomerantes y una matriz gelatinosa. La gelatina tiene la capacidad de retener agua y formar enlaces con las partículas del suelo. Aquí están algunas maneras en las que la gelatina podría interactuar con la estructura del suelo:

- a. Fortalecimiento de la Unión entre Partículas: El gel base, al hidratarse y formar una matriz gelatinosa, actúa como un agente de unión entre las partículas del suelo. Este proceso puede ser comparado con la adición de estabilizadores al suelo para mejorar la cohesión entre partículas.
- b. Prevención de la Compactación Excesiva: La matriz gelatinosa creada por la gelatina sirve como una especie de "entramado" que ayuda a mantener la estructura del suelo y evita la compactación excesiva. En la construcción, donde la compactación del suelo puede afectar negativamente la capacidad de carga y la resistencia del suelo.
- c. Refuerzo de la Resistencia al Corte: La cohesión mejorada por la gelatina puede contribuir al aumento de la resistencia al corte del suelo, esto es crucial para garantizar la estabilidad de cimientos y estructuras, especialmente en suelos con baja cohesión natural.



- d. Reducción del Riesgo de Erosión: Al mejorar la coherencia del suelo, la gelatina también puede ayudar a reducir el riesgo de erosión, un problema común en la construcción. Esto es importante para garantizar la integridad de las estructuras y evitar problemas de estabilidad.

2.2.5 Ensayos de laboratorio

2.2.5.1 Muestreo de Suelo

Es el proceso de recopilar muestras de suelo que sean representativas y que permitan obtener información sobre las características del suelo en estudio. Es fundamental seguir un protocolo meticuloso que abarque desde la recopilación hasta el embalaje, la identificación y el transporte de las muestras con el fin de garantizar su representatividad y la precisión de los datos obtenidos. (OLAZABAL BAIRO & GUEVARA VERA, 2019). El muestreo de suelo se clasifica en dos tipos:

Muestras alteradas: son aquellas que han sido fragmentadas o disgregadas y que no preservan la estructura y humedad original. Es importante conocer el contenido de humedad original para realizar estudios adecuados, por lo que es necesario envasarlas y transportarlas de manera adecuada. Las muestras pueden obtenerse a través de excavaciones, cortes, perforaciones, etc. y deben ser representativas de cada nivel estratigráfico para llegar a la profundidad deseada y realizar la exploración o el estudio necesario.

Muestras Inalteradas: Las muestras inalteradas hacen más posible una evaluación más precisa de las características físicas y geológicas del suelo, dado que su estructura primaria permanece intacta y sin modificaciones.



Además, al obtener muestras inalteradas se puede realizar una caracterización más detallada de las capas de suelo y su distribución, lo que es útil en aplicaciones como la exploración geológica, la investigación de suelos para la construcción, la identificación de problemas de suelos contaminados, entre otros.

2.2.5.2 Contenido de humedad

Definición:

(MTC-E-108, 2016) se refiere a la cantidad de agua presente en una muestra de suelo y se define como la proporción del peso del agua con respecto al peso de los sólidos en el suelo. Esta relación puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

Contenido de humedad:

$$w = \frac{M_{cs} - M_{cws}}{M_{cs}} \times 100$$

Donde:

W.: Contenido de humedad (%).

M.c.w.s: Peso del recipiente más el suelo húmedo (gr).

M.c.s.: Peso del recipiente más el suelo secado en horno (gr).

M.c.: Peso del agua (gr).

M.s.: Peso de las Partículas sólidas (gr).

2.2.5.3 Análisis Granulométrico

La granulometría desempeña un papel fundamental en diversas aplicaciones, como la comprensión de la estructura y textura de los suelos, la identificación de suelos problemáticos en proyectos de construcción y la caracterización de materiales utilizados en la industria. También es esencial para evaluar la calidad de las mezclas de suelo y optimizar procesos de producción. En esta investigación, se utiliza el análisis mecánico por cribado como método.

El análisis por cribado implica agitar la muestra en un conjunto de tamices que tienen aberturas progresivamente más pequeñas y están estandarizados. El procedimiento comienza con



el secado de la muestra en un horno eléctrico, seguido por la agitación en el conjunto de tamices. Luego de completar el proceso de tamizado, se procede a pesar las muestras retenidas en cada una de las mallas utilizadas. (Das B. , 2016).

Fig 11. Tamaños de Mallas Estándar

Tamiz núm.	Abertura (mm)
4	4.750
6	3.350
8	2.360
10	2.000
16	1.180
20	0.850
30	0.600
40	0.425
50	0.300
60	0.250
80	0.180
100	0.150
140	0.106
170	0.088
200	0.075
270	0.053

Fuente: (Das B. , 2016)



Fig 12. Tamices para Zarandeo



Fuente: (Das B. , 2016)

Procedimiento:

- Se coge una muestra esté seca y libre de grumos o agregados. Si es necesario, tritura y homogeneiza la muestra.
- Se pesa una cantidad adecuada de muestra seca y registra su peso
- Coloca el tamiz superior en la parte superior del juego de tamices y el tamiz inferior en la parte inferior.
- Apila los tamices restantes en orden de tamaño descendente.
- Vierte la muestra preparada en el tamiz superior.
- Cubre el juego de tamices con la tapa y coloca el conjunto en el agitador mecánico o tamizador.
- Enciende el agitador mecánico o tamizador y agita durante un tiempo específico (generalmente 10-15 minutos) para separar las partículas según su tamaño.
- Después de la agitación, apaga el tamizador y retira cada tamiz con cuidado.
- Pesa cada fracción de material retenida en cada tamiz y registra los pesos.

Calculo:



El cálculo del porcentaje que se queda atrapado en cada tamiz se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$\%Retenido = \frac{\text{Peso retenido en el tamiz}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

Tabla 5. Ejemplo de porcentaje retenido

Malla N° (1)	Diámetro (mm) (2)	Masa de suelo retenido en cada malla (g) (3)	Porcentaje de suelos retenidos en cada malla (4)	Porcentaje que pasa (5)
10	2.000	0.00	0.00	100.00
16	1.180	9.90	2.20	97.80
30	0.600	24.66	5.48	92.32
40	0.425	17.60	3.91	88.41
60	0.250	23.90	5.31	83.10
100	0.150	35.10	7.80	75.30
200	0.075	59.85	13.30	62.00
Pan		278.99	62.00	0.00

Fuente: (Das B. , 2016)

Fig 13. Clasificación de Materiales Granular AASHTO.

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
	A-1			A-2			
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx.						
Núm. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
Núm. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Limo o grava arcillosa y arena			
Clasificación general de la subrasante	Excelente a bueno						

Fuente: (Das B. , 2016)

Fig 14. Clasificación de Materiales Granular AASHTO.

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6†
Grupo de clasificación				
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)				
Núm. 10				
Núm. 40				
Núm. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción de paso núm. 40				
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Clasificación general de la subrasante	Regular a malo			

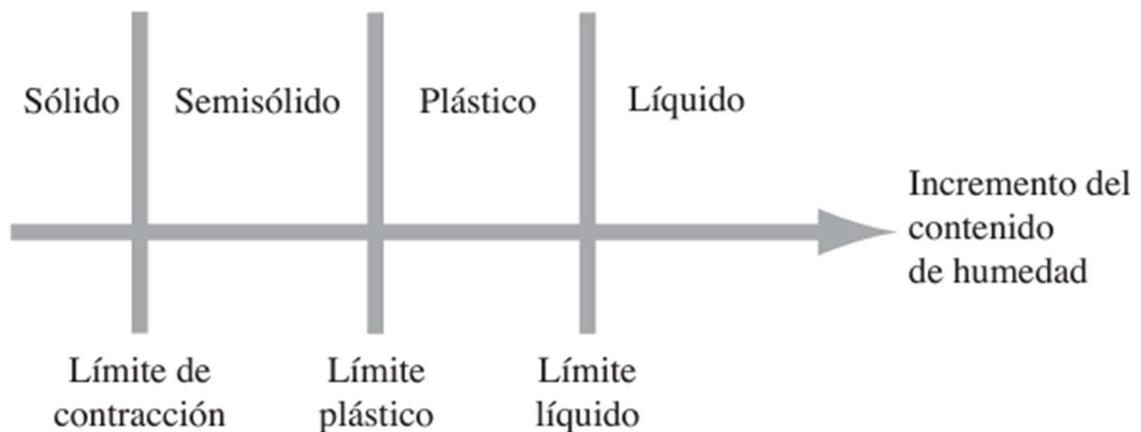


Fuente: (Das B. , 2016)

2.2.5.4 Límite de Consistencia de Atterberg

El suelo contiene una mayor cantidad de agua, disminuye la fricción entre las partículas del suelo y, por lo tanto, disminuye su capacidad de soporte, lo que se asemeja al comportamiento de un líquido. Este estado se conoce como estado plástico o estado líquido-plástico y puede afectar la estabilidad de estructuras construidas sobre el suelo. (Urzua, 2011)

Fig 15. Límites de Atterberg



Fuente: (Das B. , 2016)

2.2.5.5 Limite Liquido

Se refiere al porcentaje de humedad presente en el suelo, lo cual se utiliza para identificar los límites de consistencia del suelo y su transición entre sus estados sólido, plástico y líquido. Este análisis se realiza mediante el empleo de la copa de Casagrande. En este ensayo particular, el punto límite líquido (LL) se establece como el nivel de humedad en el suelo en el que se necesitan 25 golpes con la cuchara de Casagrande para cerrar un surco de 13 mm de ancho. (MTC-E-110, 2016)

Equipos:

Cuchara de Casagrande.

Recipiente.

Fig 16. Cuchara de casa grande



Fuente: (Rcingtec, 2023)

Procedimiento:

Según (NTP 339,127):

- La muestra de suelo debe estar previamente preparada según estándares específicos para obtener una consistencia uniforme.
- Coloca una porción de la muestra preparada en la Copa de Casagrande.
- Utiliza el acanalador para crear una ranura vertical en la muestra.
- Divide la muestra en dos partes: una parte se utiliza para la prueba de límite líquido y la otra para el límite plástico.
- La porción destinada al límite líquido se amasa con una pequeña cantidad de agua para que quede uniformemente distribuida en la muestra.
- Coloca la muestra amasada en la Copa de Casagrande y distribúyela uniformemente en la base de la copa.
- Nivelas la muestra de manera que quede ligeramente más alta que el nivel de la ranura en la Copa de Casagrande.



- Cubre la Copa de Casagrande con su tapa y golpéala ligeramente en la mesa de trabajo para eliminar las burbujas de aire y asentar la muestra.
- Gira la manivela de la Copa de Casagrande a una velocidad constante y uniforme. Esto hará que la muestra se mueva y se desprenda gradualmente de las paredes de la copa.
- Observa continuamente la ranura en la muestra mientras giras la manivela. El límite líquido se alcanza cuando la ranura se cierra completamente a lo largo de una longitud de 12.7 mm (0.5 pulgadas) durante una distancia de al menos 1.27 cm (0.5 pulgadas). Esto significa que la muestra fluye lo suficiente como para cerrar la ranura bajo la acción de la manivela.
- Registra el número total de golpes en la manivela (generalmente, se cuentan cada 25 golpes) cuando se alcanza el cierre de la ranura.
- Repite el procedimiento dos o tres veces para obtener resultados consistentes y promedia los valores de N.

Calculo:

Calcula el límite líquido (LL) utilizando la fórmula:

Límite Líquido

$$LL = Wn \left(\frac{N}{25} \right)^{0.121} \quad \text{o} \quad LL = kWn$$

Donde:

N.: Numero de golpes requeridos para cerrar la ranura en el contenido de humedad.

Wn.: Contenido de humedad del suelo

K: Factor dado en la tabla 6.



Tabla 6. Factor para Limite Líquido (K)

N (Numero de golpes)	K (factor para limite liquido)
20	0.974
21	0.979
22	0.985
23	0.990
24	0.995
25	1.000
26	1.005
27	1.009
28	1.014
29	1.018
30	1.022

Fuente: (MTC-E-110, 2016)

2.2.5.6 Limite Plástico

El límite plástico es el nivel de humedad en el que el suelo transita de su consistencia plástica a una consistencia no plástica o semisólida. Este límite se determina mediante un ensayo en el que se realizan pequeñas esferas con la muestra de suelo y se enrollan en cilindros hasta que se adhieren a las manos y presentan fisuras sin desmoronarse después de 25 golpes en una superficie lisa. (MTC-E-111, 2016)

Procedimiento:

Según la norma MTC-E-108:

- La muestra de suelo debe estar previamente preparada y remoldeada según estándares específicos.
- Toma una porción representativa de la muestra de suelo remoldeada.
- Coloca la muestra en una unidad de trabajo y agrega una pequeña cantidad de agua.



- Usando una varilla plana, mezcla la muestra con el agua hasta que se obtenga una consistencia uniforme y se forme una pasta.
- Forma una pequeña porción de la muestra en una bola o cilindro de aproximadamente 3.2 mm de diámetro y 2 mm de espesor.
- Toma la bola de suelo y comienza a rodarla con los dedos sobre una superficie plana y no absorbente, como una placa de vidrio, aplicando una presión constante.
- Sigue rodando la bola hasta que se note que la bola se quiebra o agrieta. Esto indica que la muestra ha alcanzado su límite plástico.

Calculo:

Para realizar el cálculo, es necesario obtener el promedio de los resultados de dos muestras, siempre y cuando la diferencia entre ellas no supere los parámetros especificados en la tabla 7. Si la diferencia entre las muestras excede estos parámetros, se deben repetir los ensayos.

Tabla 7. Índice de Precisión para límites Plásticos

Índice de Precisión y tipo de ensayo	Desviación Estándar	Rango Aceptable de los resultados
Precisión de un operador simple		
Límite Plástico	0.9	2.6
Precisión Multilaboratorio		
Límite Plástico	3.7	10.6

Fuente: (MTC-E-111, 2016)

Calculo:

$$IP = LL - LP$$

Donde:



IP: Indice de Plasticidad.

LL: Limite Liquido.

LP: Limite Plástico.

En ciertas circunstancias, puede resultar imposible determinar tanto el límite líquido como el límite plástico. En tales casos, se registrará el índice de plasticidad como "no plástico" (NP) en los resultados. Además, si el valor del límite plástico es igual o mayor que el límite líquido, también se registrará como "no plástico" (NP).

2.2.5.7 Clasificación de suelos

Por lo general, para clasificar los distintos tipos de suelos y evaluar su comportamiento mecánico, es esencial recopilar datos sobre su plasticidad y granulometría. Este proceso se basa en el análisis de las características físicas y las propiedades geomecánicas del suelo. (Bañon & Beviá, 2000).

En 1942, el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos utilizó un sistema genérico de clasificación de suelos para construir las infraestructuras necesarias durante la Segunda Guerra Mundial, como zonas y pistas de aterrizaje. Posteriormente, en 1952, el Bureau of Reclamation modificó este sistema, dando origen al nuevo sistema de clasificación de suelos (SUCS). Este sistema fue ampliamente adoptado debido a su utilidad y fue incluido en el conjunto de métodos normalizados de la ASTM (American Society for Testing and Materials).

Fig 17. Simbología (SUCS)

TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUB GRUPO	SUFIJO
Grava	O	Bien graduado	W
Arena	S	Pobremente graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Limite liquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Limite liquido (<50)	H

Fuente: (Das B. , 2016)

Fig 18. Tipología de suelos (SUCS)

Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	Gravas Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz núm. 4	Gravas limpias Menos de 5% finos ^a Gravas con finos Más de 12% finos ^{a,d}
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz núm. 4	Arenas limpias Menos de 5% finos ^b Arenas con finos Más de 12% finos ^{b,d}
Suelos de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz núm. 200	Limos y arcillas Límite líquido menor que 50	Inorgánico Orgánico
	Limos y arcillas Límite líquido 50 o más	Inorgánico Orgánico

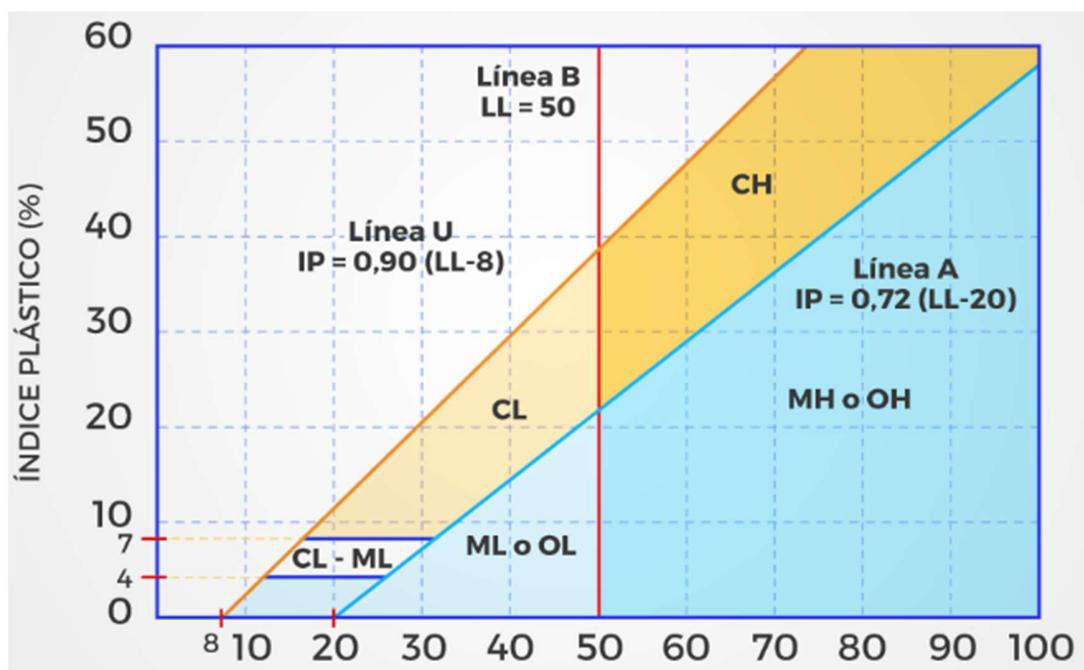
Fuente: (Das B. , 2016)

En las tablas de SUCS divide el suelo en 3 tipos:

1. Suelo Granular: se dividen en gravas y arena, siendo separados a través del tamiz N° 4. La clasificación de un suelo como grava se establece si más del 50% de este retiene el tamiz No 4; en caso contrario, se clasifica como suelo de arena.
2. Suelo Fino: el sistema unificado los categoriza en tres grupos: limos inorgánicos (M), arcillas inorgánicas (C), y limos y arcillas orgánicas (O). Cada uno de estos tipos se subdivide según su límite líquido, con una línea divisoria en $LL = 50\%$. Si el límite líquido es inferior a 50, se agrega la letra L al símbolo general (baja compresibilidad); si es superior a 50, se añade la letra H (alta compresibilidad).
3. Suelos Orgánicos: compuestos principalmente por materia orgánica, se consideran inapropiados como terreno para cimentación.

Fuente: (Editor Geoxnet, 2019)

Fig 19. Carta de Casagrande.



Fuente: (Construsuma, 2021)



Compactación de suelos.

(Prueba Proctor Modificado)

- Compactación de suelos

La compactación de suelos es un proceso que busca aumentar la resistencia y la densidad de los suelos, lo que resulta en un aumento en su peso unitario. Este método se utiliza ampliamente para mejorar las propiedades de los suelos en proyectos de ingeniería. La compactación tiene la capacidad de corregir deficiencias en el suelo y proporcionar estabilidad a taludes y estructuras. (Das, 2015).

Existen tres métodos electivos para llevar a cabo la compactación, y es importante especificar cuál de estos métodos se utilizará, así como el material de ensayo que se empleará en el proceso. (MTC, 2016).

- Método para el ensayo de Proctor



Tabla 8. Métodos de ensayo Proctor.

	<i>Método A</i>	<i>Método B</i>	<i>Método C</i>
<i>Molde</i>	101,6 (4") de diámetro	101,6 (4") de diámetro	101,6 (4") de diámetro
<i>Material</i>	Muestra que pasa el tamiz N°4 (4.75 mm)	Muestra que pasa el tamiz 3/8" (9,5 mm)	Muestra que pasa el tamiz 3/4" (19 mm)
<i>Capas</i>	5	5	5
<i>Golpes</i>	25	25	56
<i>Uso</i>	Cuando el 20 % o menos del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (N°4)	Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (N°4) y 20% o menos de peso del material es retenido en el tamiz 9,5 mm (3/8 pulg.).	Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 9,5 mm (3/8 pulg.) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz 19,0 mm (3/4 pulg.).
<i>Otros Usos</i>	Si el método no es especificado; los materiales que cumplen estos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método B o C	Si el método no es especificado, y los materiales entran en los requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método C.	Este método de prueba generalmente producirá un Peso Unitario Seco Máximo bien definido para suelos que no drenan libremente.

Fuente: (MTC-E-115, 2016)

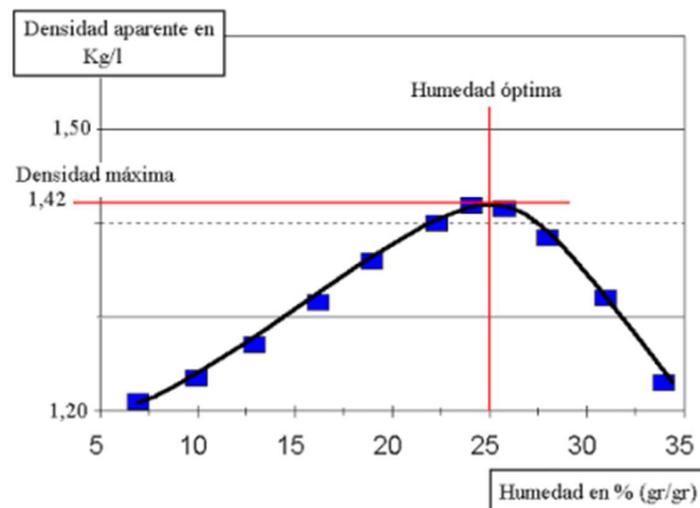
- Prueba de Proctor Modificado

El ensayo implica la compresión de una muestra de suelo en un molde cilíndrico de metal, cuyas dimensiones varían según el método específico utilizado. El proceso de compactación se realiza en cinco estratos de la muestra, aplicando en cada uno de ellos 25 golpes mediante un pistón

que tiene un peso de 10 libras. Este procedimiento se emplea para evaluar las propiedades de compactación del suelo y su capacidad de soporte. (Duque-Escobar & Escobar, 2002).

La interpretación de los resultados se llevará a cabo mediante la construcción de una gráfica que relaciona la densidad del suelo con su contenido de humedad. El objetivo principal de esta gráfica es identificar el punto óptimo de contenido de humedad, que se define como el punto en el que la gráfica muestra la mayor densidad alcanzada. Esto permite determinar las condiciones ideales de humedad para lograr la máxima compactación del suelo.

Fig 20. Gráfica de contenido de humedad



Fuente: (Pecorari & Alassia)

2.2.5.8 Densidad seca (ASTM-D7263)

Definición:

(ASTM-D7263) Los científicos del suelo emplean la densidad seca, que representa la densidad de un suelo o roca, en conjunto con la densidad aparente, para realizar conversiones entre la fracción de agua en el suelo en términos de masa y volumen, o viceversa. Si se conoce la densidad de partículas, a veces llamada gravedad específica, es posible utilizar la densidad seca para calcular la porosidad y la relación de vacío en el suelo. Además, las mediciones de densidad seca son fundamentales para determinar el nivel de compactación del suelo. Dado que el contenido



de humedad en el suelo es variable, la densidad del suelo en su estado húmedo ofrece información limitada, salvo para estimar el peso del suelo por unidad de volumen.

Equipos:

Según la Norma ASTM-D7263

Balanza. -

De acuerdo con la especificación D4753 y a esta sección, todas las balanzas deben cumplir con los requisitos establecidos. Para especímenes con una masa de hasta 200 gramos, se debe utilizar una balanza de clase GP1 con una legibilidad de 0,01g. Para especímenes con una masa superior a 200 gramos, se requiere una balanza de clase GP2 con una legibilidad de 0,1g.

Fig 21. Balanza



Fuente: Maquinaria 10

Horno de Secado. -

Se refiere a un aparato de regulación térmica, preferiblemente con sistema de ventilación forzada, diseñado para controlar y mantener la temperatura en todo el espacio de la cámara de secado de manera uniforme a una temperatura constante de 110 ± 5 °C.



Fig 22. Horno de Secado



Fuente: Controltecnica

Dispositivos de medición de tamaño de muestra. –

Los instrumentos empleados para calcular la altura y el ancho, o el diámetro, de la muestra registrarán las dimensiones con una precisión de cuatro dígitos significativos y estarán diseñados para evitar desplazamientos o penetraciones en la muestra durante su uso.



Fig 23. Regla



Fuente: Notus

Fig 24. Vernier



Fuente: Lazo de Control

Equipos Varios. –

En caso de requerirlo, se utilizará herramientas de corte y talla, tales como una sierra de alambre, una caja de ingletes, así como moldes de muestras y fichas técnicas técnicas.

Fig 25. Sierra de Alambre



Fuente: Sunsky

Fig 26. Caja de Inglete



STANLEY

Fuente: Stanley

Procedimiento:

Según la norma ASTM-D7263:

Se debe preparar muestras sin alteraciones a partir de bloques grandes o muestras que se hayan asegurado de acuerdo con la práctica D1587 u otros métodos aceptables de muestreo de tubos, como la práctica D3550. Para obtener los especímenes de muestras intactas, se puede emplear un anillo de corte afilado. Es importante manipular las muestras con precaución para evitar cualquier perturbación, variación transversal o cambios en la humedad. En general, los especímenes tienen una forma cúbica o cilíndrica.

Las muestras deben ser preparadas de acuerdo con las instrucciones de la persona encargada del ensayo o siguiendo las indicaciones del correspondiente procedimiento de ensayo aplicable. Después de formar la muestra, se deben recortar los extremos perpendiculares al eje longitudinal, retirar el molde y medir la masa y las dimensiones de las muestras de ensayo. Las dimensiones del molde, tanto la altura como las dimensiones interiores, pueden ser consideradas como representativas de las dimensiones de la muestra.



Calculo:

Para calcular la densidad seca, es necesario dividir el peso seco del espécimen por el volumen del espécimen en estado seco.

$$D_s = \frac{W_s}{V_s} \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

Donde:

Ds: Densidad seca del espécimen.

Ws: Peso seco del espécimen.

Vs: Volumen del espécimen seco.

2.2.5.9 Cohesión (ASTM D2166)

Definición:

(ASTM D2166) se refiere a la capacidad de un suelo para resistir la ruptura interna debido a fuerzas de corte. Es una medida de la resistencia interna de un suelo a la deformación y se utiliza para caracterizar su comportamiento bajo carga.

El ensayo de compresión simple es fundamental para estimar la cohesión.

2.2.5.9.1 Ensayo de Compresión Simple

Definición:

(ASTM D2166) es una evaluación de laboratorio empleada para analizar las propiedades de compresión y deformación de un suelo cohesivo cuando se somete a una carga de compresión en una sola dirección. Este ensayo se lleva a cabo en muestras de suelo que pueden ser tanto no perturbadas como remoldeadas, y su principal objetivo es brindar información esencial sobre cómo el suelo responde cuando se aplican cargas verticales.



Equipos:

Según la Norma (ASTM-D2166)

Aparato De Compresión Simple. -

Este dispositivo se emplea comúnmente en la ingeniería geotécnica para evaluar la capacidad de carga y la estabilidad de los suelos. Se utiliza para medir la resistencia a la compresión de un suelo o material granular.

Fig 27. Aparato De Compresión Simple



Fuente: Lazarus

Dispositivos de medición de tamaño de muestra. –

Los instrumentos empleados para calcular la altura y el ancho, o el diámetro, de la muestra registrarán las dimensiones con una precisión de cuatro dígitos significativos y estarán diseñados para evitar desplazamientos o penetraciones en la muestra durante su uso.



Fig 28. Regla



Fuente: Notus

Fig 29. Vernier



Fuente: Lazo de Control

Procedimiento:

Según la norma ASTM-D2166:

Preparar una muestra representativa del suelo, se determina la altura y el diámetro promedio se toma por lo menos 3 mediciones de altura y por lo menos 3 mediciones de diámetro. Luego colocarla entre las platillas superior e inferior del aparato, aplicar una carga axial gradual y continua, registrar la carga y la deformación del suelo, continuar aplicando la carga hasta alcanzar un nivel de deformación o una disminución significativa en la carga, registrar la carga final y la deformación correspondiente, y calcular los parámetros de resistencia y deformabilidad del suelo utilizando los datos registrados y los métodos especificados en la norma.

Calculo:

$$Fv = \left(\frac{q}{A}\right) \left(\frac{Kg}{Cm^2}\right)$$

Donde:

FV = Resistencia compresiva.



q = Carga

A = Área transversal promedio.

Cálculo de Cohesión:

$$C = \frac{1}{2} \times f_v$$

Donde:

f_v = Resistencia última a la compresión.

C = Cohesión.

2.2.5.10 Ascensión Capilar

Se refiere al proceso en el cual el agua asciende verticalmente a través de los poros y capilares presentes en el suelo.

Realizamos el ensayo de ascensión capilar siguiendo el procedimiento especificado en la norma UNE-EN 772-11:2011, utilizando nuestras muestras cilíndricas compuestas por suelo limoso mezclado con Gelbase 200 y Gelbase 280.

Equipos:

Según la Norma UNE-EN 772-11:2011

Balanza. -

De acuerdo con la especificación D4753 y a esta sección, todas las balanzas deben cumplir con los requisitos establecidos. Para especímenes con una masa de hasta 200 gramos, se debe utilizar una balanza de clase GP1 con una legibilidad de 0,01g. Para especímenes con una masa superior a 200 gramos, se requiere una balanza de clase GP2 con una legibilidad de 0,1g.



Fig 30. Balanza



Fuente: Maquinaria 10

Horno de Secado. -

Se refiere a un aparato de regulación térmica, preferiblemente con sistema de ventilación forzada, diseñado para controlar y mantener la temperatura en todo el espacio de la cámara de secado de manera uniforme a una temperatura constante de $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$.



Fig 31. Horno de Secado



Fuente: Controltecnica

Recipiente o Bandeja. – Para este ensayo utilizamos un recipiente de vidrio cuadrado.

Fig 32. Recipiente de vidrio



Fuente: Propia



Dispositivos de apoyo. – Se utilizan para que la muestras no tengan contacto con la bandeja, lo cual tiene que ser menos del 20% de la superficie de la muestra.

Cronometro. – El cronometro tiene que ser graduado en segundos.

Fig 33. Cronometro



Fuente: Propia

Dispositivos de medición de tamaño de muestra. –

Los instrumentos empleados para calcular la altura y el ancho, o el diámetro, de la muestra registrarán las dimensiones con una precisión de cuatro dígitos significativos y estarán diseñados para evitar desplazamientos o penetraciones en la muestra durante su uso.



Fig 34. Regla



Fuente: Notus

Fig 35. Vernier



Fuente: Lazo de Control

Procedimiento. – El proceso comienza colocando la muestra en un horno durante al menos 12 horas. es necesario medir los diámetros en la parte superior, media e inferior de la muestra, para tener el área de sección de la muestra. Después, se llena una bandeja con agua hasta alcanzar una altura de 5 mm. A continuación, se colocan 4 dispositivos de apoyo dentro de la bandeja para asegurar que las 4 esquinas del bloque no estén en contacto directo con la bandeja. Se verifica con un vernier que la altura del agua esté 5 mm. por encima de los dispositivos de apoyo. Luego, se programa un cronómetro por un minuto para registrar la sumersión de la muestra. Una vez que el cronómetro está listo, se pesa la muestra y se coloca sobre las superficies de apoyo en la bandeja con agua. Al finalizar el minuto, la muestra se retira y se procede a realizar una nueva medición de su peso.

Calculo:

$$Cw = \frac{mso - mdry}{As \times tso} \times 10^6 \left(\frac{g}{m^2 \times s} \right)$$

Donde:

Cw: Coeficiente de absorción de agua debida a la capilaridad.

mso: Peso de la muestra humedad.

mdry: Peso de la muestra seca.



As: Área de la sección de la muestra.

Tso: Tiempo de la succión en minutos.

2.3 Marco Conceptual

Gel Coloidal Base 200: Es un tipo de gelatina que se utiliza comúnmente en la industria alimentaria debido a su alta fuerza de gelificación. Esta propiedad significa que la gelatina 200 bloom tiene la capacidad de formar un gel fuerte y estable cuando se disuelve en agua y se enfría.

Gel Coloidal Base 280: Es otro tipo de gelatina utilizada en la industria alimentaria, que tiene una fuerza de gelificación aún mayor que la gelatina 200 bloom. Esto significa que la gelatina 280 bloom tiene la capacidad de formar un gel aún más fuerte y estable que la gelatina 200 bloom.

Fuerza Bloom: Es una medida que indica la capacidad de la gelatina para formar un gel consistente y resistente. Esta medida es comúnmente utilizada en la industria alimentaria para evaluar la fuerza de gelificación de la gelatina. En términos simples, la fuerza bloom se incrementa a medida que la capacidad de la gelatina para formar un gel más firme y uniforme aumenta.

Capacidad Portante: Es la máxima capacidad que puede soportar el suelo sin experimentar deformaciones excesivas o fallas, y es fundamental en la ingeniería civil para garantizar la seguridad y estabilidad de estructuras y cimientos.

Consistencia: Se refiere a la capacidad de un material para resistir fuerzas sin sufrir roturas o deformaciones excesivas.

Contenido de Humedad: La cantidad de agua presente en una porción específica de suelo, expresada como un porcentaje del peso o volumen del suelo, o como la cantidad de agua en pulgadas por pie cúbico de tierra.

Fichas de Recolección de Datos: Documentación de los datos obtenidos durante una investigación, con el fin de analizarlos en una etapa posterior.



Granulometría: Un análisis físico que evalúa la distribución de tamaños de partículas en el suelo, generalmente realizado mediante tamices. Los resultados se expresan como porcentajes que indican la cantidad de partículas retenidas en cada tamiz de tamaño específico.

Índice de Plasticidad: Un valor, expresado como porcentaje del peso seco de la muestra de suelo, que indica el rango de variación en la humedad que permite que el suelo conserve su propiedad plástica.

Límite de Liquidez: Es el contenido de humedad mínimo en un suelo que le permite adquirir propiedades plásticas y ser maleable. Es esencial en la geotecnia para evaluar la plasticidad de un suelo. Se determina mediante ensayos de laboratorio.

Límite Plástico: El porcentaje de humedad presente en el suelo que determina su estado, pasando de un estado plástico a uno semisólido a medida que disminuye la humedad.

Resistencia a la Compresión (f'_c): La carga máxima que un cilindro de suelo, mezclado con gel coloidal base, puede soportar bajo una fuerza axial.

2.4 Hipótesis

2.4.1 *Hipótesis General*

Hipótesis General: La adición de Gel base 200 y 280 tiene un efecto significativo en la densidad seca, la cohesión y la ascensión capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023.

2.4.2 *Hipótesis específicas*

2.4.2.1 **Hipótesis Especifica 1:**

El impacto del Gel Base 200 en la densidad seca del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023, es significativo.



2.4.2.2 Hipótesis Especifica 2:

La influencia del Gel Base 280 en la densidad seca del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023, es significativo.

2.4.2.3 Hipótesis Especifica 3:

El impacto del Gel Base 200 en la cohesión del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023, es significativo.

2.4.2.4 Hipótesis Especifica 4:

La incidencia del Gel Base 280 en la cohesión del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023, es significativa.

2.4.2.5 Hipótesis Especifica 5:

El efecto del Gel Base 200 en la ascensión capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023, es significativo.

2.4.2.6 Hipótesis Especifica 6:

La influencia del Gel Base 280 en la ascensión capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023, es significativo.

2.5 Variables e indicadores

2.5.1 Identificación de Variables

2.5.1.1 Variables Independientes

1.- Gel Base 200. - Se trata de una gelatina técnica en forma de polvo con un tamaño de partícula inferior a la malla 200. La fuerza que posee este gel, conocido como "Bloom", es de 200 Bloom.

2.- Gel base 280. - Se trata de una gelatina técnica en forma de polvo con un tamaño de partícula inferior a la malla 200. La fuerza que posee este gel, conocido como "Bloom", es de 280 Bloom.



2.5.1.2 Variables Dependientes

1.- Densidad seca

La densidad seca se obtiene mediante la relación entre el peso seco del suelo y su volumen seco. El peso seco se obtiene al secar una muestra del suelo en un horno hasta que ya no pierda peso. El volumen seco se determina mediante técnicas de desplazamiento de agua o métodos volumétricos específicos.

2.-Cohesion

La cohesión se determina mediante ensayos de laboratorio, como el ensayo de corte directo o el ensayo de compresión no confinada. Estos ensayos implican la aplicación de fuerzas y deformaciones controladas al suelo para evaluar su resistencia y comportamiento ante esfuerzos cortantes.

3.- Ascensión Capilar

La ascensión capilar se puede observar y medir experimentalmente en un laboratorio o en el campo. Se utiliza un recipiente o una muestra de suelo con una base sumergida en agua y se observa cómo el agua asciende a través del suelo. depende de varios factores, como la porosidad y la permeabilidad del medio poroso, el tamaño de los poros, la tensión superficial del líquido y la viscosidad del líquido. Estos factores determinan la altura máxima a la que el líquido puede ascender y la velocidad del ascenso capilar.



2.5.2 Operacionalización de Variables

Tabla 9. Cuadro de operacionalización de Variables

Tipo de Variables	Variables	Definición Operacional	Definición Conceptual	Dimensión	Indicador	Instrumento
Independiente	Gel Base 200	Se trata de una gelatina técnica en forma de polvo con un tamaño de partícula inferior a la malla 200. la fuerza que posee este gel, conocido como "Bloom", es de 200 Bloom.		Cantidad de Gel Base 200	Porcentaje en peso (0%, 0.5%, 0.75%, 1.5%) unidad (gr)	Material Experimental
	Gel Base 280	Se trata de una gelatina técnica en forma de polvo con un tamaño de partícula inferior a la malla 200. la fuerza que posee este gel, conocido como "Bloom", es de 280 Bloom.		Cantidad de Gel Base 280	Porcentaje en peso (0%, 0.5%, 0.75%, 1.5%) unidad (gr)	Material Experimental
Dependiente	Densidad seca	Se obtiene mediante la relación entre el peso seco del suelo y su volumen seco. El peso seco se obtiene al secar la muestra del suelo en un horno hasta que no pierda peso. El volumen seco se determina mediante técnicas de desplazamiento de agua o métodos volumétricos específicos.	Se define como la masa seca de un material por unidad de volumen, determina mediante el uso de un cilindro de volumen conocido.	Densidad Seca	Peso seco del espécimen. Volumen del espécimen seco. unidad (g/cm ³)	Los formatos o fichas de toma de datos de laboratorio. (ASTM D7263)
	Cohesión	La Cohesión se determina mediante ensayos de laboratorio, como el ensayo de corte directo o el ensayo de compresión no confinada. Estos ensayos implican la aplicación de fuerzas y deformaciones controladas al suelo para evaluar su resistencia y comportamiento ante fuerzas cortantes.	Es la fuerza interna que mantiene unidas las partículas del suelo. La cohesión se mide en unidades de presión, como kilopascales (kPa) o libras por pulgada cuadrada (psi).	Cohesión	Resistencia a la compresión simple. unidad (kg/cm ²)	Los formatos o fichas de toma de datos de laboratorio. (ASTM D2166)
	Ascension Capilar	Ascensión capilar se puede observar y medir experimentalmente en un laboratorio o en el campo. Se utiliza un recipiente o una muestra de suelo con una base sumergida en agua y se observa como el agua asciende a través del suelo. Depende de varios factores, como la porosidad y la permeabilidad del medio poroso, el tamaño de los poros, la tensión superficial del líquido y la viscosidad del líquido.	Se refiere al proceso en el cual el agua asciende verticalmente a través de los poros y capilares presentes en el suelo.	Ascensión Capilar	Coefficiente de absorción de agua debida a la capilaridad. Peso de la muestra humedad Área de la sección de la muestra Tiempo de la succión en minutos unidad (g/(m ² x s))	Los formatos o fichas de toma de datos de laboratorio. (EN 772-11:2011)

Fuente: Propia



3. Capítulo III: MÉTODO

3.1 Alcance del Estudio

3.1.1 *Tipo de Investigación*

La investigación cuantitativa se basa en la recolección y análisis de datos numéricos con el propósito de responder a preguntas de investigación y verificar hipótesis. Para analizar los datos y llegar a conclusiones, se utilizan métodos estadísticos. (Sampieri & Collado, 2014).

Esta tesis se llevará a cabo utilizando un enfoque cuantitativo, lo que implica que se recopilarán y analizarán datos numéricos para poner a prueba diversas hipótesis planteadas.

3.1.2 *Nivel de Investigación*

El nivel correlacional, se refiere a un enfoque que busca comprender la relación entre dos o más variables. En lugar de buscar relaciones causales directas, como en los diseños experimentales, el enfoque correlacional se centra en la asociación estadística entre variables. El objetivo es determinar si hay una relación entre las variables y, en caso afirmativo, la fuerza y la dirección de esa relación. (Sampieri & Collado, 2014).

La presente tesis se caracterizará de nivel correlacional, por lo que, se evaluará utilizando análisis estadísticos para explorar las relaciones entre las variables propuestas en las hipótesis.

3.1.3 *Método de Investigación*

El método hipotético-deductivo es una estrategia lógica empleada para evaluar la validez de hipótesis científicas, ya sea para confirmarlas o refutarlas.

En este enfoque, se inicia con una hipótesis, que es una suposición provisional sobre la relación entre variables o la existencia de un fenómeno. La hipótesis se desarrolla a partir de teorías existentes, observaciones previas, experiencias o conocimiento previo en el área de estudio. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2006)

La presente tesis seguirá el método hipotético-deductivo, lo que significa que se partirá de una hipótesis general y varias hipótesis específicas. Luego, se obtendrán conclusiones y resultados a través de experimentos que permitirán validar las hipótesis formuladas.



3.2 Diseño de Investigación

3.2.1 Diseño Metodológico

La metodología de investigación que se utilizará es de tipo experimental, ya que tiene como objetivo determinar el grado de influencia de la variable independiente en las variables dependientes. En este caso, se controlarán los porcentajes de adición de Gel Base 200 y 280 al suelo extraído de APV. La Victoria, San Sebastián, Cusco. (Sekaran & Collado, 2017).

3.3 Población

En este estudio, la población infinita se define como el suelo de la Apv La Victoria, situada en el distrito de San Sebastián, provincia de Cusco y departamento de Cusco. Este terreno natural actualmente no posee pavimentación, pero se observa una capa de material de relleno con un espesor aproximado de 30 cm.

3.4 Muestra

3.4.1 Descripción De La Muestra

Una muestra implica elegir un grupo más pequeño de elementos de una población, lo que comúnmente se denomina selección de individuos u objetos (Kokoska, 2015). En este contexto, la muestra consiste en suelo extraído de las tres calicatas del APV. La Victoria, San Sebastián, Cusco.

3.4.2 Cuantificación De La Muestra

La muestra estará limitada por un tamaño total de tres calicatas de los cuales se extrajo suelo de APV. La Victoria, San Sebastián, Cusco.

Tres (03) calicatas ubicadas en las siguientes coordenadas:

Tabla 10. Coordenadas de Calicatas

	LATITUD	LONGITUD
CALICATA N° 01	13°32'15.83"S	71°54'54.49"O
CALICATA N° 02	13°32'15.79"S	71°54'55.30"O
CALICATA N° 03	13°32'15.60"S	71°54'56.27"O



Fuente: Propia

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

La técnica utilizada en esta investigación titulada “Efecto de la adición de Gel base 200 y 280 en la densidad seca, cohesión y ascensión capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023”. Es la observación, implica la acción de observar y registrar información sobre fenómenos o comportamientos en el momento en que ocurren.

Como instrumentos de recolección de datos tenemos:

3.5.1 Clasificación de suelos

Tabla 11. Hoja de trabajo para clasificación de suelos

 Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil	
Título de Tesis:	Efecto de la adición de geles coloidales base 200 y 280 en la densidad seca, cohesión y ascension capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023
Ensayo:	Clasificación de suelos
Ubicación:	APV La Victoria, San Sebastián, Cusco 13°32'15.83"S-71°54'54.49"O
Responsables:	Diego S. Esquivel Choquehuanca Roberto G. Caceres Ruffran
Descripción de la Muestra:	
Calcata N°:	1
Profundidad:	3.00 m
Fecha de ensayo:	

Datos de entrega para la clasificación de suelo

Descripción	Peso	Unidad
Calcata		
Peso inicial		
Límite Líquido		
Pasa el tamiz #200		
Índice de Plasticidad		

Clasificación de suelos	
AASHTO	
SUCS	

Observaciones:

Fuente: Propia



3.5.2 *Determinación del Contenido de Humedad Natural.*

Tabla 12. Hoja de trabajo para contenido de humedad del suelo natural.

 Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil		
Título de Tesis:	Efecto de la adición de geles coloidales base 200 y 280 en la densidad seca, cohesión y ascensión capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023	
Ensayo:	Determinación del Contenido de Humedad del Suelo Natural	
Ubicación:	APV La Victoria, San Sebastián, Cusco 13°32'15.83"S-71°54'54.49"O	
Responsables:	Diego S. Esquivel Choquehuanca Roberto G. Caceres Ruffran	
Descripción de la Muestra:	Se empleó suelo limoso de la coordenada 13°32'15.83"S-71°54'54.49"O	
Fecha de ensayo:	08/03/2023	

MTC E 108, BASADO EN LA NORMA ASTM D-2016-CONTENIDO DE HUMEDAD

Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04	Muestra 05
Peso de recipiente (gr)					
Peso de recipiente+ Muestra húmeda (gr)					
Peso de recipiente+ Muestra seca (gr)					
Peso del agua (gr)					
Peso de muestra seca (gr)					
Contenido de Humedad					

Contenido de Humedad Promedio	0.00%
--------------------------------------	-------

Fuente: Propia



3.5.3 *Análisis Granulométrico por tamizad.*

Tabla 13. Hoja de trabajo para determinar granulometría del suelo por tamizado.

Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil	
Título de Tesis:	Efecto de la adición de geles coloidales base 200 y 280 en la densidad seca, cohesión y ascension capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023
Ensayo:	Análisis Granulométrico del Suelo por Tamizado
Ubicación:	APV La Victoria, San Sebastián, Cusco 13° 32' 15.83" S - 71° 54' 54.49" O
Responsables:	Diego S. Esquivel Choquehuanca Roberto G. Caceres Ruffran
Descripción de la Muestra:	Suelo Limoso Coordenadas 13° 32' 15.83" S - 71° 54' 54.49" O
Fecha de ensayo:	10/03/2023

MTC E 107- ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELO POR TAMIZADO

Peso de Muestra Seca:	1775	gr.
Peso de Muestra Liviana:	1775	gr.
Perdida por Lavado:	0	gr.

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr.)	Peso Retenido Corregido	% Retenido	Acumulado	
					% Retenido	% Pasa
3"	75.000					
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.000					
3/8"	9.500					
N° - 4	4.760					
N° - 10	2.000					
N° - 20	0.840					
N° - 40	0.425					
N° - 60	0.250					
N° - 140	0.106					
N° - 200	0.075					
Fondo						
Perdida por Lavado		0.00				
Parcial Fodo + Perdida por Lavado		0.00				
TOTAL		0.00	0.00	0.00		

Tamaño Máximo Absoluto:	
Tamaño Máximo Normal:	

Error (%):	
------------	--

Cu =	
Cc =	

D10 =	
D30 =	
D60 =	

Fuente: Propia



3.5.4 *Determinación de Limite Liquido*

Tabla 14. Hoja de trabajo para determinar limite líquido.

 Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil	
Título de Tesis:	Efecto de la adición de geles coloidales base 200 y 280 en la densidad seca, cohesión y ascension capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023
Ensayo:	Determinación del Limite Liquido del Suelo Natural
Ubicación:	APV La Victoria, San Sebastián, Cusco 13°32'15.83"S-71°54'54.49"O
Responsables:	Diego S. Esquivel Choquehuanca Roberto G. Caceres Ruffran
Descripción de la Muestra:	se utiliza material Limo que pasa por la malla #40
Fecha de ensayo:	09/03/2023

MTC E 110. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO (LL) DE LOS SUELOS

Descripcion	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Denominacion de recipiente	N1	N2	N3
Peso de Suelo Humedo+ recipiente Metalico			
Peso Suelo Seco + Recipiente Metalico (gr)			
Peso Recipiente Metalico (gr)			
Peso Suelo Seco (gr)			
Peso de Agua (gr)			
Contenido de Humedad (%)			
Numero de Golpes (N)			
Limite Liquido (%)			

Fuente: Propia



3.5.5 Determinación de Límite Plástico e Índice de Plasticidad

Tabla 15. Hoja de trabajo para límite plástico e índice plasticidad.

 Universidad Andina del Cusco		Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil		
Título de Tesis:	Efecto de la adición de geles coloidales base 200 y 280 en la densidad seca, cohesión y ascension capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023			
Ensayo:	Determinación del Límite Plástico e índice de Plasticidad del Suelo			
Ubicación:	APV La Victoria, San Sebastián, Cusco 13°32'15.83"S-71°54'54.49"O			
Responsables:	Diego S. Esquivel Choquehuanca Roberto G. Caceres Ruffran			
Descripción de la Muestra:	se utilizo material limoso que pasa por la malla #40			
Fecha de ensayo:	09/03/2023			

MTC E 111. DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO (LP) DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (IP)

Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Denominación de recipiente	N1	N2	N3
Peso de Suelo Humedo+ recipiente Metálico (gr)			
Peso Suelo Seco + Recipiente Metálico (gr)			
Peso Recipiente Metálico (gr)			
Peso Suelo Seco (gr)			
Peso de Agua (gr)			
Contenido de Humedad (%)			
Límite Plástico (%)			

Límite Líquido (%)	
Límite Plástico (%)	
Índice de Plasticidad (%)	

Fuente: Propia



3.5.6 Proctor Modificado

Tabla 16. Hoja de trabajo para determinar Proctor Modificado.

 Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil	
Título de Tesis:	"Efecto de la adición de Gel base 200 y 280 en la densidad seca, cohesión y ascension capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023"
Ensayo:	Determinación de contenido de humedad óptimo
Ubicación:	APV La Victoria, San Sebastián, Cusco 13°32'15.83"S-71°54'54.49"O
Responsables:	Diego S. Esquivel Choquehuanca Roberto G. Caceres Ruffran
Descripción de la Muestra:	suelo Limoso
Fecha de ensayo:	11/03/2023

MTC E115 - COMPACTACIÓN DE SUELO EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO)

Diametro de molde:	10.16	cm
Altura del Molde:	11.65	cm
Volumen del Molde:	951.01	cm ³
Método:	C (4")	
Capas:	5	und
Golpe por Carga:	25	und

			Ensayo					
Determinación	N°	1	2	3	4	5	6	
Peso del Molde y Muestra	gr.							
Peso del Molde	gr.							
Peso de la Muestra Compacta	gr.							
Densidad Humeda	gr/cc.							
Densidad Seca	gr/cc.							

Tarro	N°	1a	1b	1c	2a	2b	2c	3a	3b	3c	4a	4b	4c	5a	5b	5c	6a	6b	6c
Peso del Tarro	gr.																		
Peso del T. + Suelo Humedo	gr.																		
Peso del T. + Suelo Seco	gr.																		
Peso del Agua	gr.																		
Peso del Suelo Seco	gr.																		
Contenido de Humedad	%																		
Contenido de Humedad Promedio	%																		

Humedad Optima (%)	
Densidad Seca Maxima (gr/cm ³)	

Fuente: Propia



3.5.7 *Ensayo de densidad seca*

Tabla 17. Hoja de toma de datos para Densidad Seca

N°	GelBase 200	GelBase 280	d ₁	d ₂	d ₃	h ₁	h ₂	h ₃	W	Q (kg)	DeltaVol (%)	Dh (g/cm ³)	Cod. Cap	W _{cap.}	W _{cap.+ Sst}	W _{cap.+ Ss}	w%	Ds (g/cm ³)	
N1																			
N2																			
N3																			
N5																			
N6																			
N8																			
N12																			
N13																			
N14																			
N16																			
N17																			
N19																			
N23																			
N24																			
N25																			
N27																			
N28																			
N30																			

Fuente: Propia



3.5.8 *Ensayo de Cohesión*

Tabla 18. Hoja de toma de datos para Cohesión.

N°	GelBase 200	GelBase 280	d ₁	d ₂	d ₃	h ₁	h ₂	h ₃	W	Q	Vol (cm ³)	DeltaVol (%)	Dh (g/cm ³)	Cod. Cap.	W _{cap.}	W _{cap.-Sh}	W _{cap.-Su}	w%	f _v (kg/cm ²)	f _v [*] (kg/cm ²)	C (kg/cm ²)	C (Mpa)		
N1																								
N2																								
N3																								
N5																								
N6																								
N8																								
N12																								
N13																								
N14																								
N16																								
N17																								
N19																								
N23																								
N24																								
N25																								
N27																								
N28																								
N30																								

Fuente: Propia



3.5.9 *Ensayo de Ascensión Capilar*

Tabla 19. Hoja de toma de datos para Ascensión Capilar.

N°	GelBase 200 (%)	GelBase2 80 (%)	d1 (mm)	d2 (mm)	d3 (mm)	Wm.s (g)	W1min (g)	C_{wi} [kg/(m ² xmin)]
N1								
N2								
N3								
N5								
N6								
N8								
N12								
N13								
N14								
N16								
N17								
N19								
N23								
N24								
N25								
N27								
N28								
N30								

Fuente: Propia



3.6 Validez y confiabilidad de los Instrumentos.

Para realizar los ensayos en un laboratorio, es esencial contar con herramientas de ingeniería fundamentales que permitan llevar a cabo las pruebas de manera efectiva. Cada experimento o prueba debe ser ejecutado conforme a las instrucciones específicas correspondientes.

3.6.1 Muestreo de suelo.

El proceso de recolectar y seleccionar muestras representativas de tierra o suelo de una ubicación específica con el propósito de analizar y evaluar sus características físicas, químicas y geotécnicas. Estas muestras se toman generalmente en diferentes profundidades y ubicaciones de un área determinada y se utilizan en la geología, la geotecnia, la construcción y la investigación científica para comprender la composición y las propiedades del suelo, lo que puede ser fundamental en la toma de decisiones y el diseño de proyectos relacionados con la tierra o la cimentación. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016)

3.6.2 Determinación de Contenido de Humedad Natural

Es fundamental disponer de elementos y equipos específicos, como bandejas metálicas para contener la muestra, una balanza altamente precisa con una sensibilidad de $\pm 0,01$ gramos para medir las diferencias de peso, un horno que mantenga una temperatura constante de 110 ± 5 grados Celsius para secar la muestra de manera uniforme, y herramientas de agarre como espátulas, cucharones de metal, cucharas y guantes que faciliten la manipulación segura de la muestra durante el proceso de secado. Estos elementos y equipos son esenciales para obtener resultados confiables en la determinación de contenido de humedad, una práctica crucial en campos como la geotecnia, la agricultura y la construcción. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016)

3.6.3 Análisis Granulométrico por Tamizado.

Implica el uso de una serie de herramientas y equipos, como tamices con diferentes aberturas de malla para separar partículas por tamaño, un agitador mecánico o tamizador manual para lograr una distribución uniforme de la muestra, bandejas para sostener los tamices y recolectar el material que pasa a través de ellos, recipientes herméticos para el almacenamiento de muestras



antes y después del análisis, además de herramientas manuales como espátulas, cucharones de metal y cucharas para manipular la muestra. También se emplean guantes de protección para garantizar la seguridad del personal y, en algunos casos, papel o paños de filtro para evitar la pérdida de partículas finas durante el proceso de tamizado. Estos componentes son esenciales para llevar a cabo un análisis preciso de la distribución de tamaños de partículas en suelos o materiales granulares. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016)

3.6.4 Determinación del Límite Líquido.

Es un procedimiento geotécnico que involucra la utilización de herramientas específicas, como la Copa de Casagrande, que se llena con una muestra de suelo preparada. Se emplea un acanalador para crear una abertura en la muestra, y luego se levanta y suelta la manija de la Copa de Casagrande a un ritmo constante de dos golpes por segundo hasta que ambas mitades de la abertura se cierren. El número de golpes requeridos (N) se registra. Se realizan varias pruebas con diferentes rangos de cierre, generalmente de 25 a 35 golpes, 20 a 30 golpes y 15 a 25 golpes. Se mide el contenido de humedad (W_n) de cada muestra de suelo que fue sometida al ensayo. Estas herramientas y el procedimiento se utilizan para determinar el límite líquido de un suelo, un parámetro esencial en geotecnia que caracteriza la plasticidad del suelo y su comportamiento bajo carga. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016)

3.6.5 Determinación del Límite Plástico e Índice de Plasticidad.

Se requirieron diversos equipos y utensilios de laboratorio. Entre estos dispositivos se encontraban una vasija de porcelana utilizada para mezclar la muestra con agua, un horno o estufa capaz de mantener una temperatura constante de 110 ± 5 grados Celsius para secar la muestra, una balanza de alta precisión con una sensibilidad de 0.01 gramos para medir con precisión los pesos de las muestras, recipientes metálicos para contener y manipular el suelo, una espátula para mezclar y manipular las muestras y un mortero para triturar y homogeneizar la muestra. Estos equipos son esenciales para llevar a cabo el ensayo de manera precisa y obtener resultados confiables en la evaluación de la plasticidad de un suelo. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016)

3.6.6 Compactación de suelo usando Energía Modificada (Proctor Modificado).



Se requiere una serie de equipos y materiales esenciales, que incluyen un molde Proctor estándar, una balanza de alta precisión, un pisón, una pala, una bandeja, un horno, una vasija de porcelana y tamices con aberturas de tamaño específico, como los tamices de tamaños N°4 (4,75 mm), $\frac{3}{4}$ " (19,0 mm) y $\frac{3}{8}$ " (9,5 mm), utilizados para la preparación de las muestras de suelo y para garantizar que el material cumpla con los requisitos de tamaño adecuado. El procedimiento implica la preparación de muestras de suelo con diferentes contenidos de humedad, la compactación de estas muestras en el molde Proctor mediante golpes estandarizados del pisón, la determinación de la densidad seca de cada muestra y la construcción de una curva de compactación que relaciona la densidad seca con el contenido de humedad. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016)

3.6.7 Determinación de Densidad Seca.

Para realizar este ensayo de laboratorio de acuerdo al ASTM D7263 Se requirió una balanza calibrada, un vernier, un metro y una hoja de cálculo para llevar a cabo este ensayo.

3.6.8 Determinación de la Cohesión.

Para realizar este ensayo de laboratorio de acuerdo al ASTM D2166 se emplearon muestras, recipientes, una balanza calibrada, agua y las hojas de cálculo correspondientes.

3.6.9 Ascensión Capilar.

Para realizar este ensayo de laboratorio de acuerdo a EN 772-11:2011 se emplearon muestras, recipiente, soportes, una balanza calibrada, agua, y hojas de cálculo correspondiente.

3.7 Plan de análisis de datos

En esta investigación titulada “Efecto de la adición de Gel base 200 y 280 en la densidad seca, cohesión y ascensión capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023”. Se optó por un diseño experimental D-Optimal (Tabla 20), ya que, debido a su capacidad para maximizar la información con la menor cantidad de experimentos, ahorrando tiempo y recursos. Este diseño mejora la precisión de los resultados y es robusto ante factores de ruido, siendo especialmente útil en la ingeniería y otras áreas de investigación. Al seleccionar la combinación óptima de factores, se obtienen estimaciones más confiables de los efectos de los



tratamientos. Su eficiencia en la recolección de datos permite realizar más experimentos en el mismo tiempo. (Goos & Jones, 2011)

Tabla 20. Diseño Experimental (D- OPTIMAL)

Exp Name	Run Order	GelBase2002	GelBase2803	Agua	Suelo
N1	28	0.0	0.0	44.63	595.0
N2	1	8.9	0.0	44.63	586.1
N3	11	0.0	8.9	44.63	586.1
N4	7	8.9	8.9	44.63	577.2
N5	19	0.0	3.0	44.63	592.0
N6	25	0.0	6.0	44.63	589.1
N7	8	8.9	3.0	44.63	583.1
N8	33	6.0	0.0	44.63	589.1
N9	23	3.0	8.9	44.63	583.1
N10	20	4.5	4.5	44.63	586.1
N11	32	4.5	4.5	44.63	586.1
N12	18	0.0	0.0	44.63	595.0
N13	22	8.9	0.0	44.63	586.1
N14	9	0.0	8.9	44.63	586.1
N15	15	8.9	8.9	44.63	577.2
N16	26	0.0	3.0	44.63	592.0
N17	13	0.0	6.0	44.63	589.1
N18	21	8.9	3.0	44.63	583.1
N19	29	6.0	0.0	44.63	589.1
N20	5	3.0	8.9	44.63	583.1
N21	30	4.5	4.5	44.63	586.1
N22	14	4.5	4.5	44.63	586.1
N23	24	0.0	0.0	44.63	595.0
N24	31	8.9	0.0	44.63	586.1
N25	6	0.0	8.9	44.63	586.1
N26	2	8.9	8.9	44.63	577.2
N27	17	0.0	3.0	44.63	592.0
N28	12	0.0	6.0	44.63	589.1
N29	27	8.9	3.0	44.63	583.1
N30	16	6.0	0.0	44.63	589.1
N31	4	3.0	8.9	44.63	583.1
N32	10	4.5	4.5	44.63	586.1
N33	3	4.5	4.5	44.63	586.1

Fuente: Propia



Una vez que se ha definido el diseño experimental, el siguiente paso consistirá en llevar a cabo el análisis de datos. En este proceso, se empleará una técnica ampliamente conocida como Análisis de Varianza (ANOVA), la cual se basa en pruebas que comparan las variabilidades para determinar si existen diferencias significativas entre las medias de múltiples grupos de observaciones. Es importante señalar que este método requiere que cada grupo de observaciones siga una distribución normal.

El Análisis de Varianza (ANOVA), (Neter, Wasserman y Kunter 1990), se utiliza específicamente para identificar factores significativos dentro de un modelo multifactorial. Este tipo de modelo implica la existencia de una variable de respuesta (dependiente) y una o más variables factoriales (independientes) que pueden influir en la variable de respuesta.

En el contexto de la presente tesis, se empleará el Análisis de Varianza (ANOVA) como herramienta principal para analizar los datos recopilados. Además, se llevará a cabo una prueba de hipótesis utilizando la tabla de ANOVA correspondiente como parte del proceso de evaluación y obtención de resultados.

3.7.1 Recolección de datos

a. Muestreo de suelo y perfil estratigráfico

Recopilación de Datos

Este análisis previo nos ofrece un contexto crucial para comprender la geología y la composición del suelo en la ubicación en cuestión siguiendo lo indicado por MTC E-101. A continuación, presentamos los perfiles estratigráficos que brindarán una visión detallada de las capas de suelo, su espesor y sus características en este sitio específico.

Según MTC E – 101 muestreo de suelos y rocas en procedimiento en el punto 6.3.3: La profundidad de las excavaciones o perforaciones destinadas a carreteras, aeropuertos o áreas de estacionamiento debe ser de al menos 1,5 metros (5 pies) por debajo del nivel proyectado para la subrasante. Sin embargo, circunstancias especiales pueden provocar ajustes tanto al alza como a la baja en dicha profundidad. En el caso de sondeos destinados a estructuras o terraplenes, es necesario llevarlos por debajo del nivel de influencia de la carga propuesta. Este nivel se determina mediante un análisis superficial de la transmisión

de esfuerzos. Cuando exista la posibilidad de que el drenaje se vea afectado por materiales permeables, acuíferos o materiales impermeables que puedan obstaculizarlo, las perforaciones deben extenderse lo suficiente dentro de estos materiales para evaluar las propiedades hidrogeológicas y de ingeniería relevantes para el diseño del proyecto. En todas las zonas de préstamo, las perforaciones deben ser adecuadas en número y profundidad para obtener las cantidades necesarias de material que cumpla con los requisitos de calidad especificados. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016)

En la presente tesis se opta por una profundidad de calicata de 3 metros por que permite obtener información detallada sobre las capas del subsuelo, sus propiedades y la composición del suelo a diferentes profundidades. Esto es esencial para comprender la geología del lugar por circunstancias de lograr observar un tercer estrato para poder tener mayor conocimiento en cuanto a la composición del suelo de la APV. La Victoria, San Sebastián.

Fig 36. Calicata N° 01 ubicada en las coordenadas 13°32'15.83"S-71°54'54.49"O, APV. La Victoria, San Sebastián Cusco.

Prof. (m)	Tipo de Excavacion	Estrato (Espesor)	Simbolo	Descripción del material	Nombre del grupo	SUCS - AASHTO
0.00	Calicata N°01	E01 (0.00-0.20)	[Symbol]	Presencia de relleno y raices		
0.20		E02 (0.20-3.00)	[Symbol]	Material que contiene mas del 80% de fino de color marron con poca presencia de grava	Limos de baja plasticidad denominado	CL A-2-4
0.40						
0.60						
0.80						
1.00						
1.20						
1.40						
1.60						
1.80						
2.00						
2.20						
2.40						
2.60						
2.80						
3.00						

Fuente: Propia

Fig 37. Calicata N° 02 ubicada en las coordenadas 13°32'15.79"S-71°54'55.30"O, APV. La Victoria, San Sebastián Cusco.

Prof. (m)	Tipo de Excavacion	Estrato (Espesor)	Simbolo	Descripción del material	Nombre del grupo	SUCS - AASHTO
0.00	Calicata N°02	E01 (0.00-0.20)		Presencia de relleno y raices		
0.20		E02 (0.20-3.00)		Material que contine mas del 80% de fino de color marron con poca presencia de grava	Limos de baja plasticidad denominado	CL A-2-4
0.40						
0.60						
0.80						
1.00						
1.20						
1.40						
1.60						
1.80						
2.00						
2.20						
2.40						
2.60						
2.80						
3.00						

Fuente: Propia

Fig 38. Calicata N° 03 ubicada en las coordenadas 13°32'15.60"S- 71°54'56.27"O, APV. La Victoria, San Sebastián Cusco.

Prof. (m)	Tipo de Excavacion	Estrato (Espesor)	Simbolo	Descripción del material	Nombre del grupo	SUCS - AASHTO
0.00	Calicata N°03	E01 (0.00-0.20)		Presencia de relleno y raices		
0.20		E02 (0.20-3.00)		Material que contine mas del 80% de fino de color marron con poca presencia de grava	Limos de baja plasticidad denominado	CL A-2-4
0.40						
0.60						
0.80						
1.00						
1.20						
1.40						
1.60						
1.80						
2.00						
2.20						
2.40						
2.60						
2.80						
3.00						

Fuente: Propia

b. Contenido de humedad Recolección de Datos.

Tabla 21. Datos de contenido de humedad del suelo natural.

Universidad Andina del Cusco	
Título de Tesis:	Efecto de la adición de geles coloidales base 200 y 280 en la densidad seca, cohesión y ascension capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023
Ensayo:	Determinacion del Contenido de Humedad del Suelo Natural
Ubicación:	APV La Victoria, San Sebastián, Cusco 13°32'15.83"S-71°54'54.49"O
Responsables:	Diego S. Esquivel Choquehuanca Roberto G. Caceres Ruffran
Descripcion de la Muestra:	Se empleo suelo limoso de la coordenada 13°32'15.83"S-71°54'54.49"O
Fecha de ensayo:	8/03/2023

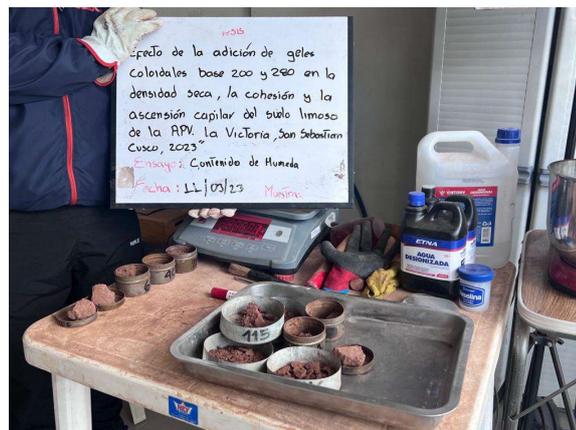
MTC E 108, BASADO EN LA NORMA ASTM D-2016-CONTENIDO DE HUMEDAD

Descripcion	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04	Muestra 05
Peso de recipiente (gr)	10.70	10.60	10.80	11.10	10.90
Peso de recipiente+ Muestra humeda (gr)	66.80	59.50	64.50	60.10	60.83
Peso de recipiente+ Muestra seca (gr)	57.70	51.90	56.20	52.40	53.83
Peso del agua (gr)	9.10	7.60	8.30	7.70	7.00
Peso de muestra seca (gr)	47.00	41.30	45.40	41.30	42.93
Contenido de Humedad					

Contenido de Humedad Promedio					
-------------------------------	--	--	--	--	--

Fuente: Propia

Fig 39. Contenido de humedad natural.



Fuente: Propia

c. Análisis de granulometría por tamizado

Tabla 22. Datos obtenidos de granulometría del suelo por tamizado.

Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil	
Título de Tesis:	Efecto de la adición de geles coloidales base 200 y 280 en la densidad seca, cohesión y ascension capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023
Ensayo:	Análisis Granulométrico del Suelo por Tamizado
Ubicación:	APV La Victoria, San Sebastián, Cusco 13° 32' 15.83" S - 71° 54' 54.49" O
Responsables:	Diego S. Esquivel Choquehuanca Roberto G. Caceres Ruffran
Descripción de la Muestra:	Suelo Limoso Coordenadas 13° 32' 15.83" S - 71° 54' 54.49" O
Fecha de ensayo:	10/03/2023

MTC E 107- ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELO POR TAMIZADO

Peso de Muestra Seca:	1775	gr.
Peso de Muestra Liviana:	1775	gr.
Perdida por Lavado:	0	gr.

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr.)	Peso Retenido Corregido	% Retenido	Acumulado	
					% Retenido	% Pasa
3"	75.000	0.000	0.000			
2"	50.800	0.000	0.000			
1 1/2"	38.100	0.000	0.000			
1"	25.400	0.000	0.000			
3/4"	19.000	0.000	0.000			
3/8"	9.500	0.000	0.000			
N° - 4	4.760	0.000	0.000			
N° - 10	2.000	47.200	47.600			
N° - 20	0.840	327.700	328.200			
N° - 40	0.425	550.900	553.100			
N° - 60	0.250	290.500	290.500			
N° - 140	0.106	346.100	346.500			
N° - 200	0.075	103.800	104.500			
Fondo		102.300	102.300			
Perdida por Lavado		0.000				
Parcial Fondo + Perdida por Lavado		102.300				
TOTAL						

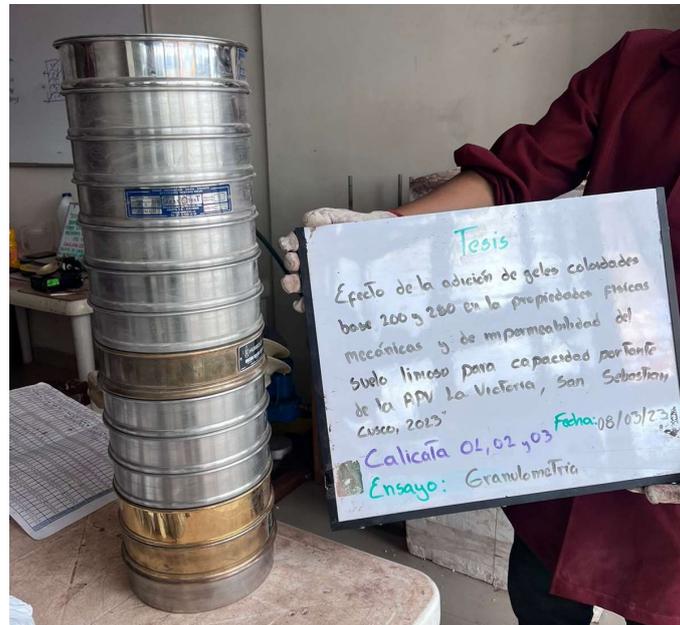
Tamaño Máximo Absoluto:	
Tamaño Máximo Normal:	

Error:

Cu =	
Cc =	

Fuente: Propia

Fig 40. Muestra obtenida



Fuente: Propia

Fig 41. Clasificación de partículas para el análisis granulométrico por tamizado.



Fuente: Propia



d. Determinación de limite liquido

Tabla 23. Datos obtenidos de Limite liquido

 Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil		
Título de Tesis:	Efecto de la adición de geles coloidales base 200 y 280 en la densidad seca, cohesión y ascension capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023	
Ensayo:	Determinacion del Limite Liquido del Suelo Natural	
Ubicación:	APV La Victoria, San Sebastián, Cusco 13°32'15.83"S-71°54'54.49"O	
Responsables:	Diego S. Esquivel Choquehuanca Roberto G. Caceres Ruffran	
Descripcion de la Muestra:	se utiliza material Limo que pasa por la malla #40	
Fecha de ensayo:	09/03/2023	

MTC E 110. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO (LL) DE LOS SUELOS

Descripcion	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Denominacion de recipiente	N1	N2	N3
Peso de Suelo Humedo+ recipiente Metalico	81.5	87.1	85.6
Peso Suelo Seco + Recipiente Metalico (gr)	71.8	78.1	76.7
Peso Recipiente Metalico (gr)	47.3	47.4	47.7
Peso Suelo Seco (gr)	24.5	30.7	29
Peso de Agua (gr)	9.7	9	8.9
Contenido de Humedad (%)	39.59	29.32	30.69
Numero de Golpes (N)	12	21	36
Limite Liquido (%)			

Fuente: Propia

Fig 42. Ensayo Limite Líquido.



Fuente: Propia

Fig 43. Equipos.



Fuente: Propia

e. Determinación del Limite plástico e Índice de Plasticidad

Tabla 24. Datos Obtenidos de limite plástico

 Universidad Andina del Cusco		Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil		
Título de Tesis:	Efecto de la adición de geles coloidales base 200 y 280 en la densidad seca, cohesión y ascension capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023			
Ensayo:	Determinacion del Limite Plastico e indice de Plasticidad del Suelo			
Ubicación:	APV La Victoria, San Sebastián, Cusco 13°32'15.83"S-71°54'54.49"O			
Responsables:	Diego S. Esquivel Choquehuanca Roberto G. Caceres Ruffiran			
Descripción de la Muestra:	se utilizo material limoso que pasa por la malla #40			
Fecha de ensayo:	09/03/2023			

MTC E 111. DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO (LP) DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (IP)

Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Denominación de recipiente	N1	N2	N3
Peso de Suelo Humedo+ recipiente Metalico (gr)	25.4	21.7	25
Peso Suelo Seco + Recipiente Metalico (gr)	24.5	20.9	24.1
Peso Recipiente Metalico (gr)	19.7	18.2	19.1
Peso Suelo Seco (gr)	4.8	2.7	5
Peso de Agua (gr)	0.9	0.8	0.9
Contenido de Humedad (%)	18.75	29.63	18.00
Limite Plastico (%)	22.13		

Limite Liquido (%)	
limite Plastico (%)	
Indice de Plasticidad (%)	

Fuente: Propia

Fig 44. Ensayo de Limite Plastico



Fuente: Propia

Fig 45. Equipos para limite plastico



Fuente: Propia



f. Ensayo de Proctor modificado

Tabla 25. Datos obtenidos de Proctor

Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil	
Titulo de Tesis:	Efecto de la adición de geles coloidales base 200 y 280 en la densidad seca, cohesión y ascension capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023
Ensayo:	Determinación de contenido de humedad óptimo
Ubicación:	APV La Victoria, San Sebastián, Cusco 13°32'15.83"S-71°54'54.49"O
Responsables:	Diego S. Esquivel Choquehuanca Roberto G. Caceres Ruffran
Descripción de la Muestra:	suelo Limoso
Fecha de ensayo:	11/03/2023

MTC E115 - COMPACTACIÓN DE SUELO EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO)

Diametro de molde:	10.16	cm
Altura del Molde:	11.65	cm
Volumen del Molde:	951.01	cm ³
Método:	C (4")	
Capas:	5	und
Golpe por Carga:	25	und

		Ensayo					
Determinación	N°	1	2	3	4	5	6
Peso del Molde y Muestra	gr.	5288	5544	5527	5500	5480	5449
Peso del Molde	gr.	3758	3758	3758	3758	3758	3758
Peso de la Muestra Compacta	gr.	1530	1786	1769	1742	1722	1691
Densidad Humeda	gr/cc.	1.6088	1.878	1.860	1.8317	1.8107	1.7781
Densidad Seca	gr/cc.	1.36	1.46	1.41	1.37	1.33	1.29

Tarro	N°	1a	1b	1c	2a	2b	2c	3a	3b	3c	4a	4b	4c	5a	5b	5c	6a	6b	6c
Peso del Tarro	gr.	10.70	10.60	10.80	46.90	47.60	47.80	46.90	47.30	47.40	47.00	47.70	47.90	20.50	19.50	18.30	10.90	17.00	19.90
Peso del T. + Suelo Humedo	gr.	66.80	59.50	64.50	93.10	94.20	95.60	93.70	96.20	93.10	97.90	95.30	94.90	95.00	91.20	89.90	50.00	56.60	61.80
Peso del T. + Suelo Seco	gr.	57.70	51.90	56.20	83.20	83.90	84.80	82.40	84.50	82.00	85.60	83.10	83.00	75.10	72.50	71.20	39.10	45.60	50.30
Peso del Agua	gr.	9.10	7.60	8.30	9.90	10.30	10.80	11.30	11.70	11.10	12.30	12.20	11.90	19.90	18.70	18.70	10.90	11.00	11.50
Peso del Suelo Seco	gr.	47.00	41.30	45.40	36.30	36.30	37.00	35.50	37.20	34.60	38.60	35.40	35.10	54.60	53.00	52.90	28.20	28.60	30.40
Contenido de Humedad	%	19.36	18.40	18.28	27.27	28.37	29.19	31.83	31.45	32.08	31.87	34.46	33.90	36.45	35.28	35.35	38.65	38.46	37.83
Contenido de Humedad Promedio	%	18.68			28.28			31.79			33.41			35.69			38.31		

Humedad Optima (%)	
Densidad Seca Maxima (gr/cm ³)	

Fuente: Propia



Fig 46. Materiales para el ensayo de proctor



Fuente: Propia

Fig 47. Ensayo de Proctor



Fuente: Propia



g. Ensayo de densidad seca

Tabla 26. Proporción de geles bases

Muestras	GelBase200 (%)	GelBase280 (%)
N1	0	0
N2	1.5	0
N3	0	1.5
N4	1.5	1.5
N5	0	0.5
N6	0	1
N7	1.5	0.5
N8	1	0
N9	0.5	1.5
N10	0.75	0.75
N11	0.75	0.75
N12	0	0
N13	1.5	0
N14	0	1.5
N15	1.5	1.5
N16	0	0.5
N17	0	1
N18	1.5	0.5
N19	1	0
N20	0.5	1.5
N21	0.75	0.75
N22	0.75	0.75
N23	0	0
N24	1.5	0
N25	0	1.5
N26	1.5	1.5
N27	0	0.5
N28	0	1
N29	1.5	0.5
N30	1	0
N31	0.5	1.5
N32	0.75	0.75
N33	0.75	0.75

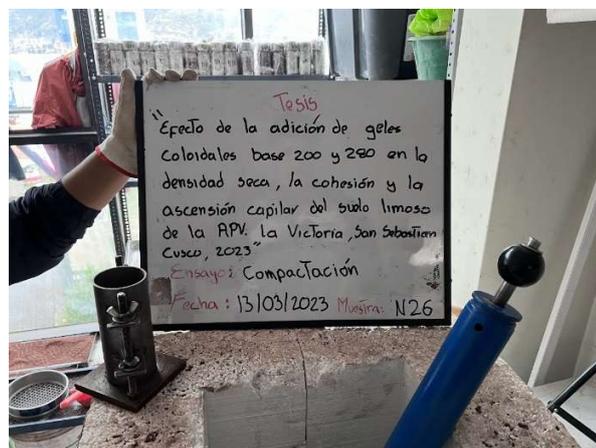
Fuente: Propia

Fig 48. Preparación de especímenes



- Utiliza moldes de 2 pulgadas de diámetro para la compactación de los especímenes. Asegúrate de que los moldes estén limpios y lubricados para facilitar la extracción de los especímenes después de la compactación.

Fig 49. Compactación de especímenes



- Coloca la mezcla de suelo y geles en los moldes y compacta el material cuidadosamente en capas sucesivas utilizando un equipo de compactación adecuado. Se aplica la energía de compactación requerida para lograr un espécimen uniforme.

Fig 50. Compactación de especímenes

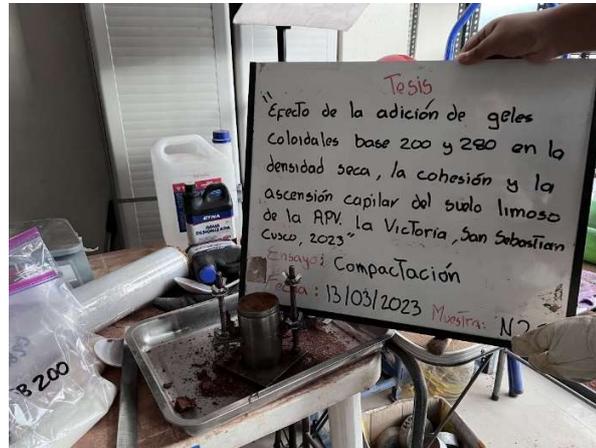
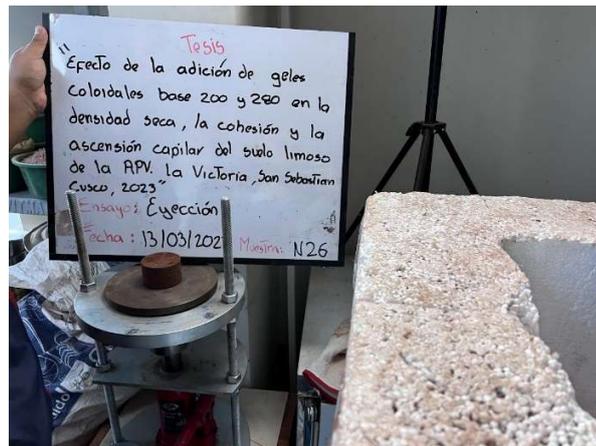
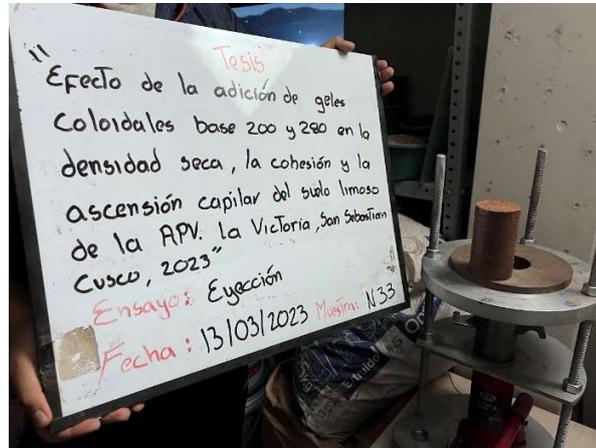


Fig 51. Eyección



- Se etiqueta cada espécimen de manera única para su identificación y lleva un registro detallado de cada muestra, incluyendo la proporción de geles utilizada.

Fig 52. Espécimen



- Los especímenes se sometieron a 28 días de curado envueltos con cinta film, la cura de los especímenes es un paso importante que permite que el suelo alcance la estabilización necesaria antes de la realización de ensayos. Esto asegura que los resultados sean precisos y representativos de las condiciones del suelo en estudio.
- Después de tener los especímenes listos procedemos a la realización de los ensayos.
- Se anota todos los datos de identificación del espécimen, incluyendo su numeración.
- Maneje los especímenes con cuidado para evitar en la medida de lo posible cualquier alteración, deformación o variación en el contenido de agua.
- Utilizando un calibrador Vernier, medimos el diámetro y la altura del espécimen.
- Registre la pequeña muestra del centro del espécimen húmedo para ponerlo un día en el horno.
- Después se procede sacar del horno, luego pesarlo y registrar el peso seco para sacar su humedad.
- El procedimiento adoptado sigue las directrices establecidas por la norma ASTM D7263.



Tabla 27. Datos obtenidos de densidad seca

N°	GelBase 200	GelBase280	d ₁	d ₂	d ₃	h ₁	h ₂	h ₃	W	Q (kg)	DeltaVol (%)	Dh (g/cm3)	Cod. Cap	W _{cap.}	W _{cap.+ Sh}	W _{cap.+ Ss}	w%	Ds (g/cm3)
N1	0.00	0.00	61.88	61.90	61.88	105.15	108.07	106.03	485.2	140	7.82	1.52	48	47.90	140.10	126.5	17.3	
N2	1.50	0.00	61.84	61.99	61.86	107.41	107.55	107.31	505.7	160	8.88	1.56	3C	18.90	68.10	60.1	19.4	
N3	0.00	1.50	61.56	61.82	61.69	105.92	106.69	106.14	487.8	200	6.97	1.54	2A	18.40	75.80	67.1	17.9	
N4	1.50	1.50	61.68	61.89	61.71	107.69	107.47	107.13	522.6	190	8.40	1.62	7A	19.90	63.00	55.3	21.8	
N5	0.00	0.50	61.64	61.86	61.86	107.14	107.22	108.68	561.5	260	8.75	1.74	43	47.30	142.10	124.8	22.3	
N6	0.00	1.00	61.90	61.98	61.44	107.59	107.11	106.85	493.1	160	8.20	1.54	113	48.00	127.90	115.8	17.8	
N7	1.50	0.50	61.71	61.86	61.92	107.33	107.33	106.44	519.5	270	8.25	1.62	3A	18.00	69.30	60.3	21.3	
N8	1.00	0.00	61.92	61.71	61.77	108.04	107.59	107.35	511.4	170	8.78	1.58	116	47.80	130.50	117.6	18.5	
N9	0.50	1.50	61.91	61.94	61.97	106.94	106.46	106.81	489.2	150	8.33	1.52	118	47.20	105.70	97.1	17.2	
N10	0.75	0.75	62.48	61.95	61.91	107.02	103.76	105.77	473.6	230	7.70	1.48	120	47.00	142.60	130	15.2	
N11	0.75	0.75	61.74	61.92	61.87	107.77	107.91	107.84	549.6	270	9.11	1.70	119	46.90	115.10	102.2	23.3	
N12	0.00	0.00	61.73	61.89	61.94	103.49	106.42	102.35	481.4	180	5.35	1.54	117	46.90	102.00	94	17.0	
N13	1.50	0.00	61.90	61.95	61.86	107.08	107.7	106.68	506.7	240	8.63	1.57	41	47.10	123.30	111.9	17.6	
N14	0.00	1.50	61.79	62.07	61.83	106.58	106.63	106.61	514.8	250	8.05	1.60	6B	19.90	42.70	39	19.4	
N15	1.50	1.50	61.90	61.87	61.71	106.65	106.39	106.26	525.9	320	7.63	1.65	21	21.40	91.20	79.4	20.3	
N16	0.00	0.50	61.71	61.91	61.84	107.24	107.66	107.06	503.2	200	8.50	1.56	115	47.50	117.80	106.6	19.0	
N17	0.00	1.00	61.93	61.90	61.85	106.76	106.57	106.33	537.3	280	7.98	1.68	4C	18.50	80.20	69.8	20.3	
N18	1.50	0.50	61.64	61.76	61.97	107.65	107.45	106.84	515.7	260	8.39	1.60	105	46.90	151.90	133.9	20.7	
N19	1.00	0.00	61.86	62.01	61.95	108	107.51	107.92	513.2	180	9.42	1.58	101	47.60	131.80	118.5	18.8	
N20	0.50	1.50	61.82	62.09	62.04	107.71	106.76	107.86	511.5	250	9.20	1.58	2B	19.40	62.20	54.6	21.6	
N21	0.75	0.75	61.91	61.92	61.89	106.9	107.68	106.87	501.5	200	8.64	1.55	107	47.50	125.90	112.9	19.9	
N22	0.75	0.75	61.62	61.91	61.88	107.19	106.99	107.67	551.1	300	8.41	1.71	6C	19.50	80.70	69.9	21.4	
N23	0.00	0.00	61.94	61.89	61.85	106.83	106.61	106.84	498.4	160	8.19	1.55	102	47.30	122.80	111.2	18.2	
N24	1.50	0.00	61.64	61.67	61.55	107.48	107	106.39	582.4	310	7.44	1.83	110	47.00	146.70	128.3	22.6	
N25	0.00	1.50	61.68	61.91	61.88	106.41	107.4	106.9	488.5	180	8.09	1.52	1C	19.80	93.20	81.3	19.3	
N26	1.50	1.50	61.84	61.73	61.66	104.51	103.15	105.17	556.5	270	5.17	1.78	5C	18.90	72.70	62.5	23.4	
N27	0.00	0.50	61.96	62.05	61.88	106.92	107.07	107.21	521.6	220	8.75	1.62	2C	19.40	63.40	56.1	19.9	
N28	0.00	1.00	61.75	61.82	61.86	106.78	107.34	107.95	528.8	220	8.51	1.64	44	47.90	80.10	75	18.8	
N29	1.50	0.50	62.18	62.08	62.01	107.4	107.29	107.28	498.2	150	9.46	1.53	46	47.60	85.50	80.3	15.9	
N30	1.00	0.00	61.80	62.00	61.82	106.57	107.1	106.81	531.3	360	8.19	1.65	4A	20.00	72.10	63.2	20.6	
N31	0.50	1.50	61.81	62.01	61.69	107.53	105.26	105.25	523.3	270	7.24	1.64	6A	19.60	63.30	55.6	21.4	
N32	0.75	0.75	61.71	61.86	61.74	106.38	107.78	107.77	529.6	330	8.32	1.65	5B	19.40	60.60	53.6	20.5	
N33	0.75	0.75	61.82	61.91	61.65	107.72	107.74	106.54	569.5	350	8.42	1.77	5A	18.30	65.90	57.1	22.7	

Fuente: Propia



Fig 53. Materiales para ensayo de densidad seca



Fig 54. Extracción de muestra para la humedad





h. Ensayo de cohesión

Tabla 28. Datos obtenidos de cohesión

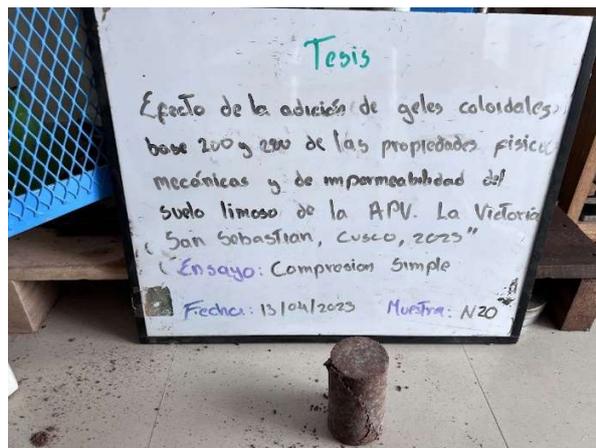
N°	GelBase 200	GelBase 280	d ₁	d ₂	d ₃	h ₁	h ₂	h ₃	W	Q	Vol (cm ³)	DeltaVol (%)	Dh (g/cm ³)	Cod. Cap.	W _{cap}	W _{cap + Ss}	W _{cap + Ss}	w%	f _v (kg/cm ²)	f _v * (kg/cm ²)	C (kg/cm ²)	C (Mpa)
N1	0.00	0.00	61.88	61.90	61.88	105.15	108.07	106.03	485.20	140	320.1059269	7.82	1.52	48	47.90	140.10	126.50	17.30	4.7	5.34	2.67	
N2	1.50	0.00	61.84	61.99	61.86	107.41	107.55	107.31	505.70	160	323.2384598	8.88	1.56	3C	18.90	68.10	60.10	19.42	5.3	6.01	3.01	
N3	0.00	1.50	61.56	61.82	61.69	105.92	106.69	106.14	487.80	200	317.5765018	6.97	1.54	2A	18.40	75.80	67.10	17.86	6.7	7.61	3.80	
N4	1.50	1.50	61.68	61.89	61.71	107.69	107.47	107.13	522.60	190	321.8325985	8.40	1.62	7A	19.90	63.00	55.30	21.75	6.3	7.04	3.52	
N5	0.00	0.50	61.64	61.86	61.86	107.14	107.22	108.68	561.50	260	322.860162	8.75	1.74	43	47.30	142.10	124.80	22.32	8.7	9.03	4.52	
N6	0.00	1.00	61.90	61.98	61.44	107.59	107.11	106.85	493.10	160	321.2323051	8.20	1.54	113	48.00	127.90	115.80	17.85	5.3	6.07	3.04	
N7	1.50	0.50	61.71	61.86	61.92	107.33	107.33	106.44	519.50	270	321.3715484	8.25	1.62	3A	18.00	69.30	60.30	21.28	9.0	9.99	5.00	
N8	1.00	0.00	61.92	61.71	61.77	108.04	107.59	107.35	511.40	170	322.9395286	8.78	1.58	116	47.80	130.50	117.60	18.48	5.7	6.28	3.14	
N9	0.50	1.50	61.91	61.94	61.97	106.94	106.46	106.81	489.20	150	321.6221267	8.33	1.52	118	47.20	105.70	97.10	17.23	5.0	5.68	2.84	
N10	0.75	0.75	62.48	61.95	61.91	107.02	103.76	105.77	473.60	230	319.7279605	7.70	1.48	120	47.00	142.60	130.00	15.18	7.6	8.74	4.37	
N11	0.75	0.75	61.74	61.92	61.87	107.77	107.91	107.84	549.60	270	323.9332589	9.11	1.70	119	46.90	115.10	102.20	23.33	9.0	9.68	4.84	
N12	0.00	0.00	61.73	61.89	61.94	103.49	106.42	102.35	481.40	180	312.759997	5.35	1.54	117	46.90	102.00	94.00	16.99	6.0	6.74	3.37	
N13	1.50	0.00	61.90	61.95	61.86	107.08	107.70	106.68	506.70	240	322.4954841	8.63	1.57	41	47.10	123.30	111.90	17.59	8.0	8.84	4.42	
N14	0.00	1.50	61.79	62.07	61.83	106.58	106.63	106.61	514.80	250	320.7810973	8.05	1.60	6B	19.90	42.70	39.00	19.37	8.3	9.15	4.58	
N15	1.50	1.50	61.90	61.87	61.71	106.65	106.39	106.26	525.90	320	319.5355702	7.63	1.65	21	21.40	91.20	79.40	20.34	10.7	11.54	5.77	
N16	0.00	0.50	61.71	61.91	61.84	107.24	107.66	107.06	503.20	200	322.1280524	8.50	1.56	115	47.50	117.80	106.60	18.95	6.7	7.52	3.76	
N17	0.00	1.00	61.93	61.90	61.85	106.76	106.57	106.33	537.30	280	320.5860845	7.98	1.68	4C	18.50	80.20	69.80	20.27	9.3	9.89	4.95	
N18	1.50	0.50	61.64	61.76	61.97	107.65	107.45	106.84	515.70	260	321.7954927	8.39	1.60	105	46.90	151.90	133.90	20.69	8.7	9.67	4.84	
N19	1.00	0.00	61.86	62.01	61.95	108.00	107.51	107.92	513.20	180	324.8563269	9.42	1.58	101	47.60	131.80	118.50	18.76	6.0	6.65	3.33	
N20	0.50	1.50	61.82	62.09	62.04	107.71	106.76	107.86	511.50	250	324.2046285	9.20	1.58	2B	19.40	62.20	54.60	21.59	8.3	9.46	4.73	
N21	0.75	0.75	61.91	61.92	61.89	106.90	107.68	106.87	501.50	200	322.5201828	8.64	1.55	107	47.50	125.90	112.90	19.88	6.6	7.59	3.79	
N22	0.75	0.75	61.62	61.91	61.88	107.19	106.99	107.67	551.10	300	321.8443863	8.41	1.71	6C	19.50	80.70	69.90	21.43	10.0	10.50	5.25	
N23	0.00	0.00	61.94	61.89	61.85	106.83	106.61	106.84	498.40	160	321.2078807	8.19	1.55	102	47.30	122.80	111.20	18.15	5.3	6.00	3.00	
N24	1.50	0.00	61.64	61.67	61.55	107.48	107.00	106.39	582.40	310	318.9636033	7.44	1.83	110	47.00	146.70	128.30	22.63	10.4	10.34	5.17	
N25	0.00	1.50	61.68	61.91	61.88	106.41	107.40	106.90	488.50	180	320.9120043	8.09	1.52	1C	19.80	93.20	81.30	19.35	6.0	6.96	3.48	
N26	1.50	1.50	61.84	61.73	61.66	104.51	103.15	105.17	556.50	270	312.217445	5.17	1.78	5C	18.90	72.70	62.50	23.39	9.0	9.25	4.62	
N27	0.00	0.50	61.96	62.05	61.88	106.92	107.07	107.21	521.60	220	322.8596032	8.75	1.62	2C	19.40	63.40	56.10	19.89	7.3	8.02	4.01	
N28	0.00	1.00	61.75	61.82	61.86	106.78	107.34	107.95	528.80	220	322.1338678	8.51	1.64	44	47.90	80.10	75.00	18.82	7.3	7.86	3.93	
N29	1.50	0.50	62.18	62.08	62.01	107.40	107.29	107.28	498.20	150	324.9580904	9.46	1.53	46	47.60	85.50	80.30	15.90	5.0	5.55	2.77	
N30	1.00	0.00	61.80	62.00	61.82	106.57	107.10	106.81	531.30	360	321.200776	8.19	1.65	4A	20.00	72.10	63.20	20.60	12.0	12.93	6.47	

Fuente: Propia

Fig 55. Ensayo de Compresión Simple



Fig 56. Falla en espécimen





i. Ascensión capilar

Tabla 29. Datos obtenidos de Ascensión capilar

Nº	GelBase 200 (%)	GelBase 280 (%)	d1 (mm)	d2 (mm)	d3 (mm)	Wm.s (g)	W1min (g)	C_{wi} [kg/(m ² xmin)]
N1	0.00	0.00	61.0	61.0	60.8	437.3	475.7	
N2	1.50	0.00	61.0	61.3	60.3	411.6	446.0	
N3	0.00	1.50	60.9	61.3	60.8	431.7	487.0	
N5	0.00	0.50	60.9	60.7	61.0	436.4	474.5	
N6	0.00	1.00	60.5	60.9	61.0	422.7	454.7	
N8	1.00	0.00	61.2	61.2	61.2	451.4	472.6	
N12	0.00	0.00	61.0	61.0	61.0	443.0	477.5	
N13	1.50	0.00	60.3	60.7	61.1	445.0	475.0	
N14	0.00	1.50	60.7	60.7	60.6	448.6	476.8	
N16	0.00	0.50	61.0	60.8	60.9	433.6	469.4	
N17	0.00	1.00	60.9	60.8	60.9	446.0	481.0	
N19	1.00	0.00	60.9	60.8	60.8	441.1	462.7	
N23	0.00	0.00	61.0	61.0	60.9	420.8	453.9	
N24	1.50	0.00	61.1	61.3	61.0	401.7	433.0	
N25	0.00	1.50	61.2	61.3	61.3	396.7	457.1	
N27	0.00	0.50	61.1	61.2	61.2	423.9	471.5	
N28	0.00	1.00	60.9	60.8	60.9	440.1	468.2	
N29	1.50	0.50	60.6	60.7	60.9	438.3	461.5	
N30	1.00	0.00	59.7	60.2	60.2	485.4	492.2	
N31	0.50	1.50	61.5	61.5	61.4	412.3	465.9	
N32	0.75	0.75	61.3	61.6	61.3	416.6	461.3	
N33	0.75	0.75	61.3	61.4	61.3	408.2	460.4	

Fuente: Propia

Fig 57. Especímenes en el horno

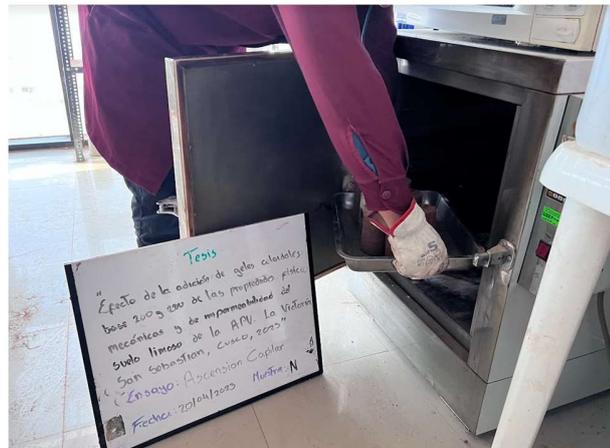


Fig 58. Materiales del ensayo de Ascension Capilar



Fig 59. Ensayo de Ascension Capilar





3.7.2 *Procedimientos y Análisis de Datos*

3.7.2.1 *Características del suelo*

3.7.2.1.1 *Determinación de Contenido de Humedad.*

a. Procesamiento de los datos.

- El peso de agua se calcula a partir de la diferencia entre la masa del suelo en su estado húmedo y su masa cuando se encuentra seco.
- Para determinar el contenido de humedad, se aplica la fórmula siguiente:

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$$

Donde:

W = Contenido de Humedad (%)

W_w = Contenido de Humedad (gr)

W_s = Peso de materia (gr)

Tabla 30. Resultados de contenido de humedad.

 Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil	
Título de Tesis:	Efecto de la adición de geles coloidales base 200 y 280 en la densidad seca, cohesión y ascension capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023
Ensayo:	Determinación del Contenido de Humedad del Suelo Natural
Ubicación:	APV La Victoria, San Sebastián, Cusco 13°32'15.83"S-71°54'54.49"O
Responsables:	Diego S. Esquivel Choquehuanca Roberto G. Caceres Ruffran
Descripción de la Muestra:	Se empleo suelo limoso de la coordenada 13°32'15.83"S-71°54'54.49"O
Fecha de ensayo:	8/03/2023

MTC E 108, BASADO EN LA NORMA ASTM D-2016-CONTENIDO DE HUMEDAD

Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04	Muestra 05
Peso de recipiente (gr)	10.70	10.60	10.80	11.10	10.90
Peso de recipiente+ Muestra húmeda (gr)	66.80	59.50	64.50	60.10	60.83
Peso de recipiente+ Muestra seca (gr)	57.70	51.90	56.20	52.40	53.83
Peso del agua (gr)	9.10	7.60	8.30	7.70	7.00
Peso de muestra seca (gr)	47.00	41.30	45.40	41.30	42.93
Contenido de Humedad	19.36%	18.40%	18.28%	18.64%	16.31%
Contenido de Humedad Promedio	18.20%				

Fuente: Propia

Nota: Siguiendo el análisis de datos de 5 muestras, se estableció un promedio del contenido de humedad natural del suelo evaluado en 18.20%, con un promedio individual para cada muestra.

3.7.2.1.2 Análisis granulométrico por tamizado

a. Procesamiento de los datos

- Cálculo del Porcentaje Retenido en Tamices:

$$\%Retenido = \frac{\text{peso retenido en el tamiz}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

- Cálculo del porcentaje retenido acumulado:

$$\%Retenido Acumulado = \Sigma \%Retenido \text{ en los tamices anteriores}$$

- Para el porcentaje que pasa:

$$\%Pasa = 100\% - \%Retenido acumulado$$



- Cálculo para porcentaje de error:

$$\%Pasa = (PMS - \Sigma \text{Peso retenido})/PMS$$

Donde:

PMS: Peso de la muestra seca.

Σ Peso Retenido: El peso total retenido en los tamices y pérdidas de fondo.

- Para el cálculo de Coeficiente de Uniformidad (Cu):

$$Cu = \frac{D60}{D10}$$

Donde:

D60: el tamaño del orificio por el que pasa el 60% de la muestra.

D10: El tamaño del orificio a través del cual pasa el 10% de la muestra.

- Para el cálculo del Coeficiente de Concavidad (Cc):

$$Cc = \frac{D30^2}{D60 \times D10}$$

Donde:

D60: el tamaño del orificio por el que pasa el 60% de la muestra.

D10: El tamaño del orificio a través del cual pasa el 10% de la muestra.

D30: El tamaño del orificio por el que pasa el 30% de la muestra.

Tabla 31. Análisis granulométrico

Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil	
Titulo de Tesis:	Efecto de la adición de geles coloidales base 200 y 280 en la densidad seca, cohesión y ascension capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023
Ensayo:	Análisis Granulométrico del Suelo por Tamizado
Ubicación:	APV La Victoria, San Sebastián, Cusco 13°32'15.83"S-71°54'54.49"O
Responsables:	Diego S. Esquivel Choquehuanca Roberto G. Caceres Ruffran
Descripcion de la Muestra:	Suelo Limoso Coordenadas 13°32'15.83"S-71°54'54.49"O
Fecha de ensayo:	10/03/2023

MTC E 107- ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELO POR TAMIZADO

Peso de Muestra Seca:	1775	gr.
Peso de Muestra Liviana:	1775	gr.
Perdida por Lavado:	0	gr.

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr.)	Peso Retenido Corregido	% Retenido	Acumulado	
					% Retenido	% Pasa
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
N° - 4	4.760	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
N° - 10	2.000	47.20	47.60	2.68	2.68	97.32
N° - 20	0.840	327.70	329.20	18.56	21.24	78.76
N° - 40	0.425	550.90	552.50	31.14	52.38	47.62
N° - 60	0.250	290.50	291.50	16.43	68.81	31.19
N° - 140	0.106	346.10	346.50	19.53	88.34	11.66
N° - 200	0.075	103.80	104.50	5.89	94.23	5.77
Fondo		102.30	102.30	5.77	100.00	0.00
Perdida por Lavado		0.00				
Parcial Fodo + Perdida por Lavado		102.30				
TOTAL		1768.50	1774.10	100.00		

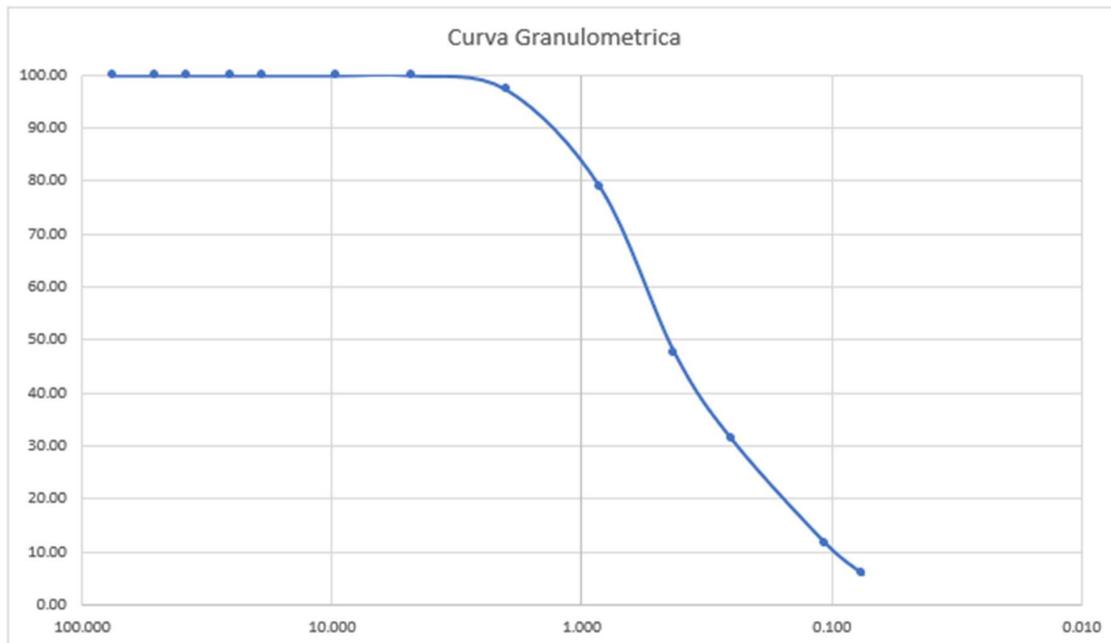
Cu =	8.58
Cc =	0.68

Error (%):	0.051
------------	-------

Fuente: Propia

- Análisis de los ensayos

Tabla 32. Curva granulométrica



Fuente: Propia

Nota: El gráfico muestra las aperturas en milímetros de los tamices con el porcentaje de material que pasa a través de cada uno de ellos en orden ascendente. A partir de esta representación, podemos identificar los puntos en la curva granulométrica resultado del ensayo. Esta representación gráfica señala que en el suelo se encuentra una proporción significativa de material de textura extremadamente fina con atributos que se asemejan a las características típicas de limo y arcilla.

Tabla 33. Resultados de coeficientes uniformidad y de

D10 =	(mm)	0.113
D30 =	(mm)	0.273
D60 =	(mm)	0.967
$C_u = D_{60}/D_{10}$		8.576
$C_c = D_{30}^2/(D_{10}*D_{60})$		0.681

curvatura.

Fuente: Propia



3.7.2.1.3 Determinación del Limite Liquido

- La prueba con la Cuchara Casagrande:

$$W = \frac{PMH - PMS}{PMS - PR} \times 100$$

Donde:

W: Contenido de humedad.

PMH: peso de muestra húmeda más recipiente.

PMS: Peso de muestra secada en horno más recipiente.

PR: Peso de recipiente.

En el gráfico, el eje vertical representa el contenido de humedad en la muestra, mientras que el eje horizontal muestra el número de golpes. Para determinar el porcentaje de humedad, se encuentra el punto donde la curva cruza la línea inclinada después de 25 golpes.

- Resultado de los datos procesados:



Tabla 34. Resultado de Limite Líquido

 Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil	
Título de Tesis:	Efecto de la adición de geles coloidales base 200 y 280 en la densidad seca, cohesión y ascension capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023
Ensayo:	Determinacion del Limite Liquido del Suelo Natural
Ubicación:	APV La Victoria, San Sebastián, Cusco 13°32'15.83"S-71°54'54.49"O
Responsables:	Diego S. Esquivel Choquehuanca Roberto G. Caceres Ruffran
Descripcion de la Muestra:	se utiliza material Limo que pasa por la malla #40
Fecha de ensayo:	09/03/2023

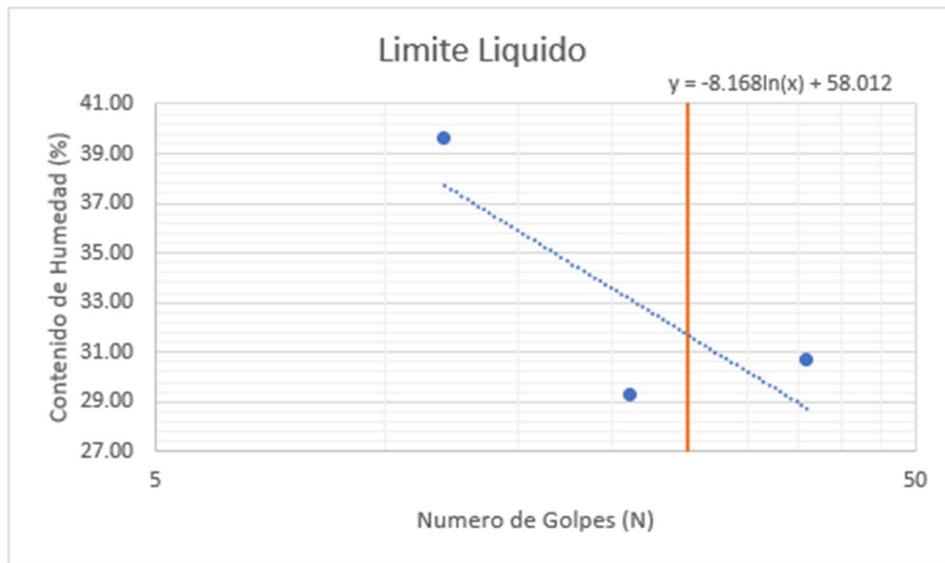
MTC E 110. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO (LL) DE LOS SUELOS

Descripcion	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Denominacion de recipiente	N1	N2	N3
Peso de Suelo Humedo+ recipiente Metalico	81.5	87.1	85.6
Peso Suelo Seco + Recipiente Metalico (gr)	71.8	78.1	76.7
Peso Recipiente Metalico (gr)	47.3	47.4	47.7
Peso Suelo Seco (gr)	24.5	30.7	29
Peso de Agua (gr)	9.7	9	8.9
Contenido de Humedad (%)	39.59	29.32	30.69
Numero de Golpes (N)	12	21	36
Limite Liquido (%)	32.34		

Fuente: Propia

- Análisis de los ensayos.

Fig 60. Gráfico resultante de Limite Líquido



Fuente: Propia

Nota: Puesto que el ensayo logró identificar que el nivel de humedad en el suelo es de 32.34%, este valor se derivó de un análisis de 3 muestras representativas, con la tendencia de disminuir al incorporar residuos avícolas.

3.7.2.1.4 Determinación de Límite Plástico e Índice de Plasticidad

Calculando el Promedio del Contenido de Humedad de las Muestras en Cada Experimento como Resultado.

- Índice de Plasticidad: La discrepancia entre el Límite Líquido (LL) y el Límite Plástico (LP) constituirá el índice de plasticidad. La validez de este resultado estará sujeta a la conformidad con las regulaciones técnicas establecidas en Perú.

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP: Índice de plasticidad.

LL: Limite líquido.

LP: Limite plástico.

Fig 61. Resultado Límite Plástico e Índice de Plasticidad

 Universidad Andina del Cusco		Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil		
Título de Tesis:	Efecto de la adición de geles coloidales base 200 y 280 en la densidad seca, cohesión y ascension capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023			
Ensayo:	Determinacion del Limite Plastico e indice de Plasticidad del Suelo			
Ubicación:	APV La Victoria, San Sebastián, Cusco 13°32'15.83"S-71°54'54.49"O			
Responsables:	Diego S. Esquivel Choquehuanca			
	Roberto G. Caceres Ruffran			
Descripcion de la Muestra:	se utilizo material limoso que pasa por la malla #40			
Fecha de ensayo:	09/03/2023			

MTC E 111. DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO (LP) DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (IP)

Descripcion	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Denominacion de recipiente	N1	N2	N3
Peso de Suelo Humedo+ recipiente Metalico (gr)	25.4	21.7	25
Peso Suelo Seco + Recipiente Metalico (gr)	24.5	20.9	24.1
Peso Recipiente Metalico (gr)	19.7	18.2	19.1
Peso Suelo Seco (gr)	4.8	2.7	5
Peso de Agua (gr)	0.9	0.8	0.9
Contenido de Humedad (%)	18.75	29.63	18.00
Límite Plástico (%)	22.13		

Límite Líquido (%)	32.34
límite Plástico (%)	22.13
Índice de Plasticidad (%)	10.21

Fuente: Propia

Nota: El nivel del índice de plasticidad es adecuado, y existe una propensión a su reducción al emplear aditivos.

3.7.2.1.5 Clasificación de los suelos.

Para determinar la naturaleza del suelo excavado en las calicatas, se emplearon dos métodos diferentes: el sistema SUCS y el sistema AASHTO. Ambos métodos demandan información acerca de la granulometría, el límite líquido, el límite plástico



y el índice de plasticidad. En particular, en el método AASHTO, es esencial calcular el índice de grupo (IG), el cual resulta útil para la evaluación de los suelos.

$$IG: (F - 35)(0.2 + 0.005(LL - 40)) + 0.01(F - 15)(IP - 10)$$

Donde:

F: %pasado por tamiz N° 200.

LL: Limite líquido.

IP: Índice de plasticidad.

La ecuación que se presenta a continuación ejemplifica algunas de las normas que se describen posteriormente:

- En caso de que la ecuación anterior produzca un valor negativo para el Índice de Grupo (IG), se considerará como 0 (cero).
- El valor calculado para el Índice de Grupo se redondea al número entero más cercano.
- El límite superior no se incluye en la lista de grupos.
- El Índice de Plasticidad (IP) para los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3 siempre es 0 (cero).
- Cuando se calcula el valor del Índice de Grupo (IG) para suelos clasificados en los grupos A-2-6 y A-2-7, se emplea el Índice de Grupo parcial correspondiente al Índice de Plasticidad (PI).
$$IG = 0.01(F - 15)(IP - 10)$$
- Utilizando el método del Índice de Grupo, podemos determinar la calidad del suelo en una escala de clasificación que va desde muy deficiente hasta excelente, en un rango que abarca de 0 a 20. (AASHTO, 2014)

Por el método de AASHTO

Fig 62. Clasificación de suelos para suelo natural.

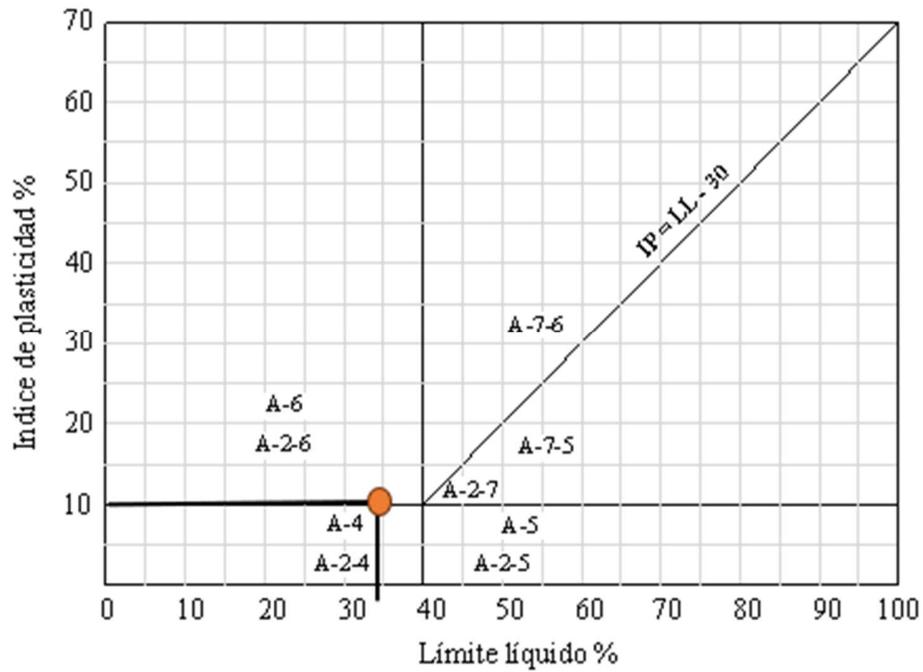
Datos para clasificación			
Granulometría		Límite de Consistencia	
% que pasa el tamiz N° 10 =	97.32	LL =	32.34
% que pasa el tamiz N° 40 =	47.62	LP =	22.13
% que pasa el tamiz N° 200 =	5.77	IP =	10.21

Fuente: Propia

Nota: La tabla presenta los datos relacionados a los materiales clasificados en las categorías A-4, A-5 y A-6, para su clasificación de suelos se usó la metodología AASHTO.



Por el método AASHTO.



a. Diagrama del ensayo

Fig 63. Clasificación de suelos para suelo natural.

Datos para clasificación			
Granulometría		Límite de Consistencia	
% que pasa el tamiz N° 10 =	97.32	LL =	32.34
% que pasa el tamiz N° 40 =	47.62	LP =	22.13
% que pasa el tamiz N° 200 =	5.77	IP =	10.21

Fuente: Propia

Fig 64. Suelo clasificado

Muestra	SN
Clasificación	A-4

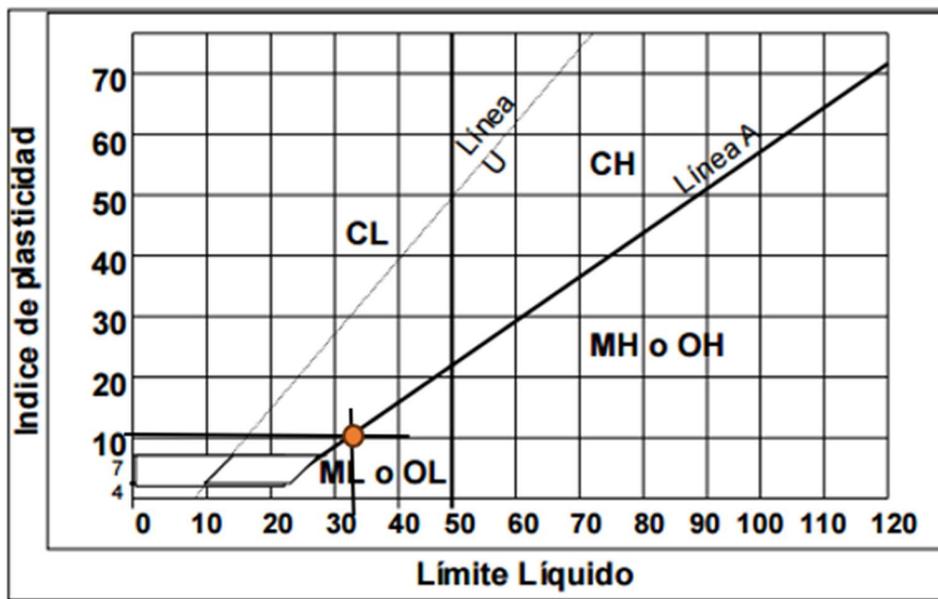
Fuente: Propia



Clasificación de suelo por el método SUCS

Fig 65. Clasificación del suelo por SUCS

Carta de Plasticidad



Línea A = $0,73 (LL - 20)$
Línea U = $0,90 (LL - 8)$

Fuente: Propia

Tabla 35. Gráfico de clasificación -SUCS.

Datos para clasificación			
Granulometría		Límite de Consistencia	
% que pasa el tamiz N° 4 =	100.00	LL =	32.34
% que pasa el tamiz N° 200 =	5.77	LP =	22.13
		IP =	10.21

Fuente: Propia

Tabla 36. Suelo clasificado

CLASIFICACIÓN DEL SUELO NATURAL
Limos Inorgánicos (ML)

Fuente: Propia



- Las muestras recolectadas en el APV. LA VICTORIA, fueron evaluadas mediante el método AASHTO para clasificar el suelo. Los resultados indicaron que se trata de un suelo limoso con un límite líquido elevado, categorizándolo como perteneciente al grupo "A-4" y con un índice de grupo (GI) igual a 1, lo que lo califica como un suelo aceptable a mala calidad.
- De manera similar, de acuerdo con la clasificación SUCS, este suelo pertenece al grupo de limos Inorgánicos "ML", en su estado natural.

3.7.2.1.6 Ensayo de Proctor Modificado.

- Para calcular el contenido de humedad:

$$W = \frac{PMH - PMS}{PMS - PR} \times 100$$

Donde:

W: Contenido de humedad.

PMH: peso de muestra húmeda más recipiente.

PMS: Peso de muestra secada en horno más recipiente.

PR: Peso de recipiente.

- Densidad Húmeda:

$$pm = \frac{1}{VM} \times PMH$$

Donde:

PMH: peso muestra húmeda.

VM: Volumen molde.

pm: Densidad húmeda.

- Densidad Seca:

$$pd = \frac{100 \times pm}{100 + W}$$

Donde:

pm: Densidad humeda.

W: Contenido de humedad.



Pd: Densidad seca.

Clasificaremos las densidades en estado seco en una secuencia ordenada y asociaremos a cada una el nivel correspondiente de humedad como punto de referencia. Este proceso nos permitirá construir una curva completa con seis niveles distintos. A partir de esta curva, seremos capaces de calcular dos valores cruciales: la densidad seca máxima, que representa la compactación óptima del suelo, y el contenido de humedad óptimo, que indica la cantidad precisa de humedad necesaria para alcanzar esa densidad máxima.



Tabla 37. Resultados del Proctor Modificado del suelo natural

 Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil	
Título de Tesis:	Efecto de la adición de geles coloidales base 200 y 280 en la densidad seca, cohesión y ascension capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023
Ensayo:	Determinación de contenido de humedad óptimo
Ubicación:	APV La Victoria, San Sebastián, Cusco 13°32'15.83"S-71°54'54.49"O
Responsables:	Diego S. Esquivel Choquehuanca Roberto G. Caceres Ruffran
Descripción de la Muestra:	suelo Limoso
Fecha de ensayo:	11/03/2023

MTC E115 - COMPACTACIÓN DE SUELO EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO)

Diametro de molde:	10.16	cm
Altura del Molde:	11.65	cm
Volumen del Molde:	951.01	cm ³
Metodo:	C (4")	
Capas:	5	und
Golpe por Carga:	25	und

Determinación	N°	Ensayo					
		1	2	3	4	5	6
Peso del Molde y Muestra	gr.	5288	5544	5527	5500	5480	5449
Peso del Molde	gr.	3758	3758	3758	3758	3758	3758
Peso de la Muestra Compacta	gr.	1530	1786	1769	1742	1722	1691
Densidad Humeda	gr/cc.	1.6088	1.878	1.860	1.8317	1.8107	1.7781
Densidad Seca	gr/cc.	1.36	1.46	1.41	1.37	1.33	1.29

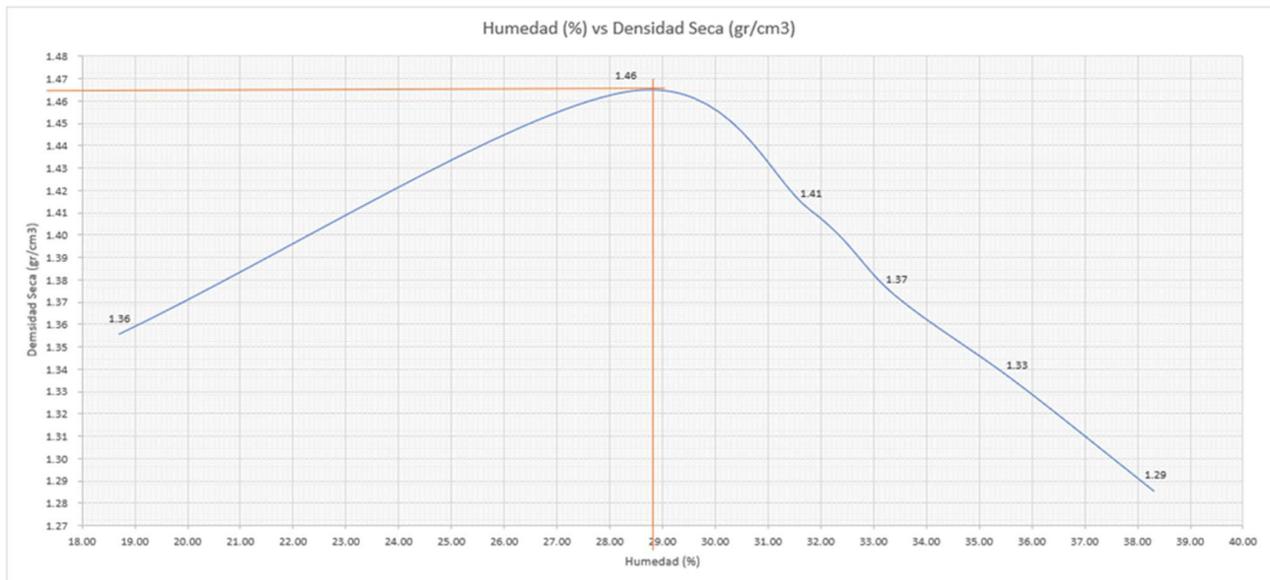
Tarro	N°	1a	1b	1c	2a	2b	2c	3a	3b	3c	4a	4b	4c	5a	5b	5c	6a	6b	6c
Peso del Tarro	gr.	10.70	10.60	10.80	46.90	47.60	47.80	46.90	47.30	47.40	47.00	47.70	47.90	20.50	19.50	18.30	10.90	17.00	19.90
Peso del T. + Suelo Humedo	gr.	66.80	59.50	64.50	93.10	94.20	95.60	93.70	96.20	93.10	97.90	95.30	94.90	95.00	91.20	89.90	50.00	56.60	61.80
Peso del T. + Suelo Seco	gr.	57.70	51.90	56.20	83.20	83.90	84.80	82.40	84.50	82.00	85.60	83.10	83.00	75.10	72.50	71.20	39.10	45.60	50.30
Peso del Agua	gr.	9.10	7.60	8.30	9.90	10.30	10.80	11.30	11.70	11.10	12.30	12.20	11.90	19.90	18.70	18.70	10.90	11.00	11.50
Peso del Suelo Seco	gr.	47.00	41.30	45.40	36.30	36.30	37.00	35.50	37.20	34.60	38.60	35.40	35.10	54.60	53.00	52.90	28.20	28.60	30.40
Contenido de Humedad	%	19.36	18.40	18.28	27.27	28.37	29.19	31.83	31.45	32.08	31.87	34.46	33.90	36.45	35.28	35.35	38.65	38.46	37.83
Contenido de Humedad Promedio	%	18.68			28.28			31.79			33.41			35.69			38.31		

Humedad Optima (%)	28.80
Densidad Seca Maxima (gr/cm ³)	1.465

Fuente: Propia

- Análisis de los ensayos

Fig 66. Gráfico de la curva de densidad seca máxima



Nota: La curva de compactación es una representación gráfica logarítmica que se crea a partir de datos obtenidos al compactar el suelo original a diferentes niveles de humedad. A través de esta curva, podemos identificar el contenido de humedad óptimo trazando su línea de tendencia. En este estudio, se aplicó el Método A Proctor Modificado, siguiendo estrictamente los procedimientos estipulados por el Método A, que implicaron la compactación en cinco capas, con 25 golpes en cada una, utilizando un molde de 4 pulgadas de diámetro.

Como resultados relevantes tenemos, la densidad máxima en estado seco del suelo tal como se encuentra en la naturaleza es de 1.46 gr/cm³, y su nivel de humedad óptimo es del 28.8%.

3.7.2.1.7 Ensayo de densidad seca.

- Densidad Seca:

$$D_s = \frac{W_s}{V_t}$$



Donde:

Ds: Densidad seca (gr/cm³).

Ws: Peso seco (gr).

Vt: Volumen total (cm³).

- Toma de datos de los ensayos.

Tabla 38. Resultados.

Nº	GelBase 200	GelBase28 0	d ₁	d ₂	d ₃	h ₁	h ₂	h ₃	W	DeltaVol (%)	Dh (g/cm ³)	W _{cap.}	W _{cap.+ Sh}	W _{cap.+ Ss}	w%	Ds (g/cm ³)
N1	0.00	0.00	61.88	61.90	61.88	105.15	108.07	106.03	485.2	7.82	1.52	47.90	140.10	126.5	17.3	1.29
N2	1.50	0.00	61.84	61.99	61.86	107.41	107.55	107.31	505.7	8.88	1.56	18.90	68.10	60.1	19.4	1.31
N3	0.00	1.50	61.56	61.82	61.69	105.92	106.69	106.14	487.8	6.97	1.54	18.40	75.80	67.1	17.9	1.30
N4	1.50	1.50	61.68	61.89	61.71	107.69	107.47	107.13	522.6	8.40	1.62	19.90	63.00	55.3	21.8	1.33
N5	0.00	0.50	61.64	61.86	61.86	107.14	107.22	108.68	561.5	8.75	1.74	47.30	142.10	124.8	22.3	1.42
N6	0.00	1.00	61.90	61.98	61.44	107.59	107.11	106.85	493.1	8.20	1.54	48.00	127.90	115.8	17.8	1.30
N7	1.50	0.50	61.71	61.86	61.92	107.33	107.33	106.44	519.5	8.25	1.62	18.00	69.30	60.3	21.3	1.33
N8	1.00	0.00	61.92	61.71	61.77	108.04	107.59	107.35	511.4	8.78	1.58	47.80	130.50	117.6	18.5	1.34
N9	0.50	1.50	61.91	61.94	61.97	106.94	106.46	106.81	489.2	8.33	1.52	47.20	105.70	97.1	17.2	1.30
N10	0.75	0.75	62.48	61.95	61.91	107.02	103.76	105.77	473.6	7.70	1.48	47.00	142.60	130	15.2	1.29
N11	0.75	0.75	61.74	61.92	61.87	107.77	107.91	107.84	549.6	9.11	1.70	46.90	115.10	102.2	23.3	1.38
N12	0.00	0.00	61.73	61.89	61.94	103.49	106.42	102.35	481.4	5.35	1.54	46.90	102.00	94	17.0	1.32
N13	1.50	0.00	61.90	61.95	61.86	107.08	107.7	106.68	506.7	8.63	1.57	47.10	123.30	111.9	17.6	1.34
N14	0.00	1.50	61.79	62.07	61.83	106.58	106.63	106.61	514.8	8.05	1.60	19.90	42.70	39	19.4	1.34
N15	1.50	1.50	61.90	61.87	61.71	106.65	106.39	106.26	525.9	7.63	1.65	21.40	91.20	79.4	20.3	1.37
N16	0.00	0.50	61.71	61.91	61.84	107.24	107.66	107.06	503.2	8.50	1.56	47.50	117.80	106.6	19.0	1.31
N17	0.00	1.00	61.93	61.90	61.85	106.76	106.57	106.33	537.3	7.98	1.68	18.50	80.20	69.8	20.3	1.39
N18	1.50	0.50	61.64	61.76	61.97	107.65	107.45	106.84	515.7	8.39	1.60	46.90	151.90	133.9	20.7	1.33
N19	1.00	0.00	61.86	62.01	61.95	108	107.51	107.92	513.2	9.42	1.58	47.60	131.80	118.5	18.8	1.33
N20	0.50	1.50	61.82	62.09	62.04	107.71	106.76	107.86	511.5	9.20	1.58	19.40	62.20	54.6	21.6	1.30
N21	0.75	0.75	61.91	61.92	61.89	106.9	107.68	106.87	501.5	8.64	1.55	47.50	125.90	112.9	19.9	1.30
N22	0.75	0.75	61.62	61.91	61.88	107.19	106.99	107.67	551.1	8.41	1.71	19.50	80.70	69.9	21.4	1.41
N23	0.00	0.00	61.94	61.89	61.85	106.83	106.61	106.84	498.4	8.19	1.55	47.30	122.80	111.2	18.2	1.31
N24	1.50	0.00	61.64	61.67	61.55	107.48	107	106.39	582.4	7.44	1.83	47.00	146.70	128.3	22.6	1.49
N25	0.00	1.50	61.68	61.91	61.88	106.41	107.4	106.9	488.5	8.09	1.52	19.80	93.20	81.3	19.3	1.28
N26	1.50	1.50	61.84	61.73	61.66	104.51	103.15	105.17	556.5	5.17	1.78	18.90	72.70	62.5	23.4	1.44
N27	0.00	0.50	61.96	62.05	61.88	106.92	107.07	107.21	521.6	8.75	1.62	19.40	63.40	56.1	19.9	1.35
N28	0.00	1.00	61.75	61.82	61.86	106.78	107.34	107.95	528.8	8.51	1.64	47.90	80.10	75	18.8	1.38
N29	1.50	0.50	62.18	62.08	62.01	107.4	107.29	107.28	498.2	9.46	1.53	47.60	85.50	80.3	15.9	1.32
N30	1.00	0.00	61.80	62.00	61.82	106.57	107.1	106.81	531.3	8.19	1.65	20.00	72.10	63.2	20.6	1.37
N31	0.50	1.50	61.81	62.01	61.69	107.53	105.26	105.25	523.3	7.24	1.64	19.60	63.30	55.6	21.4	1.35
N32	0.75	0.75	61.71	61.86	61.74	106.38	107.78	107.77	529.6	8.32	1.65	19.40	60.60	53.6	20.5	1.37
N33	0.75	0.75	61.82	61.91	61.65	107.72	107.74	106.54	569.5	8.42	1.77	18.30	65.90	57.1	22.7	1.44

Fuente: Propia

3.7.2.1.8 Ensayo de Cohesión.

- Cohesión:

$$C = \frac{1}{2} xfv$$

Donde:

Fv: Resistencia ultima a la compresión.



C: Cohesión.

- Toma de sats de los ensayos.

Tabla 39. Resultados.

N°	GelBase 200	GelBase 280	d ₁	d ₂	d ₃	h ₁	h ₂	h ₃	W	Q	Vol (cm ³)	DeltaVol (%)	Dh (g/cm ³)	W _{cap.}	W _{cap.- S_b}	W _{cap.- S_s}	w%	fv* (kg/cm ²)	C (Mpa)
N1	0.00	0.00	61.88	61.90	61.88	105.15	108.07	106.03	485.20	140	320.11	7.82	1.52	47.90	140.10	126.50	17.30	5.34	0.26
N2	1.50	0.00	61.84	61.99	61.86	107.41	107.55	107.31	505.70	160	323.24	8.88	1.56	18.90	68.10	60.10	19.42	6.01	0.29
N3	0.00	1.50	61.56	61.82	61.69	105.92	106.69	106.14	487.80	200	317.58	6.97	1.54	18.40	75.80	67.10	17.86	7.61	0.37
N4	1.50	1.50	61.68	61.89	61.71	107.69	107.47	107.13	522.60	190	321.83	8.40	1.62	19.90	63.00	55.30	21.75	7.04	0.35
N5	0.00	0.50	61.64	61.86	61.86	107.14	107.22	108.68	561.50	260	322.86	8.75	1.74	47.30	142.10	124.80	22.32	9.03	0.44
N6	0.00	1.00	61.90	61.98	61.44	107.59	107.11	106.85	493.10	160	321.23	8.20	1.54	48.00	127.90	115.80	17.85	6.07	0.30
N7	1.50	0.50	61.71	61.86	61.92	107.33	107.33	106.44	519.50	270	321.37	8.25	1.62	18.00	69.30	60.30	21.28	9.99	0.49
N8	1.00	0.00	61.92	61.71	61.77	108.04	107.59	107.35	511.40	170	322.94	8.78	1.58	47.80	130.50	117.60	18.48	6.28	0.31
N9	0.50	1.50	61.91	61.94	61.97	106.94	106.46	106.81	489.20	150	321.62	8.33	1.52	47.20	105.70	97.10	17.23	5.68	0.28
N10	0.75	0.75	62.48	61.95	61.91	107.02	103.76	105.77	473.60	230	319.73	7.70	1.48	47.00	142.60	130.00	15.18	8.74	0.43
N11	0.75	0.75	61.74	61.92	61.87	107.77	107.91	107.84	549.60	270	323.93	9.11	1.70	46.90	115.10	102.20	23.33	9.68	0.47
N12	0.00	0.00	61.73	61.89	61.94	103.49	106.42	102.35	481.40	180	312.76	5.35	1.54	46.90	102.00	94.00	16.99	6.74	0.33
N13	1.50	0.00	61.90	61.95	61.86	107.08	107.70	106.68	506.70	240	322.50	8.63	1.57	47.10	123.30	111.90	17.59	8.84	0.43
N14	0.00	1.50	61.79	62.07	61.83	106.58	106.63	106.61	514.80	250	320.78	8.05	1.60	19.90	42.70	39.00	19.37	9.15	0.45
N15	1.50	1.50	61.90	61.87	61.71	106.65	106.39	106.26	525.90	320	319.54	7.63	1.65	21.40	91.20	79.40	20.34	11.54	0.57
N16	0.00	0.50	61.71	61.91	61.84	107.24	107.66	107.06	503.20	200	322.13	8.50	1.56	47.50	117.80	106.60	18.95	7.52	0.37
N17	0.00	1.00	61.93	61.90	61.85	106.76	106.57	106.33	537.30	280	320.59	7.98	1.68	18.50	80.20	69.80	20.27	9.89	0.49
N18	1.50	0.50	61.64	61.76	61.97	107.65	107.45	106.84	515.70	260	321.80	8.39	1.60	46.90	151.90	133.90	20.69	9.67	0.47
N19	1.00	0.00	61.86	62.01	61.95	108.00	107.51	107.92	513.20	180	324.86	9.42	1.58	47.60	131.80	118.50	18.76	6.65	0.33
N20	0.50	1.50	61.82	62.09	62.04	107.71	106.76	107.86	511.50	250	324.20	9.20	1.58	19.40	62.20	54.60	21.59	9.46	0.46
N21	0.75	0.75	61.91	61.92	61.89	106.90	107.68	106.87	501.50	200	322.52	8.64	1.55	47.50	125.90	112.90	19.88	7.59	0.37
N22	0.75	0.75	61.62	61.91	61.88	107.19	106.99	107.67	551.10	300	321.84	8.41	1.71	19.50	80.70	69.90	21.43	10.50	0.52
N23	0.00	0.00	61.94	61.89	61.85	106.83	106.61	106.84	498.40	160	321.21	8.19	1.55	47.30	122.80	111.20	18.15	6.00	0.29
N24	1.50	0.00	61.64	61.67	61.55	107.48	107.00	106.39	582.40	310	318.96	7.44	1.83	47.00	146.70	128.30	22.63	10.34	0.51
N25	0.00	1.50	61.68	61.91	61.88	106.41	107.40	106.90	488.50	180	320.91	8.09	1.52	19.80	93.20	81.30	19.35	6.96	0.34
N26	1.50	1.50	61.84	61.73	61.66	104.51	103.15	105.17	556.50	270	312.22	5.17	1.78	18.90	72.70	62.50	23.39	9.25	0.45
N27	0.00	0.50	61.96	62.05	61.88	106.92	107.07	107.21	521.60	220	322.86	8.75	1.62	19.40	63.40	56.10	19.89	8.02	0.39
N28	0.00	1.00	61.75	61.82	61.86	106.78	107.34	107.95	528.80	220	322.13	8.51	1.64	47.90	80.10	75.00	18.82	7.86	0.39
N29	1.50	0.50	62.18	62.08	62.01	107.40	107.29	107.28	498.20	150	324.96	9.46	1.53	47.60	85.50	80.30	15.90	5.55	0.27
N30	1.00	0.00	61.80	62.00	61.82	106.57	107.10	106.81	531.30	360	321.20	8.19	1.65	20.00	72.10	63.20	20.60	12.93	0.63

Fuente: Propia

3.7.2.1.9 Ensayo de Ascensión Capilar.

a. Procesamiento de datos. EN 772-11:2011.

- Ascensión Capilar:

$$C_w = \frac{m_{so} - m_{dry}}{A_s \times t_{so}} \times 10^6 \left(\frac{g}{m^2 \times s} \right)$$

Donde:

C_w: Coeficiente de absorción de agua debida a la capilaridad.

m_{so}: Peso de la muestra humedad.

m_{dry}: Peso de la muestra seca.



As: Área de la sección de la muestra.

Tso: Tiempo de la succión en minutos.

- Toma de satsos de los ensayos.

Tabla 40. Resultados.

N°	GolBare 200 (%)	GolBare 200 (%)	d1(mm)	d2(mm)	d3(mm)	Wm.s (g)	W/1min (g)	C _{ui} [kg/(m ² xmin)]
N1	0.00	0.00	61.0	61.0	60.8	437.3	475.7	13175.56
N2	1.50	0.00	61.0	61.3	60.3	411.6	446.0	11818.62
N3	0.00	1.50	60.9	61.3	60.8	431.7	487.0	18928.58
N4	1.50	1.50	60.1	60.2	60.2	468.4	469.5	387.11
N5	0.00	0.50	60.9	60.7	61.0	436.4	474.5	13096.98
N6	0.00	1.00	60.5	60.9	61.0	422.7	454.7	11025.44
N7	1.50	0.50	61.5	61.4	61.4	416.5	458.0	14008.31
N8	1.00	0.00	61.2	61.2	61.2	451.4	472.6	7212.31
N9	0.50	1.50	60.7	60.7	60.9	435.6	469.7	11761.88
N10	0.75	0.75	60.6	60.5	60.5	462.3	473.3	3824.73
N11	0.75	0.75	61.1	61.1	61.1	438.3	466.4	9585.81
N12	0.00	0.00	61.0	61.0	61.0	443.0	477.5	11808.97
N13	1.50	0.00	60.3	60.7	61.1	445.0	475.0	10367.02
N14	0.00	1.50	60.7	60.7	60.6	448.6	476.8	9751.42
N15	1.50	1.50	60.4	60.4	60.1	429.0	433.4	1540.74
N16	0.00	0.50	61.0	60.8	60.9	433.6	469.4	12291.53
N17	0.00	1.00	60.9	60.8	60.9	446.0	481.0	12039.26
N18	1.50	0.50	60.8	60.9	60.9	446.9	465.2	6291.37
N19	1.00	0.00	60.9	60.8	60.8	441.1	462.7	7434.02
N20	0.50	1.50	61.1	61.3	61.4	402.0	449.2	16015.68
N21	0.75	0.75	60.4	60.7	60.8	430.7	458.6	9665.73
N22	0.75	0.75	60.5	60.4	60.5	450.3	467.3	5919.42
N23	0.00	0.00	61.0	61.0	60.9	420.8	453.9	11344.64
N24	1.50	0.00	61.1	61.3	61.0	401.7	433.0	10659.98
N25	0.00	1.50	61.2	61.3	61.3	396.7	457.1	20479.04
N26	1.50	1.50	61.2	61.1	61.1	399.6	457.5	19734.31
N27	0.00	0.50	61.1	61.2	61.2	423.9	471.5	16200.74
N28	0.00	1.00	60.9	60.8	60.9	440.1	468.2	9656.28
N29	1.50	0.50	60.6	60.7	60.9	438.3	461.5	8005.73
N30	1.00	0.00	59.7	60.2	60.2	485.4	492.2	2404.47
N31	0.50	1.50	61.5	61.5	61.4	412.3	465.9	18065.20
N32	0.75	0.75	61.3	61.6	61.3	416.6	461.3	15088.47
N33	0.75	0.75	61.3	61.4	61.3	408.2	460.4	17666.08

Fuente: Propia



4. CAPITULO 4: Resultados De La Investigación

4.1 Resultados respecto a los objetivos específicos.

4.1.1 Densidad seca, Cohesión y Ascensión Capilar

Los siguientes cuadros presentan los resultados:

Tabla 41. Resultados de Densidad seca, Cohesión y Ascensión Capilar

Nº	GelBase200(% suelo)	GelBase280(% suelo)	Pesos solidos por muestra(g)	Agua Optima (%)	cwi [kg/(m ² xmin)]	Ds (g/cm ³)	C (Mpa)
N01	0	0	595	28.8	13175.56	1.29	0.26
N02	1.5	0	595	28.8	11818.62	1.31	0.29
N03	0	1.5	595	28.8	18928.58	1.30	0.37
N04	1.5	1.5	595	28.8	387.11	1.33	0.35
N05	0	0.5	595	28.8	13096.98	1.42	0.44
N06	0	1	595	28.8	11025.44	1.30	0.30
N07	1.5	0.5	595	28.8	14008.31	1.33	0.49
N08	1	0	595	28.8	7212.31	1.34	0.31
N09	0.5	1.5	595	28.8	11761.88	1.30	0.28
N10	0.75	0.75	595	28.8	3824.73	1.29	0.43
N11	0.75	0.75	595	28.8	9585.81	1.38	0.47
N12	0	0	595	28.8	11808.97	1.32	0.33
N13	1.5	0	595	28.8	10367.02	1.34	0.43
N14	0	1.5	595	28.8	9751.42	1.34	0.45
N15	1.5	1.5	595	28.8	1540.74	1.37	0.57
N16	0	0.5	595	28.8	12291.53	1.31	0.37
N17	0	1	595	28.8	12039.26	1.39	0.49
N18	1.5	0.5	595	28.8	6291.37	1.33	0.47
N19	1	0	595	28.8	7434.02	1.33	0.33
N20	0.5	1.5	595	28.8	16015.68	1.30	0.46
N21	0.75	0.75	595	28.8	9665.73	1.30	0.37
N22	0.75	0.75	595	28.8	5919.42	1.41	0.52
N23	0	0	595	28.8	11344.64	1.31	0.29
N24	1.5	0	595	28.8	10659.98	1.49	0.51
N25	0	1.5	595	28.8	20479.04	1.28	0.34
N26	1.5	1.5	595	28.8	19734.31	1.44	0.45
N27	0	0.5	595	28.8	16200.74	1.35	0.39
N28	0	1	595	28.8	9656.28	1.38	0.39
N29	1.5	0.5	595	28.8	8005.73	1.32	0.27
N30	1	0	595	28.8	2404.47	1.37	0.63
N31	0.5	1.5	595	28.8	18065.20	1.35	0.48
N32	0.75	0.75	595	28.8	15088.47	1.37	0.59
N33	0.75	0.75	595	28.8	17666.08	1.44	0.59

Fuente: Propia



Tabla 42. Matriz de correlación

	GelBase200	GelBase280	GelBase200*GelBase280	cwi [kg/(m ² xmin)]	Ds (g/cm ³)	C (Mpa)
GelBase200	1	-0.153	0.554	-0.398	0.246	0.256
GelBase280	-0.153	1	0.534	0.232	-0.047	0.143
GelBase200*GelBase280	0.554	0.534	1	-0.219	0.171	0.237
cwi [kg/(m ² xmin)]	-0.398	0.232	-0.219	1	0.036	-0.059
Ds (g/cm ³)	0.246	-0.047	0.171	0.036	1	0.616
C (Mpa)	0.256	0.143	0.237	-0.059	0.616	1

Fuente: Propia

- Se puede observar que existe una correlación negativa moderada entre "GelBase200" y "ascensión capilar". Esto sugiere que a medida que el valor de "GelBase200" aumenta, el valor de "ascensión capilar]" tiende a disminuir moderadamente, y viceversa. En otras palabras, cuando se utiliza más "GelBase200", ascensión capilar tiende a disminuir.
- Se puede observar que existe una correlación positiva débil entre "GelBase200" y "Densidad". Esto sugiere que cuando el valor de "GelBase200" aumenta, el valor de "Densidad" tiende a aumentar ligeramente, y viceversa. Sin embargo, la correlación es débil, lo que indica que esta relación es poco significativa.
- Se puede observar que existe una correlación positiva débil entre "GelBase200" y "cohesión". Esto sugiere que cuando el valor de "GelBase200" aumenta, el valor de "cohesión" tiende a aumentar ligeramente, y viceversa. Al igual que en el caso anterior, la correlación es débil, lo que indica que esta relación es poco significativa.
- Existe una correlación positiva moderada entre "GelBase280" y "ascensión capilar". Esto sugiere que a medida que el valor de "GelBase280" aumenta, el valor de " ascensión capilar " tiende a aumentar moderadamente, y viceversa. En otras palabras, cuando se utiliza más "GelBase280", la ascensión capilar tiende a aumentar.
- Hay una correlación muy débil y casi nula entre "GelBase280" y "Densidad". Esto sugiere que no hay una relación significativa entre estas dos variables en este conjunto de datos.
- Existe una correlación positiva débil entre "GelBase280" y "Cohesión". Esto sugiere que cuando el valor de "GelBase280" aumenta, el valor de "Cohesión" tiende a aumentar

ligeramente, y viceversa. Sin embargo, al igual que en el caso anterior, la correlación es débil, lo que indica que esta relación es poco significativa.

4.1.1.1 Densidad Seca

- Regresión de la variable Ds (g/cm³)
Estadísticos de bondad del ajuste (Ds (g/cm³))

Tabla 43. Estadísticos de bondad del ajuste (Ds (g/cm³))

Observaciones	33
Suma de los pesos	33
GL	29
R ²	0.066
R ² ajustado	-0.030

Fuente: Propia

- Análisis de la Varianza Ds (g/cm³)

Tabla 44. Análisis de la Varianza Ds (g/cm³)

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F	p-values signification codes
Modelo	3.000	0.006	0.002	0.688	0.567	°
Error	29.000	0.078	0.003			
Total corregido	32.000	0.084				

Fuente: Propia

NOTA: Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) realizado en este estudio indicaron que el valor p asociado al estadístico F fue de 0.567, mientras que el estadístico F en sí fue de 0.688. Dado que el nivel de significación previamente establecido fue de 0.15, no se encontró evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula en este nivel de significación. Esto sugiere que no se encontraron diferencias significativas entre las variables estudiadas.

- Análisis de la suma de cuadrados Tipo III

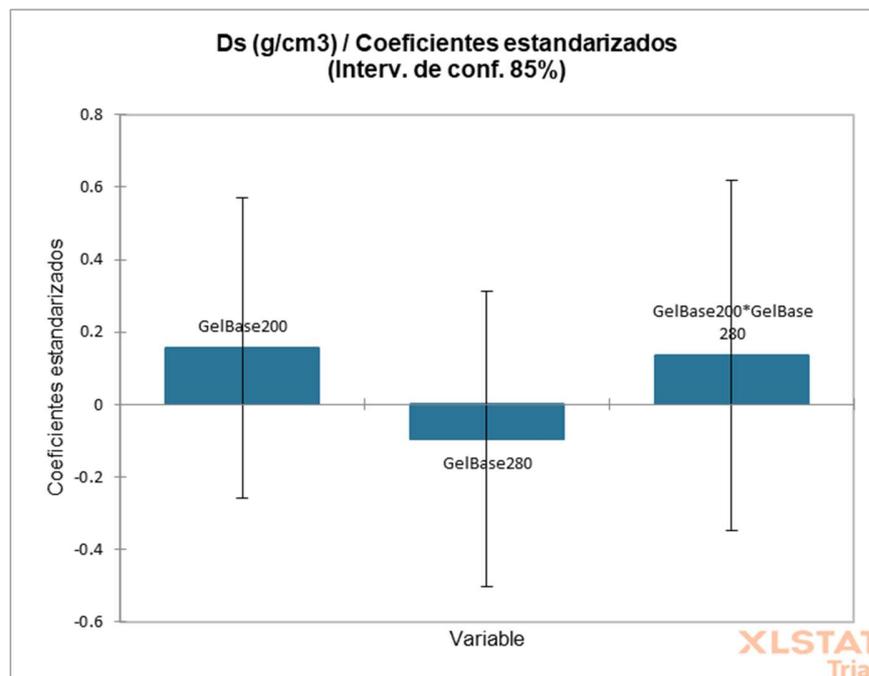
Tabla 45. Análisis de la suma de cuadrados Tipo III

Fuente	Valor	Error estándar	t	Pr > t	Límite inferior (85%)	Límite superior (85%)	p-values signification codes
Intercepción	1.339	0.024	56.398	<0.0001	1.304	1.374	***
GelBase200	0.013	0.023	0.558	0.581	-0.021	0.047	°
GelBase280	-0.009	0.024	-0.349	0.729	-0.045	0.028	°
GelBase200*GelBase280	0.011	0.025	0.417	0.680	-0.027	0.048	°

Fuente: Propia

- Ecuación del modelo D_s (g/cm³)
 D_s (g/cm³) = 1.339+0.013*GIB200-8.515E-03*GIB280+1.053E-02*GIB200*GIB280
- Coeficientes estandarizados D_s (g/cm³)

Fig 67. Comparación de resultados de las Variables



Fuente: Propia



4.1.1.2 Cohesion

- Regresión de la variable C (Mpa)
Estadísticos de bondad del ajuste C (Mpa)

Tabla 46. Estadísticos de bondad del ajuste C (Mpa)

Observaciones	33
Suma de los pesos	33
GL	29
R ²	0.101
R ² ajustado	0.008

Fuente: Propia

- Análisis de la Varianza C (Mpa)

Tabla 47. Análisis de la Varianza C (Mpa)

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F	p-values signification codes
Modelo	3.000	0.033	0.011	1.081	0.372	°
Error	29.000	0.293	0.010			
Total corregido	32.000	0.326				

Fuente: Propia

NOTA: Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) realizado en este estudio indicaron que el valor p asociado al estadístico F fue calculado como 0.372, mientras que el estadístico F en sí fue de 1.081. Al considerar el nivel de significación previamente establecido en 0.15, se encontró que el valor p no es lo suficientemente bajo como para rechazar la hipótesis nula. En otras palabras, los resultados indican que no hay suficiente evidencia estadística para afirmar que existen diferencias significativas entre las variables estudiadas.

- Análisis de la suma de cuadrados Tipo III

Tabla 48. Análisis de la suma de cuadrados Tipo III

Fuente	Valor	Error estándar	t	Pr > t	Límite inferior (85%)	Límite superior (85%)	p-values signification codes
Intercepción	0.354	0.046	7.699	<0.0001	0.286	0.422	***
GelBase200	0.054	0.045	1.194	0.242	-0.013	0.121	°
GelBase280	0.040	0.047	0.845	0.405	-0.030	0.110	°
GelBase200*GelBase280	-0.010	0.049	-0.208	0.836	-0.083	0.062	°

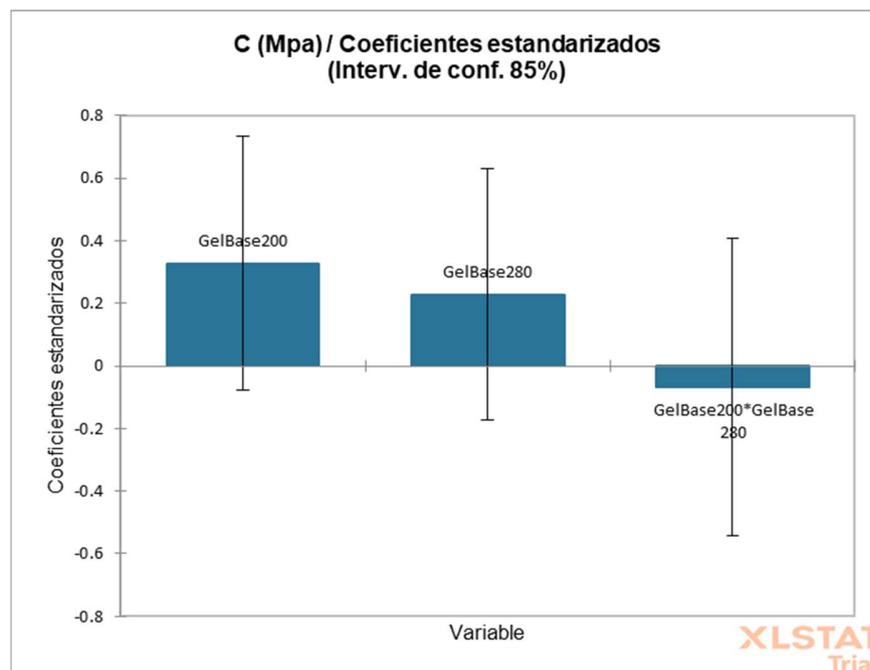
Fuente: Propia

- Ecuación del modelo C (Mpa)

$$C \text{ (Mpa)} = 0.354 + 5.394E-02 * \text{GelBase200} + 3.9928E-02 * \text{GelBase280} - 1.020E-02 * \text{GelBase200} * \text{GelBase280}$$

- Coeficientes estandarizados Ds (g/cm3)

Fig 68. Comparación de resultados de las Variables



Fuente: Propia



4.1.1.3 Ascensión Capilar

- Regresión de la variable cwi [kg/(m²xmin)]
Estadísticos de bondad del ajuste cwi [kg/(m²xmin)]

Tabla 49. Estadísticos de bondad del ajuste cwi [kg/(m²xmin)]

Observaciones	33
Suma de los pesos	33
GL	29
R ²	0.227
R ² ajustado	0.147

Fuente: Propia

- Análisis de la Varianza cwi [kg/(m²xmin)]

Tabla 50. Análisis de la Varianza cwi [kg/(m²xmin)]

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F	p-values signification codes
Modelo	3.000	188895538.573	62965179.524	2.831	0.056	.
Error	29.000	644937097.559	22239210.261			
Total corregido	32.000	833832636.132				

Fuente: Propia

NOTA: Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) realizado en este estudio indicaron que el valor p asociado al estadístico F fue de 0.056, mientras que el estadístico F en sí fue de 2.831. Dado que el nivel de significación previamente establecido fue de 0.15, se encontró evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula en este nivel de significación. Esto sugiere que se encontraron diferencias significativas entre las variables estudiadas.

- Análisis de la suma de cuadrados Tipo III

Tabla 51. Análisis de la suma de cuadrados Tipo III

Fuente	Valor	Error estándar	t	Pr > t	Límite inferior (85%)	Límite superior (85%)	p-values signification codes
Intercepción	10567.171	2159.426	4.894	<0.0001	7374.018	13760.325	***
GelBase200	-1165.706	2120.365	-0.550	0.587	-4301.100	1969.688	°
GelBase280	3537.687	2217.087	1.596	0.121	259.271	6816.104	°
GelBase200*GelBase280	-2744.435	2299.004	-1.194	0.242	-6143.983	655.114	°

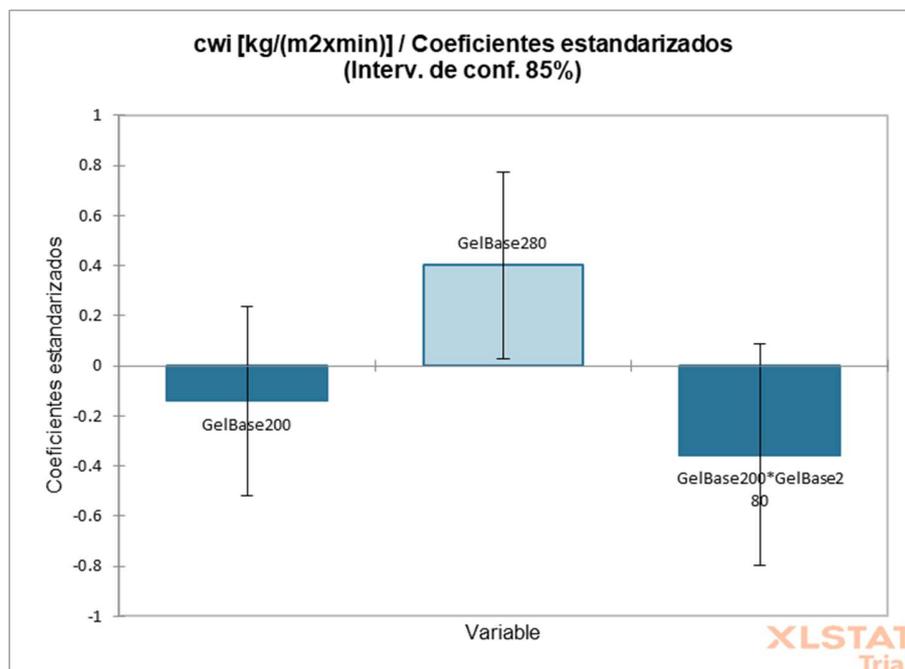
Fuente: Propia

- Ecuación del modelo cwi [kg/(m²xmin)]

$$\text{cwi [kg/(m}^2\text{xmin)]} = 10567.171 - 1165.706 * \text{GIB200} + 3537.687 * \text{GIBa280} - 2744.434 * \text{GIB200} * \text{GIB280}$$

- Coeficientes estandarizados cwi [kg/(m²xmin)]

Fig 69. Comparación de resultados de las Variables



Fuente: Propia



4.2 Resultados respecto al Objetivo General.

4.2.1 Interpretación Densidad Seca D_s (g/cm³)

Debido al coeficiente R^2 , se puede afirmar que las dos variables independientes están asociadas con el 6% de la variación observada en la variable dependiente Densidad seca.

Basándonos en la evaluación de la suma de cuadrados Tipo III, se ha concluido que la variable "GelBase200" no contribuye con información de importancia para comprender la variabilidad en la variable dependiente densidad seca.

Basándonos en la evaluación de la suma de cuadrados Tipo III, se ha concluido que la variable "GelBase280" no contribuye con información de importancia para comprender la variabilidad en la variable dependiente densidad seca.

El coeficiente estandarizado de GelBase200 es 0.156. Esto significa que, manteniendo todas las demás variables constantes, un aumento de una unidad en GelBase200 se asocia con un aumento de 0.156 unidades en la variable dependiente densidad seca. Esto indica una influencia positiva de GelBase200 en la variable dependiente. Sin embargo, la magnitud de esta influencia es moderada, ya que el coeficiente es menor que 1.

El coeficiente estandarizado de GelBase280 es -0.096. Esto sugiere que, manteniendo todas las otras variables constantes, un aumento de una unidad en GelBase280 se relaciona con una disminución de 0.096 unidades en la variable dependiente densidad seca. Este coeficiente negativo indica una influencia negativa de GelBase280 en la variable dependiente. Al igual que en el caso anterior, la magnitud de esta influencia es moderada.

4.2.2 Interpretación Cohesión C (Mpa)

Debido al coeficiente R^2 , se puede afirmar que las dos variables independientes están asociadas con el 10% de la variación observada en la variable dependiente Cohesión.

Basándonos en la evaluación de la suma de cuadrados Tipo III, se ha concluido que la variable "GelBase200" no contribuye con información de importancia para comprender la variabilidad en la variable dependiente cohesión).



Basándonos en la evaluación de la suma de cuadrados Tipo III, se ha concluido que la variable "GelBase280" no contribuye con información de importancia para comprender la variabilidad en la variable dependiente cohesión.

El coeficiente estandarizado de GelBase200 es 0.328. Esto significa que, manteniendo todas las demás variables constantes, un aumento de una unidad en GelBase200 se asocia con un aumento de 0.328 unidades en la variable dependiente cohesión. Esto indica una influencia positiva de GelBase200 en la variable dependiente. Sin embargo, la magnitud de esta influencia es moderada, ya que el coeficiente es menor que 1.

El coeficiente estandarizado de GelBase280 es 0.229. Esto significa que, manteniendo todas las demás variables constantes, un aumento de una unidad en GelBase280 se asocia con un aumento de 0.299 unidades en la variable dependiente cohesión. Esto indica una influencia positiva de GelBase280 en la variable dependiente. Al igual que en el caso anterior, la magnitud de esta influencia es moderada.

4.2.3 Interpretación Ascensión Capilar cwi [kg/(m²xmin)]

Debido al coeficiente R^2 , se puede afirmar que las dos variables independientes están asociadas con el 23% de la variación observada en la variable dependiente ascensión Capilar.

Basándonos en la evaluación de la suma de cuadrados Tipo III, se ha concluido que la variable "GelBase200" no contribuye con información de importancia para comprender la variabilidad en la variable dependiente ascensión Capilar.

Basándonos en la evaluación de la suma de cuadrados Tipo III, se ha concluido que la variable "GelBase280" contribuye con información de importancia para comprender la variabilidad en la variable dependiente ascensión Capilar.

El coeficiente estandarizado de GelBase200 es -0.140. Esto sugiere que, manteniendo todas las otras variables constantes, un aumento de una unidad en GelBase280 se relaciona con una disminución de 0.140 unidades en la variable dependiente ascensión capilar. Este coeficiente negativo indica una influencia negativa de GelBase200 en la variable dependiente. Sin embargo, la magnitud de esta influencia es moderada, ya que el coeficiente es menor que -1.



El coeficiente estandarizado de GelBase280 es 0.400. Esto significa que, manteniendo todas las demás variables constantes, un aumento de una unidad en GelBase280 se asocia con un aumento de 0.400 unidades en la variable dependiente ascensión Capilar. Esto indica una influencia positiva de GelBase280 en la variable dependiente. Al igual que en el caso anterior, la magnitud de esta influencia es moderada.



5. Capítulo 5: Discusión

5.1 Descripción de los hallazgos más relevantes y significativos

Logramos observar que el efecto que tiene los geles base 200 y 280 en los suelos limosos se deben a la compleja composición química y sus propiedades espesantes, estabilizantes y gelificantes, así mismo dichos geles no proporcionan olor y color en la mezcla con el suelo.

¿Cuáles son los efectos más significativos con la incorporación de gel base 200 y 280, en la densidad seca, cohesión y ascensión capilar?

- Para la densidad seca, con la adición de gel base 200 aumenta su densidad seca, considerando que la mayor densidad seca registrada para la cantidad de 1.5 % de gel base 200 es de 1.49 g/cm^3 .
- Para la cohesión, con la adición de gel base 200 aumenta su cohesión, considerando que la mayor cohesión registrada para la cantidad de 1.5 % de gel base 200 es de 0.51 Mpa.
- Para la ascensión capilar, con la adición de gel base 200 disminuye la ascensión capilar, considerando que la menor ascensión capilar registrada para la cantidad de 1.0 % de gel base 200 es de $2404.47 \text{ kg}/(\text{m}^2 \times \text{min})$.

¿Considerando el gel base 200 y 280, cuál de ellos produce los efectos más significativos en la densidad seca, cohesión y ascensión capilar?

- Para la densidad seca, Se notó que la inclusión de gel base 200 es la más destacada en términos de impacto significativo.
- Para la cohesión, Se notó que la inclusión de gel base 200 es la más destacada en términos de impacto significativo.
- Para la ascensión capilar, Se concluyó que el gel base 200 presenta un comportamiento superior, lo que sugiere que tiene un efecto más significativo en comparación al gel base 280.



5.2 Limitaciones del estudio

- Se utilizará el suelo de la APV. La Victoria, San Sebastián, Cusco, por lo que los resultados que se obtendrán están limitados únicamente a sus propiedades como densidad seca, cohesión y ascensión capilar.
- La mezcla para la elaboración de gel base 200 y 280 con suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, se realizarán con gel base 200 y 280, por lo que los resultados solo serán válidos para los geles antes mencionados.
- Se limita el estudio de densidad seca, cohesión y ascensión capilar.
- Los cálculos y ensayos se limitan a las siguientes normas:
 - Densidad seca – ASTM D7263.
 - Cohesión – ASTM D2166.
 - Ascensión capilar – EN772-11:2011.

5.3 Comparación crítica con la literatura existente

Comparación 1:

Los hallazgos en la tesis de (Huamani Mercado, 2022), se asemejan a los hallazgos de la presente investigación en cuanto a mejora de suelo limosos con polímeros, mencionando que aplicando el 1.0% de polímeros al igual que en la presente investigación, llega a la conclusión de mejora en las propiedades físicas y mecánicas del suelo.

Comparación 2:

En la investigación de (Curitomay Najarro & Vílchez Peña, 2018), concluyo que con la adición de copolímeros al 5.0 % presento una mejora en propiedades mecánicas, físicas y cohesivas en semejanza a la presente tesis donde se logra observar una mejora significativa con la adición de gel base 200 en la densidad seca llegado a 1.49kg/cm^2 y cohesión a 0.51 Mpa.



5.4 Implicancias del estudio

La investigación actual ha posibilitado la incorporación de gel base para la mejora de suelo limoso. En un enfoque práctico, especialmente considerando el uso de gel base 200 y 280, se evaluaron la densidad seca, cohesión y ascensión capilar. Este estudio respalda la viabilidad del empleo potencial del gel base 200 y 280 para la mejora de suelo limoso. Según los resultados, el gel base 200 puede ser beneficioso en compactación de suelos, ya que podrían prevenir la deformación por ascensión capilar y aumenta la densidad seca y cohesión.



CONCLUSIONES

Se ha logrado verificar la hipótesis general, que indica: “La adición de Gel base 200 y 280 tiene un efecto significativo en la densidad seca, la cohesión y la ascensión capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023. “

Los resultados obtenidos respaldan esta hipótesis al mostrar que las variables Gel Base 200 y Gel Base 280 tienen un impacto significativo en la densidad seca, cohesión y ascensión capilar del suelo limoso.

Conclusión 1: No cumple con la hipótesis específica 1 que indica: El efecto del Gel Base 200 en la densidad seca del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023 es significativo.

El valor de p es mayor que el nivel de significancia, lo que implica que no tienes suficiente evidencia para considerar significativo el efecto del Gel Base 200 en la densidad seca del suelo. De acuerdo con los coeficientes estandarizados, se determinó que el gel base 200 tiene un mayor efecto significativo con relación al gel base 280 en la densidad seca.

Conclusión 2: No cumple con la hipótesis específica 2 que indica: El efecto del Gel Base 280 en la densidad seca del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023 es significativo.

El valor de p es mayor que el nivel de significancia, lo que implica que no tienes suficiente evidencia para considerar significativo el efecto del Gel Base 280 en la densidad seca del suelo. De acuerdo con los coeficientes estandarizados, se determinó que el gel base 280 tiene un menor efecto significativo con relación al gel base 200 en la densidad seca.

Conclusión 3: No cumple con la hipótesis específica 3 que indica: El efecto del Gel Base 200 en la cohesión del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023 es significativo.

El valor de p es mayor que el nivel de significancia, lo que sugiere que no tienes suficiente evidencia para considerar significativo el efecto del Gel Base 200 en la cohesión del suelo. De acuerdo con los coeficientes estandarizados, se determinó que el gel base 200 tiene un mayor efecto significativo con relación al gel base 280 en la cohesión.



Conclusión 4: No cumple con la hipótesis específica 4 que indica: El efecto del Gel Base 280 en la cohesión del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023 es significativo.

El valor de p es mayor que el nivel de significancia, lo que sugiere que no tienes suficiente evidencia para considerar significativo el efecto del Gel Base 280 en la cohesión del suelo. De acuerdo con los coeficientes estandarizados, se determinó que el gel base 280 tiene un menor efecto significativo con relación al gel base 200 en la cohesión.

Conclusión 5: Se cumple con la hipótesis específica 5 que indica: El efecto del Gel Base 200 en la ascensión capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023 es significativo.

El valor de p es menor que el nivel de significancia, lo que sugiere que tienes evidencia suficiente para considerar significativo el efecto del Gel Base 200 en la ascensión capilar del suelo. De acuerdo con los coeficientes estandarizados, se determinó que el gel base 200 tiene menor efecto significativo en la ascensión capilar con relación gel base 280 en la ascensión capilar.

Conclusión 6: Se cumple con la hipótesis específica 6 que indica: El efecto del Gel Base 280 en la ascensión capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023 es significativo.

El valor de p es menor que el nivel de significancia, lo que sugiere que tienes evidencia suficiente para considerar significativo el efecto del Gel Base 280 en la ascensión capilar del suelo. De acuerdo con los coeficientes estandarizados, se determinó que el gel base 280 tiene un mayor efecto significativo con relación al gel base 200 en la ascensión capilar.



RECOMENDACIONES

Recomendación 1: A raíz de los hallazgos que indican que el Gel Base 200 y el Gel Base 280 tienen efectos moderados en la densidad seca, cohesión y ascensión capilar del suelo limoso, se recomienda llevar a cabo investigaciones adicionales para explorar otros tipos de aditivos o enmiendas del suelo que puedan tener un impacto más significativo en estas propiedades.

Recomendación 2: Para aquellos interesados en utilizar Gel Base 200 o Gel Base 280 en aplicaciones relacionadas con la densidad seca y la cohesión del suelo, se sugiere investigar la optimización de las concentraciones de estos geles. Esto podría implicar pruebas con diferentes dosis para determinar la concentración óptima que produzca los resultados deseados.

Recomendación 3: Dado que los geles tienen influencias moderadas en las propiedades del suelo, se recomienda investigar la interacción entre diferentes aditivos del suelo. Esto podría incluir estudios que evalúen cómo la combinación de varios aditivos afecta a la densidad seca, la cohesión y la ascensión capilar en suelos limosos.

Recomendación 4: Para aquellos en la industria de la construcción y la agricultura que buscan controlar la densidad, cohesión y humedad en suelos limosos, se sugiere considerar la aplicación de Gel Base 280, ya que contribuyó significativamente a la variabilidad en la ascensión capilar. Sin embargo, es importante realizar estudios específicos para adaptar la aplicación a condiciones locales y necesidades específicas.

Recomendación 5: Es importante tener en cuenta las limitaciones de esta investigación, que incluyen la restricción de los resultados del suelo limoso del APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, y la elección de ciertas normas para los cálculos. Cualquier aplicación práctica de estos resultados debe tener en cuenta estas limitaciones.

Recomendación 6: Se podría llevar a cabo investigaciones futuras para evaluar si los efectos de Gel Base 200 y Gel Base 280 son consistentes en diferentes tipos de suelos, lo que podría ampliar su aplicabilidad.



REFERENCIAS

- AASHTO. (2014). *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, 31st Edition*.
- (2021). *AASHTO T 89 - Standard Method of Test for Determining the Liquid Limit of Soils*. Washington: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).
- American Association of State Highway and Transportation Officials . (2017). *AASHTO T 88 - Standard Method of Test for Particle Size Analysis of Soils*. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).
- ASTM International. (2016). *ASTM D422 - Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*. Pennsylvania: ASTM International.
- ASTM International. (2020). *ASTM D1557 - Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³))*. Pennsylvania: ASTM International.
- ASTM International. (2021). *ASTM D2166 - Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil*. Pennsylvania: ASTM International.
- ASTM International. (2021). *ASTM D4318 - Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. Pennsylvania: ASTM International.
- ASTM International. (2021). *ASTM D7263 - Standard Test Methods for Laboratory Determination of Density and Unit Weight of Soil Specimens*. Pennsylvania: ASTM International.
- Bañon, L., & Bevia, J. F. (2000). *Manual de carreteras*.
- Belitz, H.-D., & Grosch, W. (1997). *Química de los alimentos 2ª ED*. Editorial Acribia.
- Benites Zuñiga, J. L. (2022). *Estabilización de suelos con el uso de polímero sintético en la subrasante en la Av. Universitaria Carabayllo, Lima - 2020*. Lima: Universidad Cesar Vallejo.



- Blaquez, L. B. (2000). *Manual de Carreteras II: Construcción y mantenimiento*. España: Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A.
- Charley, H. (1997). *Tecnología de alimentos : procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos*. Mexico: Limusa.
- Cocinista. (2018). *Número de Bloom o fuerza de gel*. Retrieved from Número de Bloom o fuerza de gel: <https://www.cocinista.es/web/es/recetas/cocina-molecular/geles/numero-de-bloom-o-fuerza-de-gel.html>
- Comité Europeo de Normalización. (2011). *EN 772-11:2011 - Methods of test for masonry units - Part 11: Determination of water absorption of aggregate concrete, manufactured stone and natural stone masonry units due to capillary action and the initial rate of water absorption of clay masonry unit*. Comité Europeo de Normalización (CEN).
- Construsuma. (2021, mayo 3). *Carta de Plasticidad de Casagrande*. Retrieved from Carta de Plasticidad de Casagrande: <https://construsuma.net/>
- Curitomay Najarro, C. J., & Vílchez Peña, Á. H. (2018). *Estabilización de suelos arcillosos con polímeros de tipo copolímero, aplicado a obras viales de mediano tránsito en la carretera Pucaloma - Yanayacu, distrito de Socos*. Ayacucho: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Das, B. (2016). *Fundamentos de ingeniería geotécnica 4ta ed*. Cengage Learning.
- Das, B. M. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. Turquía: Cengage.
- Das, B. M. (2006). *Principios de ingeniería de cimentaciones*.
- EcuRed. (2022, Abril 25). *EcuRed*. Retrieved from EcuRed: https://www.ecured.cu/Departamento_de_Cusco_%28Per%C3%BA%29
- Editor Geoxnet. (2019, agosto 4). *Clasificación de suelos*. Retrieved from Clasificación de suelos: <https://post.geoxnet.com/clasificacion-de-suelos/>
- Escobar, G., & Escobar, C. (2002). *Mecánica de suelos*. Colombia.
- Gobierno Regional del Cusco. (2010, Gobierno Regional del Cusco Gobierno Regional del Cusco).



- http://siar.regioncusco.gob.pe/mapas/buscar?title=san&field_nodo=46996&field_tipo_de_mapa=All. Retrieved from http://siar.regioncusco.gob.pe/mapas/buscar?title=san&field_nodo=46996&field_tipo_de_mapa=All:
http://siar.regioncusco.gob.pe/mapas/buscar?title=san&field_nodo=46996&field_tipo_de_mapa=All
- Google Earth. (2023, Marzo 18). *Google Earth*. Retrieved from Google Earth:
<https://earth.google.com/web/@0,-1.7551,0a,22251752.77375655d,35y,0h,0t,0r>
- Goos, P., & Jones, B. (2011). *Optimal Design of Experiments: A Case Study Approach*. Minnesota: Wiley.
- Guo, L. (2014, Enero 01). *Stabilization Using Biopolymers*. Iowa: Iowa State University. Retrieved from <https://dr.lib.iastate.edu/entities/publication/b4bef2c1-8bea-4eba-88d4-ce94e93f7757>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la Investigación*.
- Huamani Mercado, A. L. (2022). *Incorporación de goma Xanthan para mejorar las propiedades de la subrasante limosa, calle Santa Eulalia, San Sebastián, Cusco – 2022*. Lima: Universidad Cesar Vallejo.
- Insuquimica. (2023). *Gel 280 bloom*.
- Jiménez Salas, J. A. (1975). *Geotecnia y cimientos I : Propiedades de los suelos y de las rocas*. Madrid: Rueda.
- Labster Theory pages. (2020). *Geles*. Retrieved from La desnaturalización de las proteínas y textura de los alimentos: <https://theory.labster.com/es/gelatin/>
- Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (2004). *Mecánica de suelos*.
- Lewis, S. (2015). *Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing Among Five Approaches*.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima: Ministerio de Transporte y Comunicaciones.



- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2016). *Manual de Ensayo de Materiales. Sección E 110*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2016). *Manual de Ensayo de Materiales. Sección E 110*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).
- MTC-E-108. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima: MTC.
- MTC-E-110. (2016). *Limite liquido*.
- MTC-E-111. (2016). *Limite plastico*.
- MTC-E-115. (2016). *COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA*.
- NORMA TECNICA PERUANA. (2014). *UELOS. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada* (2 700 kN-m/m³ (56 000 pie-lbf/pie³)). Lima: NTP.
- OLAZABAL BAIRO, K., & GUEVARA VERA, D. (2019). *Análisis Comparativo de las Propiedades Física - Mecánica del Adobe Estabilizado Con Cemento y Mucilago de Giganton Fabricado Según la Norma E-080, Comparado con el Adobe Tradicional del Distrito de San Jerónimo de la Región de Cusco*. Cusco: Universidad Andina del Cusco.
- Pecorari, C., & Alassia, M. J. (n.d.). *Efecto Del Estado Hidrico Inicial Sobre La Compactacion De Los Suelos*. Argentina: INTA Rafaela.
- Perez Valcarcel, J. (2014). *Conceptos Generales de la Mecánica de Suelo*. Coruña.
- Rcingtec. (2023). *CAZUELA CASAGRANDE MANUAL*. Retrieved from CAZUELA CASAGRANDE MANUAL: <https://rcingtec.com/product/cazuela-casagrande-manual/>
- Rousselot. (2020, junio 24). *Entender la versatilidad de la gelatina*. Retrieved from Entender la versatilidad de la gelatina: <https://www.rousselot.com/es/rousselot-functional-ingredients/medios/blog/entender-la-versatilidad-de-la-gelatina>
- Sampieri, H., & Collado, F. (2014). *Metodología de la Investigación*.



Schrieber, R., & Gareis, D. H. (2007). *Gelatine Handbook: Theory and Industrial Practice*.

California: John Wiley & Sons.

Valle, R. R. (1982). *Seccion del aparatp de limite liquido*.



INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Clasificación de suelos

 Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil	
Título de Tesis:	Efecto de la adición de geles coloidales base 200 y 280 en la densidad seca, cohesión y ascension capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023
Ensayo:	Clasificación de suelos
Ubicación:	APV La Victoria, San Sebastián, Cusco 13°32'15.83"S-71°54'54.49"O
Responsables:	Diego S. Esquivel Choquehuanca Roberto G. Caceres Ruffran
Descripción de la Muestra:	
Calcata N°:	1
Profundidad:	3.00 m
Fecha de ensayo:	

Datos de entrega para la clasificación de suelo

Descripción	Peso	Unidad
Calcata		
Peso inicial		
Límite Líquido		
Pasa el tamiz #200		
Índice de Plasticidad		

Clasificación de suelos	
AASHTO	
SUCS	

Observaciones:

Determinación del Contenido de Humedad Natural.

 Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil	
Título de Tesis:	Efecto de la adición de geles coloidales base 200 y 280 en la densidad seca, cohesión y ascension capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023
Ensayo:	Determinación del Contenido de Humedad del Suelo Natural
Ubicación:	APV La Victoria, San Sebastián, Cusco 13°32'15.83"S-71°54'54.49"O
Responsables:	Diego S. Esquivel Choquehuanca Roberto G. Caceres Ruffran
Descripción de la Muestra:	Se empleo suelo limoso de la coordenada 13°32'15.83"S-71°54'54.49"O
Fecha de ensayo:	08/03/2023

MTC E 108, BASADO EN LA NORMA ASTM D-2016-CONTENIDO DE HUMEDAD

Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04	Muestra 05
Peso de recipiente (gr)					
Peso de recipiente+ Muestra húmeda (gr)					
Peso de recipiente+ Muestra seca (gr)					
Peso del agua (gr)					
Peso de muestra seca (gr)					
Contenido de Humedad					
Contenido de Humedad Promedio	0.00%				



Análisis Granulométrico por tamizado.

 Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil	
Título de Tesis:	Efecto de la adición de geles coloidales base 200 y 280 en la densidad seca, cohesión y ascension capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023
Ensayo:	Análisis Granulométrico del Suelo por Tamizado
Ubicación:	APV La Victoria, San Sebastián, Cusco 13° 32' 15.83" S - 71° 54' 54.49" O
Responsables:	Diego S. Esquivel Choquehuanca Roberto G. Caceres Ruffran
Descripción de la Muestra:	Suelo Limoso Coordenadas 13° 32' 15.83" S - 71° 54' 54.49" O
Fecha de ensayo:	10/03/2023

MTC E 107- ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELO POR TAMIZADO

Peso de Muestra Seca:	1775	gr.
Peso de Muestra Liviana:	1775	gr.
Perdida por Lavado:	0	gr.

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr.)	Peso Retenido Corregido	% Retenido	Acumulado	
					% Retenido	% Pasa
3"	75.000					
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.000					
3/8"	9.500					
N° - 4	4.760					
N° - 10	2.000					
N° - 20	0.840					
N° - 40	0.425					
N° - 60	0.250					
N° - 140	0.106					
N° - 200	0.075					
Fondo						
Perdida por Lavado		0.00				
Parcial Fondo + Perdida por Lavado		0.00				
TOTAL		0.00	0.00	0.00		

Tamaño Máximo Absoluto:	
Tamaño Máximo Normal:	

Error (%):	
------------	--

Cu =	
Cc =	

D10 =	
D30 =	
D60 =	



Determinación de Limite Liquido

 Universidad Andina del Cusco		Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil		
Título de Tesis:	Efecto de la adición de geles coloidales base 200 y 280 en la densidad seca, cohesión y ascension capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023			
Ensayo:	Determinación del Limite Liquido del Suelo Natural			
Ubicación:	APV La Victoria, San Sebastián, Cusco 13°32'15.83"S-71°54'54.49"O			
Responsables:	Diego S. Esquivel Choquehuanca Roberto G. Caceres Ruffran			
Descripcion de la Muestra:	se utiliza material Limo que pasa por la malla #40			
Fecha de ensayo:	09/03/2023			

MTC E 110. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO (LL) DE LOS SUELOS

Descripcion	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Denominacion de recipiente	N1	N2	N3
Peso de Suelo Humedo+ recipiente Metalico			
Peso Suelo Seco + Recipiente Metalico (gr)			
Peso Recipiente Metalico (gr)			
Peso Suelo Seco (gr)			
Peso de Agua (gr)			
Contenido de Humedad (%)			
Numero de Golpes (N)			
Limite Liquido (%)			

Determinación de Limite Plástico e Índice de Plasticidad

 Universidad Andina del Cusco		Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil		
Título de Tesis:	Efecto de la adición de geles coloidales base 200 y 280 en la densidad seca, cohesión y ascension capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023			
Ensayo:	Determinación del Limite Plastico e indice de Plasticidad del Suelo			
Ubicación:	APV La Victoria, San Sebastián, Cusco 13°32'15.83"S-71°54'54.49"O			
Responsables:	Diego S. Esquivel Choquehuanca Roberto G. Caceres Ruffran			
Descripcion de la Muestra:	se utilizo material limoso que pasa por la malla #40			
Fecha de ensayo:	09/03/2023			

MTC E 111. DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO (LP) DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (IP)

Descripcion	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Denominacion de recipiente	N1	N2	N3
Peso de Suelo Humedo+ recipiente Metalico (gr)			
Peso Suelo Seco + Recipiente Metalico (gr)			
Peso Recipiente Metalico (gr)			
Peso Suelo Seco (gr)			
Peso de Agua (gr)			
Contenido de Humedad (%)			
Limite Plastico (%)			
Limite Liquido (%)			
limite Plastico (%)			
Indice de Plasticidad (%)			



Proctor Modificado

Hoja de trabajo para determinar Proctor Modificado.

Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil	
Título de Tesis:	Efecto de la adición de geles coloidales base 200 y 280 en la densidad seca, cohesión y ascension capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023
Ensayo:	Determinación de contenido de humedad óptimo
Ubicación:	APV La Victoria, San Sebastián, Cusco 13°32'15.83"S-71°54'54.49"O
Responsables:	Diego S. Esquivel Choquehuanca Roberto G. Caceres Ruffran
Descripción de la Muestra:	suelo Limoso
Fecha de ensayo:	11/03/2023

MTC E115 - COMPACTACIÓN DE SUELO EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO)

Dámetro de molde:	10.16	cm
Altura del Molde:	11.65	cm
Volumen del Molde:	951.01	cm ³
Método:	C (4")	
Capas:	5	und
Golpe por Carga:	25	und

		Ensayo					
Determinación	N°	1	2	3	4	5	6
Peso del Molde y Muestra	gr.						
Peso del Molde	gr.						
Peso de la Muestra Compacta	gr.						
Densidad Humeda	gr/cc.						
Densidad Seca	gr/cc.						

Tarro	N°						
Peso del Tarro	gr.						
Peso del T. + Suelo Humedo	gr.						
Peso del T. + Suelo Seco	gr.						
Peso del Agua	gr.						
Peso del Suelo Seco	gr.						
Contenido de Humedad	%						
Contenido de Humedad Promedio	%						

Humedad Óptima (%)	
Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	



Ensayo de densidad seca

N°	GelBase 200	GelBase 280	d ₁	d ₂	d ₃	h ₁	h ₂	h ₃	W	Q (kg)	DeltaVol (%)	Dh (g/cm ³)	Cod. Cap	W _{cap}	W _{cap+Sh}	W _{cap+Ss}	w%	Ds (g/cm ³)	
N1																			
N2																			
N3																			
N5																			
N6																			
N8																			
N12																			
N13																			
N14																			
N16																			
N17																			
N19																			
N23																			
N24																			
N25																			
N27																			
N28																			
N30																			

Ensayo de Cohesión

N°	GelBase 200	GelBase 280	d ₁	d ₂	d ₃	h ₁	h ₂	h ₃	W	Q	Vol (cm ³)	DeltaVol (%)	Dh (g/cm ³)	Cod. Cap.	W _{cap}	W _{cap+Ss}	W _{cap-Ss}	w%	f _v (kg/cm ²)	f _{v*} (kg/cm ²)	C (kg/cm ²)	C (Mpa)	
N1																							
N2																							
N3																							
N5																							
N6																							
N8																							
N12																							
N13																							
N14																							
N16																							
N17																							
N19																							
N23																							
N24																							
N25																							
N27																							
N28																							
N30																							



Ensayo de Ascensión Capilar

N°	GelBase 200 (%)	GelBase2 80 (%)	d1 (mm)	d2 (mm)	d3 (mm)	Wm.s (g)	W1min (g)	c_{wi} [kg/(m ² xmin)]
N1								
N2								
N3								
N5								
N6								
N8								
N12								
N13								
N14								
N16								
N17								
N19								
N23								
N24								
N25								
N27								
N28								
N30								

ANEXOS

Panel fotográfico

Ensayo de laboratorio

Caracterización de suelo, Granulometría:

- Mediante la separación por granulometría, buscamos obtener el tamaño de la muestra representativa, con conformidad a las especificaciones técnicas (Ensayo MTC EM 107). Se determino un suelo con presencia de limos y arcillas.

Fig 70. Caracterización del suelo



- Con los límites de Atterberg se busca obtener el comportamiento del suelo, en relación a su humedad, determinando los límites de los tres estados de consistencia según su humedad y como se pueda presentar según sea: líquido, plástico o sólido. El límite líquido (LI según el ensayo MTC EM 110), el límite plástico (LP según el ensayo MTC EM 111) y el límite de retracción (LC según la prueba MTC EM 112).

Fig 71. Límite de consistencia



- La experimentación, la dosificación debe contener tipo de suelo a tratar cantidad porcentual de adición de gel base 200 y 280 y cantidad de agua.

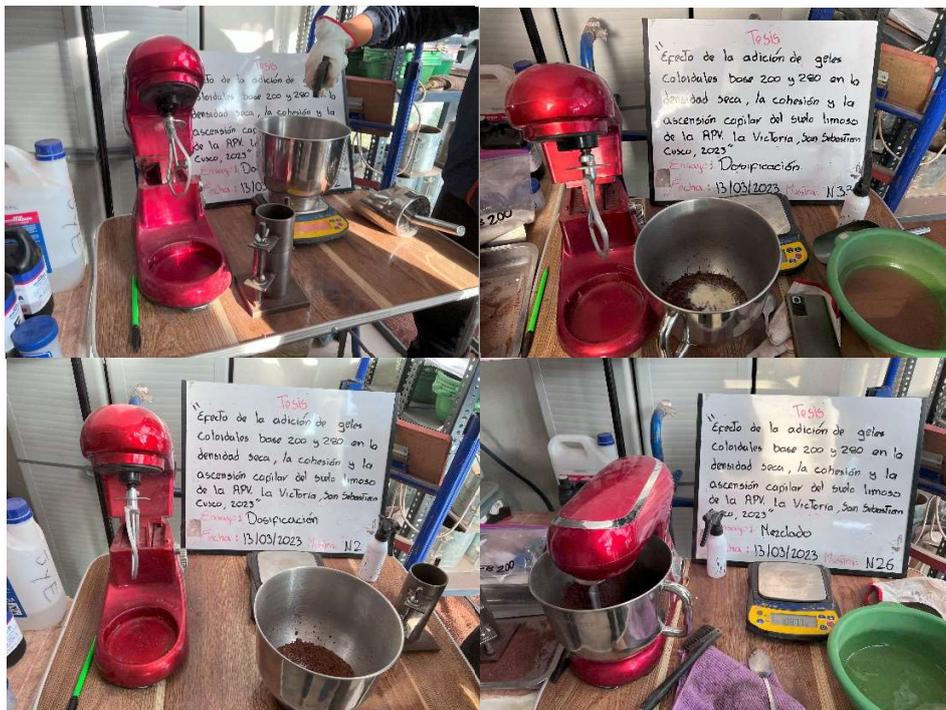


Fig 72. Dosificación y mezclado

- Se da inicio el mezclado de suelo, gel base 200 y 280 y agua con las dosificaciones establecida.

Fig 73. Elaboración de especímenes



- Compactación de suelo en molde.

Fig 74. Proceso de eyección



- La eyección de los especímenes, se obtuvo mediante la extracción del molde.



Fig 75. Densidad seca

- Se procede con pesar los especímenes y obtener medidas para determinar el volumen, así lograr determinar la densidad seca que viene a ser la relación entre peso y volumen.

Fig 76. Cohesión (Compresión simple)



- Se procede con efectuar fuerza sobre la superficie de los especímenes para determinar su cohesión.

Fig 77. Ascensión Capilar



- Se procede con la exposición de los especímenes con la superficie de agua durante un minuto para poder calcular la ascensión capilar.



Tabla 52. Recurso y presupuesto

Concepto	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Sub total (S/.)
Articulos científicos indexados	15	S/ 146.00	S/ 2,190.00
Libros de especialidad: estabilización de suelos, biotecnología	3	S/ 989.00	S/ 2,967.00
Materiales, sustancias y reactivos			
excavación calica	3	S/ 50.00	S/ 150.00
transporte de suelo	1	S/ 30.00	S/ 30.00
gel base 200	1	S/ 200.00	S/ 200.00
gel base 280	1	S/ 200.00	S/ 200.00
Ensayos de laboratorio			
Clasificación de suelos	3	S/ 20.00	S/ 60.00
Determinación del Contenido de	9	S/ 30.00	S/ 270.00
Análisis Granulométrico del Suelo por	3	S/ 50.00	S/ 150.00
Determinación del Límite Líquido del	15	S/ 20.00	S/ 300.00
Determinación del Límite Plástico e	15	S/ 20.00	S/ 300.00
Determinación del contenido de	6	S/ 45.00	S/ 270.00
Ensayo de densidad seca	33	S/ 75.00	S/ 2,475.00
Ensayo de Cohesión	33	S/ 84.00	S/ 2,772.00
Ensayo de ascension capilar	33	S/ 75.00	S/ 2,475.00
Tesistas	10	S/ 170.00	S/ 1,700.00
Ingeniero asesor especialista en geotecnia	10	S/ 230.00	S/ 2,300.00
Total			S/ 18,809.00



**FORMATO F5 - DECLARACIÓN PERSONAL DE AUTENTICIDAD Y DE NO
PLAGIO**

Yo, **ROBERTO GONZALO CACERES RUFFRAN**

Identificado con D.N.I. **70683225**

Yo, **DIEGO SIMON ESQUIVEL CHOQUEHUANCA**

Identificado con D.N.I. **71829615**

De la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, autor(a/es) de la Tesis titulada: **"Efecto de la adición de Gel base 200 y 280 en la densidad seca, cohesión y ascensión capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023"**

DECLARO QUE

El tema de tesis es auténtico, siendo resultado de mi (nuestro) trabajo personal, que no se ha copiado, que no se ha utilizado ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones diversas, sacadas de cualquier tesis, obra, artículo, memoria, etc., (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor, tanto en el cuerpo del texto, figuras, cuadros, tablas u otros que tengan derechos de autor.

En este sentido, soy (somos) consciente(s) de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, son objeto de sanciones universitarias y/o legales.

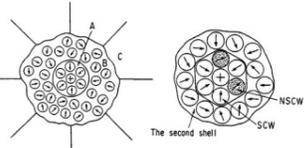
Cusco, 18 de Junio de 2023

Tesista 1: Roberto Gonzalo Cáceres
Ruffran
D.N.I. _70683225

Tesista 2: Diego Simón Esquivel
Choquehuanca
D.N.I. _71829615



Tabla 53. Matriz de consistencia de la tesis

"Efecto de la adición de Gel base 200 y 280 en la densidad seca, cohesión y ascensión capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023"																		
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimen-siones	Indicadores	Metodología												
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Independiente															
¿Cuál es el efecto de la adición de Gel base 200 y 280 en la densidad seca, cohesión y ascensión capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023?	Determinar el efecto de la adición de Gel base 200 y 280 en la densidad seca, la cohesión y la ascensión capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023	La adición de Gel base 200 y 280 tiene un efecto significativo en la densidad seca, la cohesión y la ascensión capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023.	<p>La adición de geles coloidales como biopolímero sustituto del cemento.</p> <p>Se tiene estadísticas que ratifican que la fabricación de cemento ha liberado 1600 millones de millones de metros cúbicos de dióxido de carbono en la atmósfera para el año 2020 (statista, 2022). La elaboración del cemento Portland crea la emisión de dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, polvo y desechos sólidos, originando peligrosos problemas en el ambiente. La pesquisa de incorporación de elementos sostenibles para los suelos, tales como los biopolímeros, se hace una labor insustituible (Chen et al., 2022).</p> <p>Los biopolímeros tienen un amplio historial en diferentes aplicaciones en la industria de la construcción. La mayoría de los biopolímeros se han usado como adhesivos o agentes de retención de agua (Fatehi et al., 2021). Los polímeros son materia prima macromolecular que se acomodan en subunidades repetitivas. Se diferencian dos tipos de polímeros: sintéticos y naturales. a) Los polímeros sintéticos producidos a partir del petróleo. b) Los biopolímeros que las plantas y los organismos vivos generan de manera natural en el medio ambiente.</p> <p>Un gel realmente es un sistema coloidal, un coloide, en el que un líquido está disperso en un sólido. La fase continua, el sólido, genera una red entrecruzada dentro de la cual se encuentran las moléculas del líquido, la fase dispersa (www.arvensis.com).</p> <p>La interacción de partículas de suelo y coloides se puede esquematizar como (Iwata et al., 2020):</p>  <p>Una doble capa eléctrica es un fenómeno que juega un papel fundamental en el mecanismo de estabilización electrostática de los coloides. Las partículas coloidales ganan carga eléctrica negativa cuando los iones cargados negativamente del medio de dispersión se adsorben en la superficie de la partícula (Park & Seo, 2011).</p> <p>Diagnóstico: El cemento causa 1.63 millones de millones de metros cúbicos de CO₂ al año 2021 (www.staista.com), los polímeros gelificantes han confirmado ser cementantes del suelo. El cemento es hasta hoy el mayor contaminante de la industria de la construcción.</p> <p>Pronóstico: Los materiales cementantes de ingeniería deberían ser ambientalmente sostenibles a mediano plazo.</p> <p>Control del Pronóstico: Los biopolímeros como los geles coloidales, pueden reducir el consumo y fabricación de cemento a mediano plazo, si es que es posible demostrar que las propiedades físicas y mecánicas de los suelos mejoran una vez que se les añade dicho elemento.</p> <p>Formulación de la pregunta. ¿Cuál es el efecto de la adición de geles coloidales base en las propiedades físicas, mecánicas y de impermeabilidad del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2022?</p> <p>Clasificación de la variable adición de metilcelulosa: Según la escala de medición (Cooper & Schindler, 2014) (Stevens, 1946) (Daniels & Minot, 2020) (Wang & vom Hofe, 2007) (Levine et al., 2020) (Myatt, 2006) es de razón. Según su método de recolección en ingeniería (Montgomery & Runger, 2018) es proveniente de un experimento diseñado. Según su complejidad (Gorgas et al., 2011) es multidimensional. Según la función que efectúa en la investigación (Saunders et al., 2019): Independiente (VI), factor, manipulada, predictiva o tratamiento. Según su nivel de medición (Johnson & Christensen, 2014): Cuantitativa continua capaz de ser representada por números reales.</p>	Gel base 200 (Gb200)	<p>%Gb200 $\frac{w_{Gb200}}{w_{Ss}} \times 100$</p> <p>Donde: %Gb200: porcentaje de gel base 200 wSs: peso del suelo seco wGb200: peso del gel base 200</p> <p>Rango de valores: 0% a 1.5%</p>	<p>Clasificación de la investigación: Por el lugar donde se elabora es de laboratorio (Ganesan, 2021). Por su selección de método es de método único (Saunders et al., 2019). Por su alcance es correlacional (Sampieri & Collado, 2017). Por su filosofía es positivista (Saunders et al., 2019). Por su desarrollo de la teoría es deductiva (Ibidem). Por su estrategia es experimental pura (Sekaran & Bougie, 2013). Por su orientación ideológica es de perspectiva de cambio radical. Por sus asunciones es objetivista. Según su horizonte temporal es transversal (Saunders et al., 2019). Por su propósito es aplicada (Tang, 2020). Por sus consideraciones éticas, es de estudio de objetos inertes (Bordens & Abbott, 2018). Por su tipo de análisis estadístico es multivariado (Liamputtong, 2019). Por su ruta o enfoque (Sampieri & Collado, 2017) (Lewis, 2015) (Liamputtong, 2019) es cuantitativa.</p> <p>Línea de investigación: "Ciencia y tecnología de materiales e insumos en ingeniería" (RESOLUCIÓN N° 266-CU-2021-UAC).</p> <p>Población. En esta investigación, la población está representada por el suelo extraído de tres (03) calicatas ubicadas en las siguientes coordenadas:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Latitud</th> <th>Longitud</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Calicata N° 01</td> <td>13°32'15.83"S</td> <td>71°54'54.49"O</td> </tr> <tr> <td>Calicata N° 02</td> <td>13°32'15.79"S</td> <td>71°54'55.30"O</td> </tr> <tr> <td>Calicata N° 03</td> <td>13°32'15.60"S</td> <td>71°54'56.27"O</td> </tr> </tbody> </table> <p>Muestra obtenida. Una muestra implica elegir un grupo más pequeño de elementos de una población, lo que comúnmente se denomina selección de individuos u objetos (Kokoska, 2015). En este contexto, la muestra consiste en sesenta kilogramos de material que se obtuvo utilizando el método de cuarto a partir de muestras recopiladas en tres calicatas ubicadas en una hectárea seleccionada por conveniencia en la zona de estudio.</p> <p>Muestras y especímenes de ensayo. Una "muestra" se refiere a la porción relativamente pequeña de suelo que se ha recortado de una "muestra" más grande y en la que se realiza una prueba determinada. El material recompactado en un molde, y del que se pueden recortar muestras más pequeñas, también se denomina muestra. Los especímenes de prueba preparados por recorte manual se denominan generalmente como "no perturbados", aunque la muestra de la que se cortan puede consistir en suelo no perturbado o en material que ha sido recompactado o remoldeado (Epps, R.; Head, K. H.; Eng, 2006). Para la presente tesis se requerirán: 33 ensayos de densidad, 33 de cohesión y 33 de capilaridad, haciendo un total de 99 ensayos y por lo tanto igual número de especímenes remoldeados.</p> <p>Diseño experimental. El diseño experimental es un enfoque planificado para determinar las relaciones de causa y efecto. El más importante entre los criterios conocidos de optimización de diseño es el requisito de optimización D. Se dice que un diseño es D-óptimo cuando minimiza el volumen del elipsoide de dispersión para las estimaciones de los coeficientes de la ecuación de regresión. La propiedad de G-óptimalidad proporciona la varianza mínima máxima de los valores de respuesta previstos en una región bajo investigación (Lazić, 2004). Es decir, es un diseño que minimiza la varianza de los coeficientes de regresión del modelo (Mongomery, 2017). El diseño experimental planteado para la presente tesis es uno de tipo D-optimizado, 15 grados de libertad, modelo cuadrático, poder mínimo de 85%. Réplicas: 2. Punto central: 1. Corridas: 10.</p> <p>Técnica de análisis de datos. La técnica popularmente conocida como análisis de varianza (ANOVA) utiliza pruebas basadas en razones de varianza para establecer si existen o no diferencias significativas entre las medias de varios grupos de observaciones, donde cada grupo sigue una distribución normal. El análisis de varianza (ANOVA) (Neter, Wasserman y Kunter, 1990) se utiliza para detectar factores significativos en un modelo multifactorial. En el modelo multifactorial, hay una variable de respuesta (dependiente) y una o más variables factoriales (independientes). Este es el modelo común en experimentos diseñados donde el investigador establece los valores para cada una de las variables del factor y luego mide la variable de respuesta (NIST/SEMATECH, 2013). La técnica de análisis de varianza extiende la prueba t utilizada para determinar si dos medias difieren o no al caso donde hay tres o más medias (Lazić, 2004). Una tabla que resume: la fuente de variación, los grados de libertad, la suma de los cuadrados, los cuadrados medios y los valores estadísticos F se denomina tabla ANOVA (Taback, 2022). En la presente tesis se empleará el Análisis de Varianza (ANOVA) para el análisis de datos y se hará la prueba de hipótesis con la respectiva tabla de ANOVA.</p>		Latitud	Longitud	Calicata N° 01	13°32'15.83"S	71°54'54.49"O	Calicata N° 02	13°32'15.79"S	71°54'55.30"O	Calicata N° 03	13°32'15.60"S	71°54'56.27"O
				Latitud	Longitud													
Calicata N° 01	13°32'15.83"S	71°54'54.49"O																
Calicata N° 02	13°32'15.79"S	71°54'55.30"O																
Calicata N° 03	13°32'15.60"S	71°54'56.27"O																
<p>Propiedades del suelo.</p> <p>En una determinada cantidad de suelo, la masa total mt se divide entre masa de gases mg (normalmente despreciable con respecto a las otras masas), masa de líquidos ml y masa de sólidos ms. El volumen total Vt se divide entre volumen de gases Vg, volumen de líquido Vl y volumen de sólidos Vs. El volumen de fluido Vf es la suma de Vg y Vl. Usando estas variables, se pueden desarrollar la definición de la densidad seca del suelo como: $\rho -$ (Bittelli et al., 2015).</p> <p>La resistencia al corte del suelo está constituida básicamente por los siguientes componentes: 1) la resistencia estructural al desplazamiento del suelo debido al entrelazamiento de las partículas; 2. la resistencia por fricción a la translación entre las partículas individuales del suelo en sus puntos de contacto, y; 3. cohesión o adhesión entre la superficie de las partículas del suelo. La resistencia al corte en un suelo sin cohesión resulta únicamente de la fricción intergranular, mientras que en todos los demás suelos resulta tanto de la fricción interna como de la cohesión. Sin embargo, las arcillas y limos plásticos no poseen fricción interna (Punmia, 2010).</p> <p>Las normas internacionales para suelos estabilizados no requieren ni definen estudios de absorción de agua por capilaridad. La metodología de determinación de la capilaridad es comúnmente utilizada en el caso de ensayar elementos de mampostería. Para el algoritmo de prueba se sugiere la norma PN-EN 772-11:2011 (Węgliński, 2021).</p> <p>ascensión Capilar surge de los fluidos conocida como tensión superficial, que es un fenómeno que ocurre en la interfaz entre diferentes materiales. Para los suelos, ocurre en superficies de agua, granos minerales y aire. Fundamentalmente, la tensión superficial resulta de las diferencias en las fuerzas de atracción entre las moléculas de los materiales en la interfase. El fenómeno de la capilaridad puede demostrarse de muchas maneras. Colocar el extremo de una toalla seca en una tina de agua eventualmente dará como resultado una toalla saturada. Para ilustrar los efectos de la capilaridad en los suelos, podemos usar la analogía de los tubos de vidrio de pequeño diámetro para representar los vacíos entre los granos del suelo (Holtz et al., 2010).</p>	Gel base 280 (Gb280)	<p>%Gb280 $\frac{w_{Gb280}}{w_{Ss}} \times 100$</p> <p>Donde: %Gb280: porcentaje de gel base 280 wSs: peso del suelo seco wGb280: peso del gel base 280</p> <p>Rango de valores: 0% a 1.5%</p>																
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Dependiente															
<p>1. ¿Cuáles son los impactos que provoca el Gel Base 200 en la densidad seca del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, en el año 2023?</p> <p>2. ¿Qué impacto tiene el Gel Base 280 en la densidad seca del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023?</p>	<p>1. Determinar el efecto del Gel Base 200 en la densidad seca del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023.</p> <p>2. Evaluar el impacto del Gel Base 280 en la densidad seca del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023.</p>	<p>1. El impacto del Gel Base 200 en la densidad seca del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023, es significativo.</p> <p>2. La influencia del Gel Base 280 en la densidad seca del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023, es significativo.</p>	<p>Densidad seca</p> <p>Densidad seca ASTM D7263: $Ds = \frac{W_s}{V_t} \times [g/cm^3]$</p> <p>Donde: Ds: densidad seca del espécimen. Ws: Peso seco del espécimen. Vs: volumen del espécimen seco.</p> <p>Rango de valores esperados:</p>	Densidad seca														
<p>3. ¿Cómo afecta el Gel Base 200 a la cohesión del suelo limoso en la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023?</p> <p>4. ¿Cuál es la influencia del Gel Base 280 en la cohesión del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023?</p>	<p>3. Examinar la influencia del Gel Base 200 en la cohesión del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023.</p> <p>4. Analizar el efecto del Gel Base 280 en la cohesión del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023.</p>	<p>3. El impacto del Gel Base 200 en la cohesión del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023, es significativo.</p> <p>4. La incidencia del Gel Base 280 en la cohesión del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023, es significativa.</p>	<p>Cohesión</p> <p>Cohesión ASTM D2166: $C = \frac{1}{2} * F_v [kg/cm^2]$</p> <p>Donde: Fv: resistencia a la compresión simple del espécimen</p>	Cohesión														
<p>5. ¿De qué manera incide el Gel Base 200 en la ascensión capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023?</p> <p>6. ¿Cuál es el impacto del Gel Base 280 en la ascensión capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023?</p>	<p>5. Estudiar cómo el Gel Base 200 afecta la ascensión capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023.</p> <p>6. Investigar el impacto del Gel Base 280 en la ascensión capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023.</p>	<p>5. El efecto del Gel Base 200 en la ascensión capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023, es significativo.</p> <p>6. La influencia del Gel Base 280 en la ascensión capilar del suelo limoso de la APV La Victoria, San Sebastián, Cusco, 2023, es significativo.</p>	<p>Ascension Capilar</p> <p>Ascension capilar EN 772-11:2011: $c_{w,s} = \frac{m_{w,s} - m_{dry,s}}{A_s * t_{s0}} \times 10^4 [g/(m^2 \cdot s)]$</p> <p>Cw: coeficiente de absorción de agua debida a la capilaridad Mso: peso de la muestra humedad Mdry: peso de la muestra seca. As: área de la sección de la muestra. tso: tiempo de la succión en minutos</p>	Ascension Capilar														

Autores: Bach. Cáceres Ruffran, Roberto Gonzalo; Bach. Esquivel Choquehuanca, Diego Simón