

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

INGENIERÍA CIVIL



**“MEJORAMIENTO DE DIFERENTES TIPOS DE SUELOS ARCILLOSOS
EN LA CIUDAD DE TARIJA UTILIZANDO COMO ADITIVO LIGANTE
HIDRÁULICO AGROVIAL”**

Elaborado por:

YOBANA GASPAR

Trabajo de Tesis presentado a consideración de la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**, como requisito para optar por el grado académico de Licenciatura en **INGENIERÍA CIVIL**.

SEMESTRE II – 2024

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

INGENIERÍA CIVIL

**“MEJORAMIENTO DE DIFERENTES TIPOS DE SUELOS ARCILLOSOS
EN LA CIUDAD DE TARIJA UTILIZANDO COMO ADITIVO LIGANTE
HIDRÁULICO AGROVIAL”**

Elaborado por:

YOBANA GASPAR

Proyecto elaborado en la asignatura:

CIV – 502 PROYECTO DE INGENIERÍA CIVIL II

SEMESTRE II - 2024

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mi padre Adalid Gaspar y mi querida abuela Adelfa Pérez por darme su apoyo incondicional, su amor y guiarme en mis pasos en todo momento.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. Introducción	1
1.2. Referencias a trabajos realizados	2
1.3. Justificación.....	2
1.4. Aporte académico.....	3
1.5. Planteamiento del problema	3
1.5.1. Situación problemática.....	3
1.5.2. Delimitación temporal.....	4
1.5.3. Delimitación espacial	4
1.5.4. Formulación del problema	4
1.6. Objetivos	4
1.6.1. Objetivo general	4
1.6.2. Objetivos específicos.....	5
1.7. Hipótesis.....	5
1.7.1. Identificación de variables	5
1.7.2. Variable independiente.....	5
1.7.3. Variable dependiente.....	5
1.8. Criterios de diseño metodológico.....	6
1.8.1. Unidad de muestra.....	6
1.8.2. Población.....	6
1.8.3. Muestra.....	7
1.8.4. Tamaño de la muestra	7

1.9.	Marco referencial	9
1.10.	Marco normativo	10
1.11.	Análisis de la teoría por parte del autor.....	10
1.12.	Posición del autor	11
1.13.	Alcance de la investigación.....	12

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

	Página
2.1.	Suelos arcillosos 14
2.2.	Arcillas 14
2.3.	Plasticidad de arcillas 14
2.3.1.	Arcillas de alta plasticidad 15
2.3.2.	Arcillas de baja plasticidad..... 15
2.4.	Suelos expansivos 15
2.5.	Comportamiento de suelos expansivos 15
2.6.	Causas de la expansión..... 15
2.7.	Problemas de la expansión o contracción..... 16
2.8.	Daños en suelos expansivos 16
2.9.	Soluciones para fundaciones en suelos expansivos..... 16
2.10.	Capa de subrasante 17
2.10.1.	Requerimientos de la subrasante 17
2.10.2.	Clasificación de la subrasante 18
2.10.3.	Funciones de la subrasante 19
2.11.	Mejoramiento de suelos 20

2.11.1. Que es el mejoramiento de los suelos	20
2.12. Aplicación a suelos arcillosos utilizando aditivos.....	20
2.13. Ensayo del valor de Soporte de California.....	21
2.13.1. Valor de CBR	22
2.13.2. Expansión en el ensayo CBR	22
2.14. Ligante hidráulico AGROVIAL.....	22
2.14.1. Ligante hidráulico AGROVIAL como aditivo.....	22
2.14.2. Ventajas del ligante hidráulico	23
2.15. Composición del ligante hidráulico.....	24
2.16. Aplicaciones del ligante hidráulico AGROVIAL	25

CAPITULO III

RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

	Página
3.1. Métodos y técnicas empleadas	27
3.1.1. Ubicación de la zona de aplicación	27
3.1.2. Mapa con coordenadas geográficas y UTM.....	27
3.1.3. Descripción de las características físicas y naturales de la zona.....	30
3.1.4. Ubicación de la zona de adquisición del aditivo	30
3.2. Caracterización del suelo arcilloso.....	31
3.2.1. Ensayo de granulometría	31
3.2.2. Limite liquido del suelo arcilloso	35
3.2.3. Ensayo de limite plástico.....	39
3.2.4. Clasificación de suelos (SUCS)	41
3.2.5. Clasificación de suelos (AASTHO)	42

3.2.6. Ensayo de compactación “Proctor modificado T-180”	45
3.2.7. Ensayo de california bearing ratio (CBR)	49
3.3. Ensayos de suelo arcilloso + ligante hidráulico	52
3.3.1. Limite liquido + ligante hidráulico.....	52
3.3.2. Limite plástico + ligante hidráulico	61
3.3.3. Ensayo de compactación suelo arcilloso + ligante hidráulico.....	66
3.3.4. Ensayo de CBR suelo arcilloso + ligante hidráulico	82

CAPITULO IV

PROCESAMIENTO Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS

	Página
4.1. Resultados para el inicio del tratamiento estadístico correspondiente	98
4.2. Gráficos de comparación.....	99
4.2.1. Limite liquido	99
4.2.2. Limite plástico	101
4.2.3. Índice de plasticidad.....	103
4.2.4. Compactación Proctor T-180	104
4.2.5. California Bearing Ratio	110
4.3. Prueba de hipótesis.....	115
4.3.1. Prueba de “t de student”	115
4.3.2. Conclusión de la prueba de hipótesis	119
4.4. Precio unitario de conformación de subrasante.....	119
4.5. Análisis de factibilidad.....	120
4.6. Especificaciones técnicas	121

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1. Conclusiones	125
5.2. Recomendaciones.....	127

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO A - FOTOGRAFÍAS

ANEXO B – 1 ENSAYOS SUELO ARCILLOSO BARRIO JARDIN

ANEXO B – 2 ENSAYOS SUELO ARCILLOSO BARRIO SAN BLAS

ANEXO B – 3 ENSAYOS SUELO ARCILLOSO BARRIO JARDIN + LIGANTE HIDRAULICO

ANEXO B – 4 ENSAYOS SUELO ARCILLOSO BARRIO SAN BLAS + LIGANTE HIDRAULICO

ANEXO C – ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ANEXO D – FICHA TÉCNICA DEL LIGANTE HIDRÁULICO AGROVIAL

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación de la extracción en zona San Blas.	27
Figura 2. Extracción de la muestra de suelo en barrio San Blas.	28
Figura 3. Ubicación de la extracción en el barrio Jardín.	28
Figura 4. Extracción de la muestra de suelo en barrio Jardín.	29
Figura 5. Ubicación de la zona de adquisición del material.	30
Figura 6. Ferretera ubicada en la ciudad de Oran - Argentina.	31
Figura 7. Método del lavado para granulometría de suelos finos.	34
Figura 8. Suelo fino del barrio San Blas.	36
Figura 9. Método de Casagrande para limite líquido.	37
Figura 10. Ensayo de limite líquido para el barrio jardín.	38
Figura 11. Ensayo de limite plástico barrio Jardín.	39
Figura 12. Ensayo limite plástico barrio San Blas.	40

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Variable independiente.....	6
Tabla 2. Variable dependiente.....	6
Tabla 3. Población.....	7
Tabla 4. Muestra.....	7
Tabla 5. Ensayos a realizar.....	8
Tabla 6. Especificaciones de subrasante.	18
Tabla 7. Clasificación de la subrasante.	19
Tabla 8. Coordenadas de punto de extracción barrio San Blas.....	28
Tabla 9. Coordenadas de extracción barrio Jardín.	29
Tabla 10. Coordenadas de la ferretería.....	31
Tabla 11. Granulometría del barrio San Blas.....	32
Tabla 12. Curva granulométrica barrio Jardín.	33
Tabla 13. Planilla de limite líquido barrio San Blas.	35
Tabla 14. Planilla de limite liquido barrio Jardín.....	37
Tabla 15. Planilla limite plástico barrio Jardín.	39
Tabla 16. Planilla limite plástico barrio San Blas.	40
Tabla 17. Parámetros de clasificación SUCS barrio San Blas.	41
Tabla 18. Parámetros de clasificación SUCS barrio Jardín.	42
Tabla 19. Parámetros de clasificación AASTHO barrio San Blas.....	43
Tabla 20. Clasificación de suelo barrio San Blas método AASTHO.	43
Tabla 21. Parámetros de clasificación barrio Jardín.	44
Tabla 22. Clasificación de suelo del barrio Jardín método AASTHO.....	44

Tabla 23. Planilla de compactación T-180 barrio San Blas.	45
Tabla 24. Planilla de compactación T-180 barrio Jardín.	47
Tabla 25. Resultados CBR suelo barrio Jardín.	49
Tabla 26. CBR barrio Jardín.	50
Tabla 27. Resultados CBR barrio San Blas.....	51
Tabla 28. CBR barrio San Blas.	52
Tabla 29. Limite liquido barrio Jardín + ligante hidráulico 5%.....	53
Tabla 30. Limite liquido barrio San Blas + ligante hidráulico 5%.	54
Tabla 31. Limite liquido barrio Jardín + ligante hidráulico 10%.....	55
Tabla 32. Limite liquido barrio San Blas + ligante hidráulico 10%.	56
Tabla 33. Limite liquido barrio Jardín + ligante hidráulico 15%.....	57
Tabla 34. Limite liquido barrio San Blas + ligante hidráulico 15%.	58
Tabla 35. Limite liquido barrio Jardín + ligante hidráulico 20%.....	59
Tabla 36. Limite liquido barrio San Blas + ligante hidráulico 20%.	60
Tabla 37. Limite plástico barrio San Blas + ligante hidráulico 5%.	61
Tabla 38. Limite plástico barrio Jardín + ligante hidráulico 5%.....	61
Tabla 39. Limite plástico barrio San Blas + ligante hidráulico 10%.	62
Tabla 40. Limite plástico barrio Jardín + ligante hidráulico 10%.....	63
Tabla 41. Limite plástico barrio San Blas + ligante hidráulico 15%.	63
Tabla 42. Limite plástico barrio Jardín + ligante hidráulico 15%.....	64
Tabla 43. Limite plástico barrio San Blas + ligante hidráulico 20%.	64
Tabla 44. Limite plástico barrio Jardín + ligante hidráulico 20%.....	65
Tabla 45. Suelo barrio Jardín + ligante hidráulico 5%.....	66
Tabla 46. Suelo barrio San Blas + ligante hidráulico 5%.	68

Tabla 47. Planilla de compactación suelo barrio Jardín + ligante hidráulico 10%. ...	70
Tabla 48. Planilla de compactación barrio San Blas + ligante hidráulico 10%.	72
Tabla 49. Planilla de suelo barrio Jardín + ligante hidráulico 15%.	74
Tabla 50. Planilla de compactación suelo barrio San Blas + L.H. 15%.	76
Tabla 51. Planilla de compactación suelo barrio San Blas + L.H. 20%.	78
Tabla 52. Planilla de compactación suelo barrio Jardín + ligante hidráulico 20%. ...	80
Tabla 53. Resultados CBR barrio San Blas + ligante hidráulico 5%.	82
Tabla 54. Resultados CBR barrio San Blas + ligante hidráulico 5%.	83
Tabla 55. Resultados finales CBR barrio San Blas + ligante hidráulico 5%.	83
Tabla 56. Resultados CBR suelo barrio Jardín + ligante hidráulico 5%.	84
Tabla 57. Resultados CBR barrio Jardín + ligante hidráulico 5%.	85
Tabla 58. Resultados finales CBR suelo barrio Jardín + ligante hidráulico 5%.	85
Tabla 59. Resultados CBR suelo barrio Jardín + ligante hidráulico 10%.	86
Tabla 60. CBR suelo barrio Jardín + ligante hidráulico 10%.	87
Tabla 61. Resultados finales CBR suelo barrio Jardín + ligante hidráulico 10%.	87
Tabla 62. Resultados CBR suelo barrio San Blas + ligante hidráulico 10%.	87
Tabla 63. CBR suelo barrio San Blas + ligante hidráulico 10%.	89
Tabla 64. Resultados CBR suelo barrio San Blas + ligante hidráulico 15%.	90
Tabla 65. CBR suelo barrio San Blas + ligante hidráulico 15%.	91
Tabla 66. Resultados finales CBR suelo barrio San Blas + ligante hidráulico 15%. ..	91
Tabla 67. Resultados CBR suelo barrio Jardín + ligante hidráulico 15%.	91
Tabla 68. CBR suelo barrio Jardín + ligante hidráulico 15%.	92
Tabla 69. Resultados finales CBR suelo barrio Jardín + ligante hidráulico 15%.	93
Tabla 70. Resultados CBR suelo barrio Jardín + ligante hidráulico 20%.	93

Tabla 71. CBR suelo barrio Jardín + ligante hidráulico 20%.	94
Tabla 72. Resultados finales CBR suelo barrio Jardín + ligante hidráulico 20%.	95
Tabla 73. Resultados CBR barrio San Blas + ligante hidráulico 20%.	95
Tabla 74. CBR suelo barrio San Blas + ligante hidráulico 20%.	96
Tabla 75. Resultados finales CBR suelo barrio San Blas + ligante hidráulico 20%..	96
Tabla 76. Resultados de ensayos CBR.....	98
Tabla 77. Clasificación de suelo según valor CBR.....	114
Tabla 78. Resultados CBR de suelos en estado natural.	117
Tabla 79. Resultados del ensayo CBR de suelo + aditivo.....	117
Tabla 80. Precio unitario por m3 de aplicación.	120

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 1. Curva granulométrica barrio San Blas.	33
Gráfico 2. Curva granulométrica barrio Jardín.	34
Gráfico 3. Limite liquido barrio San Blas.	35
Gráfico 4. Limite liquido barrio Jardín.	38
Gráfico 5. Carta de plasticidad SUCS barrio San Blas.	41
Gráfico 6. Carta de plasticidad SUCS barrio Jardín.	42
Gráfico 7. Curva de compactación barrio San Blas.	46
Gráfico 8. Curva de compactación T-180 barrio Jardín.	48
Gráfico 9. Curva carga penetración.	50
Gráfico 10. Curva: CBR-Peso unitario barrio Jardín.	50
Gráfico 11. Curva Carga – Penetración barrio San Blas.	51
Gráfico 12. Curva CBR – Peso unitario barrio San Blas.	52
Gráfico 13. Limite liquido barrio Jardín + ligante hidráulico 5%.	53
Gráfico 14. Limite liquido barrio San Blas + ligante hidráulico 5%.	54
Gráfico 15. Limite liquido barrio Jardín + ligante hidráulico 10%.	55
Gráfico 16. Limite liquido barrio San Blas + ligante hidráulico 10%.	56
Gráfico 17. Limite liquido barrio Jardín + ligante hidráulico 15%.	57
Gráfico 18. Limite liquido barrio San Blas + ligante hidráulico 15%.	58
Gráfico 19. Limite liquido barrio Jardín + ligante hidráulico 20%.	59
Gráfico 20. Limite liquido barrio San Blas + ligante hidráulico 20%.	60
Gráfico 21. Curva de compactación suelo barrio Jardín + ligante hidráulico 5%.	67
Gráfico 22. Curva de compactación barrio San Blas + ligante hidráulico 5%.	69

Gráfico 23. Curva de compactación suelo barrio Jardín + ligante hidraulico10%. ...	71
Gráfico 24. Curva de compactación suelo barrio San Blas + L.H. 10%.....	73
Gráfico 25. Curva de compactación barrio Jardín + ligante hidráulico 15%.	75
Gráfico 26. Curva de compactación suelo barrio San Blas + L.H. 15%.....	77
Gráfico 27. Curva de compactación barrio San Blas + ligante hidráulico 20%.....	79
Gráfico 28. Curva de compactación suelo barrio Jardín + ligante hidráulico 20% ...	81
Gráfico 29. Curva Carga – Penetración suelo barrio San Blas + L.H. 5%.	82
Gráfico 30. Curva CBR – Peso Unitario suelo barrio San Blas + L.H. 5%.	83
Gráfico 31. Curva Carga Penetración suelo barrio Jardín + L.H. 5%.....	84
Gráfico 32. Curva CBR – Peso Unitario suelo barrio Jardín + L.H. 5%.	84
Gráfico 33. Curva Carga – Penetración suelo barrio Jardín + L.H. 10%.....	86
Gráfico 34. Curva: CBR – Peso Unitario suelo barrio Jardín + L.H. 10%.	86
Gráfico 35. Curva Carga – Penetración suelo barrio San Blas + L.H. 10%.	88
Gráfico 36. Curva CBR – Peso Unitario suelo barrio San Blas + L.H. 10%.	88
Gráfico 37. Resultados finales CBR suelo barrio San Blas + L.H. 10%.	89
Gráfico 38. Curva Carga Penetración suelo barrio San Blas + L.H. 15%.	90
Gráfico 39. Curva CBR – Peso Unitario suelo barrio San Blas + L.H. 15%.	90
Gráfico 40. Curva Carga Penetración suelo barrio Jardín + L.H. 15%.....	92
Gráfico 41. Curva CBR – Peso Unitario suelo barrio Jardín + L.H. 15%.	92
Gráfico 42. Curva Carga Penetración suelo barrio Jardín + L.H. 20%.....	94
Gráfico 43. Curva CBR Peso Unitario suelo barrio Jardín + L.H. 20%.	94
Gráfico 44. Curva Carga Penetración suelo barrio San Blas + L.H. 20%.	95
Gráfico 45. CBR Peso Unitario suelo barrio San Blas + L.H. 20%.....	96
Gráfico 46. Limite liquido barrio San Blas + ligante hidráulico.....	99

Gráfico 47. Tendencia limite liquido barrio San Blas + ligante hidráulico.	99
Gráfico 48. Limite liquido barrio Jardín + L.H.....	100
Gráfico 49. Tendencia limite liquido barrio Jardín + ligante hidráulico.....	100
Gráfico 50. Limite plástico barrio Jardín + ligante hidráulico.....	101
Gráfico 51. Limite plástico barrio San Blas + ligante hidráulico.	102
Gráfico 52. Índice de plasticidad barrio San Blas + ligante hidráulico.	103
Gráfico 53. Índice de plasticidad barrio Jardín + ligante hidráulico.....	103
Gráfico 54. Ensayos compactación Proctor T-180 barrio Jardín.	104
Gráfico 55. Tendencia de densidades del suelo barrio Jardín.	105
Gráfico 56. Ensayos compactación Proctor T-180 barrio San Blas.	106
Gráfico 57. Tendencia de densidades del suelo barrio San Blas.....	106
Gráfico 58. Humedad óptima barrio Jardín.....	108
Gráfico 59. Tendencia humedad óptima barrio Jardín.	108
Gráfico 60. Humedad óptima barrio San Blas.	109
Gráfico 61. Tendencia humedad óptima barrio San Blas.....	109
Gráfico 62. CBR suelo barrio Jardín.....	110
Gráfico 63. Tendencia de ensayo CBR suelo del barrio Jardín.	111
Gráfico 64. CBR barrio San Blas.	112
Gráfico 65. Tendencia CBR barrio San Blas.	112
Gráfico 66. Comparación CBR suelos barrio Jardín y San Blas.....	113
Gráfico 67. Curva de Gauss.	119