



UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
ESCUELA DE POST GRADO

TESIS

**INCORPORACIÓN DE SUELOS GRAVOSOS A LA
CLASIFICACIÓN SUCS PLANTEADOS POR BRAJAS EN LA
TEORÍA DE COMPACTACIÓN DE SUELOS: ENSAYOS EN SUELOS
ANDINOS – PERÚ**

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAGISTER
EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS**

AUTOR

Bach. EDWIN HERNÁN CASTAÑEDA VILLANUEVA

ASESOR:

Dr. Ing. WALTER ANTONIO CAMPOS UGAZ

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

ESTRUCTURAS: DISEÑO SÍSMICO Y ESTRUCTURAL

CHICLAYO – PERU

2017

PAGINA DEL JURADO

Mg. Sócrates Pedro Muñoz Pérez

Presidente

Mg. Noé Marín Bardales

Secretario

Dr. Walter Antonio Campos Ugaz

Vocal

DECLARACIÓN JURADA

Yo, Edwin Hernán Castañeda Villanueva egresado (a) del Programa de Maestría (x) Doctorado () Maestría en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras de la Universidad César Vallejo SAC. Chiclayo, identificado con DNI N° 16637096

DECLARO BAJO JURAMENTO QUE:

1. Soy autor (a) de la tesis titulada: **INCORPORACIÓN DE SUELOS GRAVOSOS A LA CLASIFICACIÓN SUCS PLANTEADOS POR BRAJAS EN LA TEORÍA DE COMPACTACIÓN DE SUELOS: ENSAYOS EN SUELOS ANDINOS – PERÚ.**
2. La misma que presento para optar el grado de: Maestría en Gestión Pública.
3. La tesis presentada es auténtica, siguiendo un adecuado proceso de investigación, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
4. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
5. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
6. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y frente a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar a LA UNIVERSIDAD o a terceros, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar causa en la tesis presentada, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello. Así mismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para LA UNIVERSIDAD en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido de la tesis.

De identificarse algún tipo de falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad César Vallejo S.A.C. Chiclayo; por lo que, LA UNIVERSIDAD podrá suspender el grado y denunciar tal hecho ante las autoridades competentes, ello conforme a la Ley 27444 del Procedimiento Administrativo General.

Pimentel, 06 de Octubre del 2017

Firma

Nombres y apellidos: Edwin Hernán Castañeda Villanueva

DNI: 16637096

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso y a la santísima Virgen del Carmen, por haberme permitido llegar hasta aquí, por darme las fuerzas en momentos difíciles de este largo camino y por tener a mi madre con vida y acompañándome aún.

A mis Padres

Delta Paquita Villanueva Villanueva

Miguel Villanueva Villanueva – Manuel Castañeda Cubas

Por su esfuerzo y dedicación para mi formación personal y profesional

A mi esposa e hijos

María Coronel

Kevin Castañeda

Edwin Castañeda

Por su apoyo, comprensión y paciencia en los momentos en que no estuve con ellos para dedicarlos en la noble tarea de una etapa más de mi vida profesional.

A mis hijos:

Sepan que voy asumiendo mi compromiso con Dios, que me premió con ustedes, tengan presente, que como ingeniero siempre obré según dictaban mi corazón y mi conciencia, mi realización estará completa en la medida que ustedes estén comprometidos, enamorados y apasionados de la vida realizando lo que le mas les gusta y cuando disfrute de la sonrisa de mis nietos en mis brazos.

Edwin Hernán

AGRADECIMIENTO

Al Gerente General de la empresa G&S Servicios de Ingeniería SRL, Ing: Francisco Gutiérrez Ucañán, por la confianza y apoyo constante brindado a mi persona.

A mis compañeros de trabajo de la empresa G&S Servicios de Ingeniería SRL, por la calidad humana con la que siempre nos hemos llevado.

A mi asesor de Trabajo de Tesis

Ph D. Ing. Walter Campos Ugaz

Por su comprensión, apoyo y paciencia y sobre todo por la aportación y enriquecimiento teórico – técnico para la elaboración de mí trabajo de tesis.

Al MsC. Ing. Dandy Roca Loayza

Por los conocimientos técnicos transferidos en forma desinteresada y muy profesional hacia mi persona y que han enriquecido mis conocimientos profesionales.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma han colaborado con la realización de esta Tesis.

Edwin Hernán

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del Jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo y el Reglamento Interno de la Escuela Post Grado de la Maestría en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras, pongo a vuestra disposición el presente Trabajo de Tesis titulado: “INCORPORACIÓN DE SUELOS GRAVOSOS A LA CLASIFICACIÓN SUCS PLANTEADOS POR BRAJAS EN LA TEORÍA DE COMPACTACIÓN DE SUELOS: ENSAYOS EN SUELOS ANDINOS – PERÚ”, para obtener el Grado de Magister en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras.

El contenido del presente trabajo ha sido desarrollado tomando como marco de referencia los lineamientos establecidos en el esquema de Tesis para optar el Grado de Magister de la Universidad César Vallejo, los conocimientos adquiridos durante mi formación profesional, consulta de fuentes bibliográficas, información obtenida de diferentes fuentes confiables y la experiencia en trabajos desarrollados en el rubro, las cuales se citan en la bibliografía del presente informe.

El Autor

ÍNDICE

PAGINA DEL JURADO	ii
DECLARACIÓN JURADA.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
PRESENTACIÓN	vi
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE GRAFICOS	xi
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT	xix
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN.....	20
1 INTRODUCCIÓN.....	21
1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA	23
1.2 TRABAJOS PREVIOS	23
1.2.1 <i>Antecedente Mundial</i>	23
1.2.2 <i>Antecedente Nacional</i>	28
1.2.3 <i>Antecedente Local</i>	29
1.3 TEORÍAS RELACIONADAS AL TEMA	30
1.3.1 <i>Los ensayos de laboratorio de Mecánica de Suelos</i>	30
1.3.2 <i>El Perfil Granulométrico de los Suelos</i>	32
1.3.3 <i>Los Límites de Consistencia (Líquido y Plástico)</i>	33
1.3.4 <i>Ensayo de Compactación Próctor en Laboratorio</i>	37
1.3.5 <i>Las Gravas, Arenas y Materiales Finos (Arcillas y Limos)</i>	38
1.3.6 <i>Clasificación SUCS</i>	41
1.3.7 <i>Máxima Densidad Seca</i>	42
1.3.8 <i>Curvas de Compactación</i>	43
1.3.9 <i>Teoría de Compactación de Suelos</i>	44
1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	47
1.5 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	48
1.5.1 <i>Dimensión Científica</i>	48
1.5.2 <i>Dimensión Técnica</i>	48
1.5.3 <i>Dimensión Social</i>	48
1.6 HIPÓTESIS	48
1.7 OBJETIVOS	49
1.7.1 <i>Objetivo General</i>	49
1.7.2 <i>Objetivos Específicos</i>	49
CAPITULO 2: MÉTODO	50
2 MÉTODO	51

2.1	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	51
2.2	VARIABLES, OPERACIONALIZACIÓN.....	51
2.2.1	<i>Identificación de Variable.....</i>	51
2.2.2	<i>Definición Conceptual, Definición Operacional e Indicadores</i>	51
2.3	POBLACIÓN Y MUESTRA	53
2.4	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS, VALIDEZ Y CONFIABILIDAD	53
2.5	Ensayos de Laboratorio de Mecánica de Suelos:.....	53
2.5.1	<i>Técnica de Gabinete.....</i>	54
2.5.2	<i>Técnica de Campo.....</i>	54
2.6	MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS	55
2.7	ASPECTOS ÉTICOS.....	55
CAPITULO 3: RESULTADOS		57
3	RESULTADOS.....	58
3.1	DESCRIPCIÓN.....	58
3.1.1	<i>Resultados y alcance de la validez de la consistencia interna, pertinencia y relevancia.....</i>	58
3.2	Resultados de la incorporación de las curvas de compactación de los diferentes tipos de suelos a la teoría de compactación	58
3.3	Resultados de las curvas de compactación para suelos Finos: Arcillas y Limos (C, M) 59	
3.3.1	<i>Resultados de las curvas de compactación para suelos “arcillosos – C”</i>	59
3.3.2	<i>Curvas de compactación para suelos “arcillas de alta plasticidad - CH”</i>	63
3.3.3	<i>Curvas de compactación para suelos “arcillas de baja plasticidad – CL”</i>	66
3.3.4	<i>Resultados de las curvas de compactación para suelos “limosos - M”</i>	69
3.3.5	<i>Curvas de compactación para suelos “limos de alta plasticidad – MH”</i>	73
3.3.6	<i>Curvas de compactación para suelos “limos de baja plasticidad – ML”</i>	76
3.4	Resultados de las curvas de compactación para suelos arenosos (S).....	79
3.4.1	<i>Curvas de compactación para suelos “arena arcillosa – SC”</i>	83
3.4.2	<i>Curvas de compactación para suelos “arena limosa – SM”.....</i>	86
3.4.3	<i>Curvas de compactación para suelos “arena bien graduada con limo – SW-SM”</i>	89
3.4.4	<i>Curvas de compactación para suelos “arena pobremente graduada con limo – SP-SM”</i>	92
3.4.5	<i>Curvas de compactación para suelos “arenas limo – arcillosas: SC-SM”.....</i>	95
3.4.6	<i>Curvas de compactación para suelos “arena pobremente graduada – SP”</i>	98
3.5	Resultados de las curvas de compactación para suelos gravosos (G).....	101
3.5.1	<i>Resultados de curvas de compactación para suelos “grava arcillosa – GC”</i>	105
3.5.2	<i>Resultados de curvas de compactación para suelos “grava limosa – GM”... </i>	108

3.5.3	Resultados de curvas de compactación para suelos “grava arcillosa bien graduada – GW-GC”	111
3.5.4	Resultados de curvas de compactación para suelos “grava limosa bien graduada – GW-GM”	114
3.5.5	Resultados de curvas de compactación para suelos “grava limo-arcillosa con arena – GC-GM”	117
3.5.6	Resultados de curvas de compactación para suelos “grava limosa pobremente graduada – GP-GM”	120
3.5.7	Resultados de curvas de compactación para suelos “grava bien graduada - GW”	123
3.5.8	Resultados de curvas de compactación para suelos “grava arcillosa pobremente graduada GP-GC”	126
3.5.9	Resultados de curvas de comparación para suelos “grava pobremente graduada – GP”	129
3.6	Resultados de la incorporación de las curvas de compactación de los suelos gravosos, arenosos y finos con valores mínimos obtenidos vs la teoría de Braja Das ..	133
3.7	Resultados de la incorporación de las curvas de compactación de los suelos gravosos, arenosos y finos con valores máximos obtenidos vs la teoría de Braja Das .	134
3.8	Resultados de la incorporación de las curvas de compactación de suelos gravosos, arenosos y finos con los valores promedio vs la teoría de Braja Das	135
3.9	Resultados de la incorporación de las curvas de compactación de suelos de todas la categorías con valores mínimos, máximos y promedios	136
CAPITULO 4: DISCUSIÓN		140
4	DISCUSIÓN	141
CAPITULO 5: PROPUESTA		147
5	PROPUESTA	148
5.1	Datos informativos.	148
5.2	Fundamentación	148
5.3	Objetivos	148
5.4	Base Teórica de la propuesta.....	149
5.5	Metodología.....	149
CAPITULO 6: CONCLUSIONES.....		150
6	CONCLUSIONES.....	151
CAPITULO 7: RECOMENDACIONES		152
7	RECOMENDACIONES	153
8	Bibliografía	154
ANEXOS.....		156

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de Operacionalización de Variables	52
Tabla 2. Validez de la consistencia interna, pertinencia y relevancia	58
Tabla 3. Resultados de estadísticos de la variable de densidad seca utilizados en las “curvas de compactación” para la categoría de suelos “arcillosos (C)”	61
Tabla 4. Estadísticos de los valores de densidad seca (kg/m ³) utilizados para la “curva de compactación”, de la categoría de suelos “Limosos (M)”	71
Tabla 5. Estadísticos de los valores de densidad utilizados en las “curvas de compactación” (próctor) para la categoría de suelos “arenosos (S)”	81
Tabla 6. Estadísticos de los valores de densidad seca (kg/cm ³) utilizados para la “curva de compactación” (próctor) para los suelos “gravosos (G)”	103
Tabla 7. Se muestra los valores mínimos, promedio y máximos de la “máxima densidad seca” sin corregir de las categorías de suelos así como su óptimo contenido de humedad	137
Tabla 8. Se muestran los valores mínimos, promedio y máximos de la “máxima densidad seca corregida” de las categorías de suelos así como su óptimo contenido de humedad corregido.....	137

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1. Gráfica del ensayo Próctor Modificado según ASTM D-1557 realizado con motivo de la Tesis.	30
Figura 2. Gráfica descrita por Braja Das en la Teoría de Compactación de Suelos .	47
Figura 3. Gráfico de las “curvas de compactación” para la categoría de suelos finos “arcillosos, se incluyen a las arcillas de alta y baja plasticidad.	60
Figura 4. Gráfica de la “curva de compactación” para la categoría de suelos finos “arcillosos (C)” – con valores mínimos.....	62
Figura 5. Gráfica de la “curva de compactación” para la categoría de suelos finos “arcillosos (C)” – con valores máximos.....	62
Figura 6. Gráfica de la “curva de compactación” para la categoría de suelos finos “arcillosos (C)” – con valores promedio.....	63
Figura 7. Gráfica de las “curvas de compactación” para la categoría de suelos de “arcillas de alta plasticidad (CH)” – con valores máximos, promedios y mínimos. .	64
Figura 8. Gráfica de la “curva de compactación” de la subdivisión de suelos “Arcillas de alta plasticidad (CH)” – con valores mínimos.....	65
Figura 9. Gráfica de la “curva de compactación” de la subdivisión de suelos finos “Arcillas de alta plasticidad (CH)” – con valores máximos.....	65
Figura 10. Gráfica de la “curva de compactación” de la subdivisión de suelos finos “Arcillas de alta plasticidad (CH)” – con valores promedios.....	66
Figura 11. Gráfica de las “curvas de compactación” para la categoría de suelos “arcillas de baja plasticidad (CL)” – con valores máximos, promedios y mínimos .	67
Figura 12. Gráfica de la “curva de compactación” de la subdivisión de suelos finos “arcillas de baja plasticidad (CL)” – con valores mínimos.....	68
Figura 13. Gráfica de la “curva de compactación” de la subdivisión de suelos finos “arcillas de baja plasticidad (CL)” – con valores máximos.....	68
Figura 14. Gráfica de la “curva de compactación” de la subdivisión de suelos finos “arcillas de baja plasticidad (CL)” – con valores promedio.....	69
Figura 15. Gráfica de las “curvas de compactación” para la categoría de suelos “Limosos (M)” – con valores máximos, promedios y mínimos.....	70
Figura 16. Gráfica de la “curva de compactación” para la categoría de suelos finos “Limosos (M)” – con valores mínimos.	72
Figura 17. Gráfica de la “curva de compactación” para la categoría de suelos finos “Limosos (M)” – con valores máximos.....	72
Figura 18. Gráfica de la “curva de compactación” para la categoría de suelos finos “Limosos (M)” – con valores promedio.....	73

Figura 19. Gráfica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos finos “Limos de alta plasticidad (MH)” – con valores máximos, promedios y mínimos.	74
Figura 20. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “limos de alta plasticidad (MH)” – con valores mínimos.	75
Figura 21. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “limos de alta plasticidad (MH)” – con valores máximos.....	75
Figura 22. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “limos de alta plasticidad (MH)” – con valores promedio.....	76
Figura 23. Gráfica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos finos “limos de baja plasticidad (ML)” – con valores máximos, promedios y mínimos.	77
Figura 24. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “limos de baja plasticidad (ML)” – con valores mínimos.....	78
Figura 25. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “limos de baja plasticidad (ML)” – con valores máximos.....	78
Figura 26. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “limos de baja plasticidad (ML)” – con valores promedio.	79
Figura 27. Gráfica de las “curvas de compactación” para la categoría de suelos “arenosos (S)” – con valores máximos, promedios y mínimos.....	80
Figura 28. Gráfica de la “curva de compactación” para la categoría de suelos “arenosos (S)” – con valores mínimos.....	82
Figura 29. Gráfica de la “curva de compactación” para la categoría de suelos “arenosos (S)” – con valores máximos.....	82
Figura 30. Gráfica de la “curva de compactación” para la categoría de suelos “arenosos (S)” – con valores promedio.	83
Figura 31. Gráfica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos “arena arcillosa (SC)” – con valores máximos, promedios y mínimos.	84
Figura 32. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena arcillosa (SC)” – con valores mínimos.....	85
Figura 33. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena arcillosa (SC)” – con valores máximos.....	85
Figura 34. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena arcillosa (SC)” – con valores promedio.	86
Figura 35. Gráfica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos “arena limosa (SM)” – con valores máximos, promedios y mínimos.....	87

Figura 36. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena limosa (SM)” – con valores mínimos.....	88
Figura 37. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena limosa (SM)” – con valores máximos.....	88
Figura 38. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena limosa (SM)” – con valores promedios.....	89
Figura 39. Gráfica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos “arena bien graduada con limo (SW-SM)” – con valores máximos, promedios y mínimos.....	90
Figura 40. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena bien graduada con limo (SW-SM)” – con valores mínimos.....	91
Figura 41. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena bien graduada con limo (SW-SM)” – con valores máximos.....	91
Figura 42. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena bien graduada con limo (SW-SM)” – con valores promedio.....	92
Figura 43. Gráfica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos “arena limosa pobremente graduada (SP-SM)” – con valores máximos, promedios y mínimos.....	93
Figura 44. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena limosa pobremente graduada (SP-SM)” – con valores mínimos.....	94
Figura 45. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena limosa pobremente graduada (SP-SM)” – con valores máximos.....	94
Figura 46. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena limosa pobremente graduada (SP-SM)” – con valores promedio.....	95
Figura 47. Gráfica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos “arena limo arcillosa (SC-SM)” – con valores máximos, promedios y mínimos.....	96
Figura 48. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena limo arcillosa (SC-SM)” – con valores mínimos.....	97
Figura 49. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena limo arcillosa (SC-SM)” – con valores máximos.....	97
Figura 50. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena limo arcillosa (SC-SM)” – con valores promedio.....	98
Figura 51. Gráfica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos “arena pobremente graduada (SP)” – con valores máximos, promedios y mínimos.....	99
Figura 52. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena pobremente graduada (SP)” – con valores mínimos.....	100

Figura 53. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena pobremente graduada (SP)” – con valores máximos.	100
Figura 54. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena pobremente graduada (SP)” – con valores promedio.....	101
Figura 55. Gráfica de las “curvas de compactación” para la categoría de suelos “gravosos (G)” – con valores máximos, promedios y mínimos.....	102
Figura 56. Gráfica de la “curva de compactación” para la categoría de suelos “gravosos (G)” – con valores mínimos.	104
Figura 57. Gráfica de la “curva de compactación” para la categoría de suelos “gravosos (G)” – con valores máximos.....	104
Figura 58. Gráfica de la “curva de compactación” para la categoría de suelos “gravosos (G)” – con valores promedio.....	105
Figura 59. Gráfica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos “grava arcillosa (GC)” – con valores máximos, promedios y mínimos.....	106
Figura 60. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava arcillosa (GC)” – con valores mínimos.	107
Figura 61. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava arcillosa (GC)” – con valores máximos.	107
Figura 62. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava arcillosa (GC)” – con valores promedio.....	108
Figura 63. Gráfica de las “curvas de compactación” de la subdivisión de suelos “arena limosa (GM)” – con valores máximos, promedios y mínimos.	109
Figura 64. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava limosa (GM)” – con valores mínimos.	110
Figura 65. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava limosa (GM) – con valores máximos.	110
Figura 66. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava limosa (GC)” – con valores promedio.....	111
Figura 67. Gráfica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos “grava arcillosa bien graduada (GW-GC)” – con valores máximos, promedios y mínimos.	112
Figura 68. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava arcillosa bien graduada (GW-GC)” – con valores mínimos.....	113
Figura 69. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava arcillosa bien graduada (GW-GC)” – con valores máximos.....	113
Figura 70. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava arcillosa bien graduada (GW-GC)” – con valores promedio.	114

Figura 71. Gráfica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos “grava limosa bien graduada (GW-GM)” – con valores máximos, promedios y mínimos.	115
Figura 72. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava limosa bien graduada (GW-GM)” – con valores mínimos.....	116
Figura 73. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava limosa bien graduada (GW-GM)” – con valores máximos.....	116
Figura 74. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava limosa bien graduada (GW-GC)” – con valores promedio.	117
Figura 75. Gráfica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos “grava limo arcillosa con arena (GC-GM)” – con valores máximos, promedios y mínimos.	118
Figura 76. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava limo arcillosa con arena (GC-GM)” – con valores mínimos.	119
Figura 77. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava limo arcillosa con arena (GC-GM)” – con valores máximos.....	119
Figura 78. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava limo arcillosa con arena (GC-GM)” – con valores promedio.....	120
Figura 79. Gráfica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos “grava limosa pobremente graduada (GP-GM)” – con valores máximos, promedios y mínimos.	121
Figura 80. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava limosa pobremente graduada (GP-GM)” – con valores mínimos.	122
Figura 81. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava limosa pobremente graduada (GP-GM)” – con valores máximos.	122
Figura 82. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava limosa pobremente graduada (GP-GM)” – con valores promedio.....	123
Figura 83. Gráfica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos “grava bien graduada (GW)” – con valores máximos, promedios y mínimos.....	124
Figura 84. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava bien graduada (GW)” – con valores mínimos.	125
Figura 85. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava bien graduada (GW)” – con valores máximos.....	125
Figura 86. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava bien graduada (GW)” – con valores promedio.....	126

Figura 87. Gráfica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos “grava arcillosa pobremente graduada (GP-GC)” – con valores máximos, promedios y mínimos.	127
Figura 88. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava arcillosa pobremente graduada (GP-GC)” – con valores mínimos.	128
Figura 89. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava arcillosa pobremente graduada (GP-GC)” – con valores máximos.	128
Figura 90. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava arcillosa pobremente graduada (GP-GC)” – con valores promedio.	129
Figura 91. Gráfica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos “grava pobremente graduada (GP)” – con valores máximos, promedios y mínimos.	130
Figura 92. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava pobremente graduada (GP)” – con valores mínimos.	131
Figura 93. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava pobremente graduada (GP)” – con valores máximos.	131
Figura 94. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava pobremente graduada (GP)” – con valores promedio.	132
Figura 95. Gráfica de las “curvas de compactación” para las categorías de suelos “gravosos (G), arenosos (S) y finos (C, M)” – con valores mínimos obtenidos.	133
Figura 96. Gráfica de las “curvas de compactación” para las categorías de suelos “gravosos (G), arenosos (S) y finos (C y M)” – con valores máximos.	134
Figura 97. Gráfica de las “curvas de compactación” para las categorías de suelos “gravosos (G), arenosos (S) y finos (C y L)” – con valores promedio.	135
Figura 98. Gráfica de las “curvas de compactación” para las categorías de suelos “gravosos (G), arenosos (S) y finos (C y M)” – con valores máximos, promedios y mínimos.	136
Figura 99. Gráfica de barras de los valores de “máxima densidad seca” sin corregir, con los valores mínimos, promedios y máximos para todas las categorías de suelos.	138
Figura 100. Gráfica de barras de los valores de “máxima densidad seca corregida”, con los valores mínimos, promedios y máximos para todas las categorías de suelos.	138
Figura 101. Gráfico de barras del óptimo contenido de humedad sin corregir en porcentaje para cada valor de la “máxima densidad seca” sin corregir (mínimo, promedio y máximo), para todas las categorías de suelos.	139

Figura 102. Gráfico de barras del óptimo contenido de humedad corregido en porcentaje para cada valor de la “máxima densidad seca corregida” (mínimo, promedio y máximo), para todas las categorías de suelos. 139

RESUMEN

La investigación ha abordado la incorporación de las “curvas de compactación” de suelos gravosos en la “teoría de compactación” que propuso Braja Das, que si bien permitió estudiar el comportamiento de los suelos finos, dejó un vacío al no incorporar esta categoría de suelos por falta de ensayos de laboratorio.

De allí que se propone como objetivo agregar la categoría de suelo gravoso y validar las demás categorías de los suelos existentes en nuestro ámbito. El marco teórico se constituyó en función de las variables obtenidas de la matriz de operacionalización, concierne a una investigación aplicada - descriptiva con propuesta, utilizando el diseño simple no experimental. Los instrumentos utilizados fueron resultados de ensayos de laboratorio de mecánica de suelos de humedad, granulometría, límites de consistencia, peso específico y Próctor validados por expertos – especialistas en el ámbito, alcanzando una confiabilidad de 0.90 de Cronbach. La muestra de estudio lo constituyen 996 ensayos de suelos. Se encontró resultados de todas las categorías de suelos según la clasificación SUCS. Los resultados más notables fueron la obtención de las “curvas de compactación” para cada categoría existente en nuestro medio incluyendo la mayoría de curvas de cada subdivisión.

Se concluye estableciendo los rangos de densidad con respecto a la humedad tanto para suelos gravosos, arenosos y finos; se propone una cartilla de máximas densidades secas vs categoría de suelos.

Palabras clave: curva de compactación, máxima densidad seca, óptimo contenido de humedad, categoría de suelos

ABSTRACT

The research has focused on the incorporation of the "compaction curves" of soils with a predominance of gravels in the "compaction theory" proposed by Braja Das, which allowed studying the behavior of fine soils but left a gap for not incorporating this Soil category due to lack of laboratory tests.

Therefore, it is proposed to add the category of gravel soil and validate the other soil categories in our region. The theoretical framework was constituted according to the variables obtained from the operationalization matrix, it refers to an applied-descriptive research with proposal, using a simple non-experimental design. The instruments used were the results of laboratory tests of soil mechanics of moisture, granulometry, limits of consistency, specific weight and Protor validated by experts - specialists in the field, reaching a reliability of 0.90 of Cronbach. The study sample is made up of 996 soil tests. Results were found for all soil categories according to the SUCS classification. The most notable results were the obtaining of the "compaction curves" for each existing category in our environment, including most of the curves of each subdivision.

It is concluded establishing the density ranges with respect to humidity for gravel, sand and fine soils; And we propose a table of maximum dry densities vs. soil category.

Key words: compaction curve, maximum dry density, optimum moisture content, soil category

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

1 INTRODUCCIÓN

Para el desarrollo de la Ingeniería de Cimentaciones, la Mecánica de Suelos debe tener en cuenta que el primer problema a atender involucra las cargas impuestas a la capa superficial y sub superficial del suelos, a fin de dotar a las edificaciones el equilibrio necesario para que mantengan estabilidad y garanticen la funcionabilidad de la obra o proyecto, teniendo en cuenta que todas las obras de la Ingeniería Civil, se apoyan en el suelo de una u otra forma; además también se utiliza el suelo como un elemento para la construcción de terraplenes, diques, rellenos en general, por lo tanto el comportamiento de las estructuras estarán determinados entre otros factores por el desempeño del material donde se “asienten” considerando las profundidades de influencia de los esfuerzos que se generen dentro del suelo natural, o por el material de relleno utilizado cuando se encuentre una “fundación” inestable.

En el caso en que se superara los límites de la capacidad de resistencia del suelo y como consecuencia las deformaciones son considerables se podrían someter a esfuerzos no considerados en los cálculos durante el diseño a los elementos estructurales que en casos extremos podría representar el colapso de la estructura.

Por lo tanto la correcta obtención de los parámetros físicos y mecánicos del suelo desde la perspectiva de las cimentaciones, o como elemento de soporte y finalmente como elemento de construcción que actúa como transición con la estructura, se torna entonces de vital importancia, donde el proceso debe ser cuidadosamente observado indiscutiblemente a través de un correcto “estudio de mecánica de suelos” o investigación geotécnica.

Actualmente en el ámbito nacional se cuenta con Laboratorios de Mecánica de Suelos que brindan el servicio de ejecución de ensayos, cuyos resultados permiten tomar decisiones ingenieriles desde la etapa de prospección del subsuelo, el desarrollo de la ingeniería de diseño del proyecto hasta la etapa constructiva y entrega de obra. Sin embargo, en la práctica sobre todo, cuando se trata de proyectos pequeños “fundados” sobre suelos normales a simple vista o con base en datos estadísticos existentes o con base en experiencias locales la práctica

constructiva obvia este proceso agravándose el hecho cuando se tratan de suelos dudosos que no cuentan con resultados de ensayos de laboratorio.

Cuando se trata se estructuras de mediana y gran importancia lo tratado anteriormente se torna crítico, debido a que alguna desviación en la obtención de los resultados físicos y mecánicos de los suelos, redundará a su vez en estrategias ingenieriles no acorde con las propiedades reales del subsuelo. Esta práctica es muy similar a cuando aún no se desarrollada la Mecánica de Suelos Aplicada y los problemas de este tipo se resolvían en forma intuitiva o por tanteos, sin embargo, a partir de las contribuciones científicas logradas ha hecho posible predecir el comportamiento muy aproximado del suelo-estructura con base en las propiedades de los materiales constitutivos del subsuelo.

Desde la praxis de la Ingeniería Geotécnica, la clasificación de los tipos de suelos es compleja, se requiere determinar las partículas existentes en el suelo que se realiza en función de diversos ensayos, que aportan, la información necesaria sobre las características de las partículas que componen el suelo, su tamaño y el patrón de disposición y la predominancia de material gravosos, arenoso o fino (arcillas y limos). Para nuestro país y países de la región se usa el sistema de clasificación (SUCS) que es el más común.

En el SUCS las gravas y arenas están clasificadas de acuerdo al tamaño del grano y su distribución. Para las partículas llamados “suelos finos” se clasifican también en base al tamaño de sus partículas pero además en función de sus límites de consistencia como son el “límite líquido y el límite plástico” que indican la moldeabilidad del suelo. Con la diferencia de ambos se obtiene el índice de plasticidad que es un indicador de cuánta agua puede absorber el suelo. Este valor conjuntamente con el “límite líquido” permite de acuerdo a la gráfica de plasticidad separar las arcillas de los limos.

En este contexto tampoco existen estudios del Peso Unitario Seco Compactado o de la Máxima Densidad Seca que permitan establecer rangos para los suelos con predominancia gravosa, arenosa y fina; que facilite el manejo de la compactación de suelos en los rellenos de base para las distintas obras de la Ingeniería Civil.

1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA

A partir de los grandes proyectos de obras civiles, carreteras y mineros en los andes del Perú, que involucran “movimientos de tierras” para casi la totalidad de las obras que de una u otra manera son estrictamente necesarias para la actividad, ha requerido también que para cada obra que se realiza se hayan realizado ensayos de “laboratorio de mecánica de suelos” para el respectivo control de las compactaciones que requieren los “rellenos” que permanentemente (a diario) se construyen; como resultados de los ensayos de “laboratorio de mecánica de suelos” se han obtenido resultados que abarcan suelos con predominancia en los tres tipos de partículas (gravas, arenas y finos). Estas categorías de clases de suelos obtenidos se contemplan en el SUCS (“sistema unificado de clasificación de suelos”).

Habiendo revisado la “Teoría de Compactación de Suelos planteado por Braja M. Das se puede apreciar que la gráfica que resume las “curvas de compactación” obtenidas a partir de 37 ensayos realizados en la época, estos resultados muestran que no se cuenta con los suelos gravosos en la tipificación de las “curvas de compactación” planteados.

En nuestro medio teniendo los resultados de ensayos de compactación realizados por los laboratorios de mecánica de suelos, representan una gran oportunidad para incorporar y actualizar las curvas utilizadas por Braja Das quien en su teoría de compactación antes descrita no consideró a los suelos gravosos.

De allí, se identifica la necesidad de establecer rangos estadísticos en función a la Máxima Densidad Seca Compactada y el Optimo Contenido de Humedad para los suelos gravosos, arenosos y finos (arcillosos y limosos) e incorporar estas curvas, a la teoría compactación de suelos planteada por Braja M. Das.

1.2 TRABAJOS PREVIOS

1.2.1 Antecedente Mundial

Juárez Eulalio (2005, p.30), señala que “también, dada la infinita variedad de los suelos con que el ingeniero se ve obligado a tratar, cualquier intento de sistematizar

su estudio debe ir acompañado de la necesidad de establecer sistemas apropiados de clasificación”.

El autor refiere la problemática existente antes de la creación del sistema de clasificación SUCS, donde el manejo técnico de los suelos era hasta cierto punto empírico y sin ningún ordenamiento sistemático de las clases y categorías de los suelos.

La diversidad de clases y tipos existentes de suelos presentes en la naturaleza creaban la necesidad de un manejo apropiado para cada clase y un sistema que prestara orden dada la variabilidad con que se encontraban en la naturaleza.

La ciencia de los suelos desarrolló diversos sistemas en base a la coloración, textura y otros parámetros hasta cierto punto antojadizos, hasta que llegaron a relacionar las propiedades mecánicas que resultaron ser muy acogidas por los técnicos y profesionales del rubro.

El autor describe con muy buen acierto como se fue desarrollando en el tiempo y de acuerdo a las necesidades actuales, el “sistema de clasificación de suelos”, siguiendo etapas en que la clasificación debió sistematizarse hasta alcanzar la que se usa en la actualidad.

Juárez continúa puntualizando “el Dr, Arturo Casagrande, que en la Universidad de Harvard dirigió la tarea de erigir un sistema fundado en las características de plasticidad de los suelos finos que, puede decirse sin exageración, debería ser el único utilizado por los técnicos de hoy; este sistema, denominado en principio de Clasificación de Aeropuertos y hoy Sistema Unificado (SUCS), que ofrece la tremenda ventaja donde la plasticidad, es una propiedad fácilmente relacionable en forma cuantitativa con otras como la compresibilidad, la permeabilidad, la resistencia del suelo, la velocidad de variación de volumen, todas fundamentales para normar el criterio del ingeniero”

El autor enfatiza el sistema clasificatorio logrado por Casagrande quien al relacionar el índice de plasticidad con el “límite plástico” pudo determinar la relación cuantitativa del material plástico y no plástico de la fracción fina de los suelos con

otras características físicas y mecánicas de los suelos que pudo separar en dos categorías los suelos finos.

Asimismo refiere que una vez alcanzada esta etapa actualizada de clasificación de suelos, se ha convertido en el método usado por excelencia en esta parte del mundo (occidente), debemos destacar el valor de investigar la mecánica de los suelos para el trabajo del Ingeniero Civil que incluso llega a orientar su “actitud” debido a que le brinda seguridad, el conocimiento inicial de los materiales con los que está tratando, convirtiéndose de este modo en un punto crítico, todo el proceso de caracterizar el suelo, desde la etapa de muestreo hasta la obtención de los resultados en el laboratorio.

Crespo Carlos (1976-1980, p.99), afirma “la compactación de suelos como medio para aumentar la resistencia y disminuir la compresibilidad de los mismos, no fue reconocida ampliamente sino hasta la aparición del rodillo pata de cabra en 1906; sin embargo fue hasta 1933, año en el que Próctor publicó sus investigaciones sobre este tema, cuando se conocieron los factores que intervienen en la compactación; encontró que aplicando a un suelo cierta energía para compactarlo, el peso volumétrico obtenido varía con el contenido de humedad según una curva, en la que se puede observar la existencia de un grado de humedad con el cual se obtiene el peso volumétrico máximo para ese suelo y esa energía de compactación”.

El autor destaca el indudable aporte de “R. R. Próctor” con su ensayo de compactación cuyo fin en un inicio se orientó a buscar métodos que permitan en campo aumentar la resistencia de los suelos con fines ingenieriles. Y fue hasta el año 1933, recién, en que se llegó a determinar el proceso de la compactación, el comportamiento del suelo cuando se interrelaciona la densidad respecto a la humedad ante una determinada aplicación de energía.

Se puede deducir entonces que el hombre ha buscado en forma permanente mejorar su calidad de vida asegurando de uno u otro modo a su vez la vida útil de sus edificaciones ya que con esto optimizaba los costos de reparaciones, de volver a construir pero sobre todo alargaba la vida de sus construcciones.

El autor continúa manifestando que “buscando una prueba de laboratorio que igualara los resultados obtenidos en el campo con los diferentes equipos de compactación disponibles en esa época, Próctor propuso la prueba de compactación en laboratorio que hoy lleva su nombre: Prueba de Próctor”

El autor refiere el método de la prueba original de Próctor, que consistió en colocar tres capas iguales de suelo humedecido en un cilindro con un volumen de 1/30 pie cúbico y aplicarle 25 golpes a cada capa con un pisón de 2.5 kg (5.5 lb) de peso, desde una altura de 30 cm hasta obtener una masa densa del suelo dentro del molde.

En este método original del ensayo propuesto por Próctor el autor señala que el volumen del molde en que se comenzó a determinar en laboratorio el ensayo de compactación, en las etapas iniciales del desarrollo del método; que a la larga, significó prácticas modernas con las que se aseguraba un mejor comportamiento de la estructura en base a una mayor resistencia del suelo.

“Posteriormente se han establecido diferentes normas para ejecutar la prueba de compactación dinámica variando el número de golpes, el número de capas de suelo colocado en su interior, la altura de caída del pisón; la introducción de tales modificaciones ha dado como resultado que se obtengan diferentes pesos volumétricos máximos y humedades óptimas, según la energía por unidad de volumen de suelo compactado empleada en cada norma”, señala finalmente Crespo Carlos (1975-1980, p.99).

Se explica entonces de este modo como el ensayo de compactación de suelos en el laboratorio se ha implementado y mejorado a partir de la prueba original de Próctor, en condiciones de mayor requerimiento de peso volumétrico según la necesidad de la construcción, desarrollando el método de próctor modificado que actualmente se usa.

Para llegar a la prueba normalizada que se usa en la actualidad, se han tenido que introducir diversos cambios en la metodología original propuesta por Próctor, mediante la variación de golpes, capas y otras innovaciones hasta obtener un método regulado por norma para llevar a cabo la prueba en el laboratorio.

Narsilio Guillermo (2010, p.16), manifiesta en el resumen y recomendaciones de la investigación titulada “Clasificación de suelos: Fundamento físico, prácticas actuales y recomendaciones” que, “los suelos están formados por partículas sólidas; el “sistema unificado de clasificación de suelos”, intenta categorizar los suelos según su comportamiento; los fundamentos físicos que dan sustento al SUCS no proveen información que hoy se reconoce de mucha importancia como: geometría de los granos, superficie específica, rigidez, diagénesis, densidad in situ y grado de saturación”.

Narsilio declara enfáticamente que la debilidad de un “sistema de clasificación de suelos” como el SUCS sólo contempla características físicas y mecánicas; y que se requieren de otros ensayos especiales la determinación de características también especiales y que revisten importancia.

Resalta además la importancia de realizar ensayos complementarios a la clasificación de suelos debido al comportamiento complejo de los mismos y como el entendimiento actual de este comportamiento ha evolucionado con la realización de ensayos especializados.

Aun cuando el sistema clasificatorio no provee toda la información de la caracterización de un suelo, sin embargo, no deja de representar una herramienta fundamental la clasificación unificada de suelos, siendo el primer eslabón en la caracterización de los suelos con propósitos de cimentación.

Determinar la categoría o clase a la que corresponde un suelo representa el punto de partida para asumir en forma muy cercana las demás características inherentes a un tipo de suelo que se han ido confirmando con las investigaciones recientes en el rubro.

Hernández Juan (2012, p.56), en la investigación que realizó denominada “Estudio y Caracterización de Suelos Dispersivos” concluye que “los problemas que se presentan en estructuras de tierra en el mundo debido a la erosión de arcillas dispersivas, datan de alrededor de 50 años”.

Con el enunciado anterior se expone los problemas complejos que representa el manejo de suelos arcillosos debido a su comportamiento erosivo sobre todo ante la presencia de agua.

Determina que cuando se trabaje con arcillas dispersivas se hace necesario definir métodos que identifiquen y clasifiquen apropiadamente este tipo de materiales considerados como “problema” en la Ingeniería Geotécnica, debido a la naturaleza dispersiva, erosiva, expansiva con la que se comportan este tipo de suelos ante sollicitaciones de carga y en presencia de agua.

1.2.2 Antecedente Nacional

Garay Hilda y Alva Jorge (1999 p.01), realizaron la investigación “Identificación y ensayos en suelos dispersivos” en este artículo los autores refieren que “en el pasado, los suelos arcillosos fueron considerados altamente resistentes a la erosión al fluir el agua, pero en los últimos años tiende a ser más claramente sobreentendido que en la naturaleza existen ciertas arcillas que son altamente erosionables, formados por arcillas dispersivas; que no pueden ser identificados con una clasificación visual del suelo o con índice de normas de ensayos, como el análisis granulométrico o los límites de Atterberg, por lo tanto han sido ideados otros ensayos; las arcillas deben ser ensayadas por sus características dispersivas como un procedimiento de rutina, durante los estudios para presas de tierra y otras estructuras hidráulicas en las cuales éstas puedan ser empleadas”.

Los autores establecen que las arcillas dispersivas son parte de los suelos naturales de nuestro país y donde no haya otra disponibilidad de canteras de suelos con características diferentes no hay opción que utilizarlos para la construcción de obras, por ende se debe determinar primero sus características dispersoras.

Exponen que los ensayos de categorización que normalmente se usan para tal motivo resultan a veces insuficientes para sistematizar convenientemente otras características mecánicas de las arcillas que no sean su granulometría, siendo complicado determinarlas.

Detallan la complejidad de los ensayos a realizar para determinar su dispersabilidad y poder elaborar estrategias que permitan controlar el

comportamiento indeseado, sin embargo la identificación de este tipo de suelos “dispersivos” de igual manera se inicia primero con la definición de su categoría.

1.2.3 Antecedente Local

Atala Augusto (2011, p.120), quién realizó la tesis denominada “Estudio experimental sobre correlaciones en suelos granulares finos (arenas) compactados, usando equipos de penetración” para obtener el grado de Maestro en Ciencias y habiendo obtenido el resultado de la prueba de próctor modificado en arenas finas no cohesivas llevada a cabo en la investigación describe “en el caso de la presente investigación, considerando el caso de la densidad alcanzada al 100% de la Máxima Densidad Seca del Próctor Modificado ($D_r=69.3\%$) con una densidad seca promedio de 1.643 gr/cm^3 y óptimo contenido de humedad de 6% ”.

Establece el autor en este caso en particular, en un suelo con un contenido predominante de arenas, el valor de su Máxima Densidad Seca Compactada con respecto a su óptimo contenido de humedad, donde se puede ir ya verificando los valores alcanzados tanto de la densidad seca compactada y del contenido de humedad requerido para los suelos con predominancia en arenas.

El valor de la Máxima Densidad Seca obtenida sin la corrección del próctor por grava, nos da una idea del valor a obtener de la Máxima Densidad Seca Corregida por el contenido de la fracción gravosa presente en la muestra en caso esta supere el 5% del peso total de la muestra y nos va descubriendo el rango en que se ajustaría este valor y por ende el rango de la densidad para esta categoría de suelo.

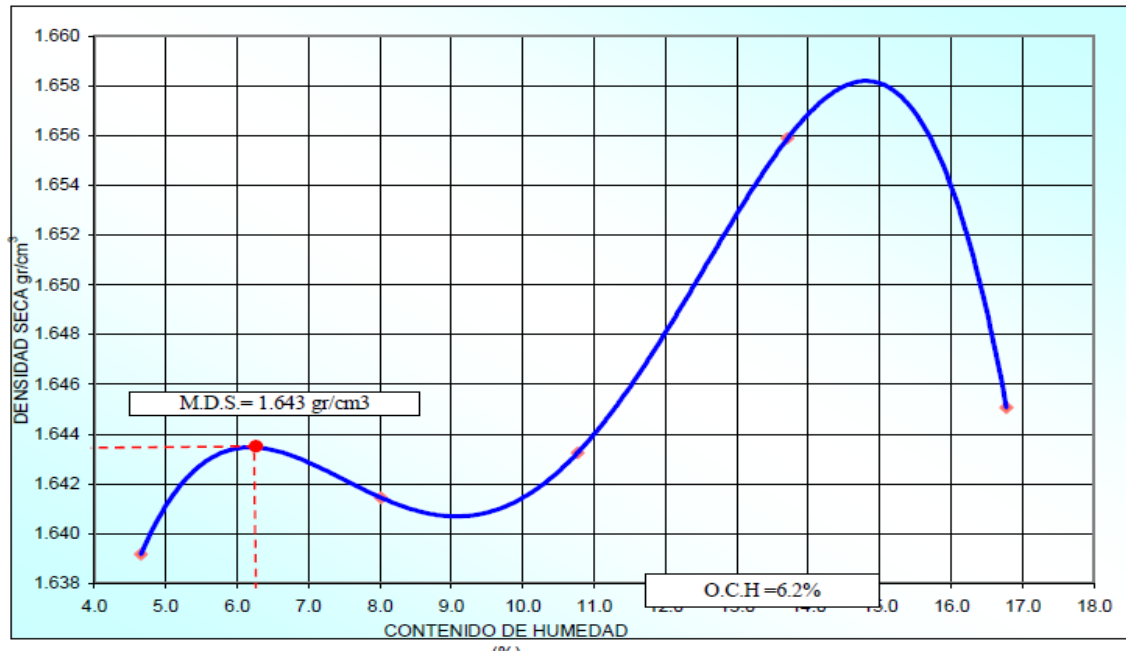


Figura 1. Gráfica del ensayo Próctor Modificado según ASTM D-1557 realizado con motivo de la Tesis.

Fuente: Tomada de ensayo próctor de laboratorio - CAA Ingenieros Consultores EIRL

1.3 TEORÍAS RELACIONADAS AL TEMA

1.3.1 Los ensayos de laboratorio de Mecánica de Suelos

Muelas Angel (1999, p.43-44), manifiesta en su “Manual de Mecánica de Suelos y Cimentaciones” que “los ensayos de laboratorio constituyen hoy la herramienta principal para el estudio de las características geotécnicas del terreno, rara vez será posible un estudio geotécnico correcto que no incluya ensayos de laboratorio, para definir la naturaleza del suelo, esto es, su composición granulométrica y mineralogía, sus propiedades índice; existen otros ensayos de laboratorio especialmente destinados al estudio de la resistencia, de la deformabilidad y de la permeabilidad”.

Los estudios de la mecánica de los suelos permiten predecir su comportamiento de acuerdo a cada tipo de suelo y cuantificar los parámetros requeridos para el diseño de cimentaciones las que variarán de acuerdo a la categoría de suelo que se disponga en campo o permitirán establecer estrategias para el manejo correcto de las estrategias de mejoramiento o reemplazo.

En definitiva la importancia de realizar ensayos de “laboratorio de mecánica de suelos” con propósitos de estudio es realmente crítico y esto lo destaca el autor que además menciona la existencia de diversos ensayos para obtener los diferentes parámetros y propiedades de los suelos.

Nuestra norma nacional de construcciones lo incorpora, establece y reglamenta; de tal manera que de acuerdo a nuestra normatividad existen una serie de requisitos de estos estudios con fines de cimentación con la finalidad de asegurar que las edificaciones sean estables. Por lo tanto el requerimiento de los ensayos de suelos en laboratorio ya no sólo pasa por la decisión del ingeniero sino que constituye un requisito legal.

El autor continúa detallando que “estos ensayos se pueden realizar con muestras alteradas o inalteradas, en cualquier caso exigen desmenuzar previamente la muestra, con los dos primeros ensayos (granulometría y límites de Atterberg) es posible clasificar a los suelos dentro de tipos cuyas características geotécnicas son similares, a estos efectos se recomienda utilizar el “Sistema Unificado de Clasificación de Suelos”, concluye Muelas Angel (1999, p.44).

En este manual que fue desarrollado para facilitar la enseñanza y el entendimiento de la Mecánica de Suelos para los alumnos que forman parte del programa de educación a distancia de la Universidad Nacional de Educación a Distancia de Colombia, se destaca la importancia y los métodos para obtener las variables del tipo y estado del suelo. Se puede advertir entonces que no solo en nuestro país está difundido el uso del “SUCS”, sino que en países vecinos también lo está y que la necesidad de realizar ensayos en los suelos de igual forma es una práctica ya establecida.

Asimismo para el caso que se disponga de muestras en cualquiera de sus formas en que se hayan colectado, debido a las condiciones de campo, para los ensayos de clasificación en el laboratorio, en ambos casos se debe disgregar esto por un correcto cuarteo de la muestra de ser el caso o para el correcto tamizado a través de las mallas que implica el desarrollo del ensayo granulométrico y de plasticidad.

1.3.2 El Perfil Granulométrico de los Suelos

Rodríguez Jesús (2014, p.16), realizó la investigación “Estudio de Calidad Petrología de Gravas en el banco de material km 9 (El Pueblito)” donde destaca que “se interpreta a la granulometría como la propiedad que tienen los suelos de mostrar diferentes tamaños en su composición (Badillo & Rodríguez, 1969), mencionan que es la determinación de los tamaños de las partículas de una cantidad de muestra de suelo, y aunque no es de utilidad por sí solo, se emplea junto con otras propiedades del suelo para clasificarlo, a la vez que nos da una idea en general de su comportamiento ingenieril”.

La obtención del perfil granulométrico de un suelo se inicia en realizar el ensayo de granulometría que de por sí ya nos permite dar inicio a la clasificación del suelo, sin embargo se requiere complementar con los ensayos de Límites de Consistencia para concluir la clasificación. Pero obtener las dimensiones de las partículas que contiene un suelo nos da una clara idea de su probable clasificación ya que el predominio de una de estas partículas sitúa el perfil de su granulometría.

Al referirse a la que en combinación con otras propiedades el autor refiere a la necesidad de realizar ensayos complementarios que permitan ampliar el conocimiento del material y su probable comportamiento para el manejo del suelo en las prácticas constructivas propias de la ingeniería de la construcción.

Bohl Alejandro (2006, p.33-34), realizó la Investigación “Determinación de los Factores de Reducción de Capacidad de Suelos y su Aplicación en el Diseño Geotécnico” y concluye que “se obtiene factores de reducción de capacidad de suelos al dividir los suelos en tres grupos: los suelos que no tienen cohesión, los suelos con cohesión y ángulo de fricción interna menos o igual a 27° y los suelos con cohesión y un ángulo de fricción interna mayor a 27° , de las tres características geomecánicas evaluadas en este trabajo se encontró que la cohesión es la característica que presenta mayor variabilidad y el peso específico es el que muestra la menor variabilidad, el criterio que se usa para decidir el valor que se considera como representativo de las características generales de suelo y que será utilizado en los cálculos tiene una gran importancia en el diseño de las

cimentaciones, ya que una mala decisión en esta etapa puede llevar a sobreestimar o subestimar demasiado la capacidad del suelo”.

El autor con esto concluye y destaca la gran importancia de obtener un correcto perfil granulométrico de los suelos finos ya que de haber errores en la determinación de los parámetros físicos, mecánicos e hidráulicos de los suelos se pueden a su vez plantear criterios errados para decidir valores de resistencia representativos, que a la larga pueden traducirse en una interpretación desafortunada de los valores reales del suelo. Esto se condice debido a que la fuerza de cohesión está asociada a la presencia de suelos arcillosos y a la naturaleza química de la cual proviene, entonces una vez obtenido el perfil granulométrico nos permite desde ya tener una tipificación de base asociada a los parámetros de resistencia.

“En el presente estudio se obtuvieron tres muestras, para hacer su análisis granulométrico, así como también sus curvas granulométricas que indican de manera gráfica la distribución de las partículas encontradas de grava, arena; al contar con un 50 y 50% en gravas y arenas podemos concluir que el potencial del banco kilómetro 9 es bueno para ser aprovechado por su buena homogeneidad”, concluye Rodríguez Jesús (2014 p.46)

El autor destaca como en base al perfil granulométrico y la curva obtenida del material ensayado antes de la construcción en obra se puede lograr importantes conclusiones de la potencia para el aprovechamiento correcto de las materiales de canteras, pudiendo calificar incluso si el material es uniforme para ser explotado y utilizado en la construcción de obras civiles. Este ensayo de laboratorio es el punto de partida para la caracterización física y mecánica de un suelo, que permite determinar la predominancia de gravas, arenas o material fino dentro de un suelo.

1.3.3 Los Límites de Consistencia (Líquido y Plástico)

Rivas Diana (2010, p. 46), realizó la investigación para optar el grado de Magister en un tipo de suelo obtenido a partir de una roca metamórfica conocida como esquistos en la investigación denominada “Influencia de la Microestructura en el Comportamiento Dinámico de los Suelos Residuales en Esquistos en Sabaneta” y describe que “en la carta de plasticidad se observa que los suelos de perfiles de meteorización están localizados debajo de la línea A y que corresponden a suelos

residuales y son limos de alta plasticidad, mientras que para los suelos saprolito, son también limos que a diferencia de los anteriores son de baja plasticidad, esto indica que corresponden a dos suelos diferentes dentro del perfil de meteorización, y que el suelo residual tiene mayor presencia de minerales arcillosos”.

La determinación de los límites de consistencia (“límite líquido y límite plástico”) en una muestra de suelo permite concluir su clasificación. En la investigación realizada sin embargo se puede establecer la necesidad de usar no sólo razonablemente la carta de plasticidad para la clasificación de los suelos sino también aplicar evidencias obtenidas en campo en el momento de realizar el muestreo, por lo tanto no debe realizarse un muestreo meramente mecánico sino debe tenerse en cuenta que en esta etapa también es imprescindible recopilar información de la zona de muestreo, estado del suelo, verificar la humedad y todo dato que resulte de importancia para la determinación de los parámetros mecánicos y físicos de los suelos.

La autora concluye destacando así, la importancia de los ensayos de límites de consistencia y el uso de la cartilla de plasticidad que en base al “límite líquido” y el índice de plasticidad obtenido de los materiales utilizados en el estudio, nos permite obtener su clasificación; la cartilla permite establecer la diferencia entre las arcillas inorgánicas de los limos inorgánicos.

El “límite líquido” entonces se podría entender como la capacidad de los suelos finos de absorber agua en mayor o menor cantidad y el índice de plasticidad de los suelos finos nos permite determinar la facilidad de moldeo que permite la fracción fina de los suelos finos.

Quintana Enrique, (2005, p.273), que realizó la Tesis Doctoral titulada “Relación entre las propiedades geotécnicas y los componentes puzolánicos de los sedimentos pampeanos”, concluye luego de la investigación que “el análisis granulométrico reveló una gran homogeneidad con un 95.2% promedio de fracción inferior a las 74 micras, el análisis hidrométrico permitió identificar una fracción limosa predominante, con cantidades variables de arena y arcilla, la fracción arcillosa se encuentra escasamente representada, coincidiendo con la baja plasticidad de los sedimentos, los valores de plasticidad se analizaron sobre

muestras consideradas representativas de las capas identificadas, esta categorización implica que las condiciones de plasticidad y granulometría de los suelos son uniformes en todo el perfil”.

Destacando así, el uso del ensayo con hidrómetro con la finalidad de cuantificar la fracción limosa respecto a la fracción arcillosa, para lo cual este equipo es determinante en la aplicación de este ensayo. Se puede verificar que el criterio de clasificar el material fino presente en el suelo pasa siempre por el predominio de la fracción de los limos con respecto a la fracción de la arcilla o viceversa, que como en este caso la “arcilla” pasa desapercibida, sin embargo se suma también la poca “plasticidad” del material escogido para la investigación.

En las conclusiones hechas por el investigador se destaca la versatilidad del uso de los “ensayos de laboratorio de mecánica de suelos”, que incluso en estudios de materiales “puzolánicos” son fundamentales para determinar las propiedades granulométricas y plásticas de materiales naturales existentes de este tipo. Del mismo modo es importante destacar lo valioso de realizar un buen perfil estratigráfico cuando se realicen estudios de suelos en base a “calicatas a cielo abierto” ya que los ensayos permiten corroborar si el perfil determinado en la observación directa de la pared de la calicata coincide con lo descrito por el especialista.

Ochoa Alberto, (2013 p.11), desarrolló la Investigación que llevó por título “Identificación y Características Geotécnicas de los Depósitos de Suelos de la Ciudad de Veracruz” donde destaca que “la consistencia de los suelos finos se refiere al grado de adhesión entre las partículas del suelo y a la resistencia ofrecida contra las fuerzas que tienden a deformar o romper el suelo (Terzagui et al, 1996), los límites de Atterberg se basan en el concepto de que un suelo de grano fino solamente pueden existir cuatro estados de consistencia según su contenido de agua, así, un suelo se encuentra sólido cuando está seco, pasando, al añadir agua, a los estados semisólido, plástico y finalmente al líquido, los contenidos de humedad y los puntos de transición de unos estados a otros se denominan límite de contracción, “límite plástico” y “límite líquido” (Lambe, 1979), al rango entre el “límite líquido y el límite plástico” se le llama índice de plasticidad (IP) y representa

el intervalo de humedades para pasar del estado semisólido al líquido de un suelo (estado plástico)".

El autor nos describe los estados de "consistencia" de un suelo fino en relación con el "contenido de humedad" e indica los intervalos para pasar de un estado a otro. Pero la influencia del agua en los suelos ha representado siempre un problema en su estabilidad, fenómenos como la reptación ("creep"), que se producen en suelos arcillosos, blandos o alterados donde los procesos de humedecimiento y secado como resultado de fenómenos climáticos que provocan a su vez expansión y contracción contribuyen con este fenómeno, los que a su vez han provocado deslizamientos de grandes masas de suelo que afectan la estabilidad de taludes.

Por lo que estar al tanto la capacidad de un suelo de absorber el agua y comportarse plásticamente es fundamental para manejar los sistemas constructivos donde se tome o se descarte las prácticas de control de drenaje superficial y sub superficial. Por cierto para asumir estas prácticas no sólo depende de determinar los límites de consistencia de un suelo fino, se requieren de otro tipo de ensayos adicionales pero representan el punto de partida para decidir de antemano un buen programa de investigación con base en la mecánica de suelos.

"Los resultados de los ensayos límites se grafican en la carta de plasticidad donde el eje de las abscisas son los valores del límite líquido y las ordenadas el índice plástico, de esta manera se identifica la plasticidad del suelo fino y la clasificación del mismo" concluye Ochoa Alberto, (2013 p.11).

El autor nos muestra cómo se clasifica la fracción fina del suelo con la ayuda de la gráfica de la carta de plasticidad de Casagrande, pudiendo arribar a las diferencias entre las partículas arcillosas y las partículas limosas, pero sobre todo a determinar la plasticidad o compresibilidad del material fino.

El sistema SUCS, que como "sistema de clasificación de suelos", es muy utilizado por la ingeniería civil y la "geología para describir la textura y el tamaño de partículas contenidas en un suelo" y es muy utilizado para clasificar a materiales sin consolidar, representando esta clasificación con dos letras que corresponden a su símbolo genérico y a su símbolo por tipo de suelo.

Para poder clasificar a un suelo se debe realizar previamente el ensayo granulométrico por tamizado y luego de ser el caso determinar sus límites de consistencia (“límite líquido y límite plástico”). Si el suelo tiene entre 5-12% de finos pasantes de la malla de tamizado #200 se “considera ambas distribuciones de granos finos tienen un efecto significativo para las propiedades ingenieriles del material”. Por ejemplo se hablaría de gravas bien graduadas con limos ejemplo GW-GM.

1.3.4 Ensayo de Compactación Próctor en Laboratorio

Sagües Patricia (2007, p.01), realizó la investigación “Propiedades de los Suelos Compactados” y describe lo siguiente “El ensayo Próctor Estándar ó A.A.S.H.T.O. T99-61 (de la American Association of State Highway and Transportation Officials, ASTM D-698-00AE01) es un ensayo de compactación de laboratorio, en el que se aplica una energía de compactación dinámica similar a la que podría obtenerse con los equipos que había en el mercado en el año 1933, cuando el ensayo fue desarrollado, parte de la base, que el peso unitario de un suelo compactado depende de la humedad, la energía de compactación y el tipo de suelo; en un cilindro normalizado, de 1000 ml de volumen, se aplica una energía específica de compactación constante a tres capas de suelo (pasante por el tamiz N° 4) con un martillo normalizado de 25 KN a una altura de caída de 30 cm y 25 golpes por capa, una vez realizada la compactación se obtiene el peso unitario húmedo”.

La investigadora hace una remembranza de cómo en la década de los años ´30 y por los requerimientos de las prácticas constructivas se dio inicio al desarrollo de ensayos orientados a mejorar la resistencia de los suelos donde se tenía planeado cimentar las edificaciones, habiendo diversas propuestas para implementarlo, como las que dio inicio “Próctor” con un cilindro de 1000 ml.

“Con el avance de la técnica se desarrollaron mejores equipos de compactación, la reproducción de las condiciones del terreno en el laboratorio debió adaptarse, por lo que se creó el ensayo de Próctor Modificado que varía respecto del ensayo estándar en la cantidad de energía entregada, en el ensayo de próctor modificado, se emplean 05 capas de suelo, un martillo de 45.4 kN, una altura de caída de 45.7 cm y 25 golpes por capa, utilizando el mismo molde que en el ensayo “Próctor

Estándar”, pueden hacerse ensayos con diferentes energías específicas mediante la combinación de diferente cantidad de capas, la cantidad de golpes por capa o el tamaño del martillo”, puntualiza Sagües Patricia, (2007, p.01)

En el párrafo anterior la autora describe que aun cuando Próctor contribuyó con el ensayo de compactación, método estándar, sin embargo, debido a las condiciones de terreno y las necesidades de la construcción debió adaptarse nuevos métodos para llegar a método que se emplea ahora en los “laboratorios” en el mundo y termina detallando en forma acertada el ensayo.

El ensayo próctor de compactación en laboratorio permite determinar dentro del marco normalizado las densidades secas máximas corregidas en función a la energía de compactación que se aplique durante el ensayo y de acuerdo a la ASTM D-698 y D-1557 (estándar y modificado), en ambos métodos se requiere corregir el peso específico del agregado grueso por sobre tamaño y el contenido de humedad óptimo.

1.3.5 Las Gravas, Arenas y Materiales Finos (Arcillas y Limos)

Bañón Luis (2000 p.3), describe en su “Manual de Carreteras – Tomo II”, que los “Suelos Granulares, este tipo de suelos está formado por partículas agregadas y sin cohesión entre ellas dado el gran tamaño de las mismas, su origen obedece fundamentalmente a procesos de meteorización física: lajamiento, termoclastia, hialoclastia o fenómenos de hidratación física, el tipo de transporte condiciona en buena medida sus características granulométricas, así, un suelo de origen eólico presentará un tamaño uniforme de sus partículas; si el transporte es fluvial, presentará una granulometría progresiva en función de la energía del medio; por el contrario, las características principales de este tipo de suelos son su buena capacidad portante y su elevada permeabilidad”.

En esta primera parte el autor describe a la formación de las partículas del suelo, que a decir de muchos autores se forman por el proceso de meteorización e intemperismo que sufren las rocas, que son sometidas a procesos naturales de descomposición química y desintegración física y por ende meteorización mecánica; en estos procesos donde la roca se fragmenta, se descompone y cambia

químicamente, el intemperismo por su parte somete a erosión mecánica a los fragmentos, formándose la fracción gravosa del suelo.

“Dentro de esta clase de suelos se distinguen dos grandes grupos; el de las gravas y el de las arenas, el límite entre ambos grupos viene dado por su granulometría, considerándose arena la fracción de suelo de tamaño inferior a 2 mm, dentro de esta clasificación pueden establecerse otras subdivisiones, las características mecánicas resistente de los suelos granulares vienen en buena parte determinadas por el ángulo de rozamiento interno entre partículas, así como por su módulo de compresibilidad”, puntualiza Bañón Luis, (2000, p.3).

Para obtener una correcta clasificación del suelo es muy importante saber elegir una buena muestra, de tal manera que sea representativa del material a utilizar, para este propósito existen una serie de técnicas que permiten llevarlo a cabo, sin embargo si el suelo cambiara ostensiblemente es preferible realizar un nuevo muestreo, de tal manera que cada estrato o cantera sea caracterizada adecuadamente y se tengan los correctos parámetros de resistencia que caracterizan a cada tipo de suelo, como en el caso de lo descrito anteriormente por el autor que resalta las propiedades “mecánicas resistentes” de los suelos granulares.

Los “Suelos Cohesivos a diferencia de los anteriores, esta categoría de suelos se caracteriza por un tamaño más fino de sus partículas constituyentes (inferior a 0.08 mm.), lo que les confiere unas propiedades de superficie ciertamente importantes, esto se debe a que la superficie específica – relación entre la superficie y el volumen de un cuerpo – de dichas partículas es más que considerable, la cohesión es la principal propiedad desde el punto de vista mecánico de este tipo de suelos; se define como la fuerza inter-particular producida por el agua de constitución del suelo, siempre y cuando este no esté saturado, la cohesión es importante desde el punto de vista de la estabilidad de taludes, ya que aumenta la resistencia de un suelo frente a esfuerzos cortantes o de cizalla” continúa puntualizando Bañón Luis, (2000 p.4).

Si bien “Bañón” establece la diferencia de los suelos finos respecto a los suelos granulares, debemos considerar que la particularidad de las arcillas es que se

pueden adherir a sí mismas lo que les confiere la fuerza de cohesión y esta fuerza se puede aprovechar en las obras de construcción siempre y cuando se controlen los factores que podrían afectarla, ya que para un determinado estado de humedad, las partículas más “finas” muestran una cohesión aparente que desaparece al alterar el contenido de agua; por ello es importante señalar que estos suelos requieren a cargo de una persona competente de una verificación exhaustiva y permanente en obra, que monitoree las condiciones del subsuelo y si se detectara algún cambio establecer las acciones que eliminen cualquier tipo de peligro potencial.

La evaluación de los suelos arcillosos “in situ” se puede realizar con las pruebas de comprobación de la plasticidad de los suelos, la prueba del pulgar o la prueba del penetrómetro de bolsillo acompañado de la inspección visual ya descrita para lograr mejores resultados.

“Dentro de los suelos cohesivos también puede establecerse una subdivisión de dos grandes grupos; los limos – de origen físico – formados por partículas de grano muy fino (entre 0.02 y 0.002 mm.), y las arcillas, compuestas por un agregado de partículas microscópicas procedentes de la meteorización química de las rocas; lo que realmente diferencia a los limos de las arcillas son sus propiedades plásticas; mientras que los primeros son partículas finísimas de comportamiento inerte frente al agua, las arcillas – debido a la forma lajosa de sus granos y a su reducido tamaño – acentúan los fenómenos de superficie, causa principal de su comportamiento plástico”, señala Bañón Luis, (2000, p.4).

Como se ha podido establecer en lo descrito por Braja M. Das, el “tipo de suelo”, el “perfil granulométrico”, “la forma de los gránulos”, la “densidad de sólidos” y “el tipo de minerales presentes en las arcillas” tienen un efecto directo en el peso específico del suelo y de allí plantea esta teoría; en la que se puede verificar que no hay aplicación directa para los suelos andinos “gruesos” de nuestro país ya que no figuran los suelos con predominancia de gravas.

Se deduce entonces que se requiere profundizar los estudios de mecánica de nuestros suelos (andinos), con énfasis en los proyectos que se hayan desarrollado en las zonas andinas, ya que en estos lugares podemos encontrar ampliamente

diversos tipos de suelos y que hayan involucrado ensayos de compactación en laboratorio.

Por lo tanto se establece que es de vital importancia realizar estudios comparativos con la teoría propuesta para adaptar los resultados de nuestros suelos (andinos) a esta teoría; a partir de los resultados obtenidos en los proyectos desarrollados se deben establecer diferencias estadísticas, establecer rangos para los tipos de suelos ensayados y que contemple el sistema SUCS y a partir de los resultados que se obtengan proponer las curvas típicas de compactación de nuestros suelos.

1.3.6 Clasificación SUCS

Narsilio Guillermo (2010, p.1-2), cuando realizó la investigación “Clasificación de Suelos: Fundamento Físico, Prácticas Actuales y Recomendaciones” detalla que “el comportamiento de los suelos es complejo debido a la naturaleza granular y a la coexistencia de partículas con fluido intersticial, el entendimiento actual del comportamiento de los suelos ha evolucionado a través del siglo XX, incluyendo esfuerzos efectivos (Terzaghi en los años ´20), coloides y arcillas (Goy, Chapman en los ´10, Lambe y Mitchell en los ´50), dilatación en corte (Taylor 1948 y Estado Crítico con Roscoe, Schofield y Wroth en los ´60), fase fluida mixta y suelos no saturados (Bishop, Aitchinson, Fredlund Morgenstein en los ´60)”.

El autor manifiesta la complejidad con que se comportan los suelos y como ha ido evolucionando su entendimiento y manejo a través de los últimos años donde se fueron incorporando elementos como “fluidos entre partículas”, el concepto de “esfuerzos”, “coloides”, “dilatación”, “estados críticos”, “saturación de suelos”, “fases”; hasta establecer parámetros que en la actualidad permiten identificar la categoría de un “suelo” y sobre todo predecir su comportamiento en determinadas condiciones.

“Las diferentes clasificaciones incluyen 1) el “sistema unificado de clasificación de suelos” SUCS, 2) el sistema de la American Association of State Highway & Transportation Officials AASHTO, 3) el método propuesto por la Federal Aviation Administración FAA, 4) el sistema de US Department of Agriculture USDA, y 5) la taxonomía del Eurocódigo, entre otros”, continúa Narsilio Guillermo (2010, p.2).

Los “sistemas de clasificación” son variados y los más utilizados en nuestro medio han sido desarrollados en Norteamérica en cada asociación existente, que regulan el uso del suelo acorde a sus requerimientos y necesidades de construcción, son variados incluyen diferentes categorías, sin embargo el propósito de todos los sistemas ha sido establecer parámetros que permitan clasificar los suelos.

“El “Sistema Unificado de Clasificación de Suelos”, SUCS (IRAM 10509 y ASTM D 2487 y 2488) es el de uso más extendido en la práctica geotécnica, fue inicialmente propuesto por Arthur Casagrande en 1932, tentativamente adoptado por el Departamento de Ingeniería de los EE UU en 1942 y definitivamente presentado a la ASCE en 1948 (Casagrande 1932, 1948). La U.S. Army Corps of Engineers comenzó a emplearla en 1953 en tanto que la U.S. Bureau of Reclamation lo hizo en 1974” puntualiza Narsilio Guillermo (2010, p.2).

Sin embargo el SUCS propuesto por “Casagrande” ha resultado ser el sistema de mayor uso, tal es así que los diferentes países han adoptado este sistema en su normativa, al igual que los “ensayos de laboratorio” propuestos por la “ASTM”, el Perú no es la excepción y a través de la “Norma Técnica Peruana” y del MTC incluyen los ensayos y el “sistema de clasificación SUCS” en sus normas y su uso está muy arraigado en los técnicos y profesionales del rubro.

1.3.7 Máxima Densidad Seca

Sagües Patricia, (2007, p.1), en la investigación denominada “Propiedades de los Suelos Compactados” y respecto a la Máxima Densidad Seca Compactada (Peso Unitario Seco Compactado) manifiesta que “si se aplica una dada energía de compactación y se varía el contenido de humedad de compactación se obtienen diferentes valores de peso unitario seco, la variación del peso unitario en función de la humedad de compactación arroja una curva similar a una parábola, la forma de la curva está relacionada con la forma en que se disponen las partículas durante la compactación, el peso unitario llega a un máximo a partir del cual disminuye con el aumento de la humedad, el máximo peso unitario se obtiene con la denominada humedad óptima”.

La explicación planteada por “Sagües” resulta ser sino la más acertada la más cercana cuando de conceptualizar el “ensayo de compactación en laboratorio” cuyo

propósito no es otro que obtener la relación densidad – humedad para un determinado suelo aplicando “energía de compactación” hasta obtener el peso unitario máximo con un determinado contenido de humedad.

La máxima densidad seca que se obtiene debe pasar por una corrección por el contenido de grava presente en la muestra de suelo obtenida para alcanzar la máxima densidad seca corregida. Una vez obtenido este valor permite a los técnicos en la fase de construcción realizar el respectivo control de la compactación del suelo utilizado en campo.

Bañón Luis (2000, p.13), en su libro “Manual de Carreteras – Tomo II” manifiesta que “si tomamos un mismo suelo y estudiamos la relación humedad-densidad para distintas energías de compactación, observaremos que el punto de humedad óptima varía en función de la energía que hayamos aplicado a la muestra”.

En el concepto anterior se detalla que la “energía de compactación” puede hacer variar el punto de humedad en el “ensayo de laboratorio” si variamos la cantidad de energía aplicada en el proceso de densificación de la muestra, sin embargo como veremos más adelante de igual manera también varía el punto de la densidad máxima.

1.3.8 Curvas de Compactación

Sagües Patricia (2007, p.2), en la Investigación denominada “Propiedades de los Suelos Compactados” y con respecto a las “curvas de compactación” obtenidas de los ensayos realizados en laboratorio manifiesta que “al variar la energía de compactación se obtienen curvas de similares características, para una mayor energía la curva se desplaza hacia arriba y hacia la izquierda, obteniéndose un mayor peso unitario y una menor humedad óptima, la curva depende también del tipo de suelo, en el caso de suelos no cohesivos, se obtienen mayores densidades y menores humedades óptimas que en el caso de suelos cohesivos, para los cuales las curvas resultan a su vez más abiertas con mayores rangos de humedad, los suelos no cohesivos poseen curvas más cerradas, por lo que son más propensos a que una diferencia en la humedad de compactación resulte en una diferencia significativa en el peso unitario obtenido”.

Las conclusiones vertidas en la investigación grafican las diferencias en el trazo de la “curva de compactación” de los dos métodos normalizados del “ensayo próctor” (estándar y modificado), cuando se realiza estos ensayos para un mismo suelo, donde se puede verificar que las curvas obtenidas son casi las mismas en forma pero no así en valores tanto de densidad como de contenido de humedad.

Al densificar con mayor energía al suelo este aumenta su peso volumétrico pero el requerimiento del contenido de humedad necesaria para acomodar las partículas durante el “amasado” disminuye indicando tal vez que si bien es necesario “lubricar” las partículas contenidas en el suelo sin embargo la densificación estaría determinada en gran parte por el incremento de la “energía de compactación”

Braja Das (1985, p.55), en su libro “Fundamentos de Ingeniería Geotécnica” señala que los “factores que afectan la compactación, como el contenido de agua tienen una gran influencia en el grado de compactación logrado para un suelo dado, además de esto, otros factores importantes que afectan la compactación son el tipo de suelo y el esfuerzo de compactación (energía por volumen unitario)”.

“Das” describe que un factor a considerar en la “compactación de un suelo” es el tipo de suelo obtenido anteponiendo desde ya que la categoría de suelo y el tipo de partícula que predomine puede facilitar o dificultar el proceso. Esto se traduce de manera literal en campo donde se tienen que establecer diferentes tipos de equipos con diferentes métodos de compactación cuando se tiene que densificar a su vez los distintos tipos de suelos. En general los suelos finos requieren de rodillos tipo “pata de cabra” para amasar la partícula fina, en cambio los suelos granulares requieren de energía vibratoria para obtener los mejores resultados.

1.3.9 Teoría de Compactación de Suelos

Braja Das (1985, p.51), en su libro “Fundamentos de Ingeniería Geotécnica” señala que la “compactación de suelos para la construcción de terraplenes para carreteras, presas de tierra y muchas otras estructuras de la ingeniería, los suelos sueltos deben ser compactados para incrementar sus pesos específicos, la compactación incrementa las características de resistencia de los suelos, aumentando así la capacidad de carga de las cimentaciones construidas sobre ellos, la compactación

disminuye también la cantidad de asentamientos indeseables de las estructuras e incrementa la estabilidad de los taludes de los terraplenes”.

Das, nos refiere las ventajas de un suelo compactado y establece que al incrementarse el “peso específico”, esta condición a su vez mejora su capacidad para soportar las cargas que se impongan debido a la edificación encima de ellos como producto de la construcción. Destaca de esta manera la performance de un terreno densificado producto de la aplicación de prácticas muy desarrolladas hoy por la ingeniería que ha permitido la construcción de equipos altamente especializados para este propósito.

Inclusive en la actualidad no sólo existen equipos para cada tipo de suelo sino de diversos tamaños y potencias que facilitan el proceso de compactación, tanto en espacios muy grandes como en espacios pequeños donde se reduce a su vez el espesor de las capas de suelo para lograr esta tarea y sin afectar los niveles de densidad que requiere la obra.

“Cuando se agrega agua al suelo durante la compactación, esta actúa como un agente ablandador de las partículas del suelo, que hace que se deslicen entre sí y se muevan a una posición de empaque más denso, el peso específico seco después de la compactación se incrementa primero conforme aumenta el contenido de agua”, concluye Braja Das (1985, p.51)

Indudablemente el manejo del agua en el suelo durante la compactación es de vital importancia debido a que no sólo “actúa como ablandador”, sino que aparentemente desarrolla en el proceso un efecto de lubricante que reduce la fricción entre partículas y permite el mejor acomodamiento de las mismas.

Sin embargo se deben continuar desarrollando los procesos de agregar agua al suelo, debido a que un incremento en la cantidad de agua por encima de lo requerido en la masa de suelo trae como consecuencia que se trabaje por encima del óptimo hacia el “lado húmedo” que podría provocar que la masa del suelo se “sature” y se incremente la “presión de poros” y retrase el proceso, por otro lado no agregar la suficiente cantidad de agua en la masa de suelo podría traer como consecuencia “tubificaciones” al interior de la masa de suelo y que se trabaje muy

por debajo de lo requerido situación que podría generar que no se alcance la densidad mínima requerida para compactar el suelo a ser usado en el proyecto.

Braja Das (1985, 56 p.), señala además que los “efectos del tipo de suelo, es decir de su distribución granulométrica, la forma de los granos del suelo, la densidad de sólidos del suelo y la cantidad y tipo de minerales arcillosos presentes, tiene una gran influencia en el peso específico seco máximo y en el contenido de agua óptimo”.

Nuevamente el autor puntualiza que la diferencia o categoría de suelo establece también diferencias en la densidad y tasa de agua a utilizar, en este sentido es bien sabido que los suelos finos del tipo limosos y arcilloso requieren de grandes volúmenes de agua y alcanzan densidades bajas, por el contrario los suelos granulares (“gravosos”) requieren de menor gasto de agua alcanzando densidades muy altas.

Debido a que los suelos finos están compuestos en forma mayoritaria por partículas “finas”, son éstas las que presentan cantidades diversas de minerales, que dependiendo a su vez del tipo de macizo rocoso del cual se desarrolló y del tipo de deposición presentarán en mayor o menor cantidad partículas que demanden mayor o menor cantidad de agua para el proceso de densificado.

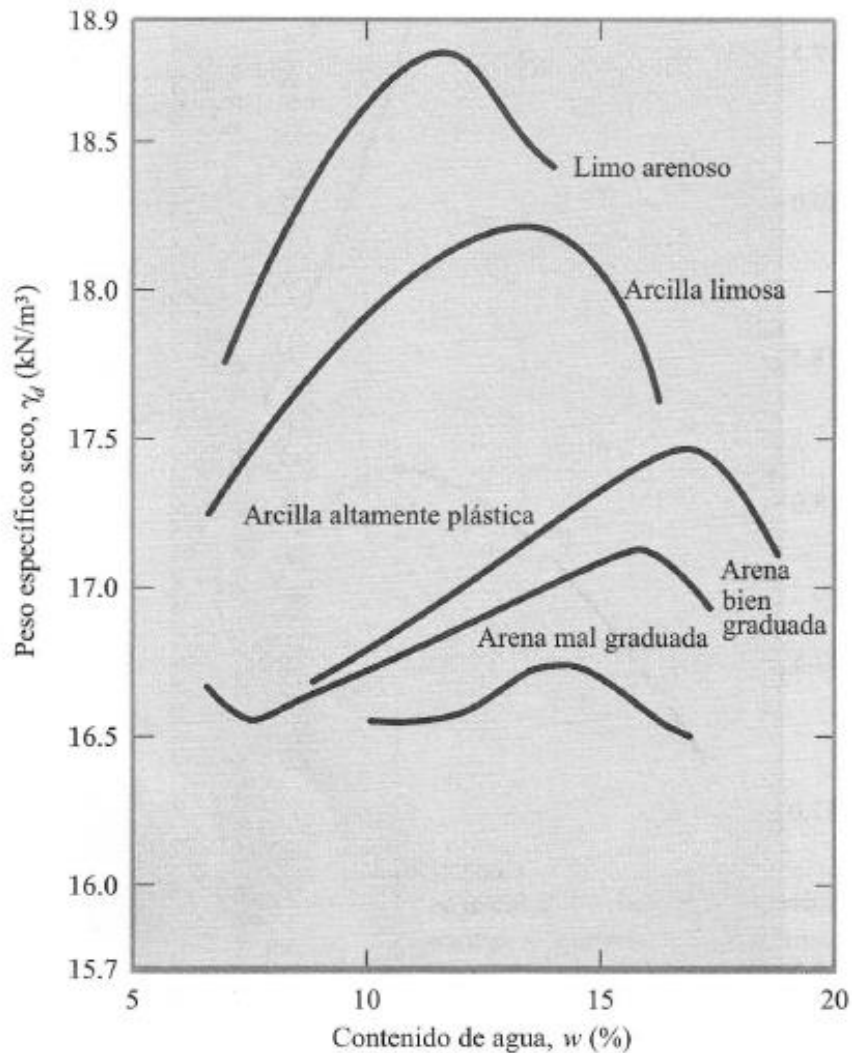


Figura 2. Gráfica descrita por Braja Das en la Teoría de Compactación de Suelos

FUENTE: Figura 3.5, Curvas típicas de compactación para cinco suelos diferentes – “Fundamentos de Ingeniería Geotécnica”

Como se puede apreciar en la gráfica anterior “Braja Das” no incorpora en esta, las “curvas de compactación” de los suelos gravosos habiendo solo planteado suelos con predominancia en “arenas”. A partir de esta gráfica se deben establecer rangos del Peso Específico Seco para los diferentes tipos de suelos (gravosos, arenosos y finos), con base en los ensayos andinos motivo de la “presente investigación” y deben incorporarse en la teoría propuesta.

1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El problema quedó definido de la siguiente manera:

¿De qué manera se puede contribuir con la incorporación de suelos gravosos a la Clasificación SUCS a los planteados por Braja Das en la Teoría de compactación de suelos: ensayos de suelos andinos – Perú?

1.5 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

1.5.1 Dimensión Científica

El aporte al conocimiento científico del presente trabajo de investigación se sitúa en la teoría de la compactación de suelos debido a que contribuye con la incorporación las curvas de densificación de los suelos con predominio gravoso en esta teoría.

1.5.2 Dimensión Técnica

Incorporar las “curvas de compactación” de los suelos gravosos en la teoría de compactación de los suelos permite establecer correctamente las características mecánicas, de resistencia, así como el módulo de compresibilidad de los suelos ya que esto varía en función de su clasificación y del predominio del tipo de partícula y por el ángulo de rozamiento interno de partículas. Una correcta caracterización de los suelos permite establecer estrategias acertadas de diseño de cimentaciones, de estructuras, estrategias ingenieriles durante la construcción, y predecir el comportamiento sísmico de la interacción suelo – estructura.

1.5.3 Dimensión Social

Establecer una acertada caracterización mecánica de los suelos permite asegurar que luego de la etapa de diseño e ingeniería del proyecto y de la práctica constructiva de las edificaciones se asegure la calidad de vida de la población.

1.6 HIPÓTESIS

La incorporación de la clasificación SUCS de los suelos gravosos contribuye con la teoría de compactación de suelos a los planteados por Braja Das

1.7 OBJETIVOS

1.7.1 Objetivo General

Incorporar las curvas de Compactación de Suelos Gravosos a la clasificación SUCS planteados por Braja Das en la teoría de compactación de suelos: ensayos en suelos andinos – Perú.

1.7.2 Objetivos Específicos

Evaluar el perfil granulométrico y los límites de consistencia de los suelos andinos de predominancia gravosa, arenosa y fina.

Estimar el rango de máxima densidad seca compactada y del óptimo contenido de humedad de las curvas de compactación de los suelos andinos ensayados.

Establecer los rangos del Peso Unitario Seco Compactado para los suelos gravosos, arenosos y finos de los suelos andinos del Perú.

CAPITULO 2: MÉTODO

2 MÉTODO

2.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La investigación corresponde a un tipo de investigación aplicada – descriptiva

HASHIMOTO, Ernesto y CAMPOS Walter (2000, p.35), quienes plantearon el diseño descriptivo simple con propuesta, el esquema es el siguiente:

$$M \leftarrow O_x \dots P$$

Donde:

M = Muestra de estudio compuesta de 996 ensayos

O_x = Información de suelos gravosos

P = Propuesta de incorporación de suelos gravosos en la teoría de compactación de suelos.

2.2 VARIABLES, OPERACIONALIZACIÓN

2.2.1 Identificación de Variable

Variable: Incorporación de Suelos Gravosos

2.2.2 Definición Conceptual, Definición Operacional e Indicadores

Se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 1. Matriz de Operacionalización de Variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
Incorporación de Suelos Gravosos	BAÑÓN Blazquez Luis y BEVIÀ García José, Universidad de Alicante, 2000. 15 p, II Tomo. Define que los suelos granulares están formados por partículas agregadas y sin cohesión entre ellas dado el gran tamaño de las mismas. Su origen obedece principalmente a procesos de meteorización física: lajamiento, termoclastia, hialoclastia o fenómenos de hidratación física. Las características principales de este tipo de suelo son su buena capacidad portante y su elevada permeabilidad, lo que permite una rápida evacuación del agua en presencia de cargas externas. Dentro de esta clase de suelos se distinguen dos grandes grupos: el de las gravas y el de las arenas. El límite entre ambos grupos viene dado por su granulometría, considerándose arena la fracción de suelo de tamaño inferior a 2 mm.	Como se puede apreciar en la gráfica (Nº 03) que plantea "Braja Das" en su libro "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica" no incorpora en esta gráfica las curvas de compactación de los suelos gravosos habiendo solo planteado suelos con predominancia en arenas. A partir de esta gráfica se deben establecer rangos del Peso Específico Seco para los diferentes tipos de suelos (gravosos, arenosos y finos), con base en los ensayos andinos motivo de la presente investigación y deben incorporarse en la teoría propuesta.	<p>A). CLASIFICACIÓN SUCS</p> <p>B). CURVA DE COMPACTACIÓN PRÓCTOR</p> <p>C). PESO UNITARIO SECO COMPACTADO</p>	<p>Perfil Granulométrico</p> <p>Límites de Consistencia: (Límite Líquido y Límite Plástico)</p> <p>Máxima Densidad Seca Compactada</p> <p>Óptimo Contenido de Humedad</p> <p>R1: Suelos con predominio de material fino (Arcillas y Limos)</p> <p>R2: Suelos con predominio de Arenas</p> <p>R3: Suelos con predominio de gravas</p>	NOMINAL

2.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

Población

Lo constituyen 5,000 ensayos realizados por los Laboratorios de Mecánica de Suelos de la Región Cajamarca.

Muestra

Se trabajó con 996 ensayos de compactación en laboratorio (relación densidad con respecto al contenido de humedad) realizados principalmente en el “Laboratorio de Mecánica de Suelos” de la Empresa G&S Servicios de Ingeniería SRL, cuya información es la siguiente:

[DIRECCIÓN LEGAL: Jr. San Roque N° 251 – Cajamarca; **DIRECCIÓN DEL LABORATORIO:** Jr. Arnaldo Márquez N° 418 – Urbanización San Luis – Cajamarca; **INFORMACIÓN GENERAL:** Actualmente se dedica a la consultoría de “Estudios de Mecánica de Suelos”, Investigación Geotécnica, Instrumentación y Monitoreo Geotécnico, Servicios de Topografía, Control de Calidad y Aseguramiento de la Construcción. Esta empresa tiene actualmente un sistema de gestión de la calidad ISO 9001, de los servicios que otorga; Condición actual: Activa; Inicio de Actividades: Octubre del año 2003; RUC: 20453774318]

2.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS, VALIDEZ Y CONFIABILIDAD

2.5 Ensayos de Laboratorio de Mecánica de Suelos:

Ensayo de humedad. A fin de evaluar el contenido de humedad contenido en las gravas y en toda la muestra de suelo y cuantificar la humedad de corrección de la curva próctor por grava.

Ensayo de granulometría. Con la finalidad de evaluar el método de próctor utilizado durante la realización del ensayo en el laboratorio de acuerdo al porcentaje de grava retenido en las mallas $\frac{3}{4}$, $\frac{3}{8}$ y en la número 4; y la clasificación SUCS en base al porcentaje de las gravas, arenas y fracción fina.

Ensayo de Límites de Consistencia (Líquido y Plástico). Con la finalidad de verificar la subdivisión de suelos a la que corresponde la muestra de suelo.

Ensayo de Peso Específico. A fin de estimar el valor de la grava retenida en la malla con la cual se determinó el método del ensayo próctor en cada muestra y que permitió la corrección de la densidad de la grava.

Ensayo de Próctor. Con la finalidad de obtener las cinco densidades secas y su relación de humedad que determinaron la “curva de compactación” de cada muestra ensayada en el laboratorio.

Corrección de Próctor por Grava. Con la finalidad de validar la máxima densidad seca corregida de la “curva de compactación” (próctor).

Análisis, tabulación y procesamiento de datos. De los resultados de los ensayos de “laboratorio de mecánica de suelos” obtenidos.

Métodos Estadísticos. A fin de obtener los estadísticos para la muestra tomada para cada categoría o tipo de suelo.

2.5.1 Técnica de Gabinete

Para estructurar el marco teórico de la investigación se revisaron y utilizaron fichas bibliográficas, investigaciones, artículos científicos, comentarios, textos, resúmenes, ficha textual, fechas, paráfrasis que sirvieran para tal efecto.

Para el análisis estadístico de los datos se construyeron tablas, con los datos previamente ordenados a partir de los cuales se realizaron los análisis de medias, se establecieron rangos de la “Máxima Densidad Seca Corregida” y del “Óptimo Contenido de Humedad” para la propuesta de incorporación de las “curvas de compactación” según la clasificación SUCS.

2.5.2 Técnica de Campo

Se visitó el “Laboratorio de Mecánica de Suelos” de la empresa G&S Servicios de Ingeniería SRL, con la finalidad de presenciar los ensayos y el sistema de gestión del Laboratorio que aplican en cada ensayo, se revisaron los protocolos con los resultados de los ensayos.

Se recogió la información pertinente (resultados de los ensayos de laboratorio) de la base de datos digital del archivo backup del Laboratorio con la finalidad de procesarlos y transformarlos en información estadística que permita la propuesta planteada en el proyecto de tesis.

Se utilizaron los protocolos de resultados de laboratorio (se adjunta en ANEXO 01), del archivo digital en formato pdf.

2.6 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS

Para el procesamiento estadístico de datos se procesó considerando el 95% de confiabilidad y 5% de error, se trabajó con la estadística descriptiva e inferencial, se utilizó el software estadístico SPSS versión 22.

2.7 ASPECTOS ÉTICOS

Los criterios que se utilizaron para garantizar la calidad ética de la investigación son:

Confidencialidad. Todos los datos proporcionados por los laboratorios de mecánica de suelos se procesaron manteniendo la confidencialidad de la información de cada ensayo, sólo se utilizó el código de la muestra y los resultados obtenidos en cada ensayo que permitieron la investigación planteada, manteniendo la confidencialidad del proyecto, la obra civil, el laboratorio donde se ensayó y el cliente para el cual fue ejecutado cada ensayo.

Validez de la data utilizada. Los datos utilizados fueron seleccionados teniendo en cuenta el sistema de gestión de calidad de la ejecución de cada ensayo, el 95 % de los resultados utilizados provienen de un laboratorio que cuenta con un sistema de gestión de calidad ISO 9008.

Elección randomizada. La elección de cada dato (resultados de los ensayos de cada muestra) se realizó al azar, tomando un número de ensayos de cada proyecto u obra donde se realizó el control de los suelos que se utilizaron en su ejecución.

Invariabilidad de resultados obtenidos. Los resultados que se presentan en esta investigación no han tenido alteración alguna luego de procesados, se presentan tal cual los arrojó el programa utilizado en su análisis.

Protección de la información recibida. El compromiso que ha asumido el investigador en el presente estudio se basa en la no divulgación de la procedencia de los datos debido a que el principio de confidencialidad de cliente – servidor, se debe mantener por ética, y lo que representa el manejo de información para la cual fue contratada la empresa que brinda el servicio de ejecución de ensayos de mecánica de suelos con su empleador.

CAPITULO 3: RESULTADOS

3 RESULTADOS

3.1 DESCRIPCIÓN

3.1.1 Resultados y alcance de la validez de la consistencia interna, pertinencia y relevancia.

Tabla 2. Validez de la consistencia interna, pertinencia y relevancia

	Cronbach	Pertinencia	Relevancia
Pre Test	0.90	0.90	0.90

Fuente: Test tipo lickert de resultados de “Máxima Densidad Seca Corregida”

La tabla 2, dejar ver el coeficiente Alfa de Cronbach de 0.90 en el estudio piloto de la relación de la densidad y la humedad realizada, lo que significa respecto a sus respuestas que estas están correlacionadas de manera altamente confiables. Se trabajó con 20 Ingenieros de la especialidad y que laboran el norte del País.

El estudio ha sido realizado con un nivel de pertinencia y relevancia igual a 0.90 en el estudio piloto. La pertinencia y relevancia relaciona el problema con el objetivo; podemos deducir que el instrumento es muy pertinente y relevante.

3.2 Resultados de la incorporación de las curvas de compactación de los diferentes tipos de suelos a la teoría de compactación

Los resultados que se muestran a continuación han sido organizados teniendo en cuenta la variable dependiente, se analizó los resultados de los ensayos de laboratorios de mecánica de suelos que colaboraron en el presente estudio y que han permitido obtener a su vez resultados estadísticos que se presentan a continuación.

Se debe resaltar que con la finalidad de contar con resultados de todos los tipos de suelos presentes en nuestro medio se han procesado estadísticamente suelos finos y arenosos adicionalmente a los suelos gravosos motivo de la presente investigación.

3.3 Resultados de las curvas de compactación para suelos Finos: Arcillas y Limos (C, M)

Las “curvas de compactación” obtenidos para este tipo de “suelos finos”, se han efectuado en base a su categoría, es decir agrupándolos por el tipo de material fino presente en la muestra analizada y que corresponde a limos inorgánicos adoptando el símbolo genérico M (del sueco mo y mjala) ó arcillas inorgánicas donde adoptan el símbolo genérico C (clay).

Los resultados de las “curvas de compactación” de la relación Densidad – Humedad obtenidas para cada categoría de los suelos finos y de las subdivisiones que presentan según la data analizada para esta investigación se presentan a continuación.

3.3.1 Resultados de las curvas de compactación para suelos “arcillosos – C”

Respecto a las “curvas de compactación” de esta subdivisión de los suelos conocidos como “finos”, esta categoría de suelos arcillosos (inorgánicos) C se subdivide a su vez según su “límite líquido” en dos grupos, si el “límite líquido” es menor al 50% son suelos de compresibilidad baja o media, en caso contrario si el “límite líquido” es mayor a 50% son suelos de alta compresibilidad. De acuerdo a los resultados obtenidos en los laboratorios de mecánica de suelos y que fueron procesados en esta investigación, se han obtenido tres curvas de la relación Densidad – Humedad; una curva que representa a los valores medios, otra curva que representa a los valores máximos y finalmente otra curva que representa los valores mínimos de esta categoría o tipo de suelo.

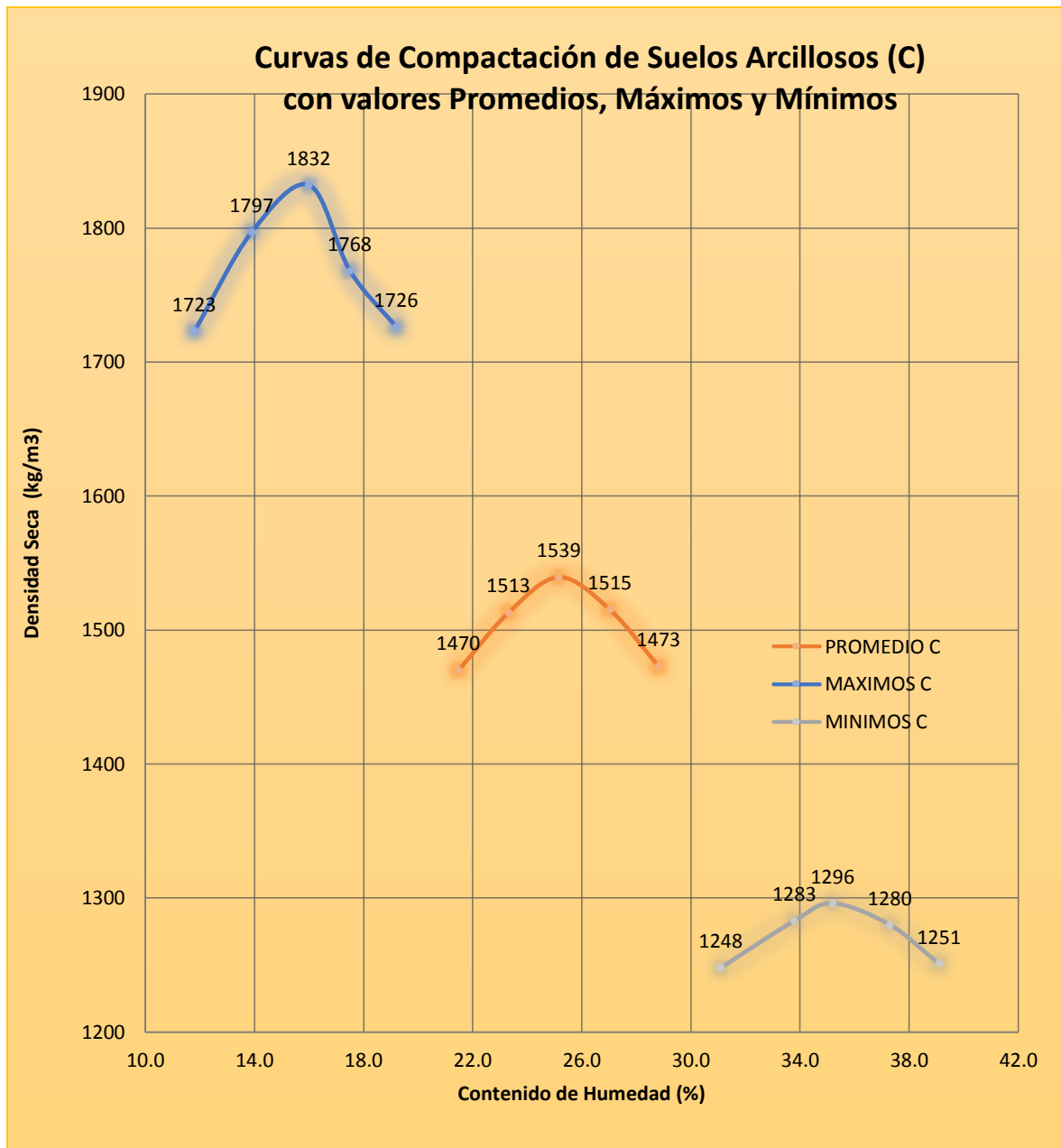


Figura 3. Gráfico de las “curvas de compactación” para la categoría de suelos finos “arcillosos, se incluyen a las arcillas de alta y baja plasticidad.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la figura 3, obtenida con la base de datos de la categoría de suelos: “arcillas”, incorporan la subdivisión de suelos “arcillas de alta plasticidad” y “arcillas de baja plasticidad”; establece que para este tipo de suelos las densidades secas para la “curva de compactación” de valores mínimos se encuentran en el rango de 1248 kg/m³ hasta 1296 kg/m³, para la “curva de compactación” de valores promedios las densidades secas se encuentran en el rango de 1470 kg/m³ hasta

1539 kg/m³ y para la “curva de compactación” de valores máximos las densidades secas se encuentran en el rango de 1723 kg/m³ hasta 1832 kg/m³.

Tabla 3. Resultados de estadísticos de la variable de densidad seca utilizados en las “curvas de compactación” para la categoría de suelos “arcillosos (C)”

Estadísticos de densidades de la curva Próctor – suelos arcillosos (C)					
	DENSIDAD SECA 1	DENSIDAD SECA 2	DENSIDAD SECA 3	DENSIDA D SECA 4	DENSIDAD SECA 5
Válidos	46	46	46	46	46
Perdidos	0	0	0	0	0
Media	1,470	1,513	1,539	1,515	1,473
Mediana	1,476	1,519	1,546	1,513	1,46650
Moda	1,401 ^a	1,337 ^a	1,707	1,331	1,302 ^a
Desviación estándar	,120075	,126788	,131920	,127770	,119608
Varianza	,014	,016	,017	,016	,014
Rango	,475	,514	,536	,488	,475
Mínimo	1,248	1,283	1,296	1,280	1,251
Máximo	1,723	1,797	1,832	1,768	1,726

a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la tabla 3, muestran los valores mínimos, máximos y promedios que se utilizaron para obtener las tres “curvas de compactación” de la relación Densidad – Humedad (curva próctor) para los suelos “arcillosos” y nos indica que para la curva de valores mínimos la “máxima densidad seca” es de 1,296 kg/m³, para la curva de valores máximos la “máxima densidad seca” es de 1,832 kg/m³ y para los valores promedio la “máxima densidad seca” es de 1,539 kg/m³.

Los resultados estadísticos de la variable densidad seca 3, que finalmente representa el valor más alto de los utilizados en la “curva de compactación”, nos indica una media de 1,539 y una desviación estándar de 0,131920, datos que llevados al cálculo del coeficiente de variabilidad con 8.61% indica que la variable investigada (densidad seca 3), es homogénea. La mediana con un valor de 1,546 kg/m³ nos indica que la media estadística de la muestra “suelos arcillosos” es ligeramente inferior. La variancia con un valor de 0,017 indica muy poca dispersión de la variable respecto a su media. El rango obtenido nos indica que los datos están comprendido en un intervalo de 536 kg/m³.

A continuación se muestran los gráficos con las “curvas de compactación” con los valores mínimos, promedio y máximos utilizados.

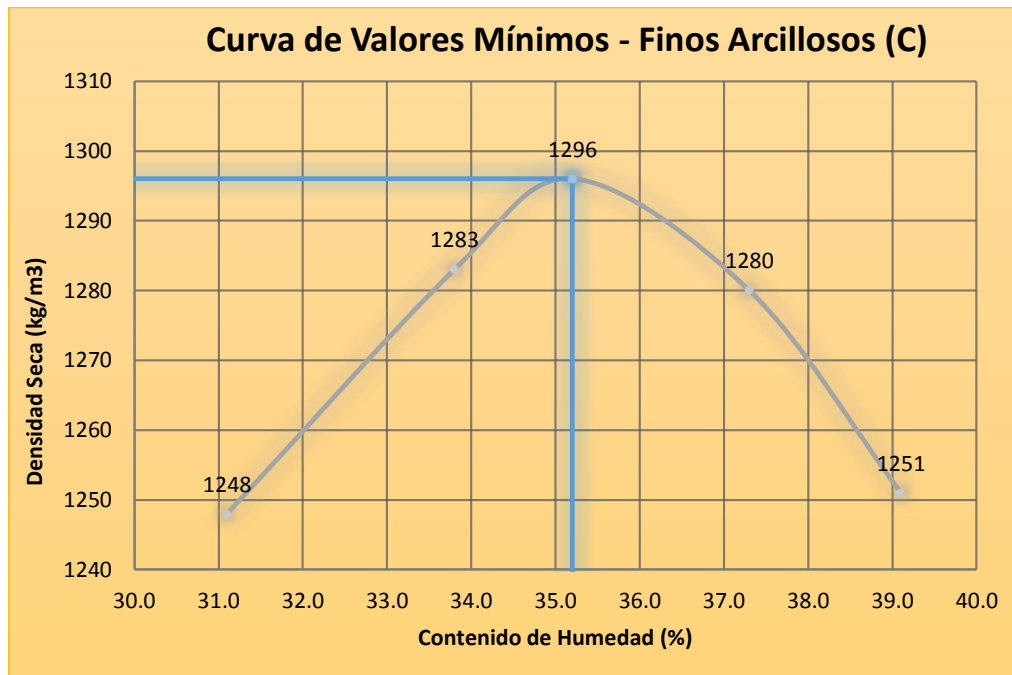


Figura 4. Gráfica de la “curva de compactación” para la categoría de suelos finos “arcillosos (C)” – con valores mínimos

Fuente: Elaboración propia.

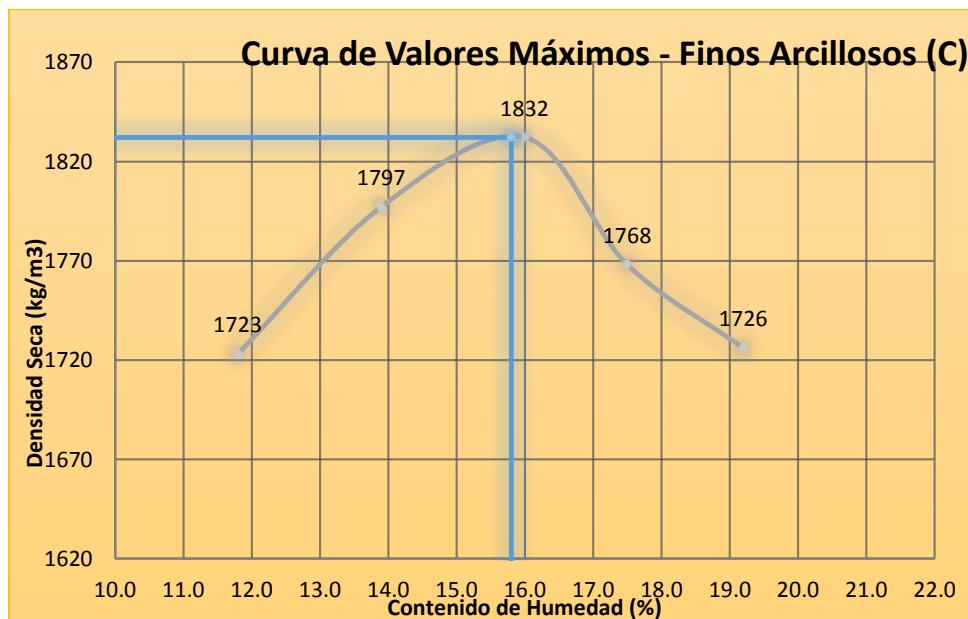


Figura 5. Gráfica de la “curva de compactación” para la categoría de suelos finos “arcillosos (C)” – con valores máximos

Fuente: Elaboración propia.

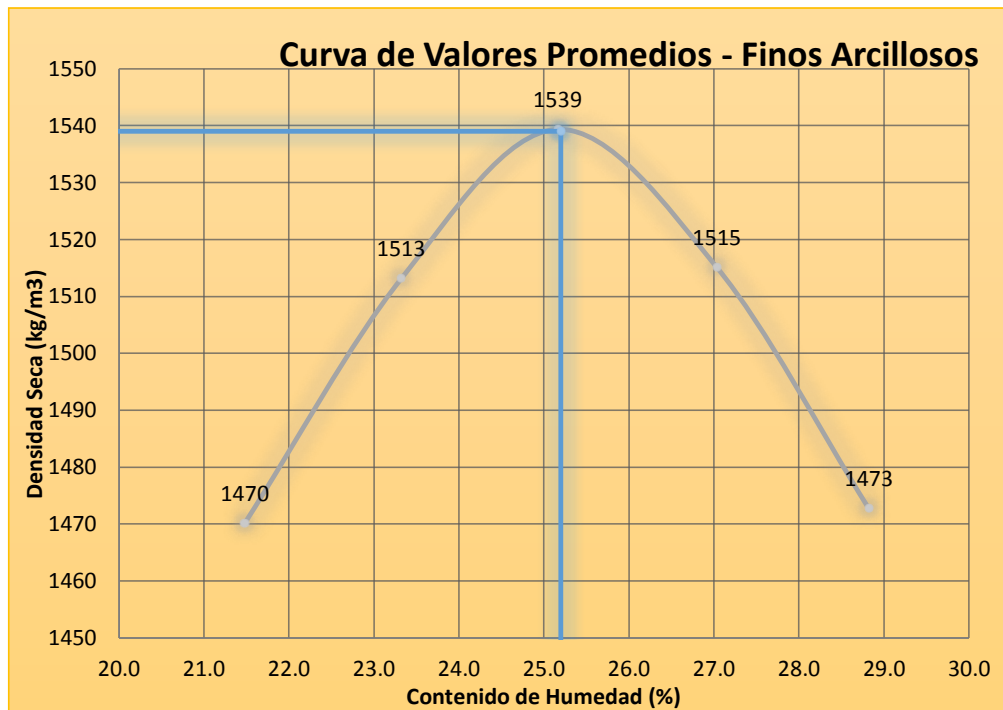


Figura 6. Gráfica de la “curva de compactación” para la categoría de suelos finos “arcillosos (C)” – con valores promedio

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Curvas de compactación para suelos “arcillas de alta plasticidad - CH”

Respecto a las “curvas de compactación” de esta subdivisión de los suelos arcillosos que contienen mayoritariamente finos plásticos de alta compresibilidad ($LL > 50\%$), y se encuentra por encima de la Línea A, además a partir de la modificación de la carta de plasticidad (con Índice Plástico entre 4 y 7), corresponden a los suelos arcillosos de alta plasticidad CH (Clay High) definido por un “Límite Líquido” $>$ a 50% y un IP mayor a 7% ; y de acuerdo a los resultados que se han obtenido en los laboratorios de mecánica de suelos y que se han procesado para esta investigación, se han obtenido tres curvas de la relación densidad – humedad; una curva que representa los valores medios, otra curva que representa los valores máximos y finalmente otra curva que representan los valores mínimos de esta categoría o tipo de suelo.

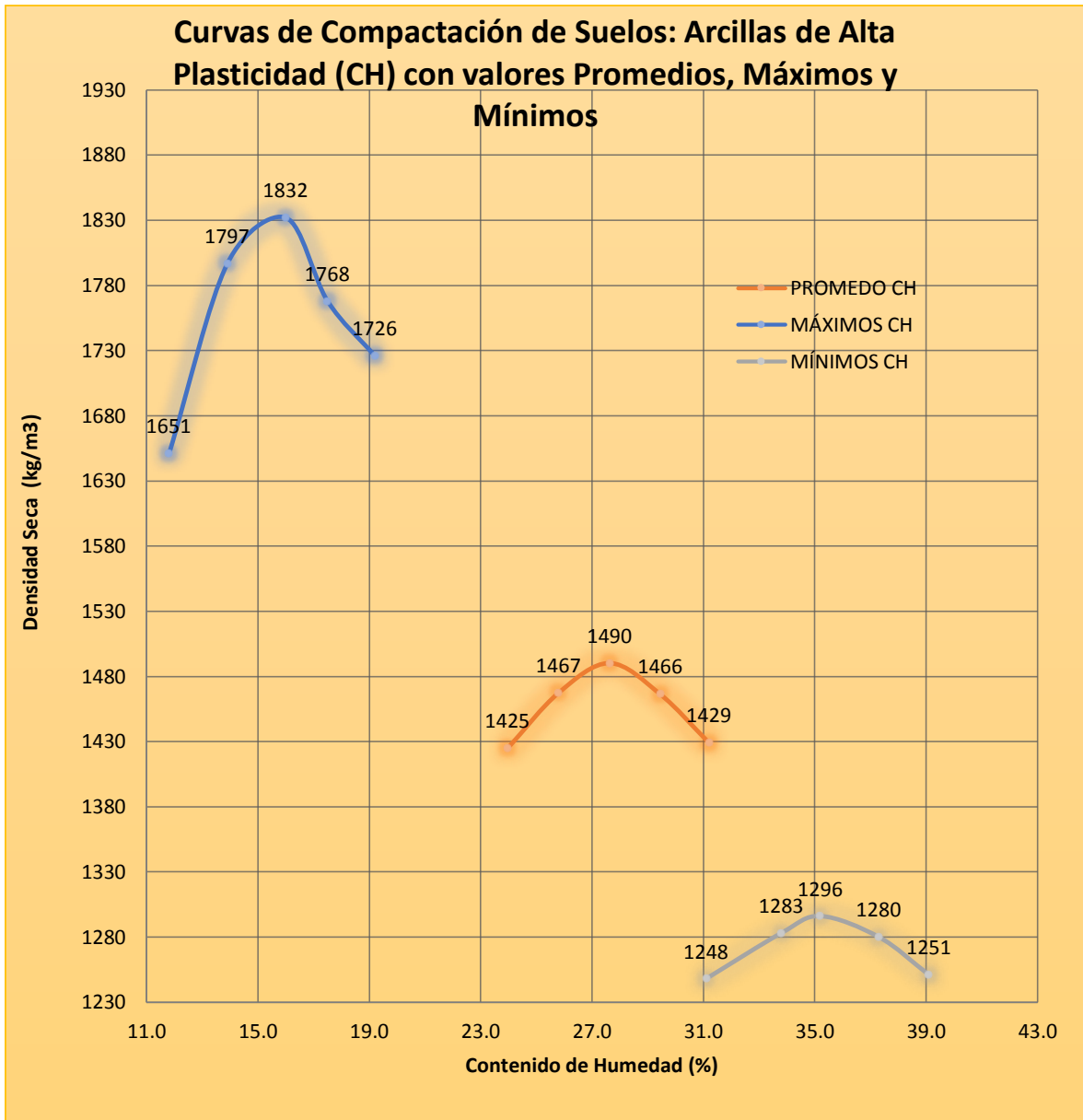


Figura 7. Gráfica de las “curvas de compactación” para la categoría de suelos de “arcillas de alta plasticidad (CH)” – con valores máximos, promedios y mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

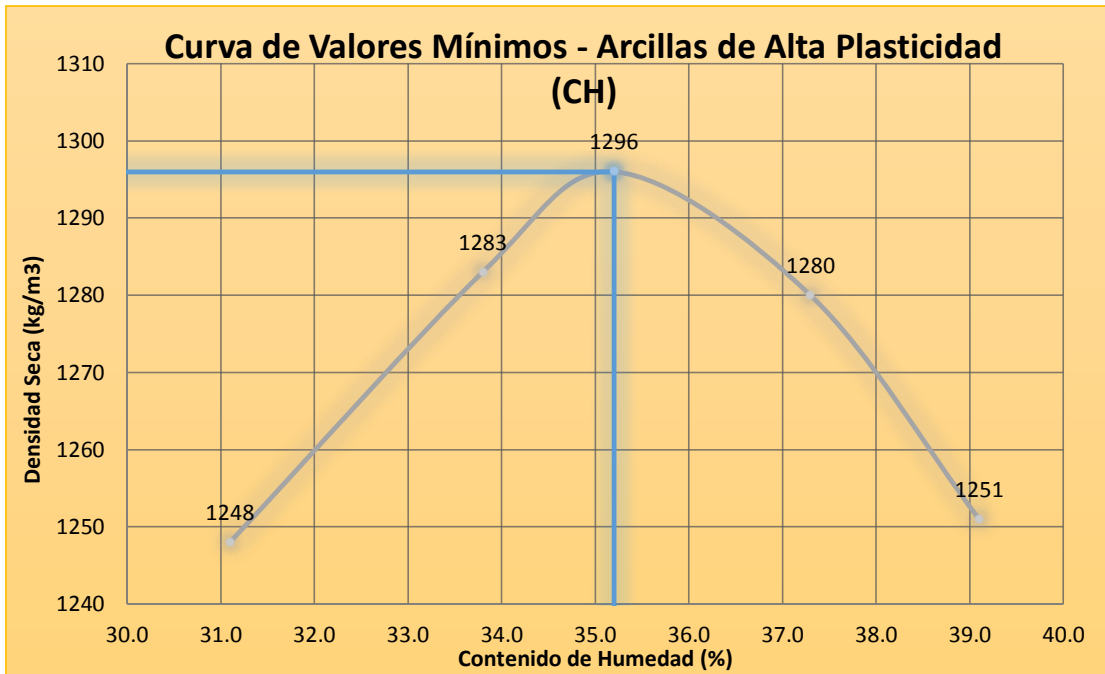


Figura 8. Gráfica de la “curva de compactación” de la subdivisión de suelos “Arcillas de alta plasticidad (CH)” – con valores mínimos

Fuente: Elaboración propia.

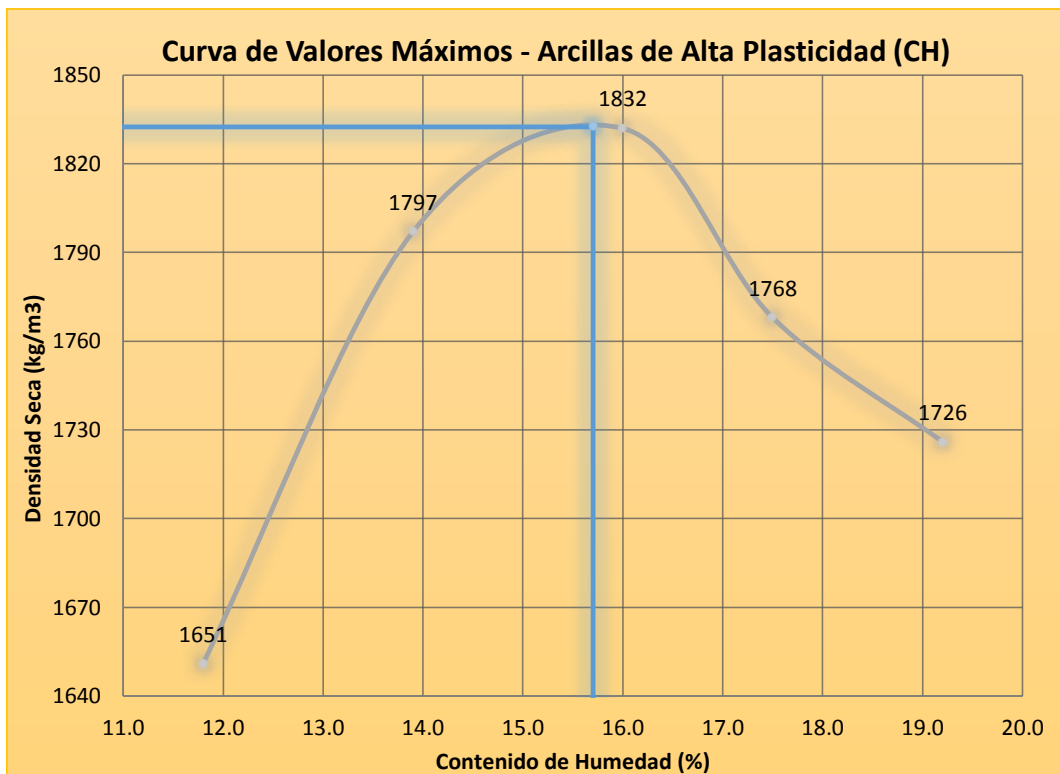


Figura 9. Gráfica de la “curva de compactación” de la subdivisión de suelos finos “Arcillas de alta plasticidad (CH)” – con valores máximos

Fuente: Elaboración propia

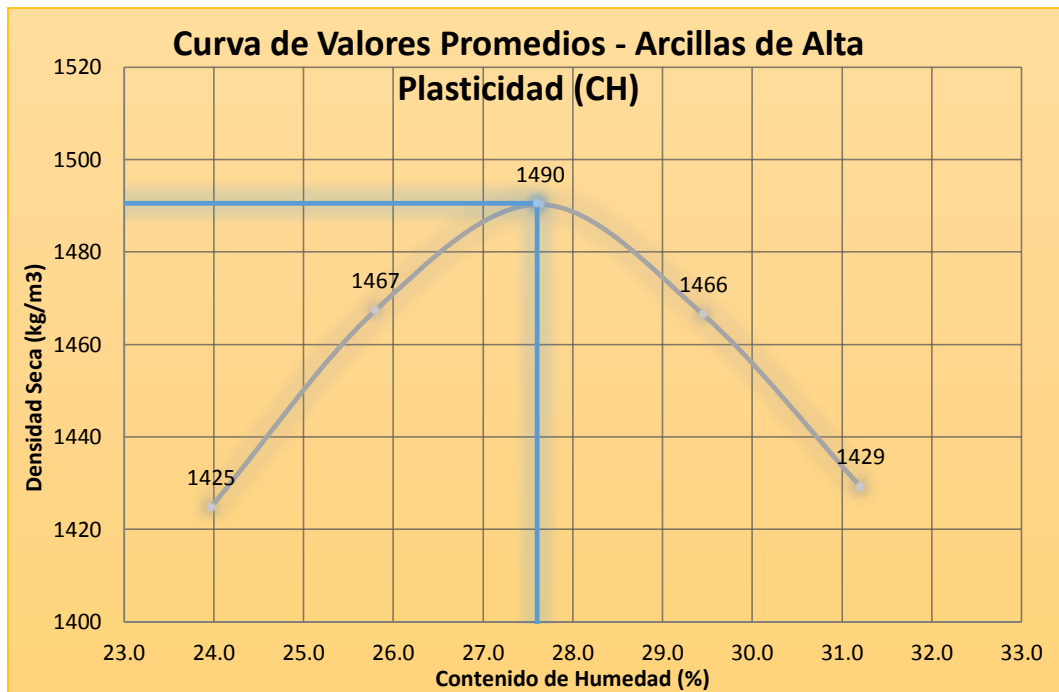


Figura 10. Gráfica de la “curva de compactación” de la subdivisión de suelos finos “Arcillas de alta plasticidad (CH)” – con valores promedios

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3 Curvas de compactación para suelos “arcillas de baja plasticidad – CL”

Respecto a las “curvas de compactación” de esta subdivisión de los suelos arcillosos que contienen mayoritariamente finos plásticos de alta compresibilidad ($LL < 50\%$), y que se encuentren por encima de la línea A de la carta de plasticidad, además a partir de la modificación de la carta de plasticidad (con Índice Plástico entre 4 y 7), corresponden a los suelos arcillosos de baja plasticidad CL (Clay Low) definido por un “Límite Líquido” $< 50\%$ y un IP mayor a 7%; y de acuerdo a los resultados que se han obtenido en los laboratorios de mecánica de suelos y que se han procesado para esta investigación, se han obtenido tres curvas de la relación densidad – humedad; una curva que representa los valores medios, otra curva que representa los valores máximos y finalmente otra curva que representan los valores mínimos de esta categoría o tipo de suelo.

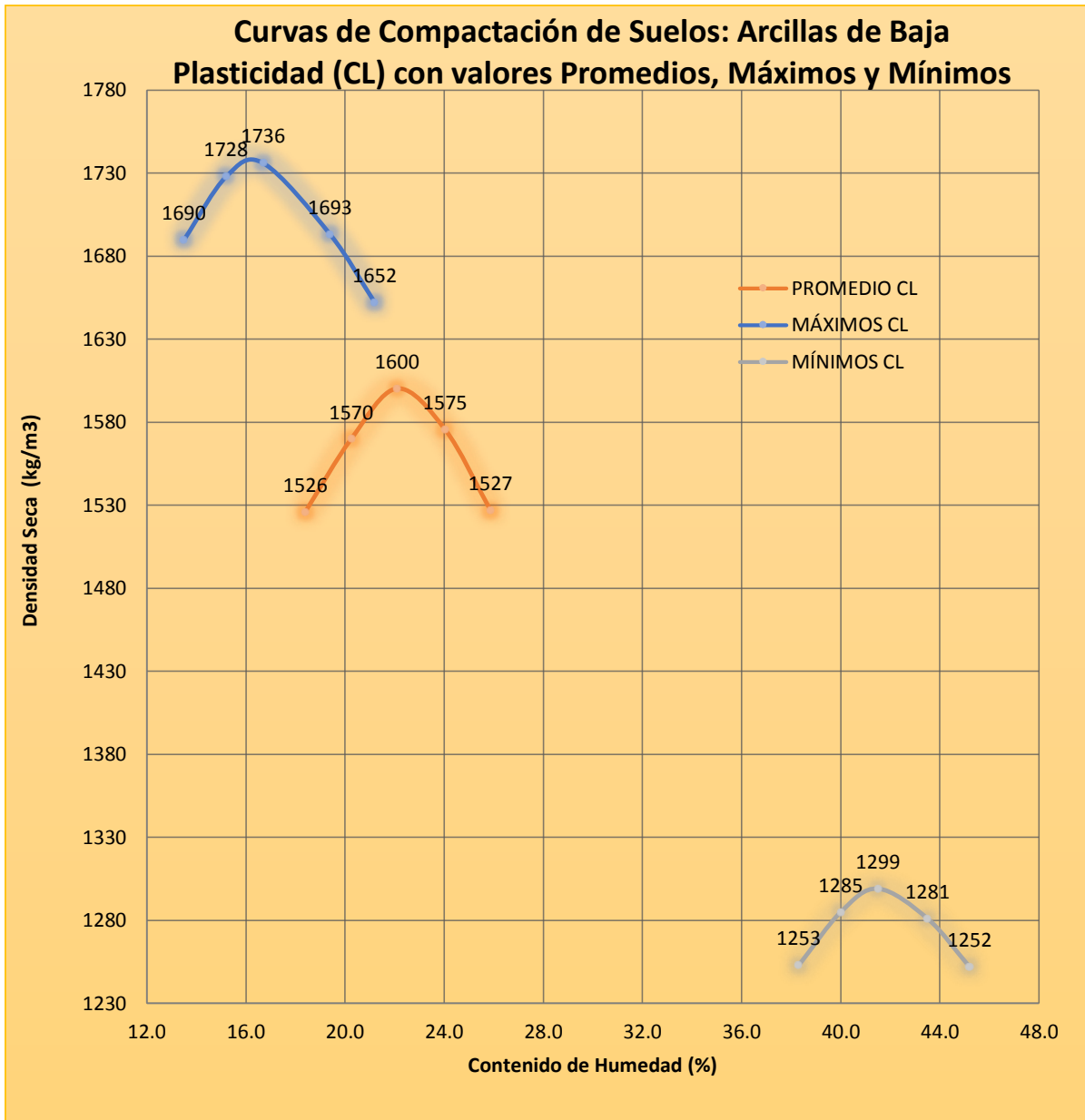


Figura 11. Gráfica de las “curvas de compactación” para la categoría de suelos “arcillas de baja plasticidad (CL)” – con valores máximos, promedios y mínimos

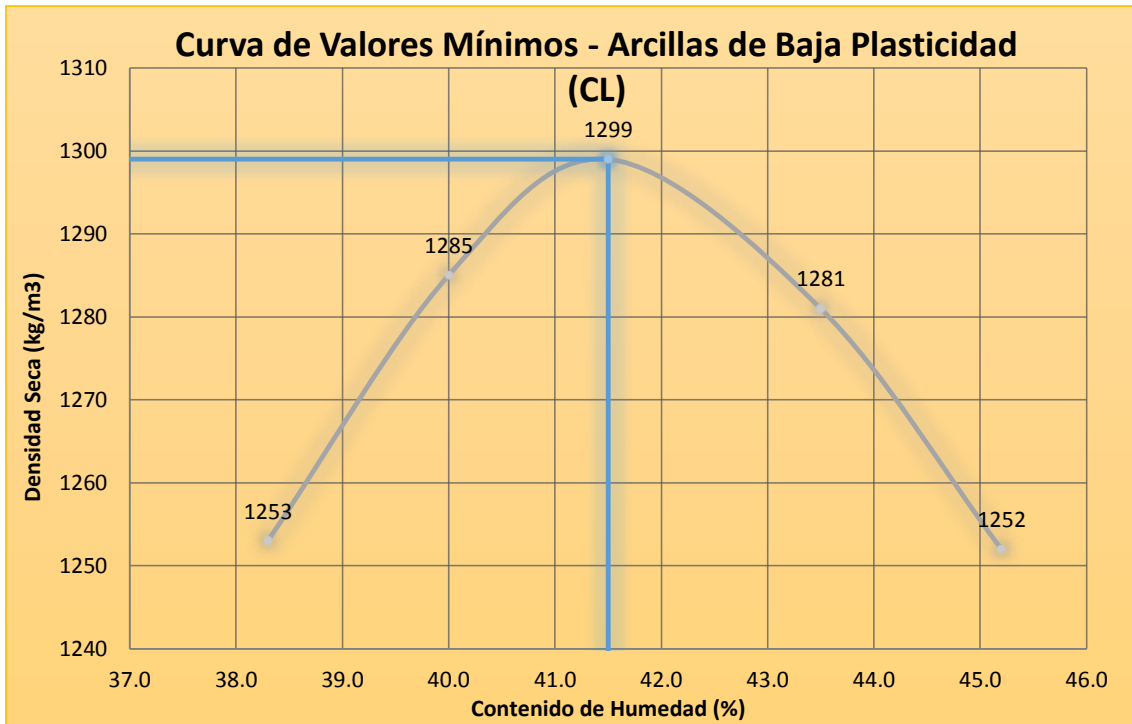


Figura 12. Gráfica de la “curva de compactación” de la subdivisión de suelos finos “arcillas de baja plasticidad (CL)” – con valores mínimos

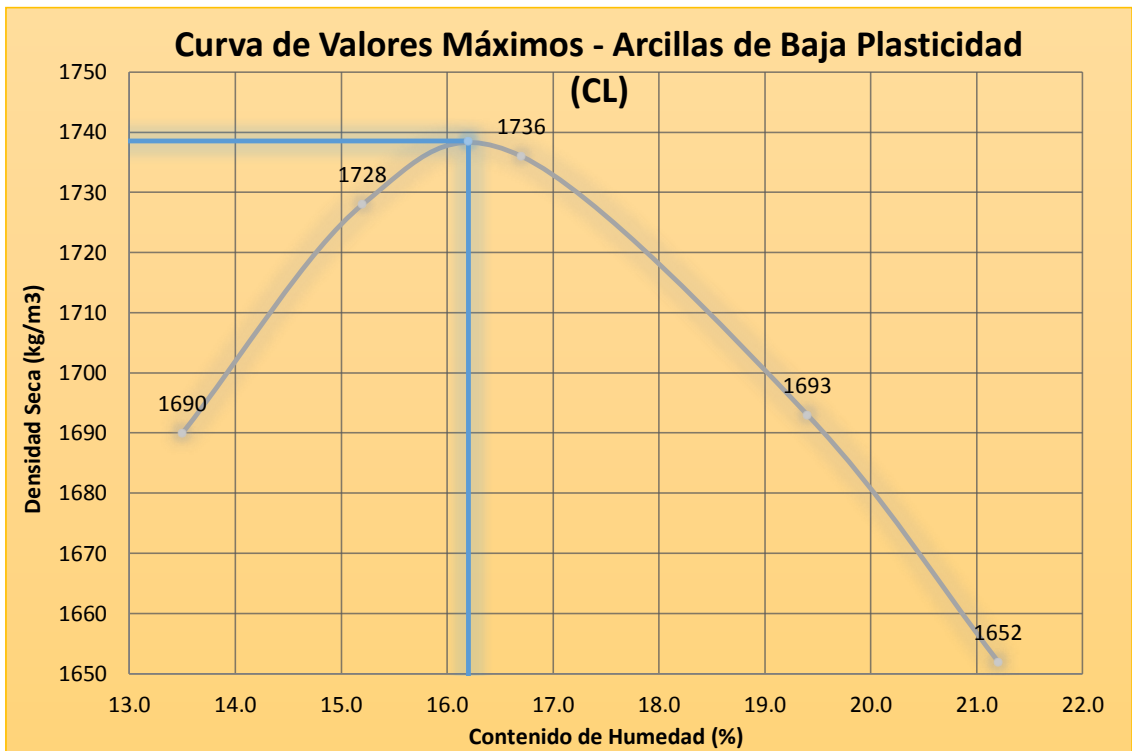


Figura 13. Gráfica de la “curva de compactación” de la subdivisión de suelos finos “arcillas de baja plasticidad (CL)” – con valores máximos

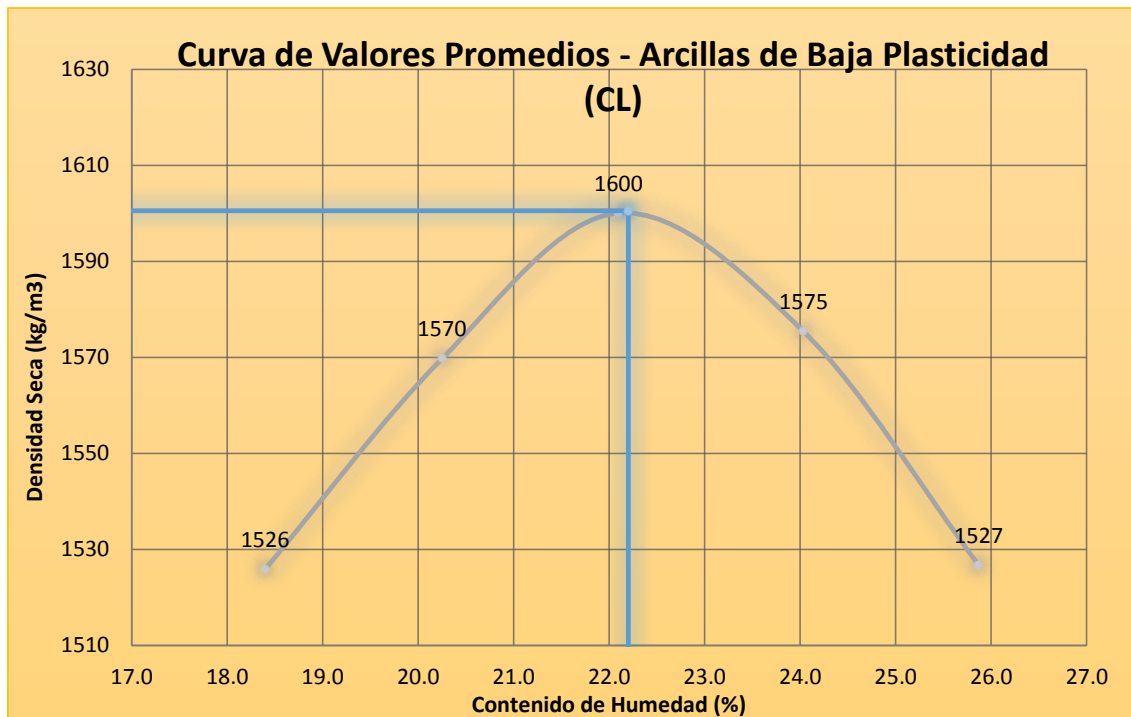


Figura 14. Gráfica de la “curva de compactación” de la subdivisión de suelos finos “arcillas de baja plasticidad (CL)” – con valores promedio

3.3.4 Resultados de las curvas de compactación para suelos “limosos - M”

Respecto a las “curvas de compactación” de esta subdivisión de los suelos conocidos como “finos”, esta categoría de suelos limosos (inorgánicos) se subdivide a su vez según su “límite líquido” en dos grupos, si el “límite líquido” está comprendido entre 20 y 50% son suelos de compresibilidad baja o media, en caso contrario si el “límite líquido” es mayor a 50% son suelos de alta compresibilidad. De acuerdo a los resultados obtenidos en los laboratorios de mecánica de suelos y que fueron procesados en esta investigación, se han obtenido tres curvas de la relación Densidad – Humedad; una curva que representa a los valores medios, otra curva que representa a los valores máximos y finalmente otra curva que representa los valores mínimos de esta categoría o tipo de suelo.

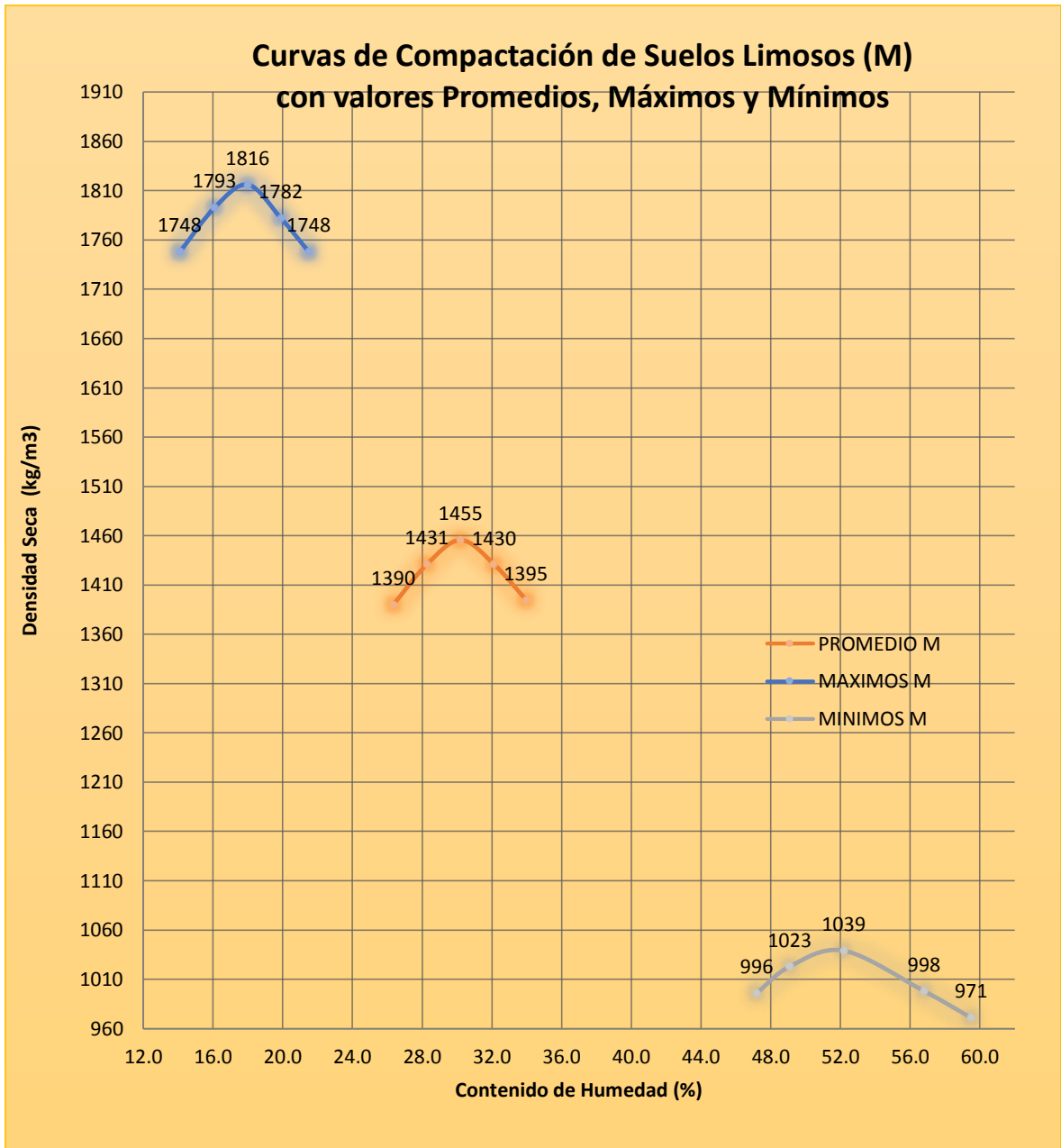


Figura 15. Gráfica de las “curvas de compactación” para la categoría de suelos “Limosos (M)” – con valores máximos, promedios y mínimos

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la figura 15, obtenida con la base de datos de la categoría de suelos “Limos”, incorporan la subdivisión de suelos “limos de alta plasticidad” y “limos de baja plasticidad” y establece que para este tipo de suelos las densidades secas para la “curva de compactación” de valores mínimos se encuentran en el rango de 971 kg/m³ hasta 1039 kg/m³, para la “curva de compactación” de valores promedios las densidades secas se encuentran en el rango de 1390 kg/m³ hasta

1455 kg/m³ y para la “curva de compactación” de valores máximos las densidades secas se encuentran en el rango de 1748 kg/m³ hasta 1816 kg/m³

Tabla 4. Estadísticos de los valores de densidad seca (kg/m³) utilizados para la “curva de compactación”, de la categoría de suelos “Limosos (M)”

Estadísticos de densidades de la curva próctor – suelos limosos (M)					
	DENSIDAD	DENSIDAD	DENSIDAD	DENSIDAD	DENSIDAD
	1	2	3	4	5
Válido	88	88	88	88	88
Perdidos	0	0	0	0	0
Media	1,390	1,431	1,455	1,430	1,395
Mediana	1,403	1,450	1,467	1,448	1,415
Moda	1,166 ^a	1,261	1,296 ^a	1,342 ^a	1,608
Desviación estándar	,176679	,187628	,191318	,184276	,177917
Varianza	,031	,035	,037	,034	,032
Rango	,752	,770	,777	,784	,777
Mínimo	,996	1,023	1,039	,998	,971
Máximo	1,748	1,793	1,816	1,782	1,748

a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la tabla 4, muestran los valores mínimos, máximos y promedios que se utilizaron para obtener las tres “curvas de compactación” de la relación Densidad – Humedad (curva próctor) para los suelos “limosos” y nos indican que para la curva de valores mínimos la “máxima densidad seca” es de 1,039 kg/m³, para la curva de valores máximos la “máxima densidad seca” es de 1816 kg/m³ y para los valores promedio la “máxima densidad seca” es de 1455 kg/m³.

Los resultados estadísticos de la variable densidad seca 3 que representa el valor más alto de la “curva de compactación”, nos indica una media de 1460 kg/m³ y una desviación estándar de 0,191318, datos que llevados al cálculo del coeficiente de variabilidad con 13.10% indica que la variable investigada es homogénea. La mediana con un valor de 1467 kg/m³ nos indica que la media estadística de la muestra tomada es ligeramente inferior. La variancia con un valor de 0,037 indica muy poca dispersión de la variable respecto a la media. El rango obtenido nos indica que los datos están comprendidos en un intervalo de 777 kg/m³

A continuación se muestran los gráficos con las “curvas de compactación” con los valores mínimos, promedio y máximos utilizados.

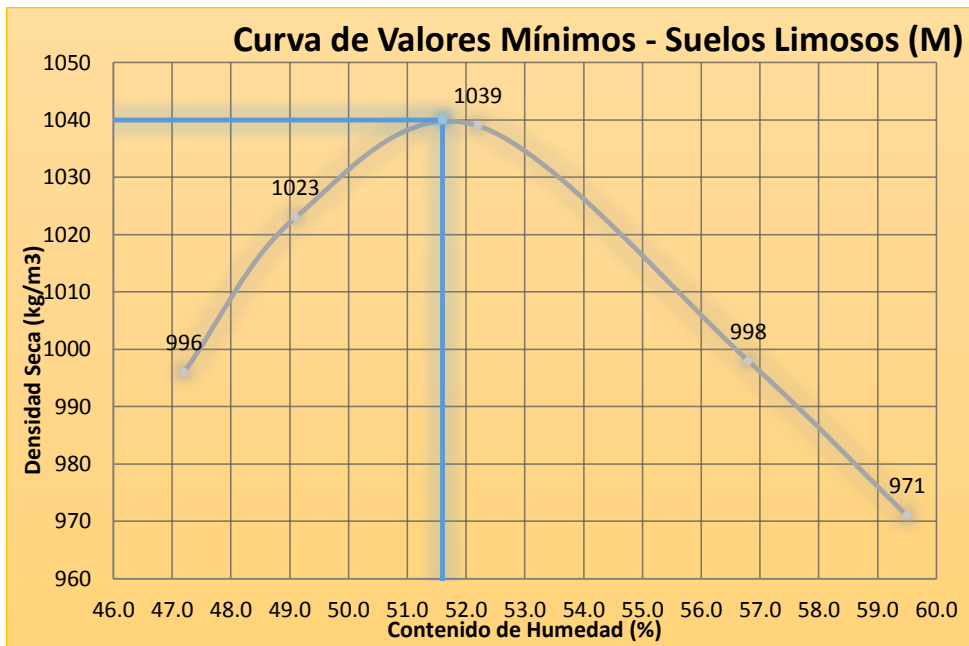


Figura 16. Gráfica de la “curva de compactación” para la categoría de suelos finos “Limosos (M)” – con valores mínimos.

Fuente: Elaboración propia

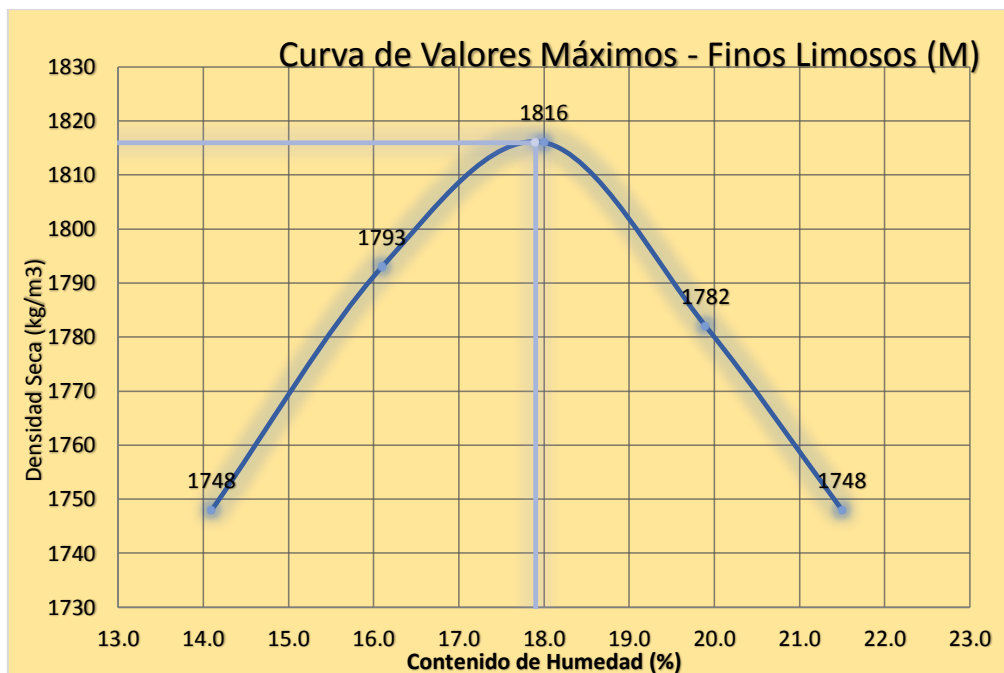


Figura 17. Gráfica de la “curva de compactación” para la categoría de suelos finos “Limosos (M)” – con valores máximos.

Fuente: Elaboración propia.

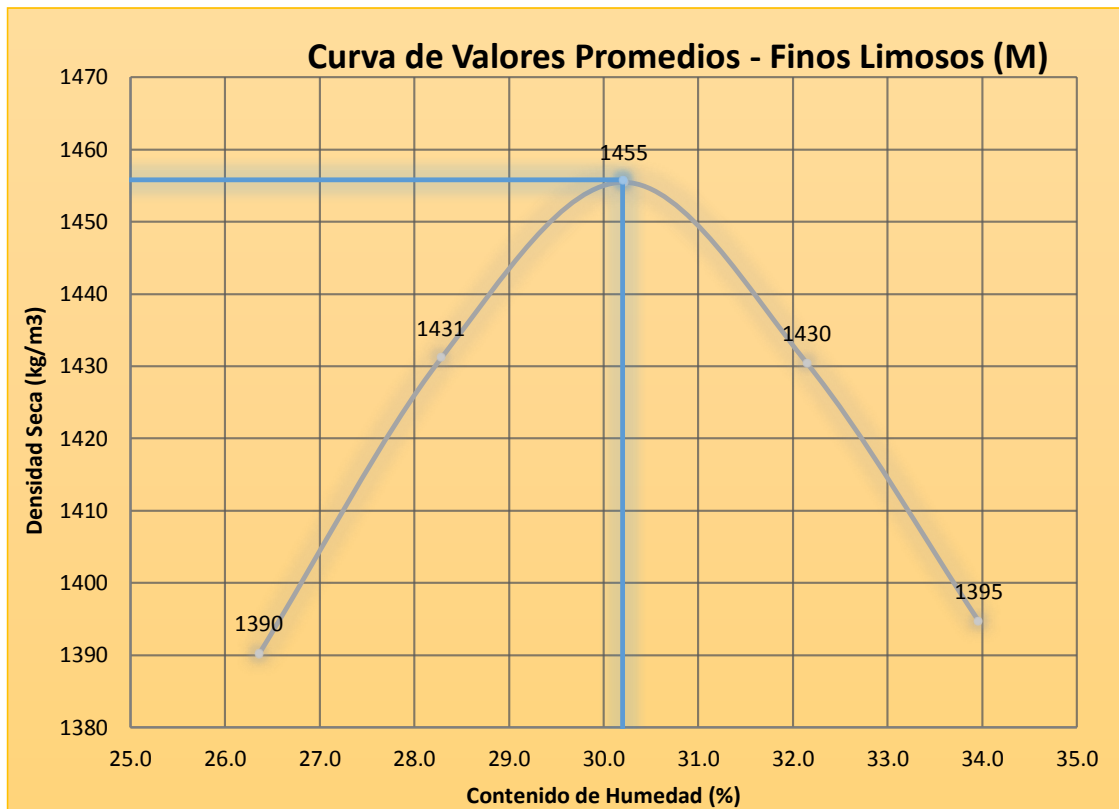


Figura 18. Gráfica de la “curva de compactación” para la categoría de suelos finos “Limosos (M)” – con valores promedio.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.5 Curvas de compactación para suelos “limos de alta plasticidad – MH”

Respecto a las “curvas de compactación” de esta subdivisión de los suelos limosos que contienen mayoritariamente finos limosos de alta compresibilidad ($LL > 50\%$) y que se encuentra debajo de la línea A y corresponden a los suelos limosos de alta plasticidad MH (Mo/Mjala High), y de acuerdo a los resultados que se han obtenido en los laboratorios de mecánica de suelos y que se han procesado para esta investigación; se han obtenido tres curvas de la relación densidad – humedad; una curva que representa los valores medios, otra curva que representa los valores máximos y finalmente otra curva que representa los valores mínimos de esta categoría o tipo de suelo.

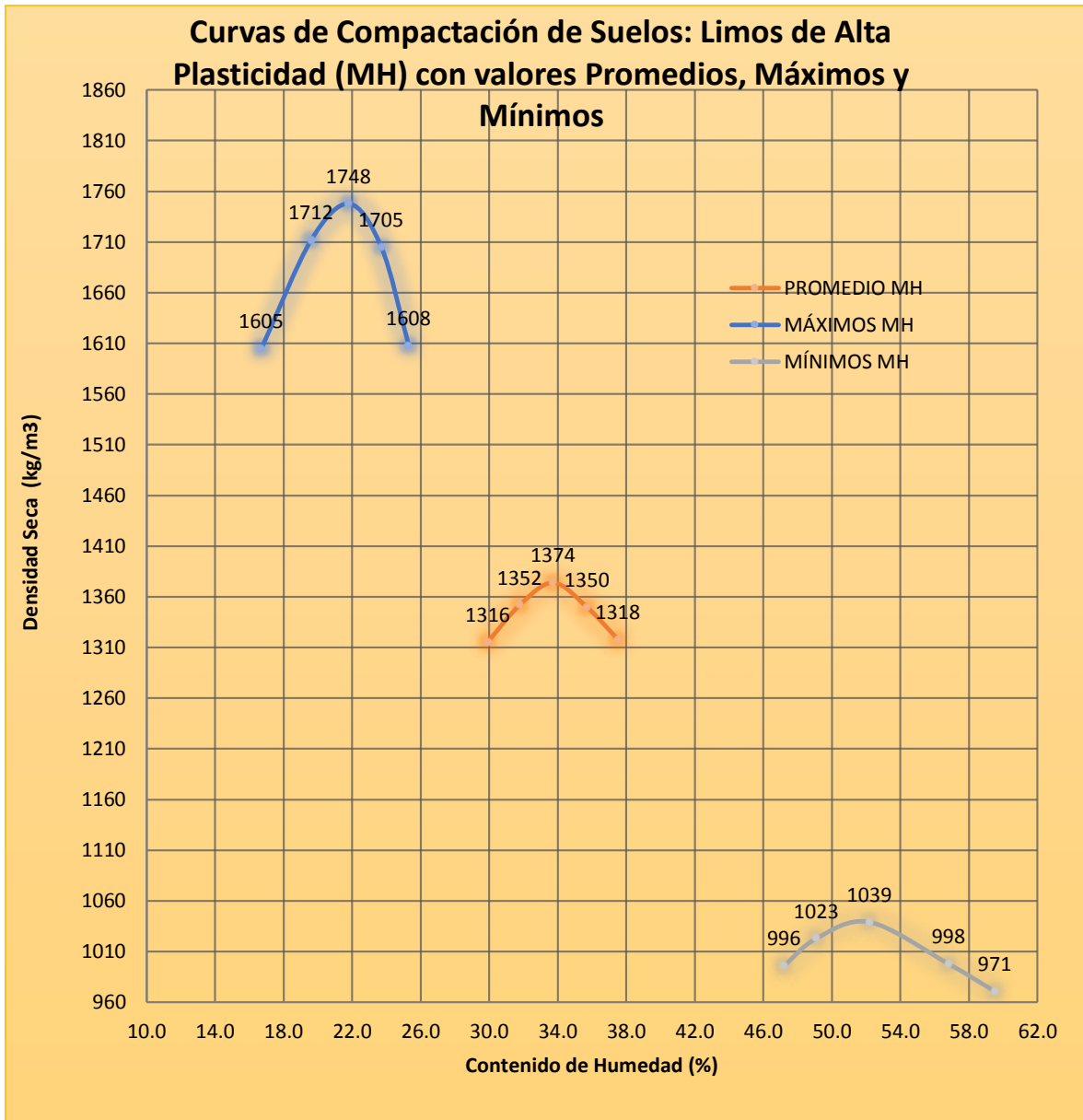


Figura 19. Gráfica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos finos “Limos de alta plasticidad (MH)” – con valores máximos, promedios y mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

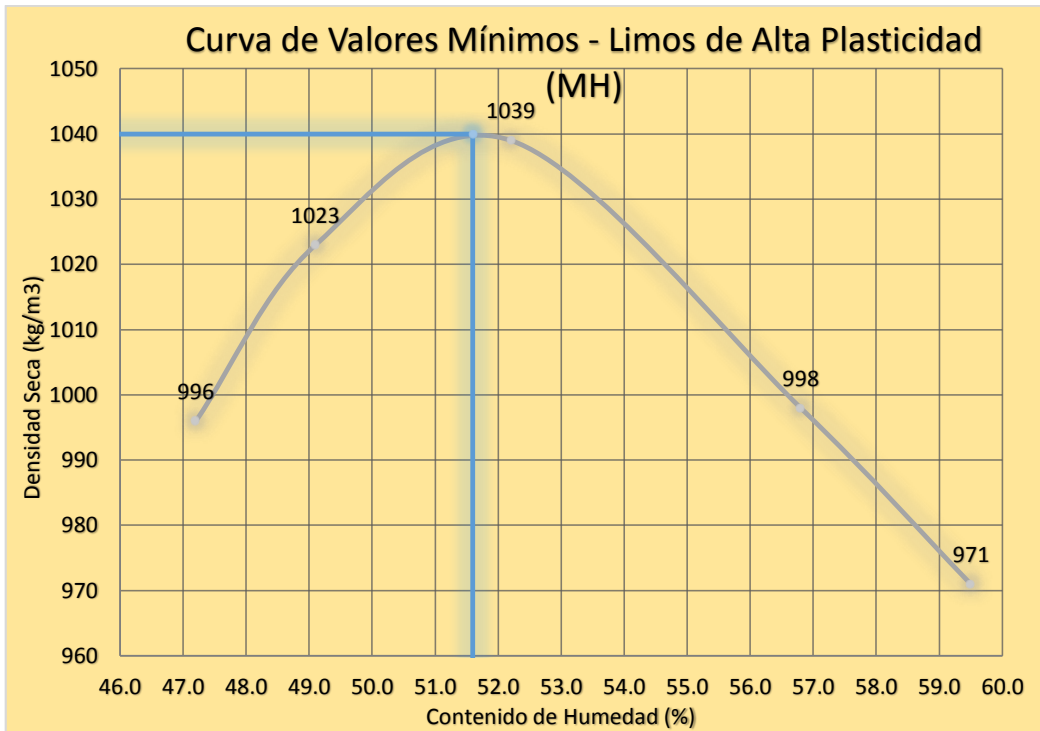


Figura 20. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “limos de alta plasticidad (MH)” – con valores mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

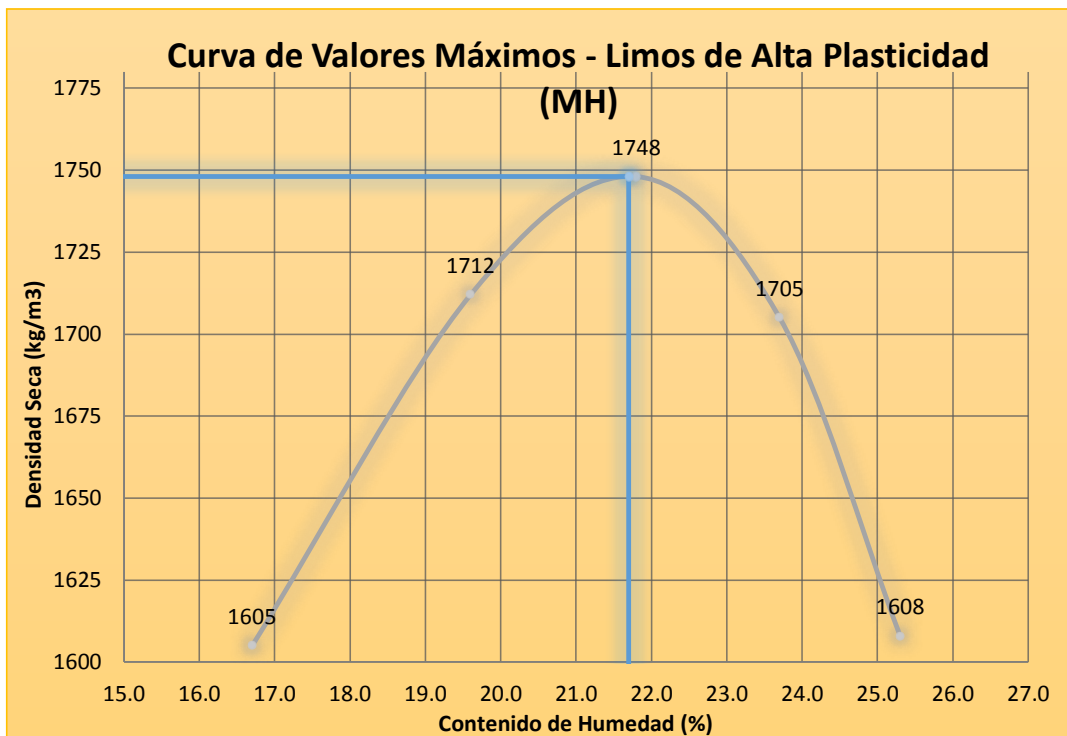


Figura 21. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “limos de alta plasticidad (MH)” – con valores máximos.

Fuente: Elaboración propia.

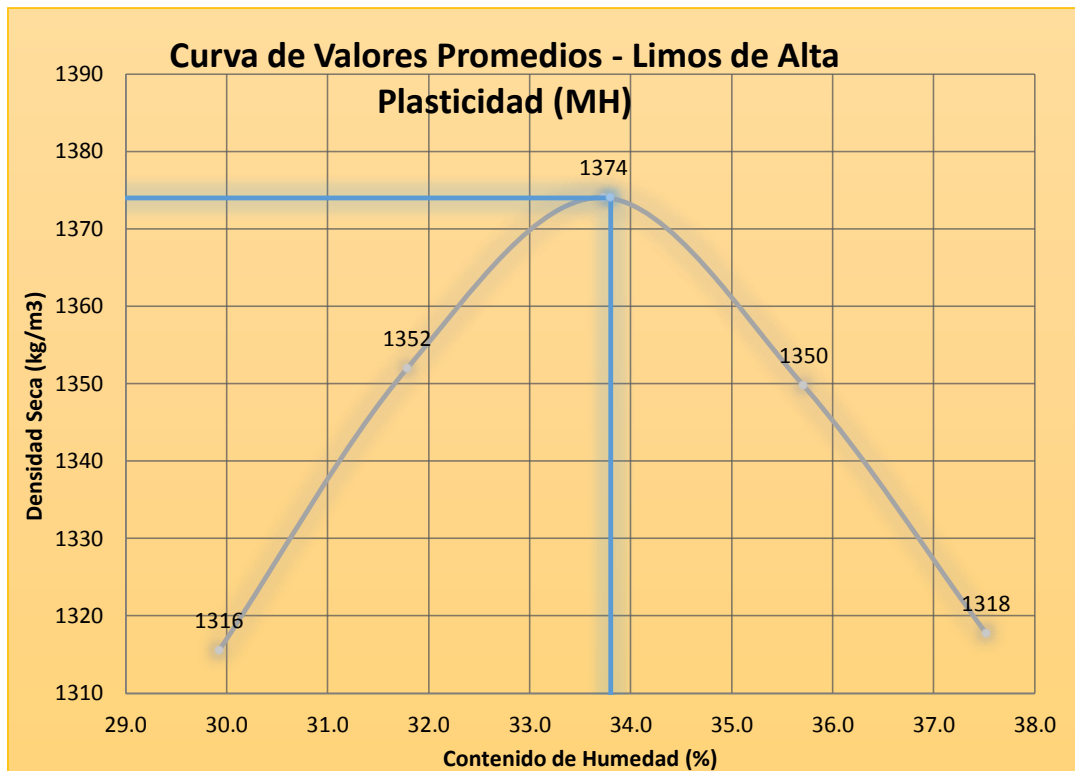


Figura 22. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “limos de alta plasticidad (MH)” – con valores promedio.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.6 Curvas de compactación para suelos “limos de baja plasticidad – ML”

Respecto a las “curvas de compactación” de esta subdivisión de los suelos limosos que contienen mayoritariamente finos no plásticos de baja compresibilidad con un “límite líquido” menor a 50% y la porción sobre la línea A con un índice plástico < 4, y corresponden a limos de baja plasticidad ML (Mo/Mjala Low), y de acuerdo a los resultados que se han obtenido en los laboratorios de mecánica de suelos y que se han procesado para esta investigación; se han obtenido tres curvas de la relación Densidad –Humedad, una curva que representa los valores medios, otra curva que representa los valores máximos y finalmente otra curva que representa los valores mínimos de esta categoría o tipo de suelo.

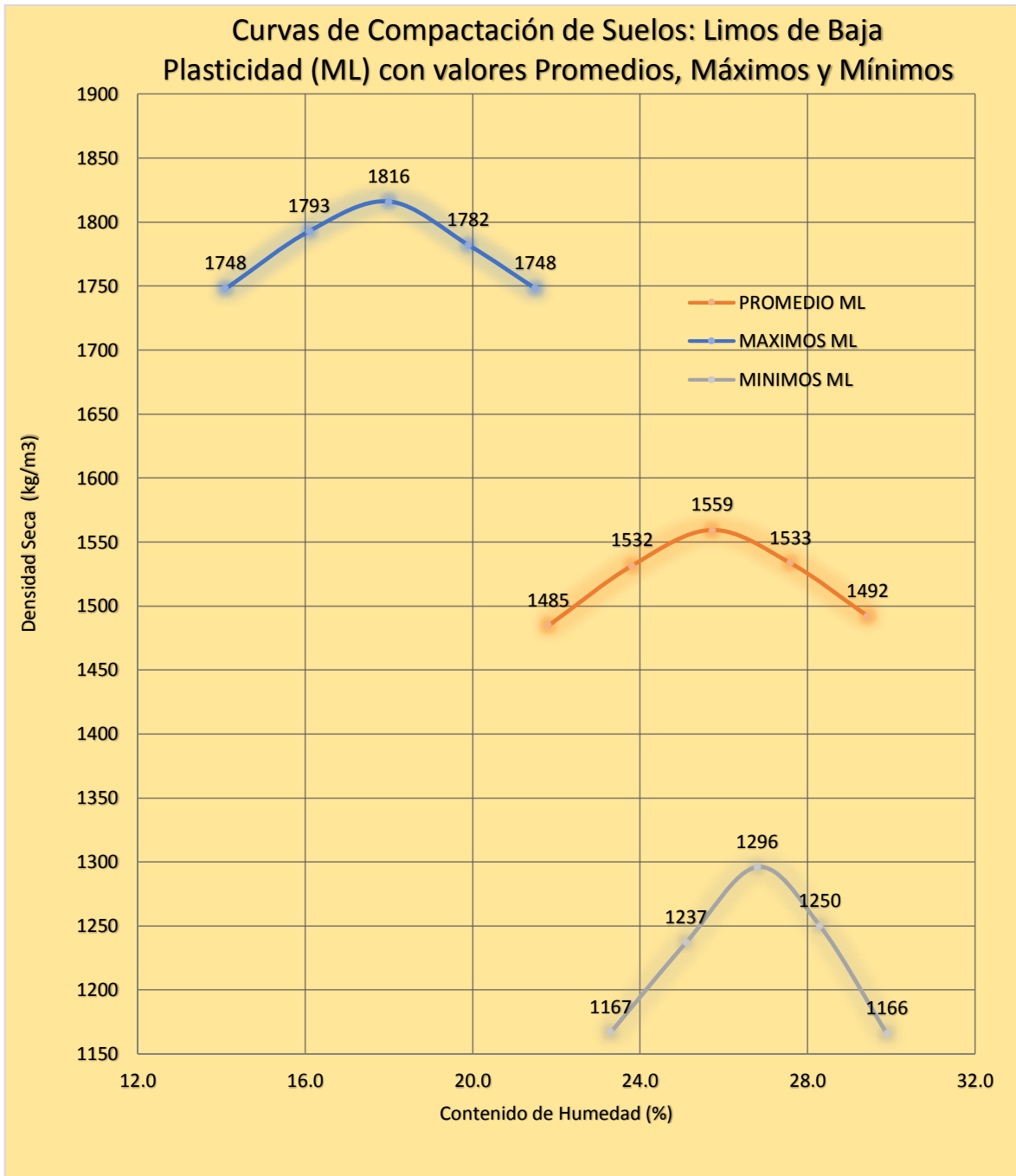


Figura 23. Gráfica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos finos “limos de baja plasticidad (ML)” – con valores máximos, promedios y mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

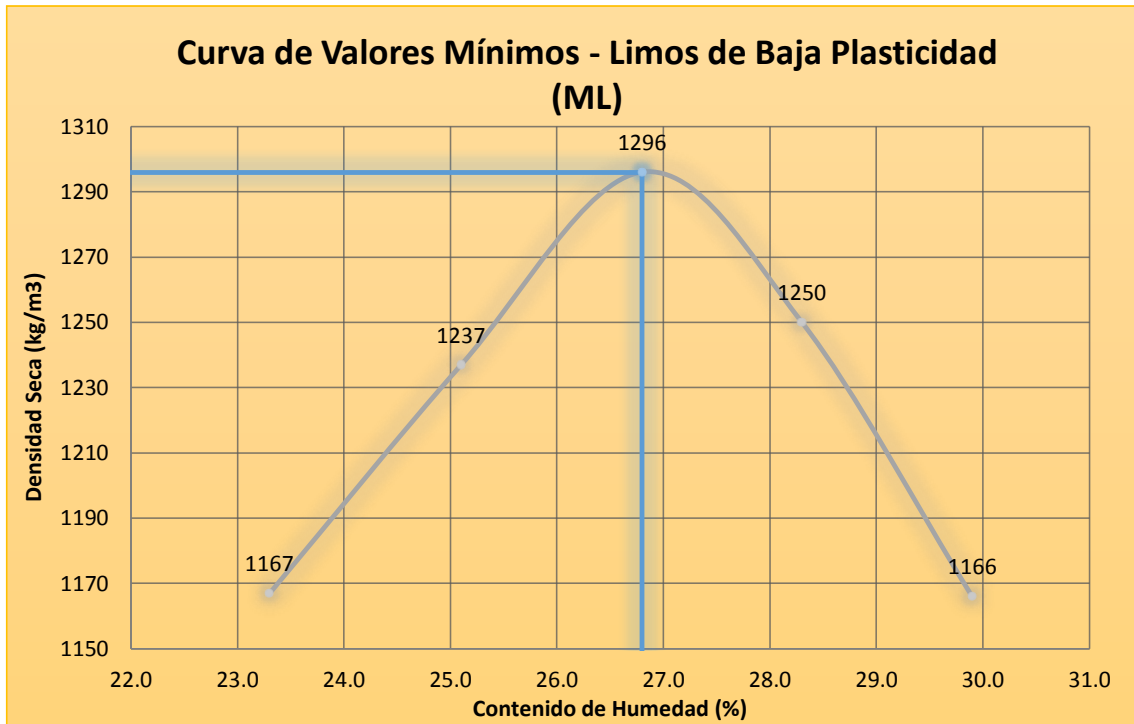


Figura 24. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “limos de baja plasticidad (ML)” – con valores mínimos

Fuente: Elaboración propia.

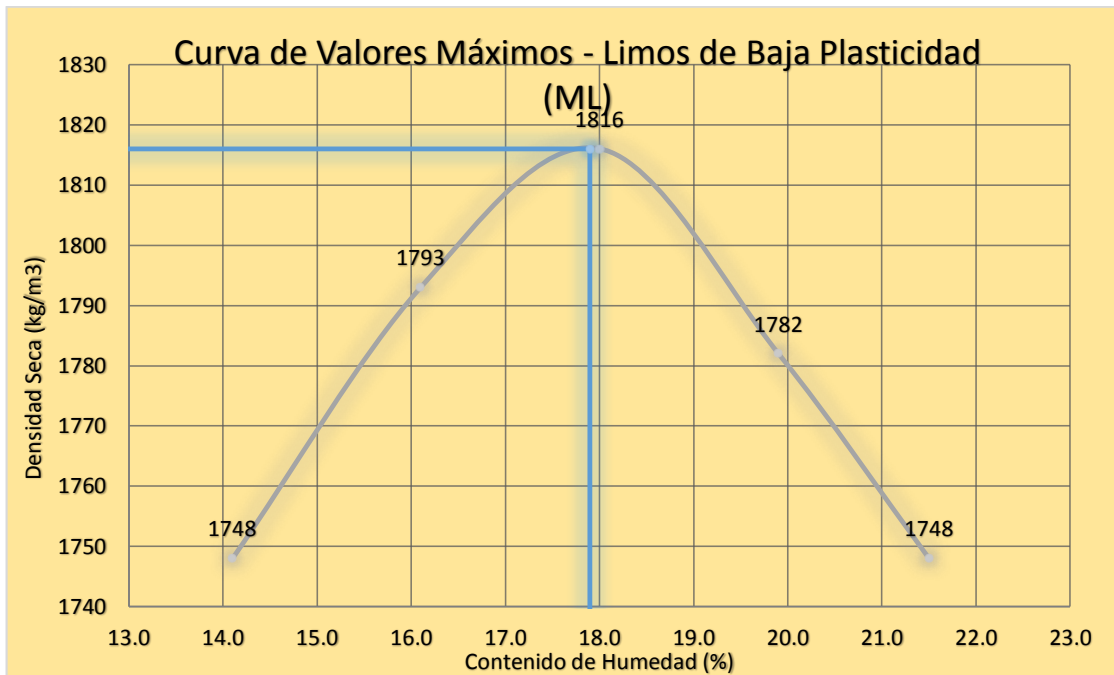


Figura 25. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “limos de baja plasticidad (ML)” – con valores máximos.

Fuente: Elaboración propia.

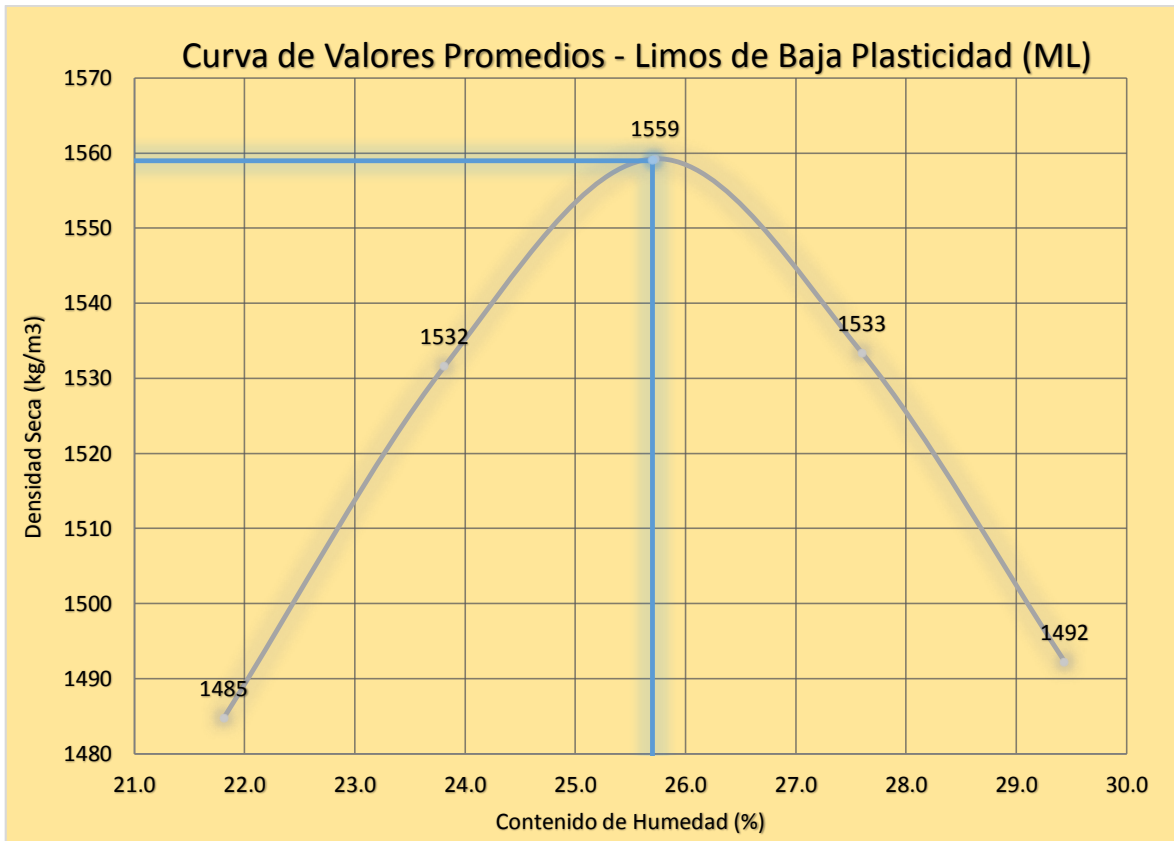


Figura 26. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “limos de baja plasticidad (ML)” – con valores promedio.

Fuente: Elaboración propia.

3.4 Resultados de las curvas de compactación para suelos arenosos (S)

Respecto a las “curvas de compactación” para los suelos arenosos (S), donde predominan las arenas en porcentaje respecto a las gravas y luego del “cribado”, estas partículas se pueden distinguir debido a que estas se retienen desde la malla N° 4 hasta la malla N° 200, las arenas y las gravas se separan con la malla N° 4. De acuerdo a los resultados obtenidos en los laboratorios de mecánica de suelos y que se han procesado para esta investigación, se han obtenido tres curvas de la relación Densidad – Humedad de todos los suelos donde predominó las arenas; es así que se obtuvo una curva que representa los valores medios, otra curva que representa los valores máximos y finalmente otra curva que representa los valores mínimos de esta categoría o tipo de suelo.

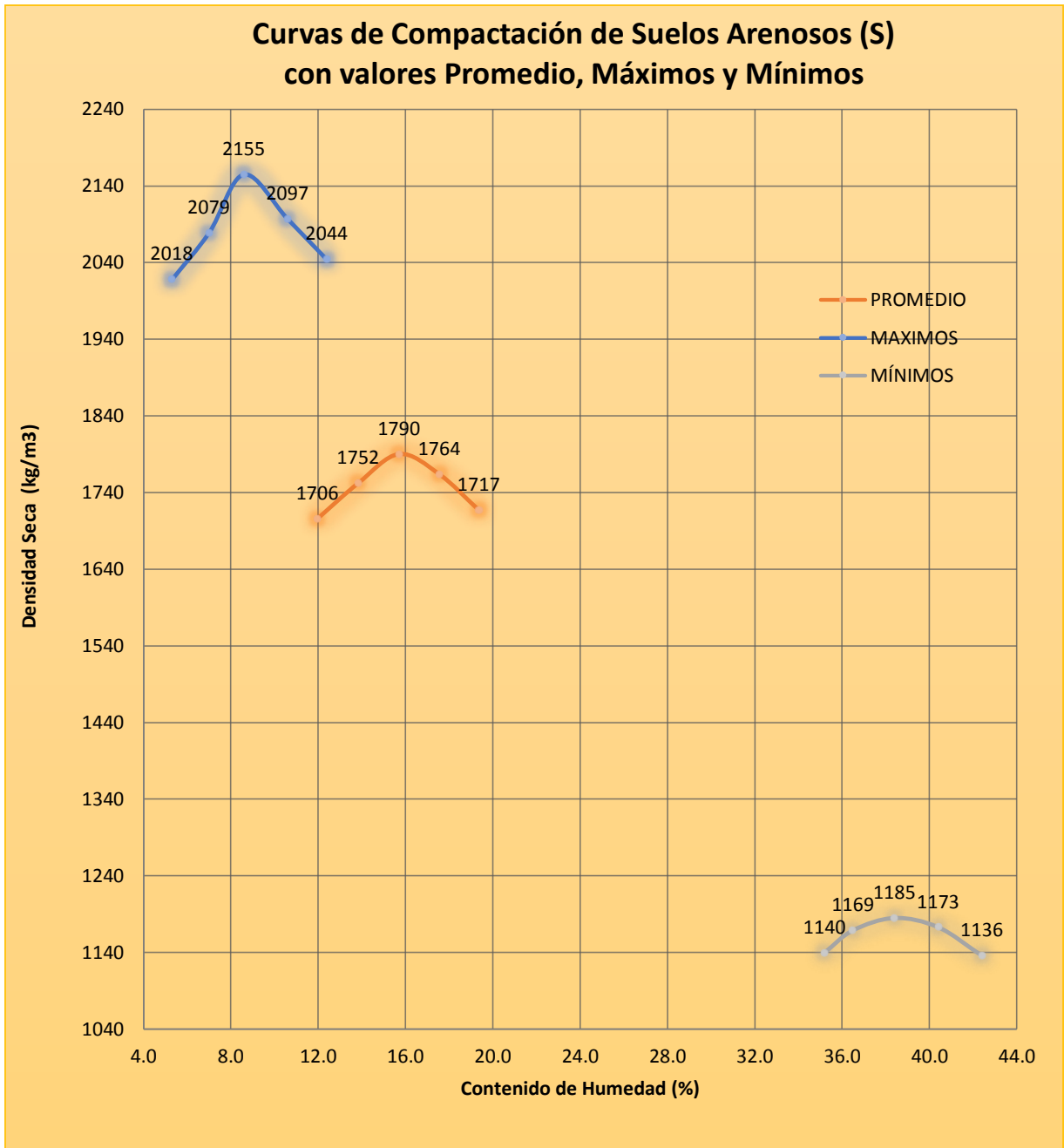


Figura 27. Gráfica de las “curvas de compactación” para la categoría de suelos “arenosos (S)” – con valores máximos, promedios y mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la figura 27, obtenida con la base de datos de la categoría de suelos: “arenas”, incorporan las subdivisiones de suelos “arena arcillosa”, “arena limosa”, “arena bien graduada con limo”, “arena pobremente graduada con limo”, “arena limo arcillosa” y “arena pobremente graduada” y establece que para este tipo de suelos las densidades secas para la “curva de compactación” de valores mínimos se encuentra en el rango de 1136 kg/m³ hasta 1185 kg/m³, para la “curva

de compactación” de valores promedios las densidades secas se encuentra en el rango de 1706 kg/m³ hasta 1790 kg/m³ y para la “curva de compactación” de valores máximos las densidades secas se encuentran en el rango de 2018 kg/m³ hasta 2155 kg/m³.

Tabla 5. Estadísticos de los valores de densidad utilizados en las “curvas de compactación” (próctor) para la categoría de suelos “arenosos (S)”

Estadísticos de densidades para la curva próctor – suelos arenosos (S)					
	DENSIDAD	DENSIDAD	DENSIDAD	DENSIDAD	DENSIDAD
	1	2	3	4	5
Válido	391	391	391	391	391
Perdidos	0	0	0	0	0
Media	1,705	1,752	1,790	1,763	1,717
Mediana	1,73000	1,77500	1,81500	1,79300	1,74400
Moda	1,579 ^a	1,662 ^a	1,925	1,745 ^a	1,553 ^a
Desviación estándar	,186456	,190259	,195391	,192117	,189119
Varianza	,035	,036	,038	,037	,036
Rango	,934	,957	,970	,957	,949
Mínimo	1,140	1,169	1,185	1,173	1,136
Máximo	2,074	2,126	2,155	2,130	2,085

a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

Los resultados de la tabla 5, muestran los valores mínimos, máximos y promedios que se utilizaron para obtener las tres “curvas de compactación” de la relación Densidad – Humedad (curva próctor) para los suelos “arenosos” y nos indica que para la curva de valores mínimos la “máxima densidad seca” es de 1185 kg/m³, para la curva de valores máximos la densidad seca es de 1832 kg/m³ y para los valores promedio la “máxima densidad seca” es de 1790 kg/m³.

Los resultados estadísticos de la variable densidad seca 3, que representa la máxima densidad de los valores utilizados en la “curva de compactación”, nos indica una media de 1,790 kg/m³ y una desviación estándar de 0,195391 datos que llevados al cálculo del coeficiente de variabilidad con 10.91 % nos indica que esta variable analizada es homogénea. La mediana con un valor de 1,815 kg/m³ nos indica que la media estadística de la muestra “suelos arenosos” es ligeramente inferior. La variancia con un valor de 0,038 indica muy poca dispersión de la variable respecto a su media. El rango obtenido nos indica que los datos están comprendidos en un intervalo de 970 kg/m³.

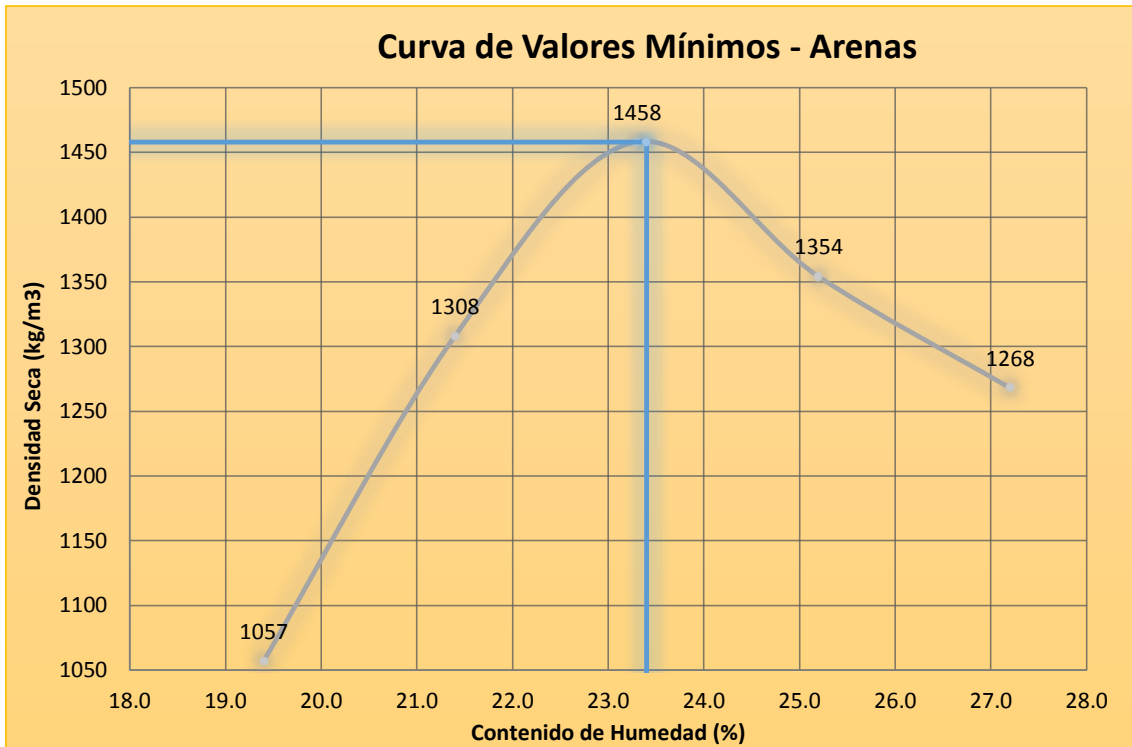


Figura 28. Gráfica de la “curva de compactación” para la categoría de suelos “arenosos (S)” – con valores mínimos

Fuente: Elaboración propia.

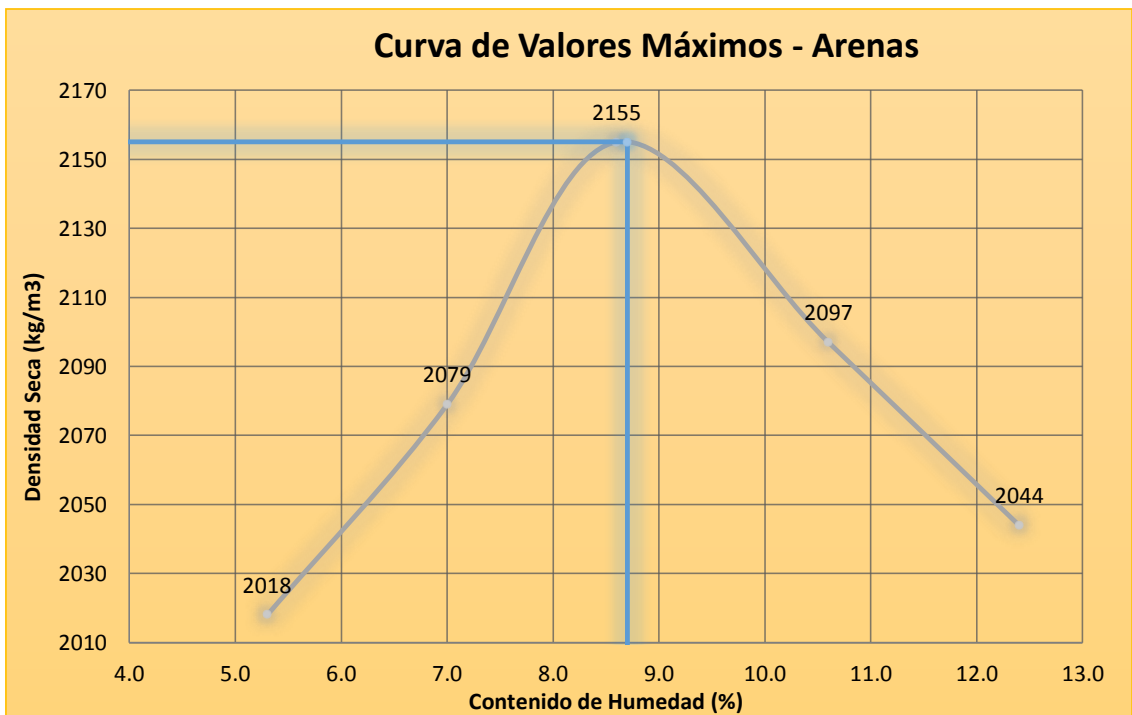


Figura 29. Gráfica de la “curva de compactación” para la categoría de suelos “arenosos (S)” – con valores máximos.

Fuente: Elaboración propia.

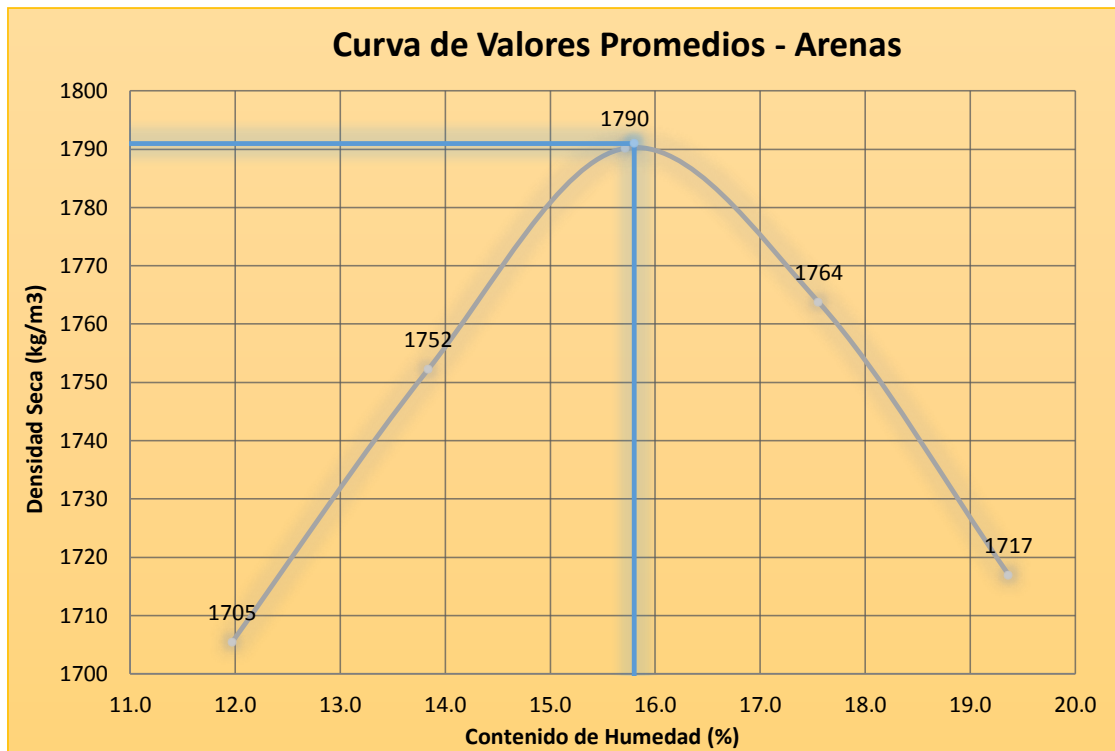


Figura 30. Gráfica de la “curva de compactación” para la categoría de suelos “arenosos (S)” – con valores promedio.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.1 Curvas de compactación para suelos “arena arcillosa – SC”

Respecto a las “curvas de compactación” de suelos de arena arcillosa SC (Sand Clay) que se caracterizan por ser materiales con cantidad apreciable de finos plásticos y de acuerdo a los resultados obtenidos en los laboratorios de mecánica de suelos y que se han procesado para esta investigación, se han obtenido tres curvas de la relación Densidad – Humedad; una curva que representa los valores medios, otra curva que representa los valores máximos y finalmente otra curva que representa los valores mínimos de esta categoría o tipo de suelo.

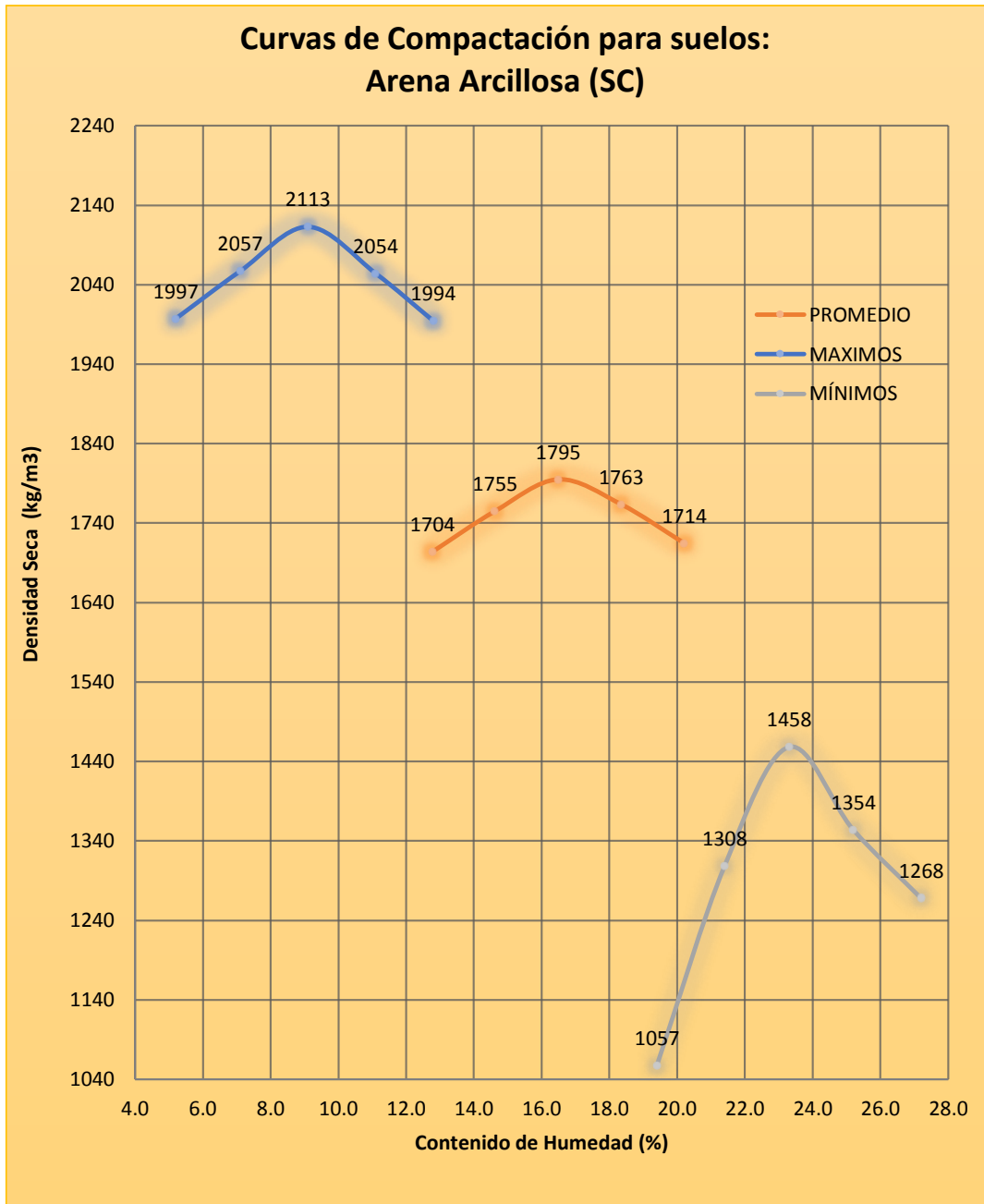


Figura 31. Gráfica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos “arena arcillosa (SC)” – con valores máximos, promedios y mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

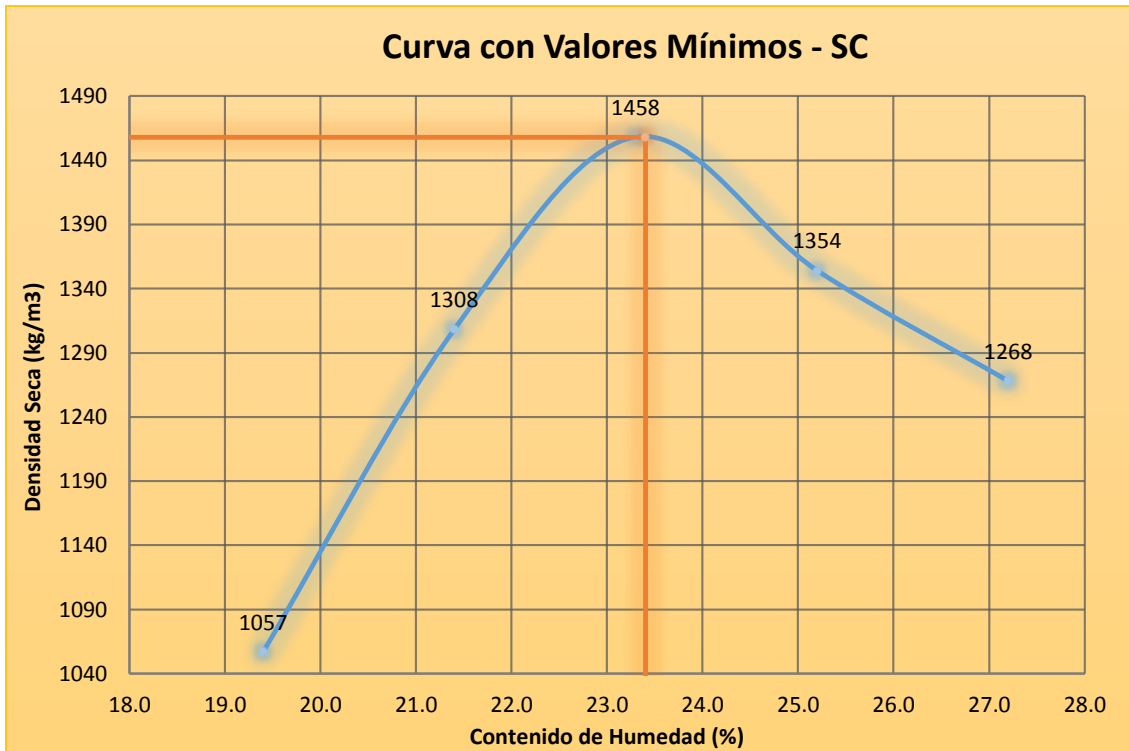


Figura 32. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena arcillosa (SC)” – con valores mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

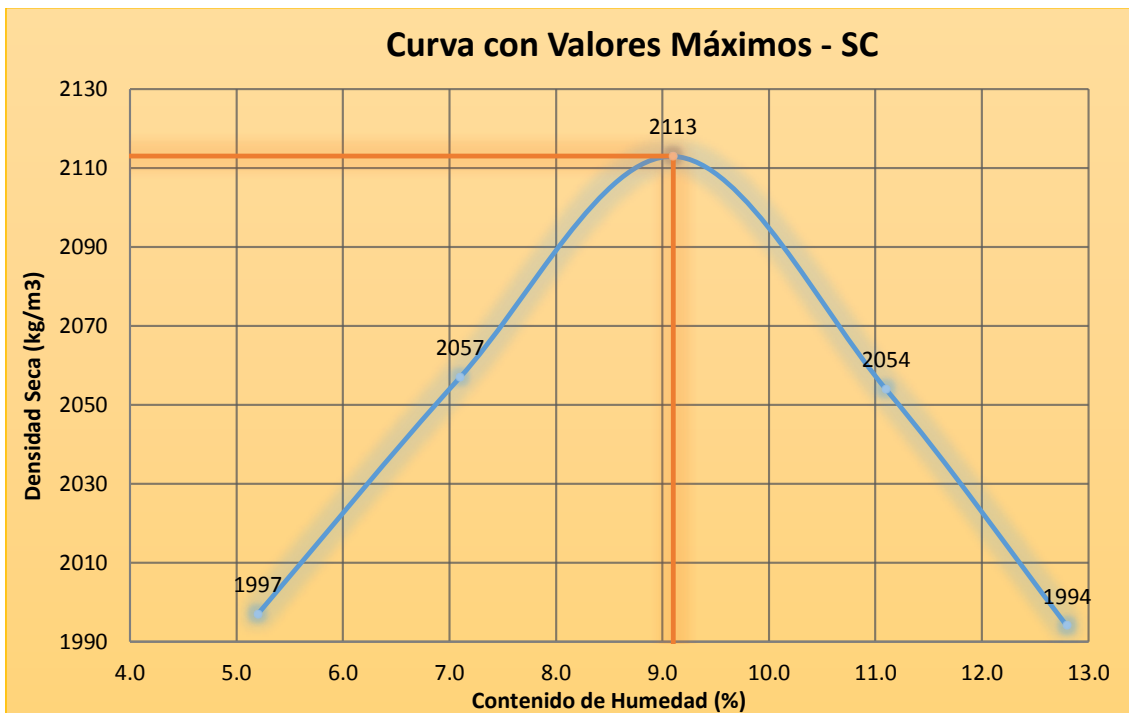


Figura 33. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena arcillosa (SC)” – con valores máximos.

Fuente: Elaboración propia.

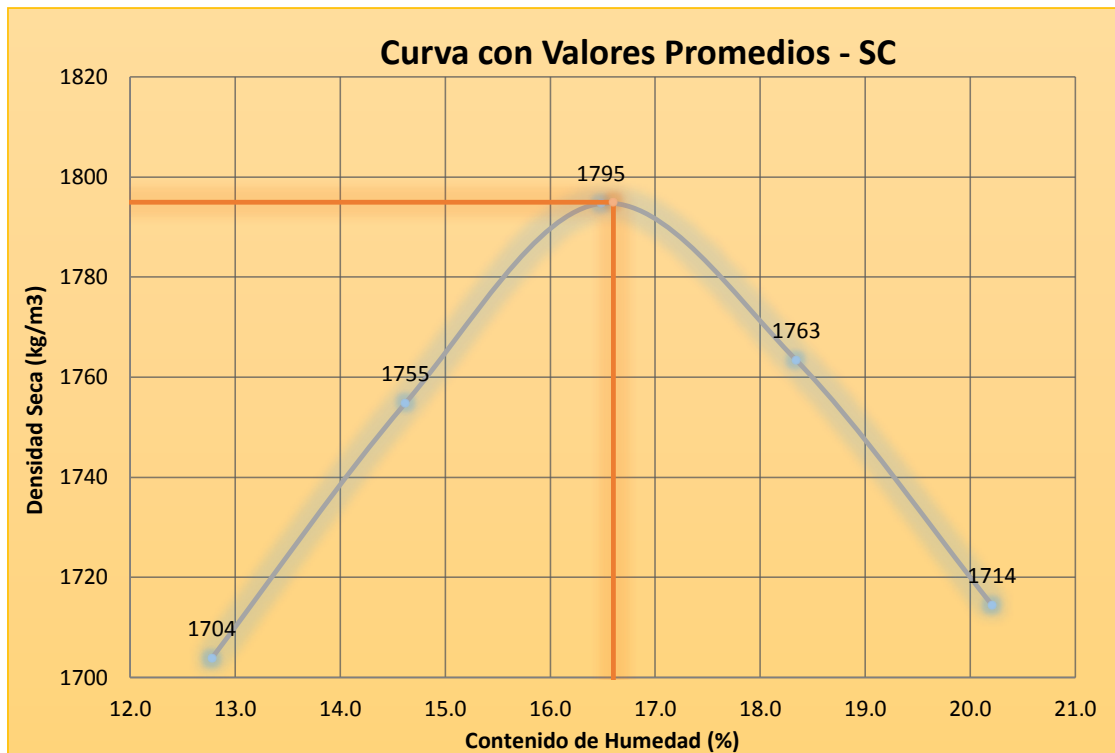


Figura 34. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena arcillosa (SC)” – con valores promedio.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2 Curvas de compactación para suelos “arena limosa – SM”

Respecto a las “curvas de compactación” de suelos de arena limosa SM (Sand Mo) que se caracteriza por presentar cantidad apreciable de finos no plásticos, y de acuerdo a los resultados obtenidos en los laboratorios de mecánica de suelos y que se han procesado para esta investigación, se han obtenido tres curvas de la relación Densidad – Humedad; una curva que representa los valores medios, otra curva que representa los valores máximos y finalmente otra curva que representa los valores mínimos de esta categoría o tipo de suelo.

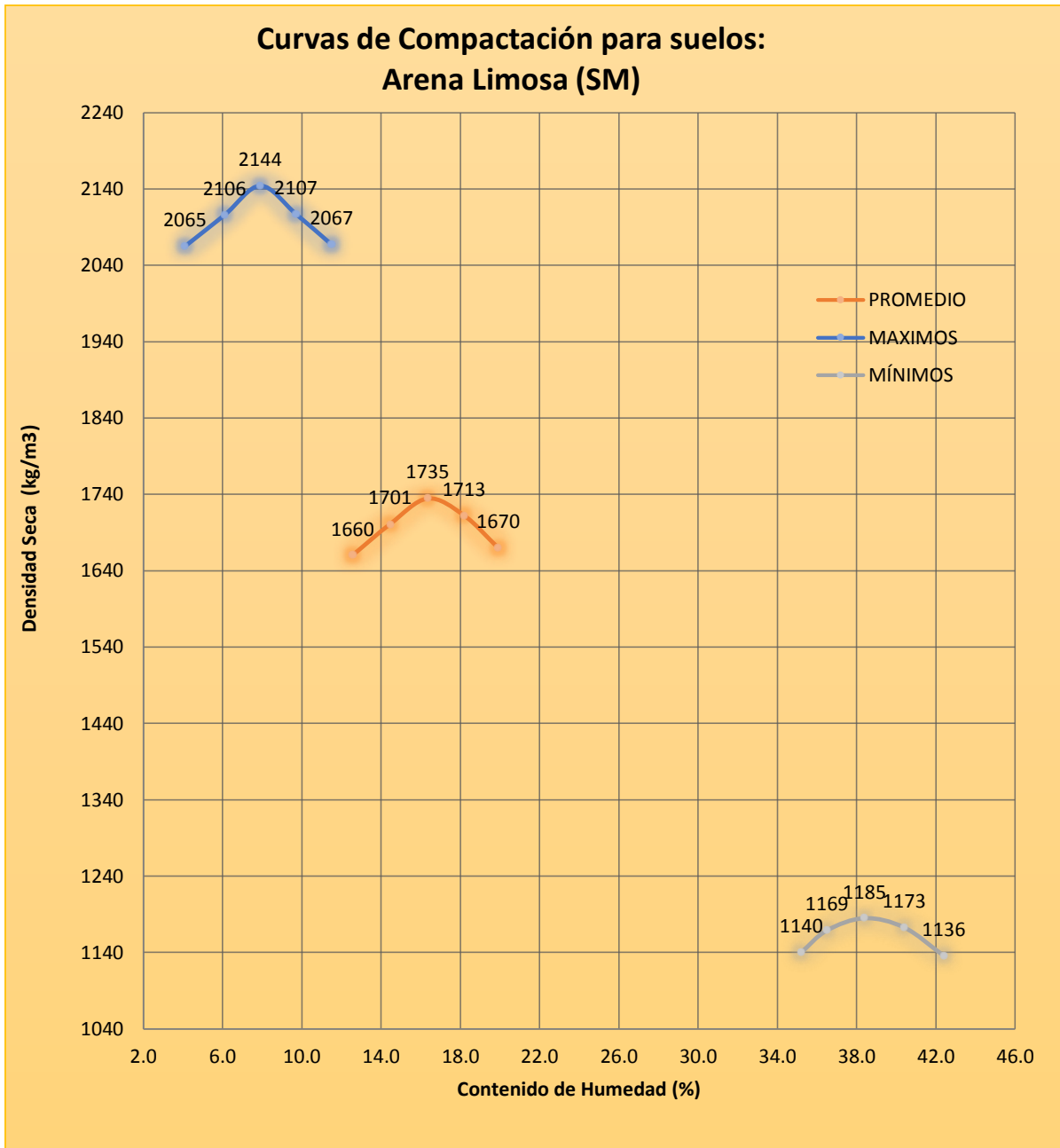


Figura 35. Gráfica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos “arena limosa (SM)” – con valores máximos, promedios y mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

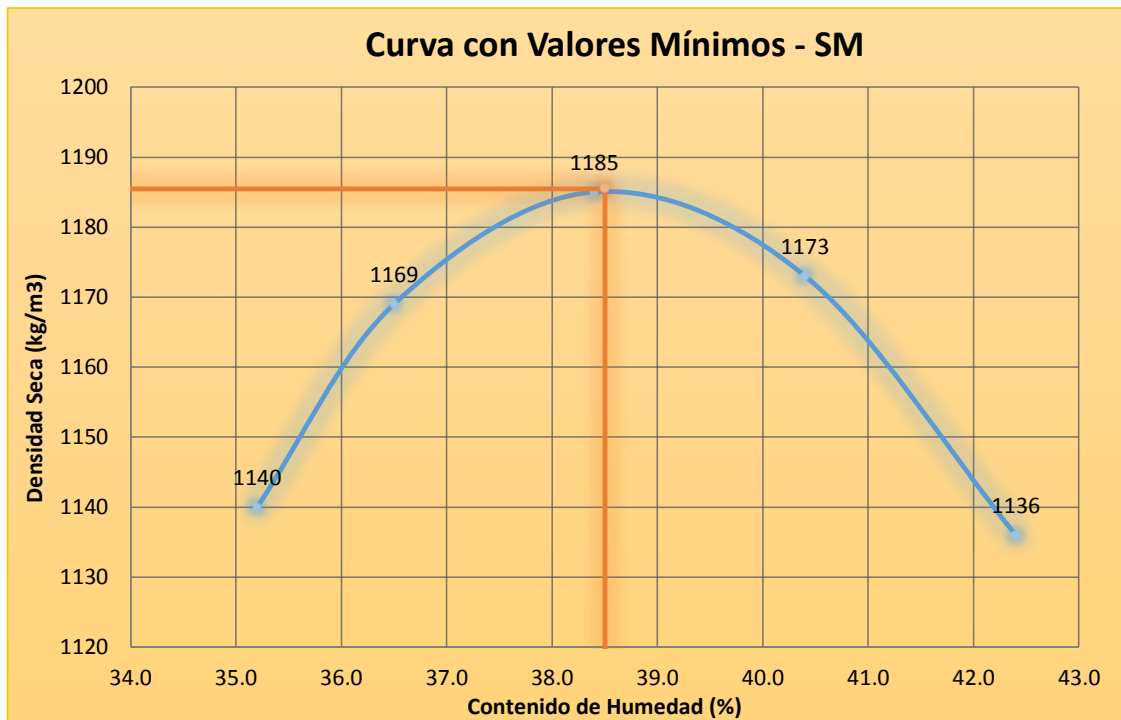


Figura 36. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena limosa (SM)” – con valores mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

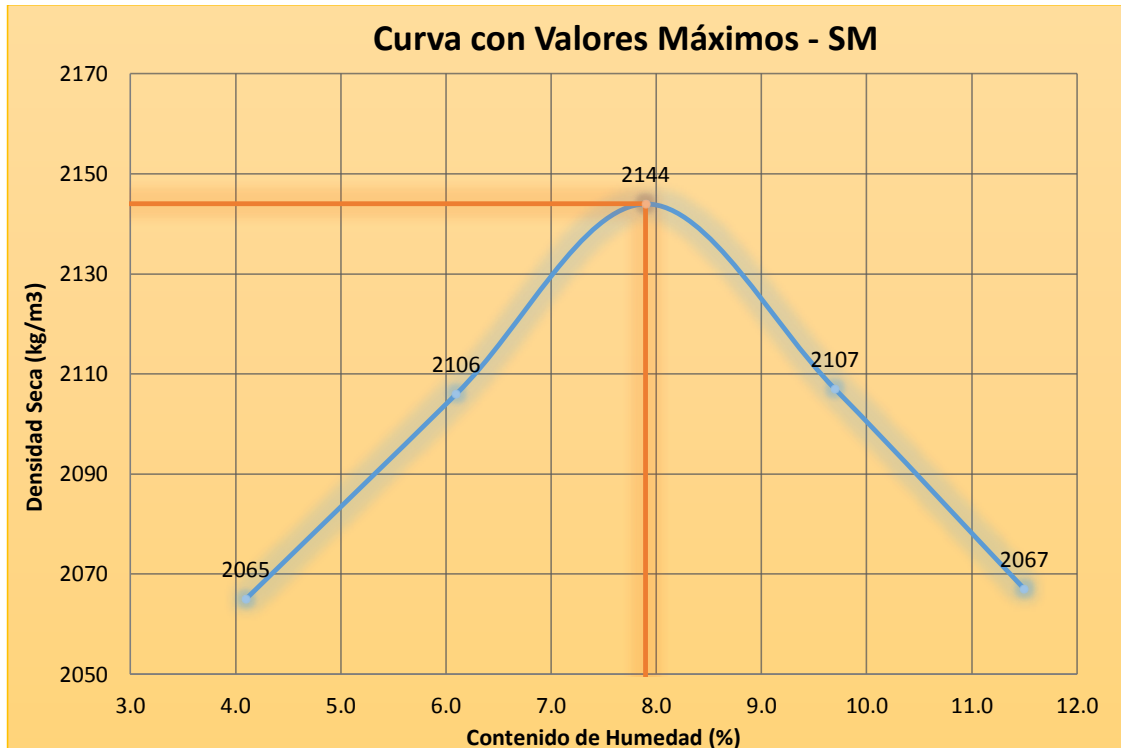


Figura 37. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena limosa (SM)” – con valores máximos.

Fuente: Elaboración propia.

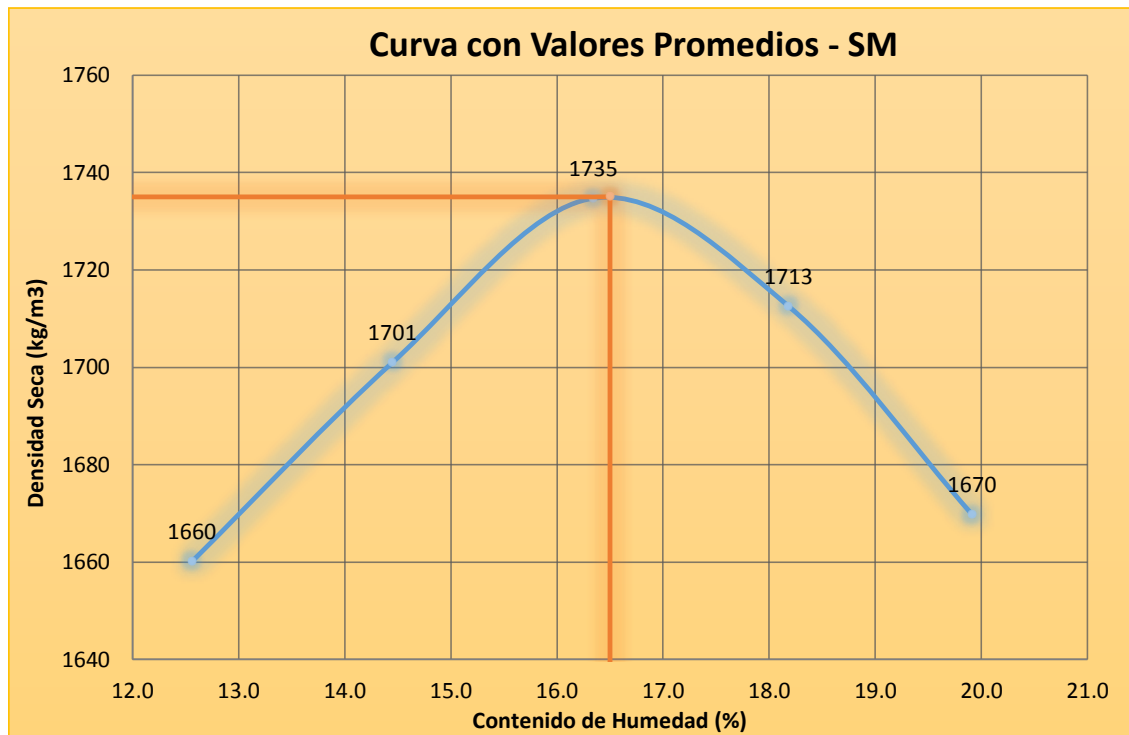


Figura 38. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena limosa (SM)” – con valores promedios.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.3 Curvas de compactación para suelos “arena bien graduada con limo – SW-SM”

Respecto a las “curvas de compactación” de esta subdivisión de las arenas y que contienen pocos finos no plásticos y arenas con buena gradación corresponden a suelos de arena bien graduada con limo SW-SM (Sand Well graded Mo) y de acuerdo a los resultados obtenidos en los laboratorios de mecánica de suelos y que se han procesado para esta investigación; se han obtenido tres curvas de la relación Densidad – Humedad; una curva que representa los valores medios, otra curva que representa los valores máximos y finalmente otra curva que representa los valores mínimos de esta categoría o tipo de suelo.

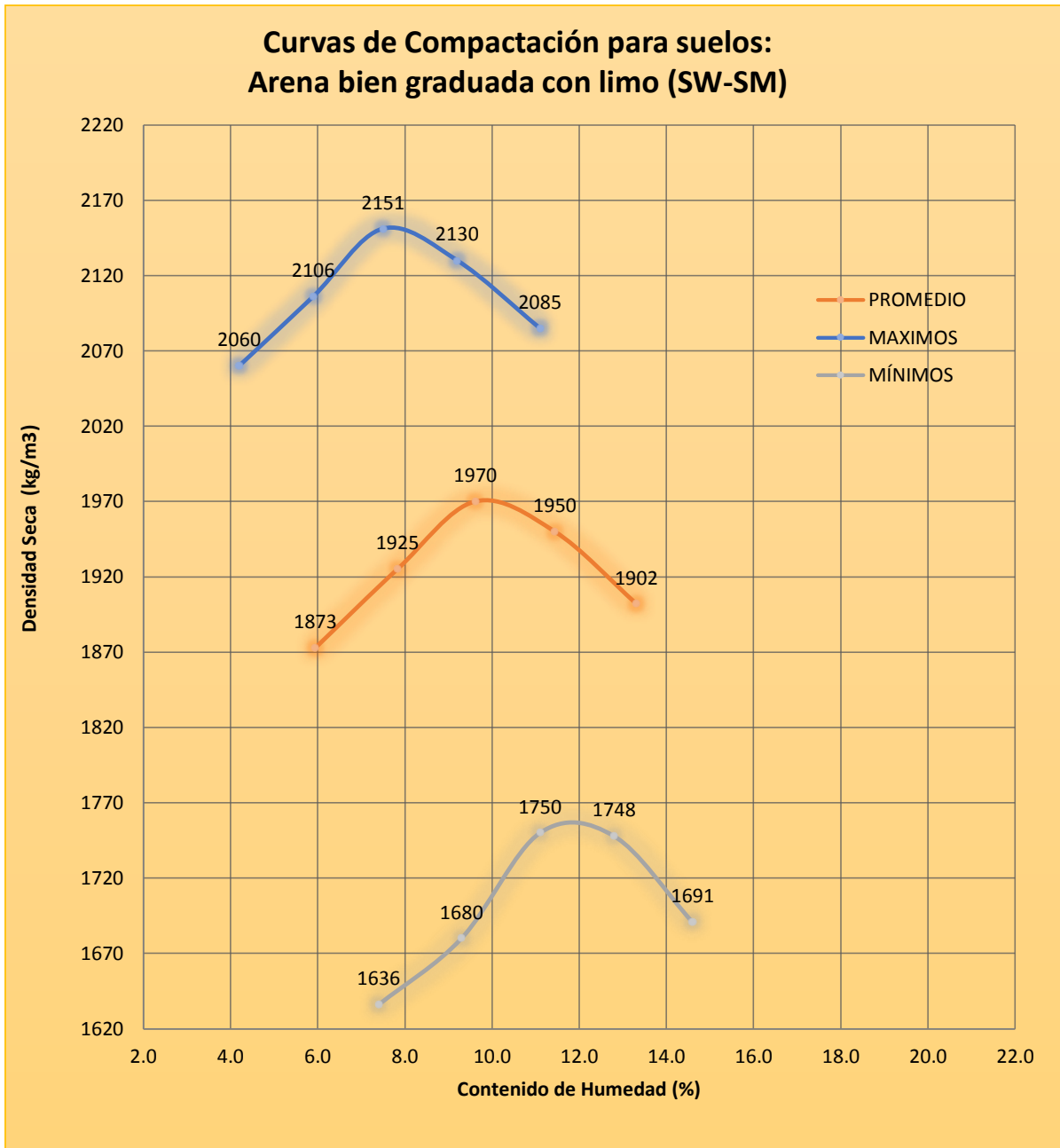


Figura 39. Gráfica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos “arena bien graduada con limo (SW-SM)” – con valores máximos, promedios y mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

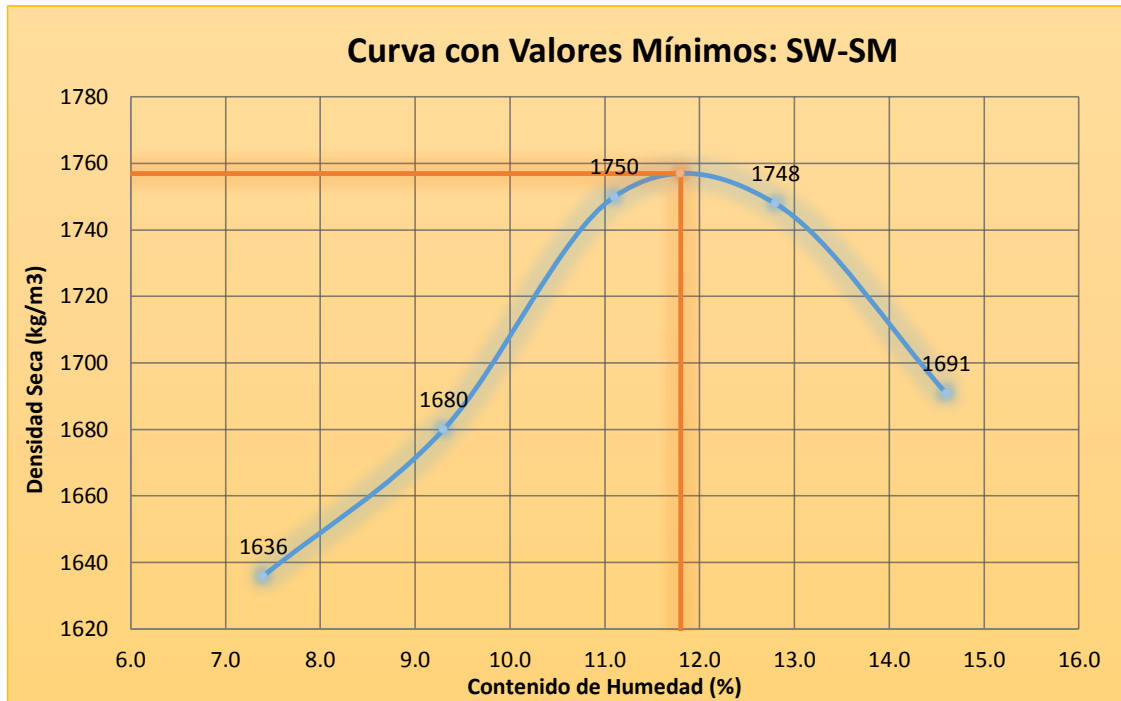


Figura 40. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena bien graduada con limo (SW-SM) – con valores mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

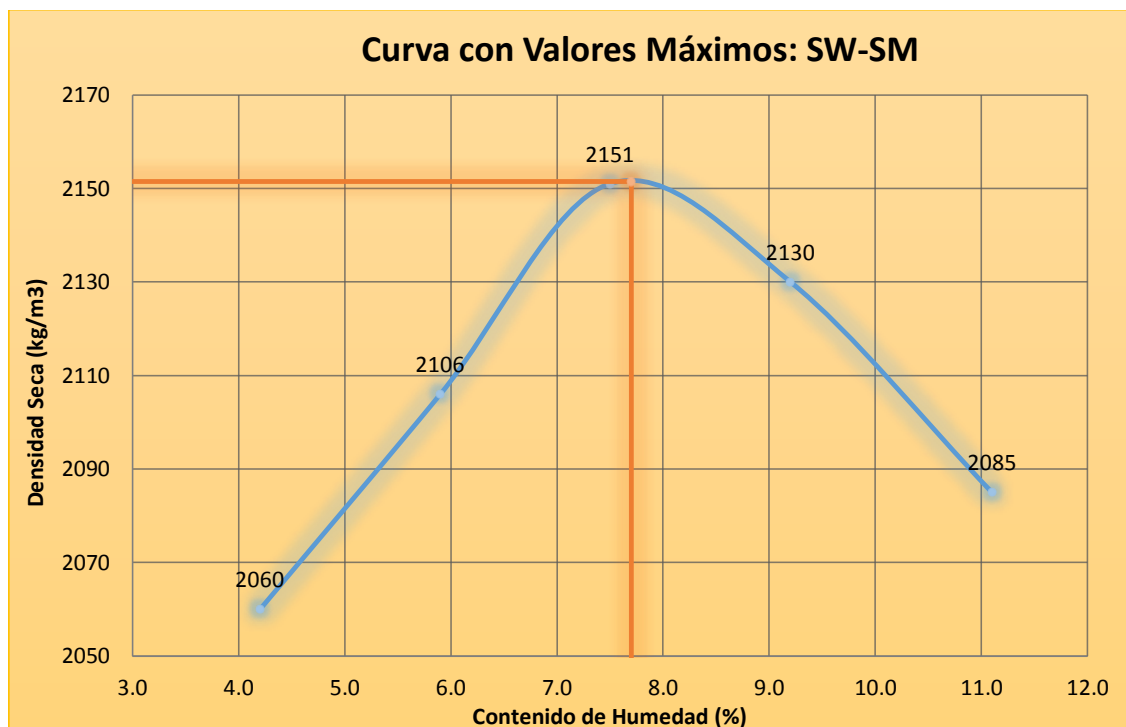


Figura 41. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena bien graduada con limo (SW-SM)” – con valores máximos.

Fuente: Elaboración propia.

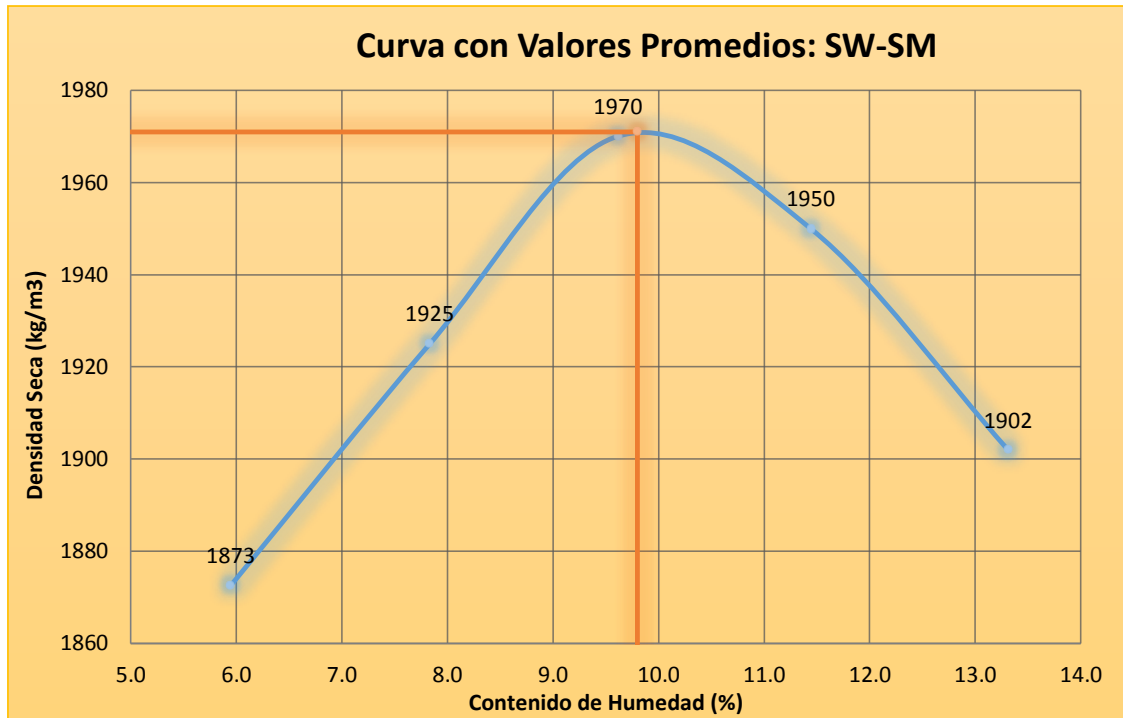


Figura 42. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena bien graduada con limo (SW-SM)” – con valores promedio.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.4 Curvas de compactación para suelos “arena pobremente graduada con limo – SP-SM”

Respecto a las “curvas de compactación” de suelos de arena pobremente graduada con limo SP-SM (Sand Poorly graded Mo), son suelos prácticamente limpios de finos y con arenas mal gradadas, de acuerdo a los resultados obtenidos en los laboratorios de mecánica de suelos y que se han procesado para esta investigación; se han obtenido tres “curvas de compactación”; se han obtenido tres curvas de la relación Densidad – Humedad; una curva que representa los valores medios, otra curva que representa los valores máximos y finalmente otra curva que representa los valores mínimos de esta categoría o tipo de suelo.

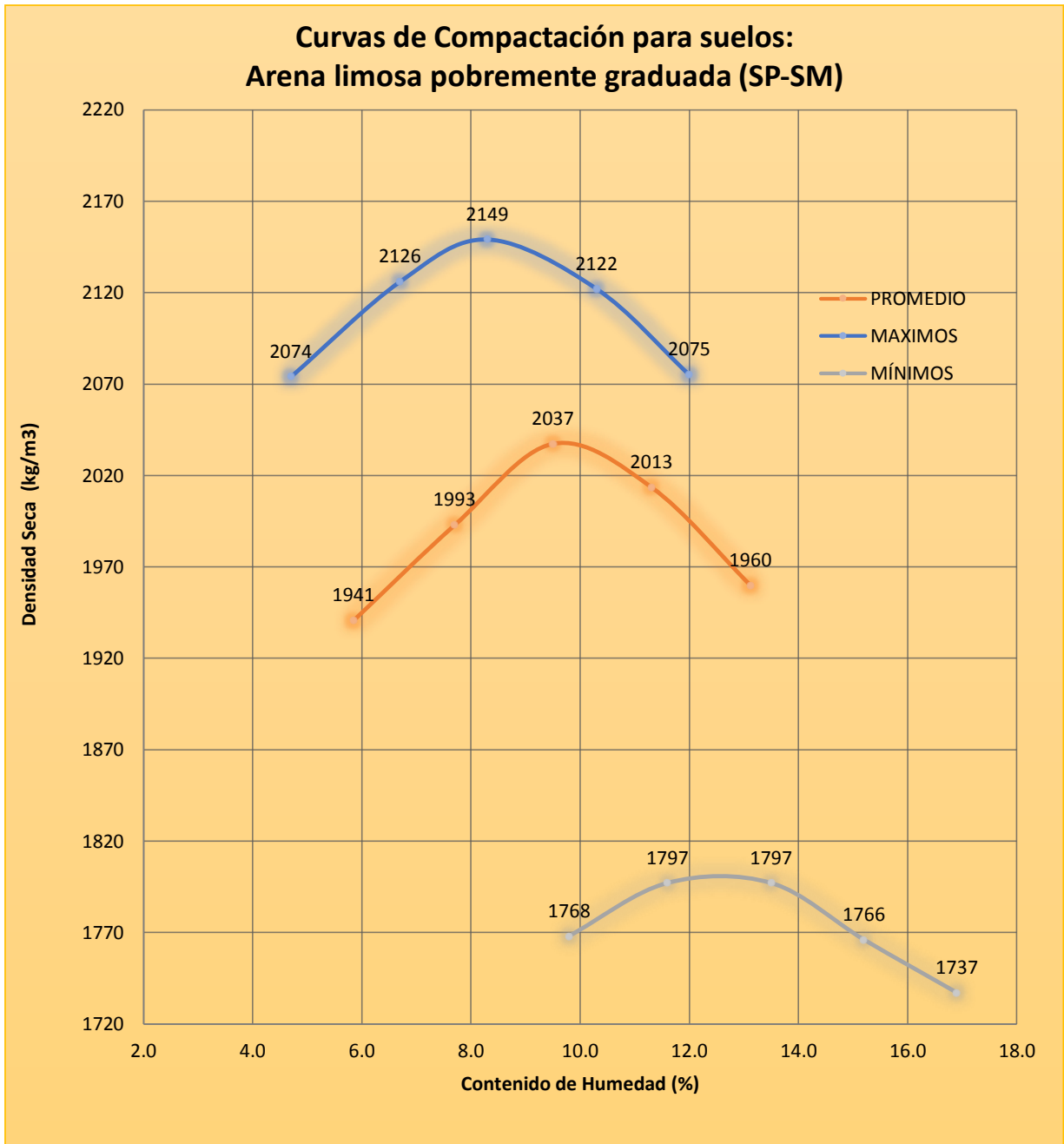


Figura 43. Gráfica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos “arena limosa pobremente graduada (SP-SM)” – con valores máximos, promedios y mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

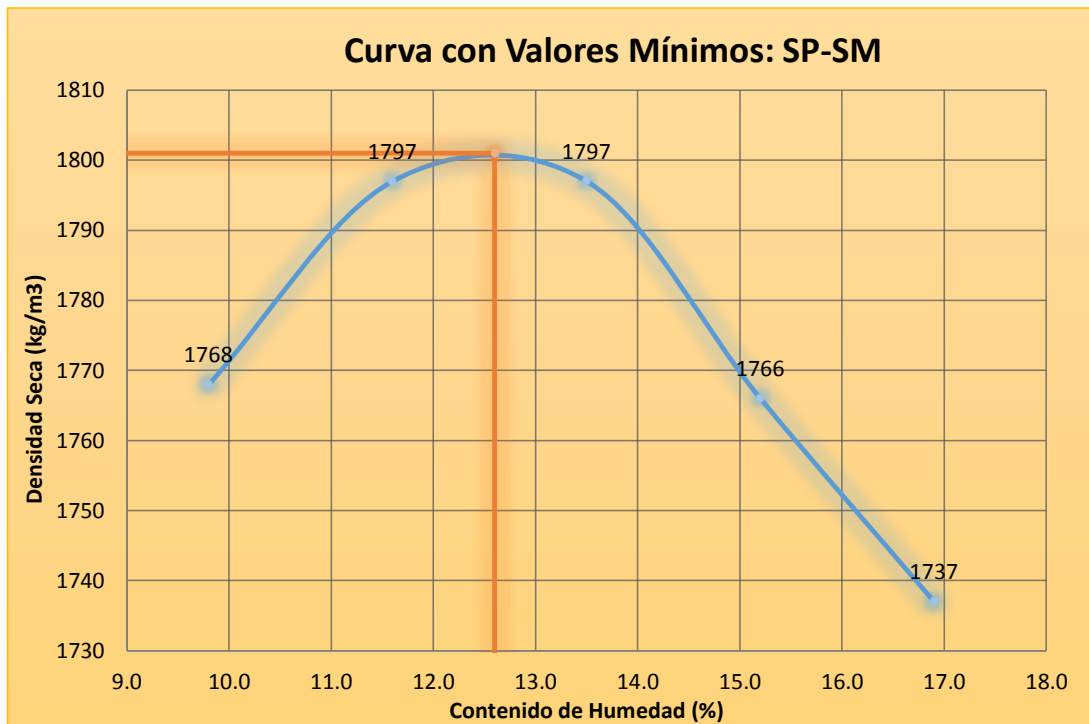


Figura 44. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena limosa pobremente graduada (SP-SM)” – con valores mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

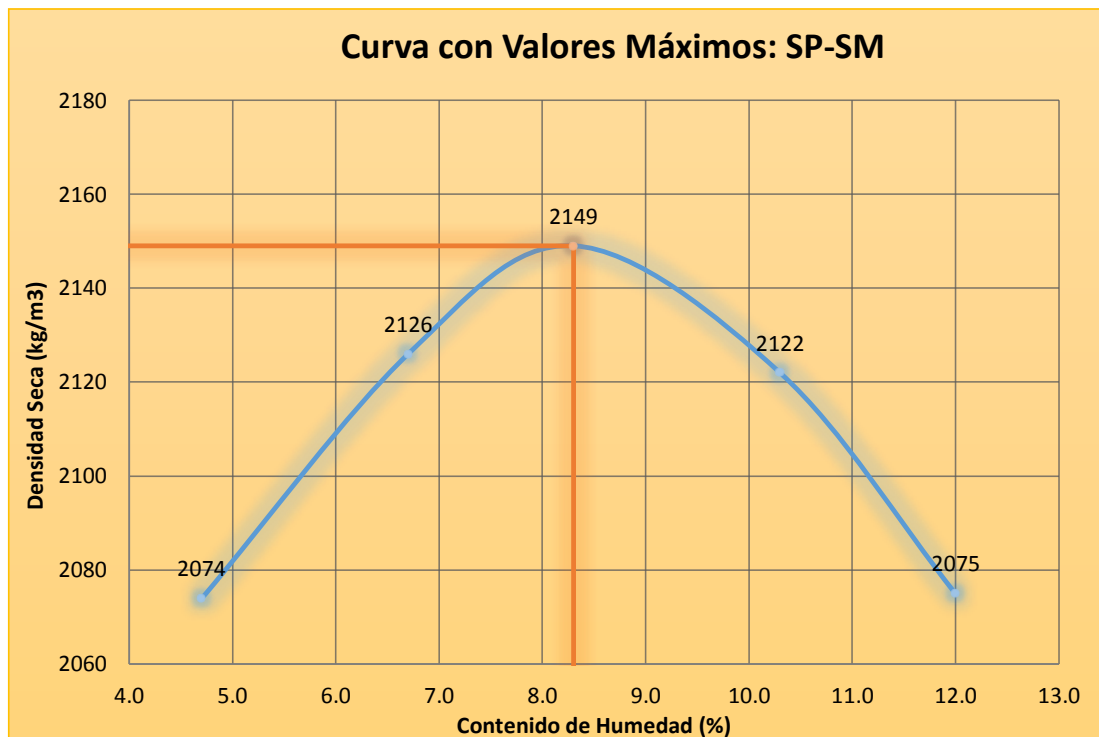


Figura 45. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena limosa pobremente graduada (SP-SM)” – con valores máximos.

Fuente: Elaboración propia.

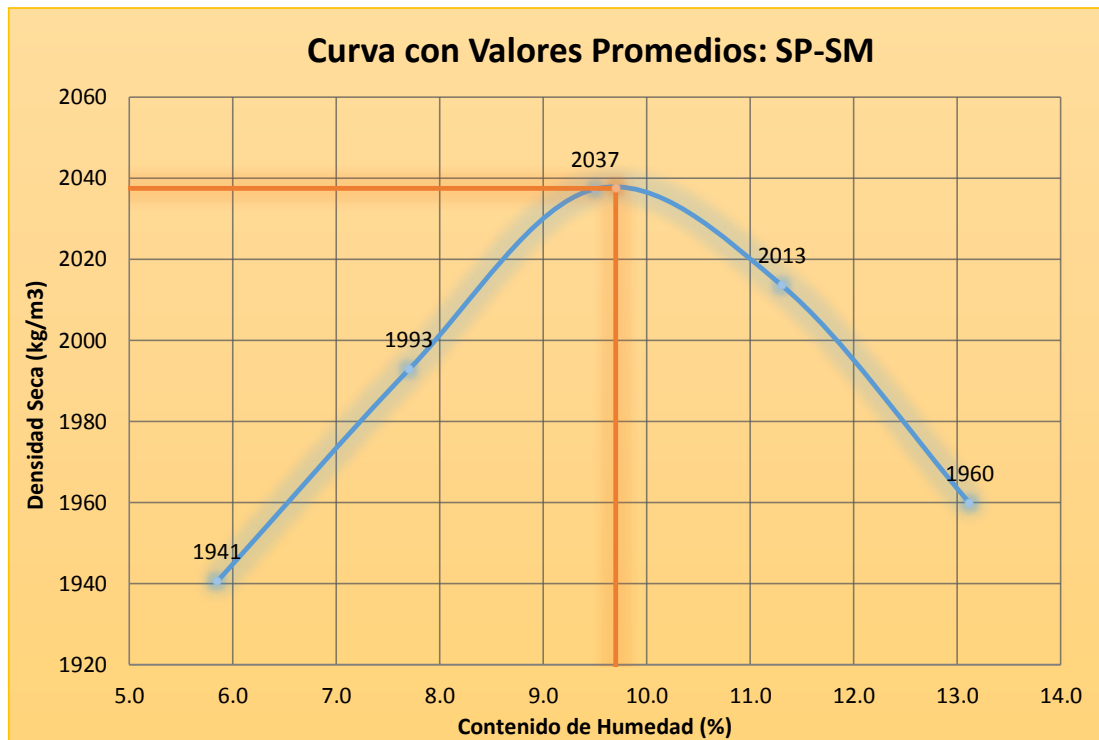


Figura 46. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena limosa pobremente graduada (SP-SM) – con valores promedio.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.5 Curvas de compactación para suelos “arenas limo – arcillosas: SC-SM”

Respecto a las “curvas de compactación” de esta subdivisión de suelos arenosos que contienen cantidades importantes de finos tanto plásticos como no plásticos pero predominan finos los plásticos y corresponden a los suelos arenas limo arcillosos SC-SM, de acuerdo a los resultados obtenidos en los laboratorios de mecánica de suelos y que se han procesado para esta investigación se han obtenido tres curvas de la relación Densidad – Humedad; una curva que representa los valores medios, otra curva que representa los valores máximos y finalmente otra curva que representa los valores mínimos de esta categoría o tipo de suelo.

Curvas de Compactación para suelos: Arena Limo-Arcillosa (SC-SM)



Figura 47. Gráfica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos “arena limo arcillosa (SC-SM)” – con valores máximos, promedios y mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

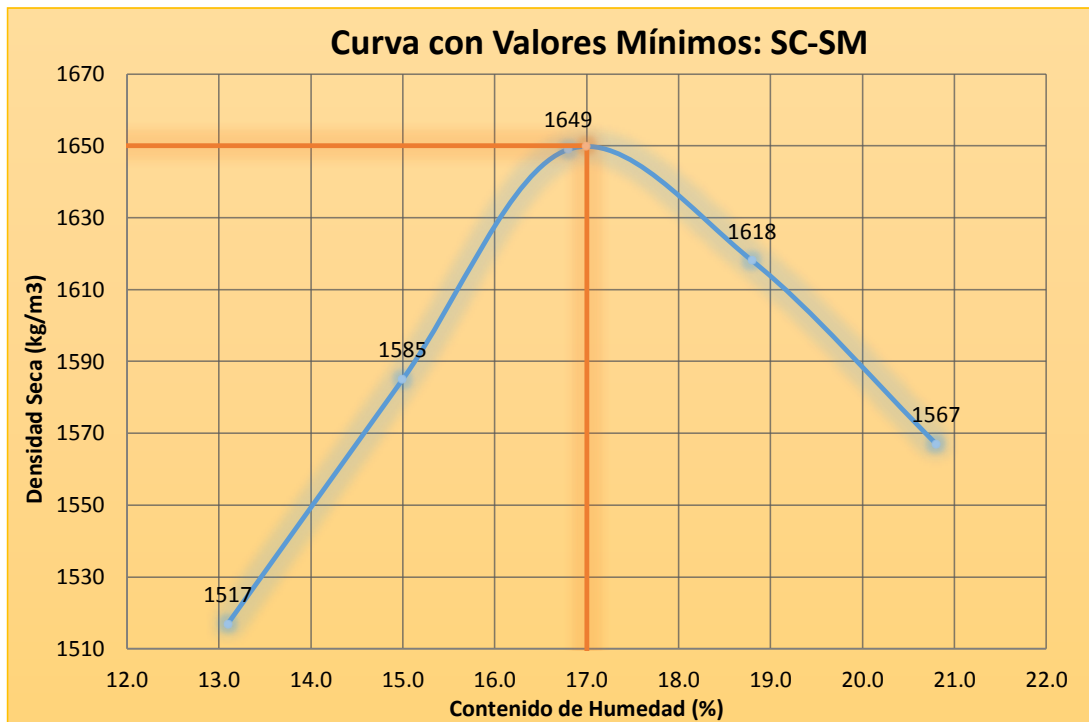


Figura 48. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena limo arcillosa (SC-SM)” – con valores mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

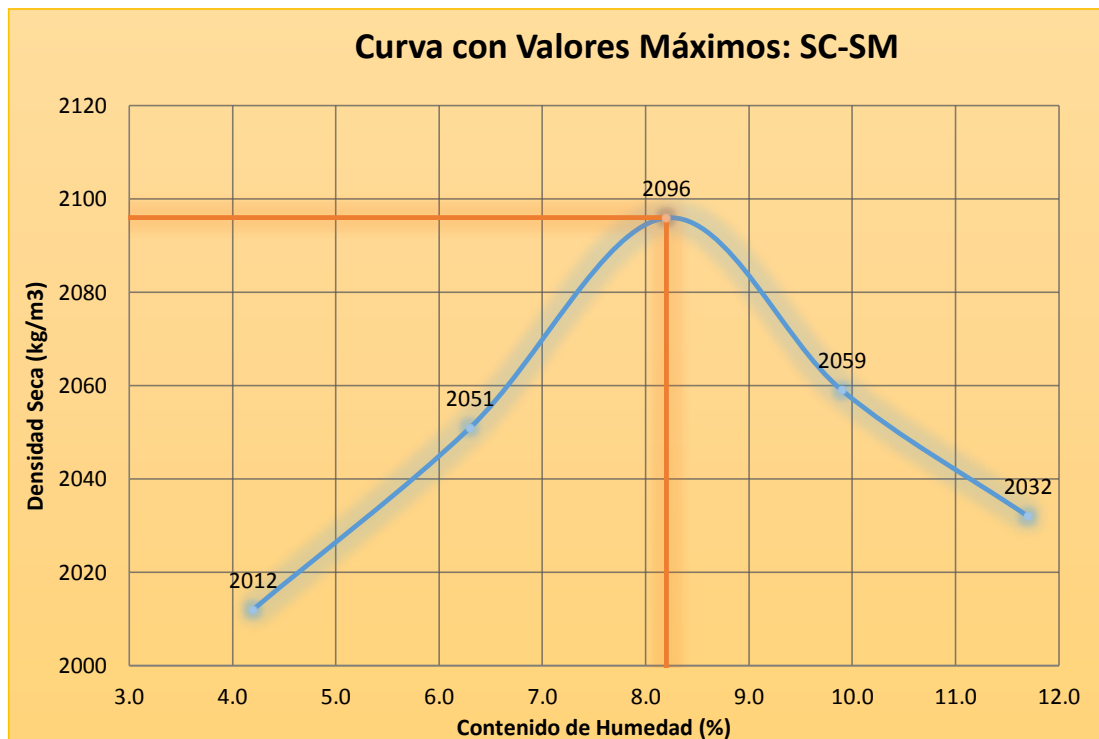


Figura 49. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena limo arcillosa (SC-SM)” – con valores máximos.

Fuente: Elaboración propia.

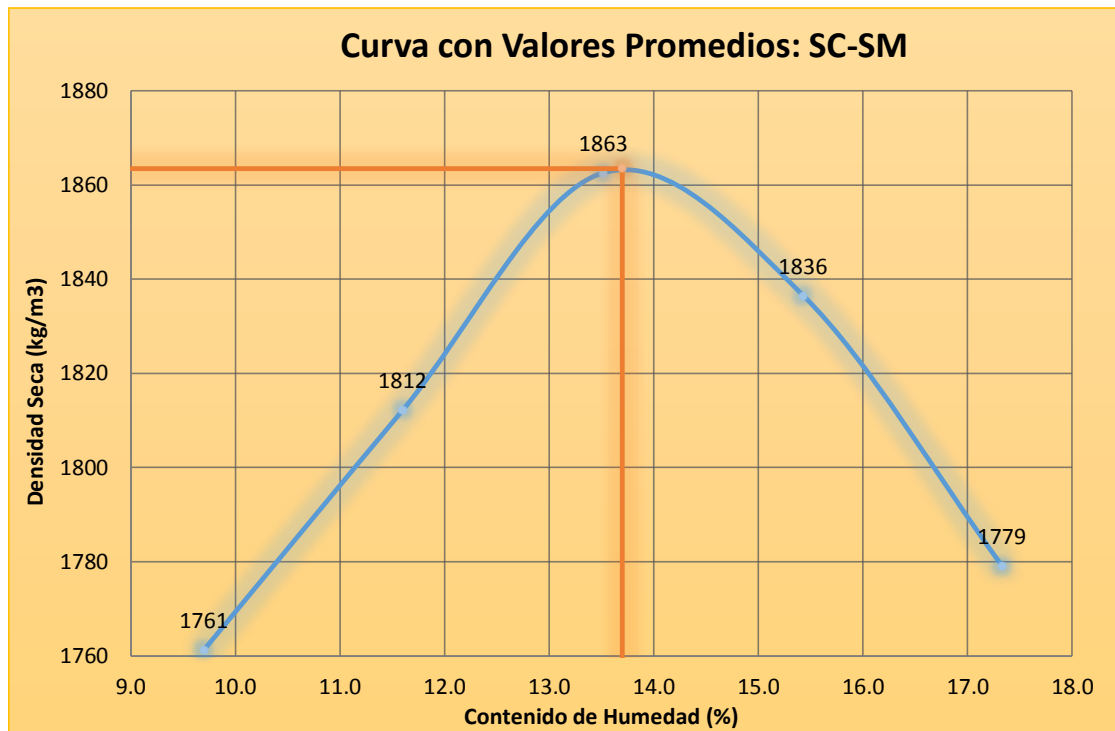


Figura 50. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena limo arcillosa (SC-SM)” – con valores promedio.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.6 Curvas de compactación para suelos “arena pobremente graduada – SP”

Respecto a las “curvas de compactación” de esta subdivisión de los suelos arenosos, son suelos mal graduados, es decir, presentan predominio de un tamaño o de un margen de tamos de partículas de arena faltando algunos intermedios y que corresponden a suelos arenosos pobremente graduados o graduados SP (Poorly graded Sand) según la clasificación SUCS, y de acuerdo a los resultados obtenidos en los laboratorios de mecánica de suelos y que se han procesado para esta investigación, se han obtenido tres curvas de la relación Densidad – Humedad; una curva que representa los valores medios, otra curva que representa los valores máximos y finalmente otra curva que representa los valores mínimos de esta categoría o tipo de suelo.

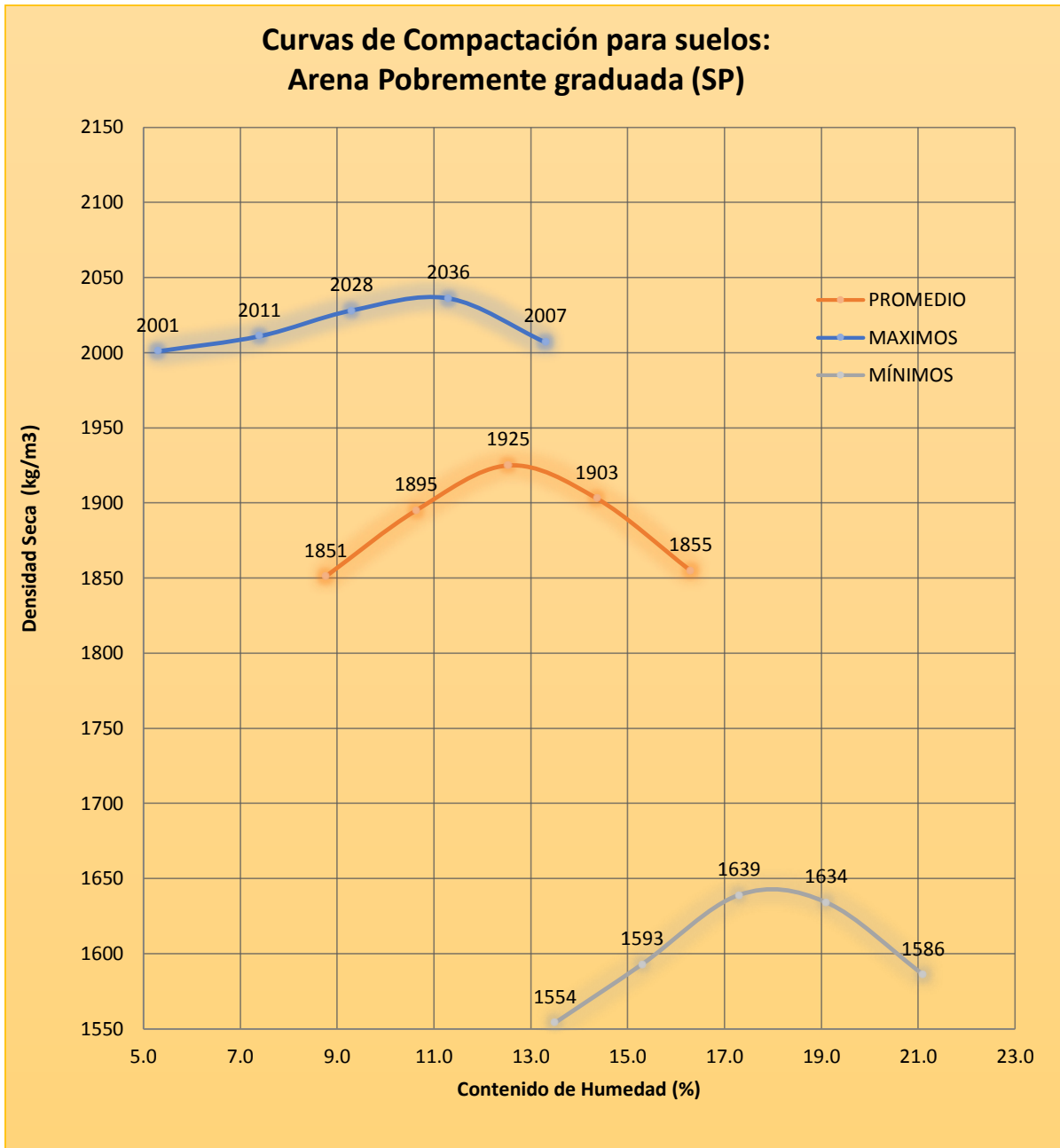


Figura 51. Gráfica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos “arena pobremente graduada (SP)” – con valores máximos, promedios y mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

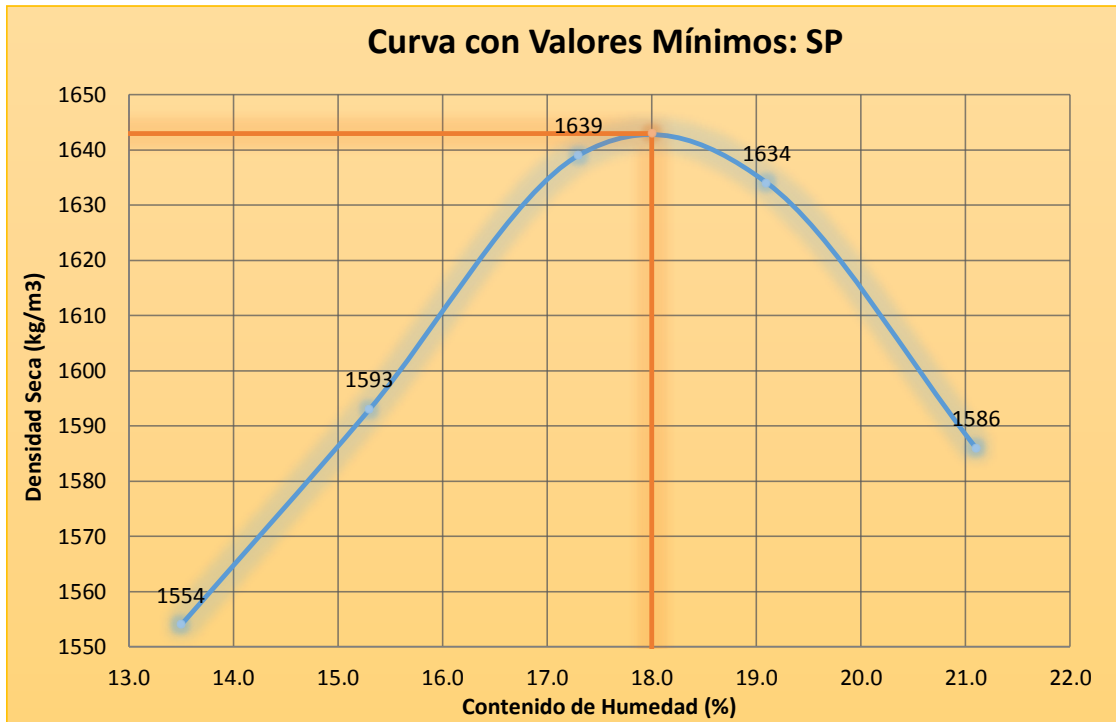


Figura 52. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena pobremente graduada (SP)” – con valores mínimos.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 53. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena pobremente graduada (SP)” – con valores máximos.

Fuente: Elaboración propia.

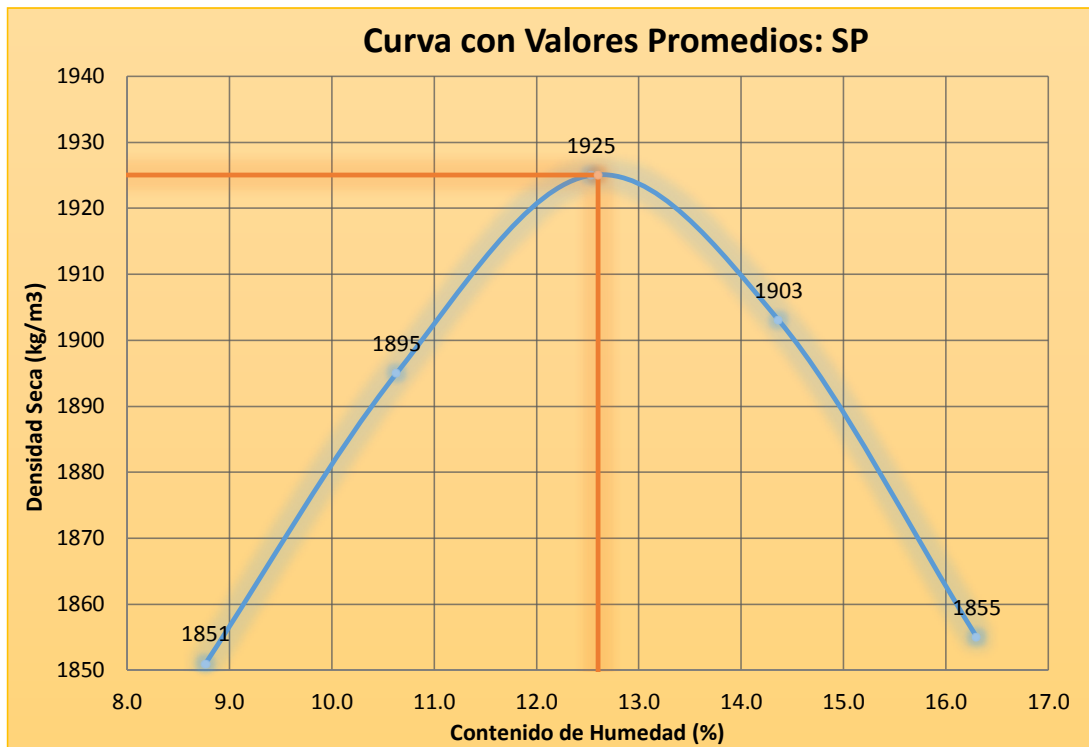


Figura 54. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “arena pobremente graduada (SP)” – con valores promedio.

Fuente: Elaboración propia.

3.5 Resultados de las curvas de compactación para suelos gravosos (G)

Respecto a las “curvas de compactación” para los suelos gravosos (G), donde predominan las gravas en porcentaje respecto a las arenas y luego del “cribado”, estas partículas se pueden distinguir debido a que estas se retienen desde la malla de 3” hasta la malla N° 4, y dada su complejidad y variabilidad con que se presentan en la naturaleza, la fracción gruesa de los suelos que lo componen las gravas y las arenas toma el nombre de la partícula que predomina respecto a la otra teniendo como barrera la malla N° 4. De acuerdo a los resultados obtenidos en los laboratorios de mecánica de suelos y que se han procesado para esta investigación, se han obtenido tres curvas de la relación Densidad – Humedad de todos los suelos donde predominó las gravas; es así que se obtuvo una curva que representa los valores medios, otra curva que representa los valores máximos y finalmente otra curva que representa los valores mínimos de esta categoría o tipo de suelo.

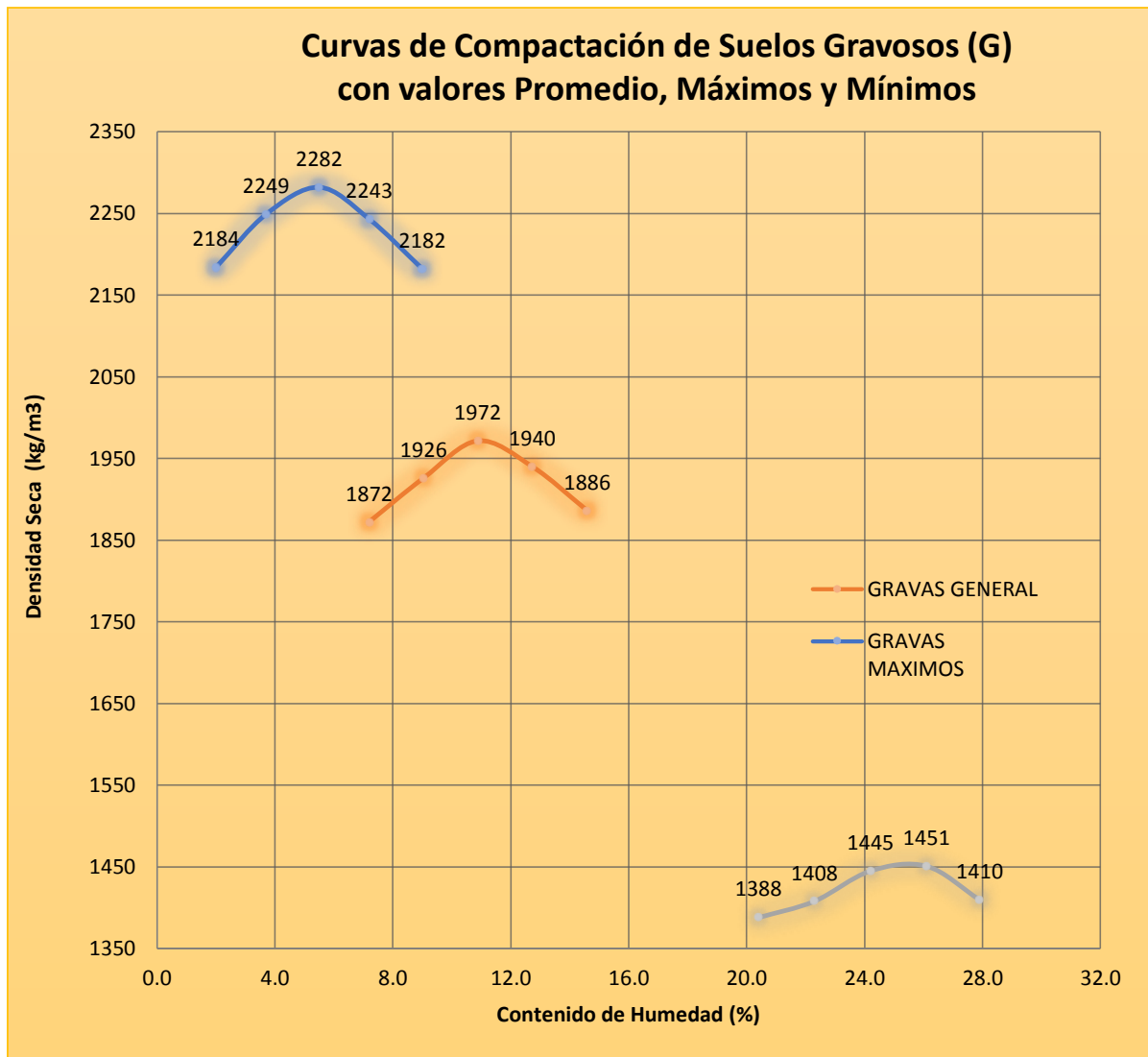


Figura 55. Gráfica de las “curvas de compactación” para la categoría de suelos “gravosos (G)” – con valores máximos, promedios y mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la figura 55, obtenida con la base de datos de la categoría de suelos “gravas”, incorporan la subdivisión de suelos “grava arcillosa”, “grava limosa”, “grava arcillosa bien graduada”, “grava limosa bien graduada”, “grava limo arcillosa con arena”, “grava limosa con arcillas”, “grava limosa pobremente graduada”, “grava bien graduada”, “grava arcillosa pobremente graduada” y “grava pobremente graduada”; establece que para este tipo de suelos las densidades secas para la “curva de compactación” de valores mínimos se encuentra en el rango de 1388 kg/m³ hasta 1451 kg/m³, para la “curva de compactación” de valores promedios se encuentra en el rango de 1872 kg/m³ hasta 1972 kg/m³ y para la

“curva de compactación” de valores máximos las densidades secas se encuentran en el rango de 2182 kg/m³ hasta 2282 kg/m³.

Tabla 6. Estadísticos de los valores de densidad seca (kg/cm³) utilizados para la “curva de compactación” (próctor) para los suelos “gravosos (G)”.

Estadísticos de densidad para la curva próctor – suelos gravosos					
	DENSIDAD 1	DENSIDAD 2	DENSIDAD 3	DENSIDAD 4	DENSIDAD 5
Válidos	471	471	471	471	471
Perdidos	0	0	0	0	0
Media	1,872	1,925	1,972	1,940	1,886
Mediana	1,887	1,940	1,985	1,952	1,904
Moda	1,906 ^a	1,928 ^a	2,050	1,956	1,940
Desviación estándar	,137800	,137724	,141428	,136366	,134470
Varianza	,019	,019	,020	,019	,018
Rango	,851	,841	,837	,792	,772
Mínimo	1,333	1,408	1,445	1,451	1,410
Máximo	2,184	2,249	2,282	2,243	2,182
Suma	881,847	907,130	928,589	913,744	888,384

a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la tabla 6, muestran los valores mínimos, máximos y promedios que se utilizaron para obtener las tres “curvas de compactación” de la relación Densidad – Humedad (curva próctor) para los suelos “Gravosos” y nos indica que para la curva de valores mínimos la “máxima densidad seca” es de 1445 kg/m³, para la curva de valores máximos la “máxima densidad seca” es de 2282 kg/m³, y para los valores promedio la “máxima densidad seca” es de 1972 kg/m³.

Los resultados estadísticos de la variable densidad seca 3, que finalmente representa el valor más alto de los utilizados en la “curva de compactación”, nos indica una media de 1,972 kg/m³ y una desviación estándar de 0,141428, datos que llevados al cálculo del coeficiente de variabilidad con 7.17% indica que la variable investigada (densidad seca 3) es homogénea. La mediana con un valor de 1985 kg/m³ nos indica que la media estadística de la muestra “suelos gravosos” es ligeramente inferior. La variancia con un valor de 0,020 indica muy poca dispersión de la variable respecto a su media. El rango obtenido nos indica que los datos están comprendidos en un intervalo de 837 kg/m³.

A continuación se muestran los gráficos con las “curvas de compactación” con los valores mínimos, promedio y máximos utilizados.

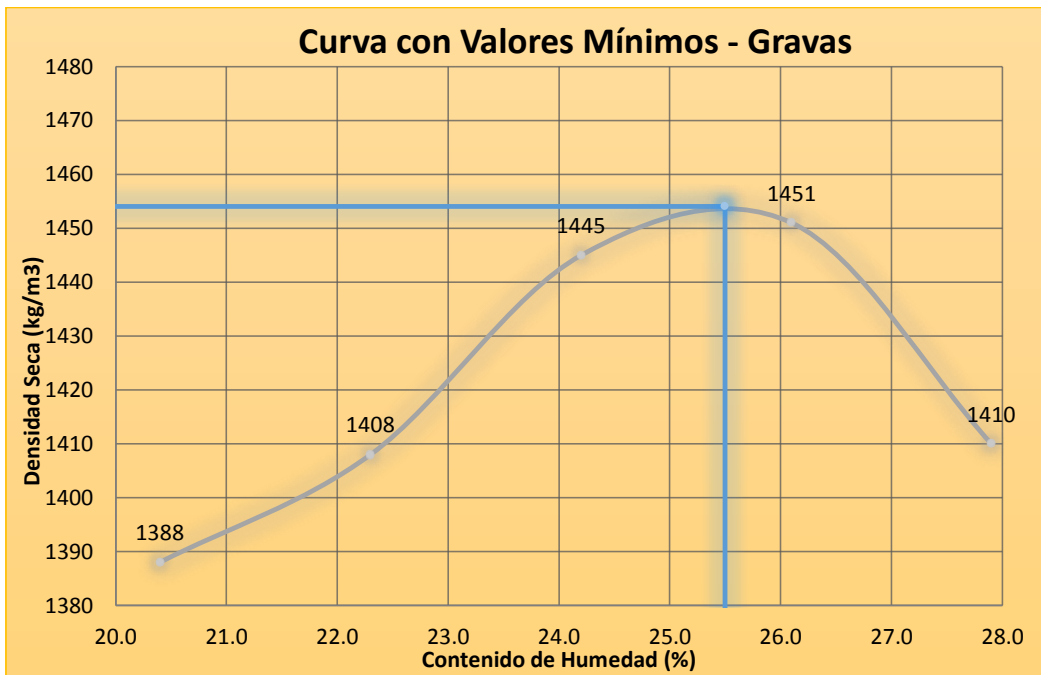


Figura 56. Gráfica de la “curva de compactación” para la categoría de suelos “gravosos (G)” – con valores mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

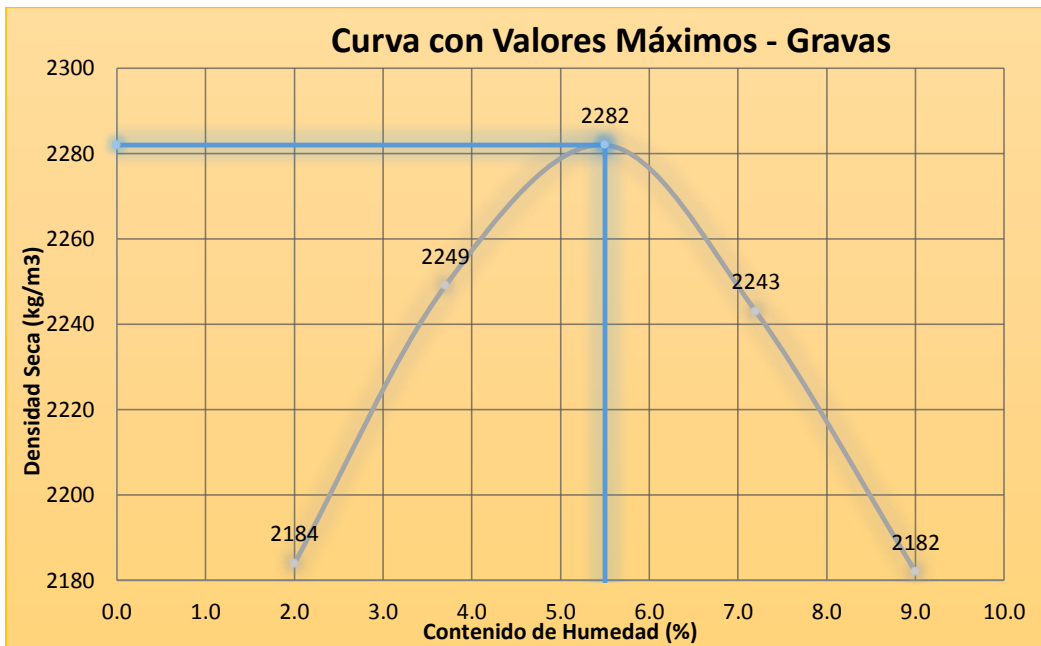


Figura 57. Gráfica de la “curva de compactación” para la categoría de suelos “gravosos (G)” – con valores máximos.

Fuente: Elaboración propia.

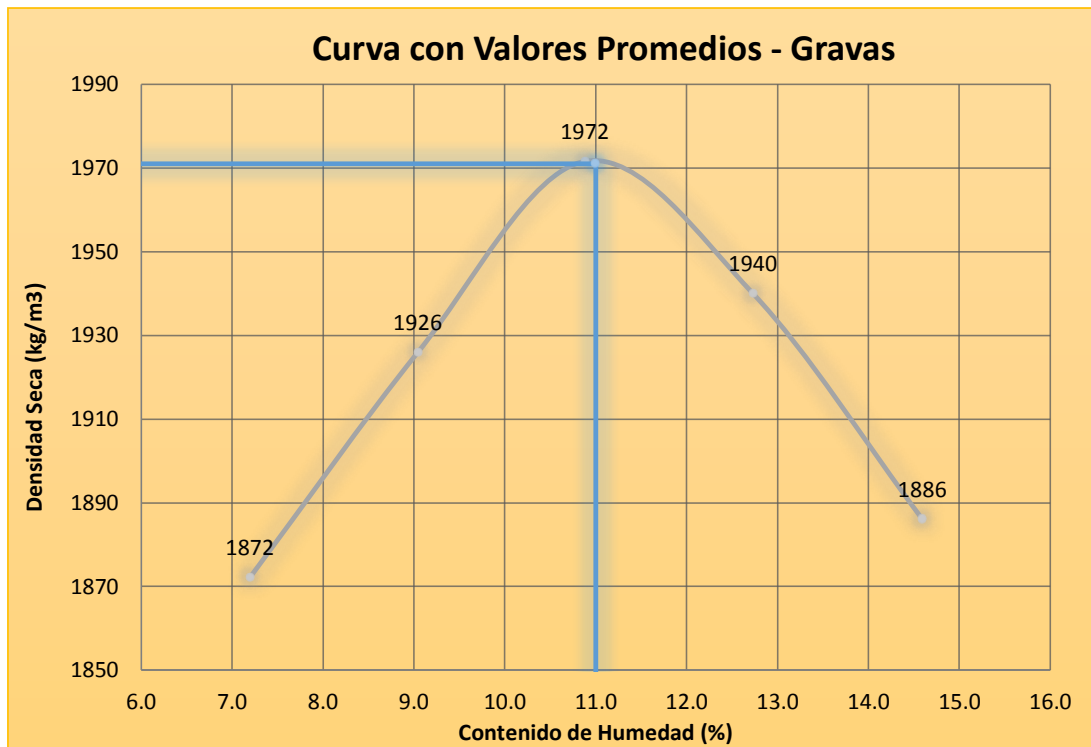


Figura 58. Gráfica de la “curva de compactación” para la categoría de suelos “gravosos (G)” – con valores promedio.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.1 Resultados de curvas de compactación para suelos “grava arcillosa – GC”

Respecto a las “curvas de compactación” de esta subdivisión de las gravas, que contienen cantidad apreciable de finos plásticos; y que conforman los suelos de grava arcillosa GC (gravel-clay), y de acuerdo a los resultados obtenidos en los laboratorios de mecánica de suelos y que fueron procesados en esta investigación, se han obtenido tres curvas de la relación Densidad – Humedad; una curva que representa los valores medios, otra curva que representa los valores máximos y finalmente otra curva que representa los valores mínimos de esta categoría o tipo de suelo.

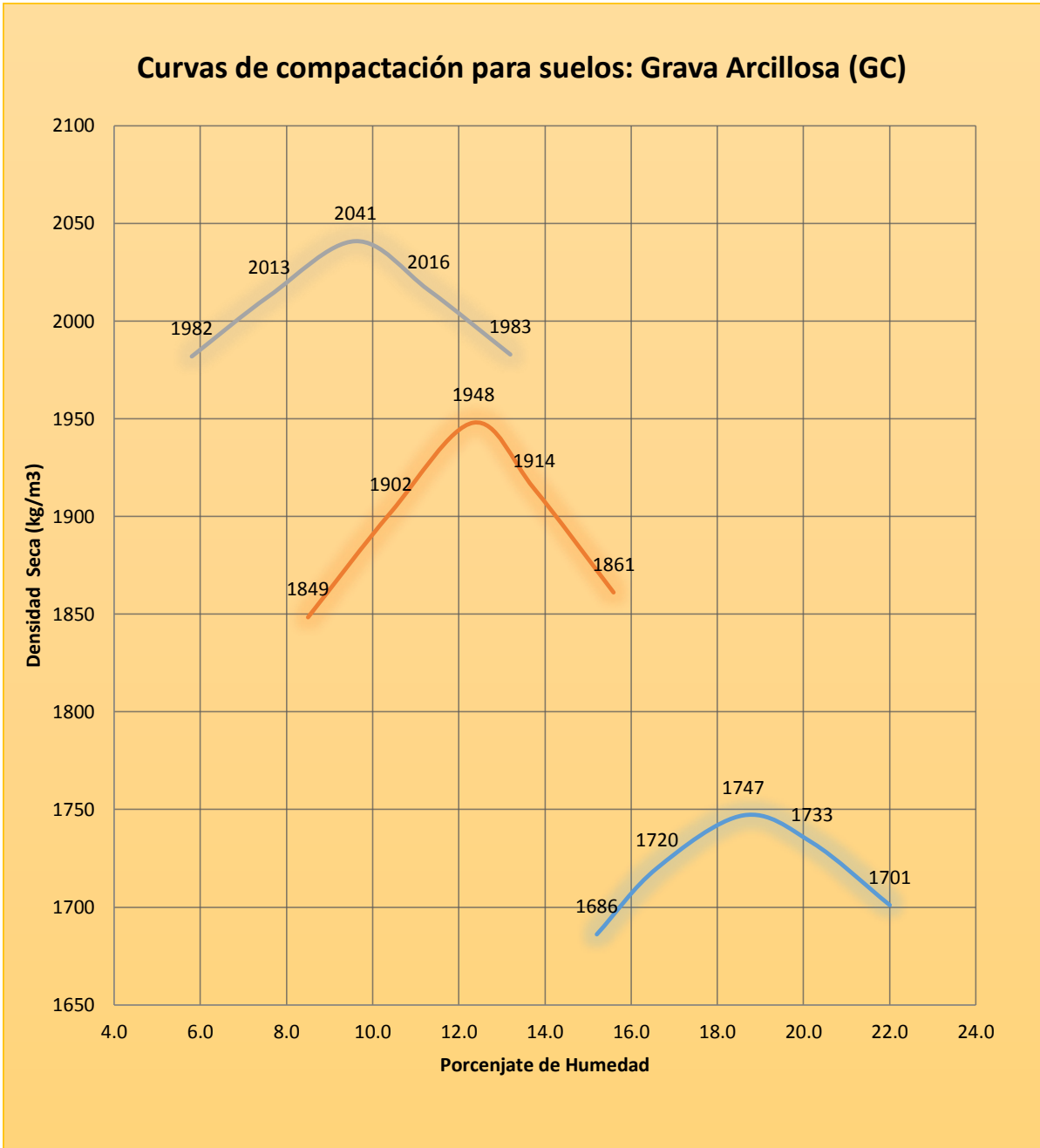


Figura 59. Gráfica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos “grava arcillosa (GC)” – con valores máximos, promedios y mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

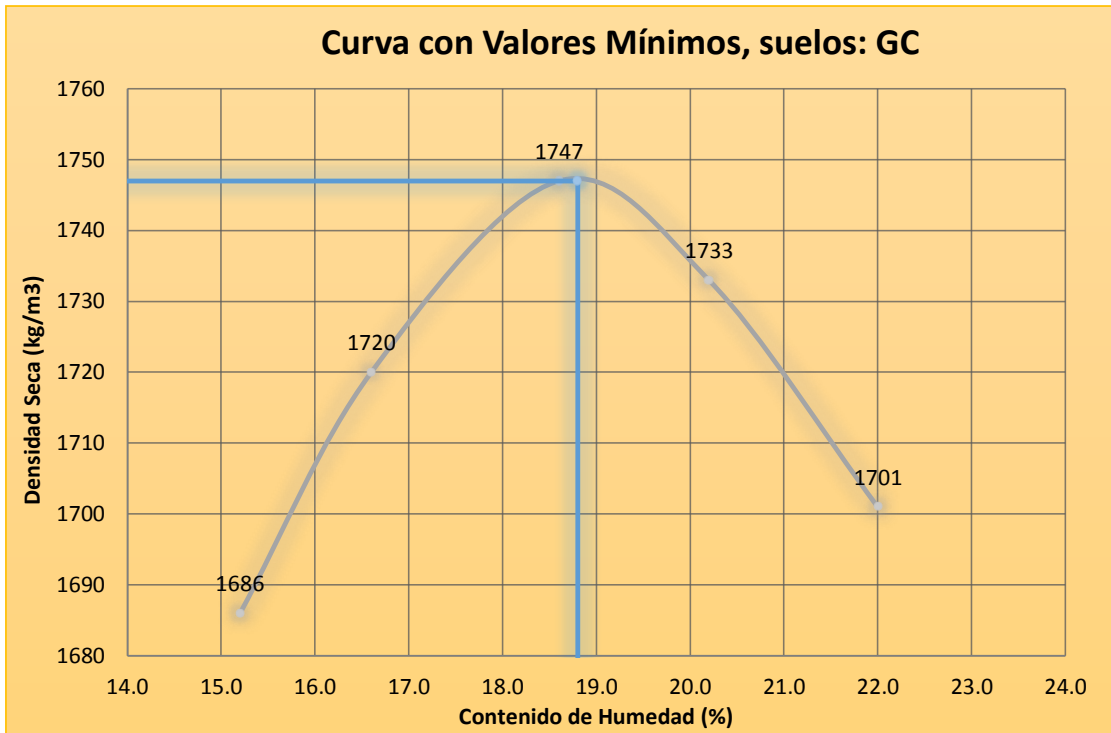


Figura 60. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava arcillosa (GC)” – con valores mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

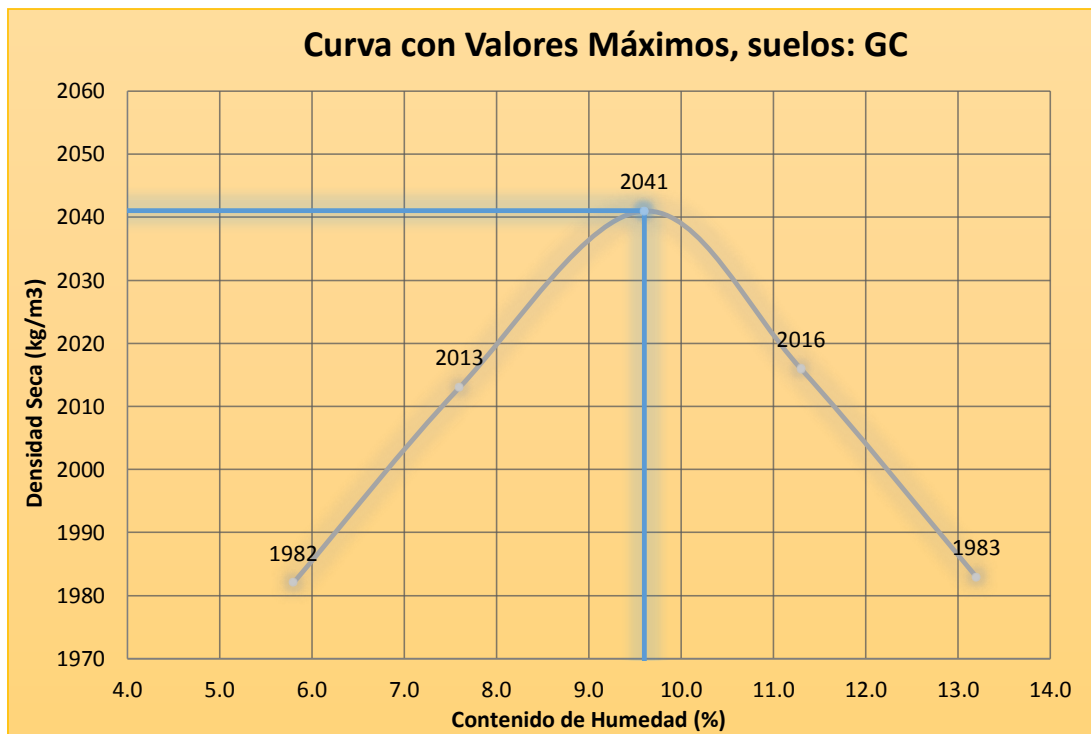


Figura 61. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava arcillosa (GC)” – con valores máximos.

Fuente: Elaboración propia.

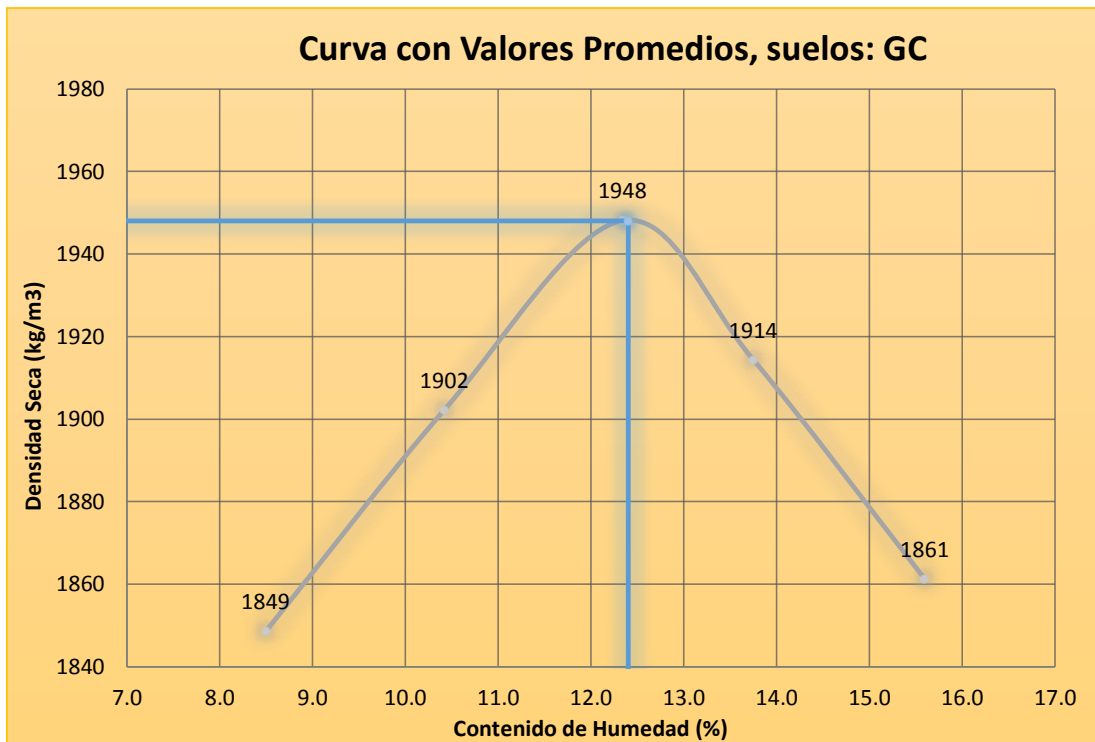


Figura 62. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava arcillosa (GC)” – con valores promedio.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.2 Resultados de curvas de compactación para suelos “grava limosa – GM”

Respecto a las “curvas de compactación” de esta subdivisión de las gravas que contienen cantidad apreciable de finos no plásticos; y que conforman los suelos conocidos como grava limosa GM (gravel-mjala) y de acuerdo a los resultados obtenidos en los laboratorios de mecánica de suelos y que fueron procesados en esta investigación, se han obtenido tres curvas de la relación Densidad – Humedad; una curva que representa los valores medios, otra curva que representa los valores máximos y finalmente otra curva que representa los valores mínimos de esta categoría o tipo de suelo.

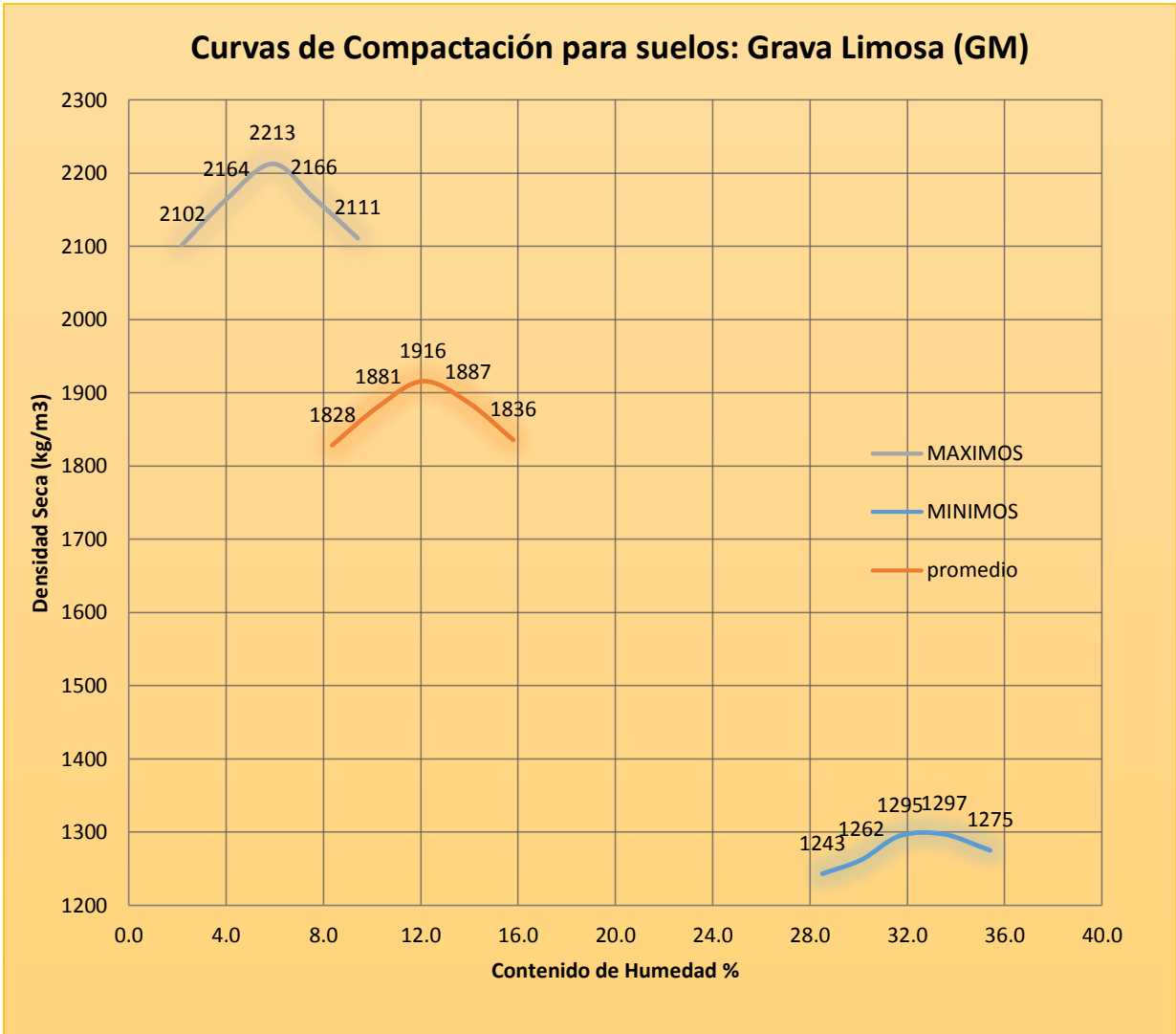


Figura 63. Gráfica de las “curvas de compactación” de la subdivisión de suelos “arena limosa (GM)” – con valores máximos, promedios y mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

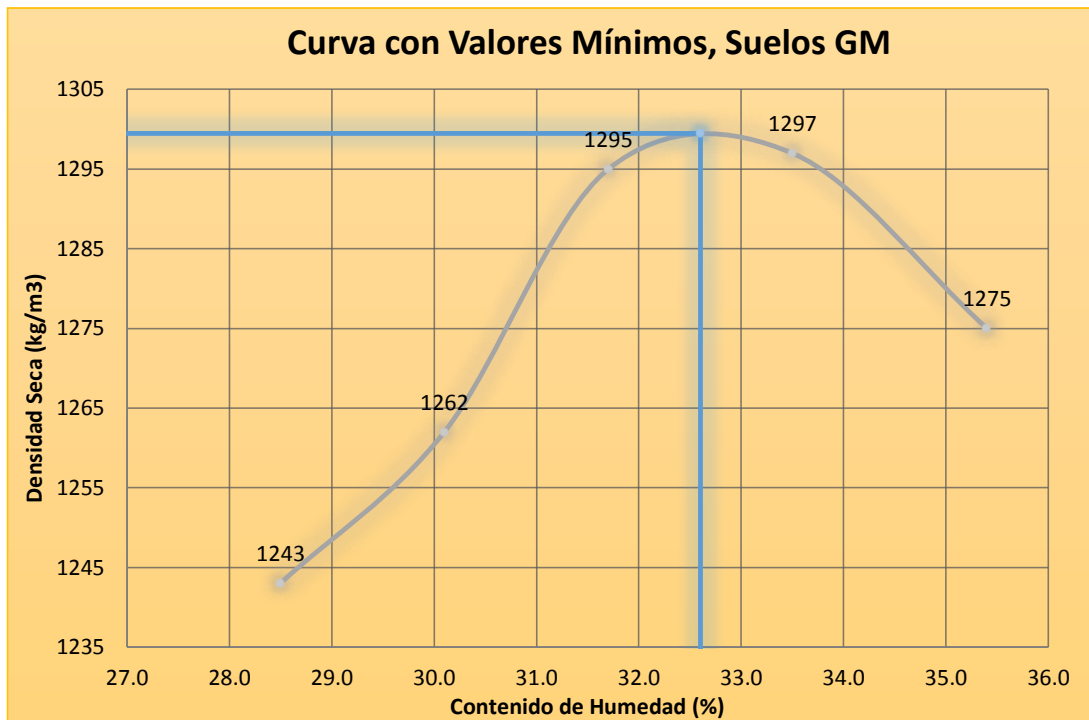


Figura 64. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava limosa (GM)” – con valores mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

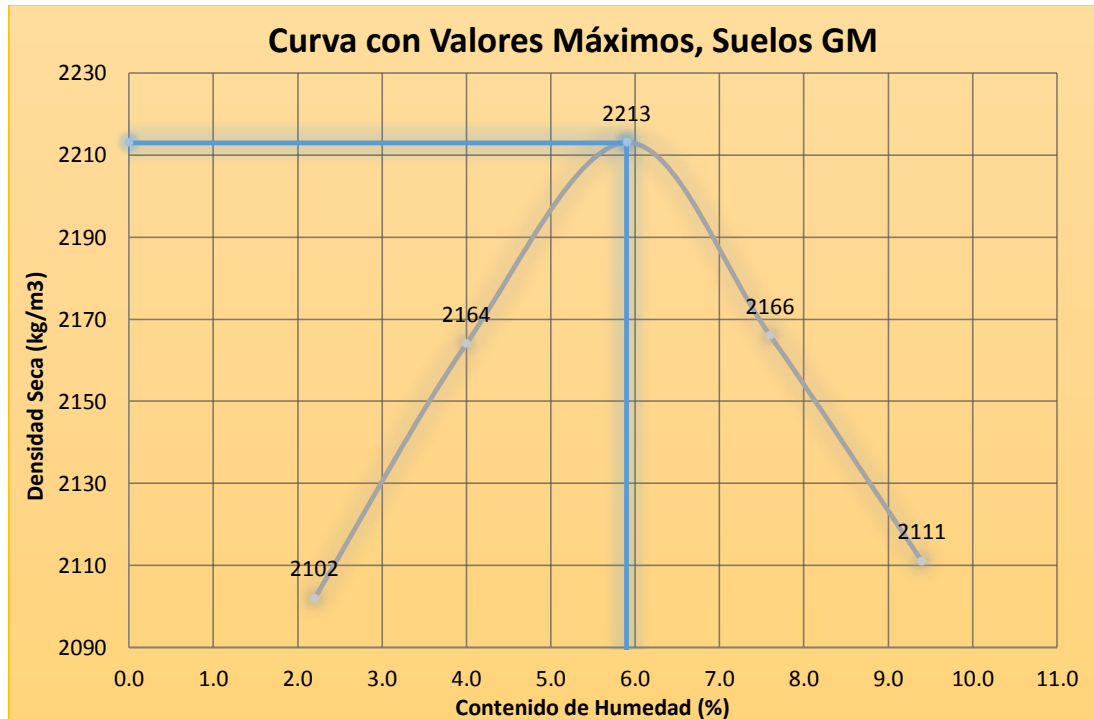


Figura 65. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava limosa (GM)” – con valores máximos.

Fuente: Elaboración propia.

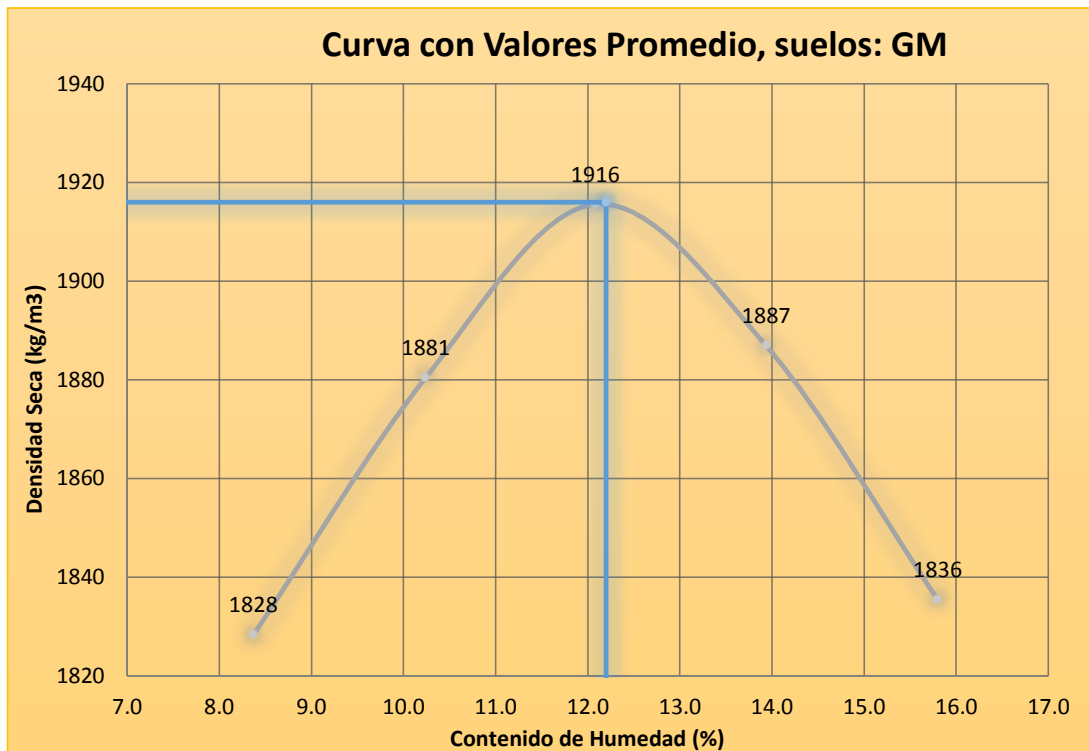


Figura 66. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava limosa (GC)” – con valores promedio.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.3 Resultados de curvas de compactación para suelos “grava arcillosa bien graduada – GW-GC”

Respecto a las “curvas de compactación” de esta subdivisión de las gravas, que contienen cantidad apreciable de finos plásticos y adicionalmente las partículas gravosas presentan buena gradación y que conforman los suelos grava arcillosa bien graduada GW-GC; y de acuerdo a los resultados obtenidos en los laboratorios de mecánica de suelos y que fueron procesados en esta investigación, se han obtenido tres curvas de la relación Densidad – Humedad; una curva que representa los valores medios, otra curva que representa los valores máximos y finalmente otra curva que representa los valores mínimos de esta categoría o tipo de suelo.

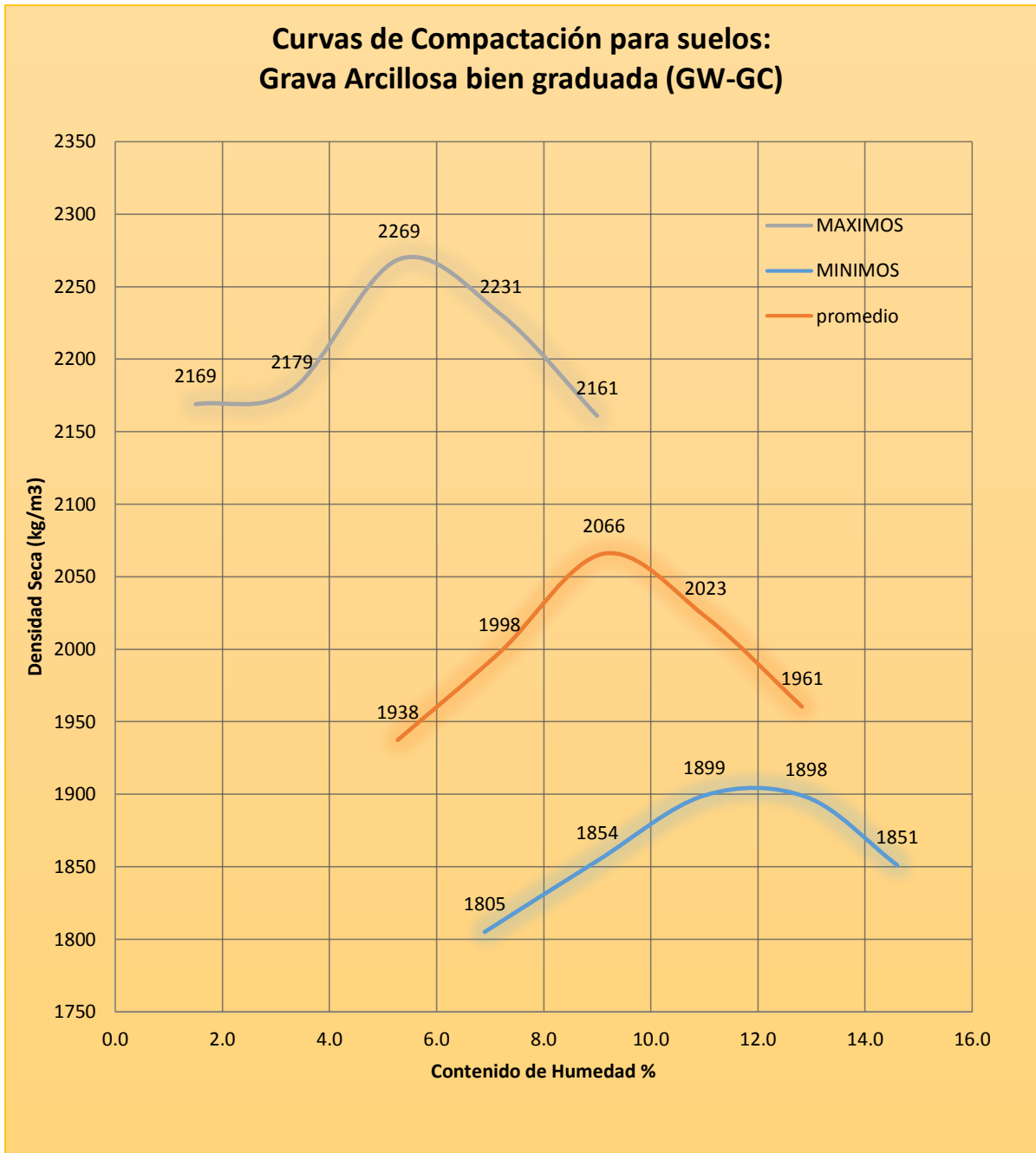


Figura 67. Gráfica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos “grava arcillosa bien graduada (GW-GC)” – con valores máximos, promedios y mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

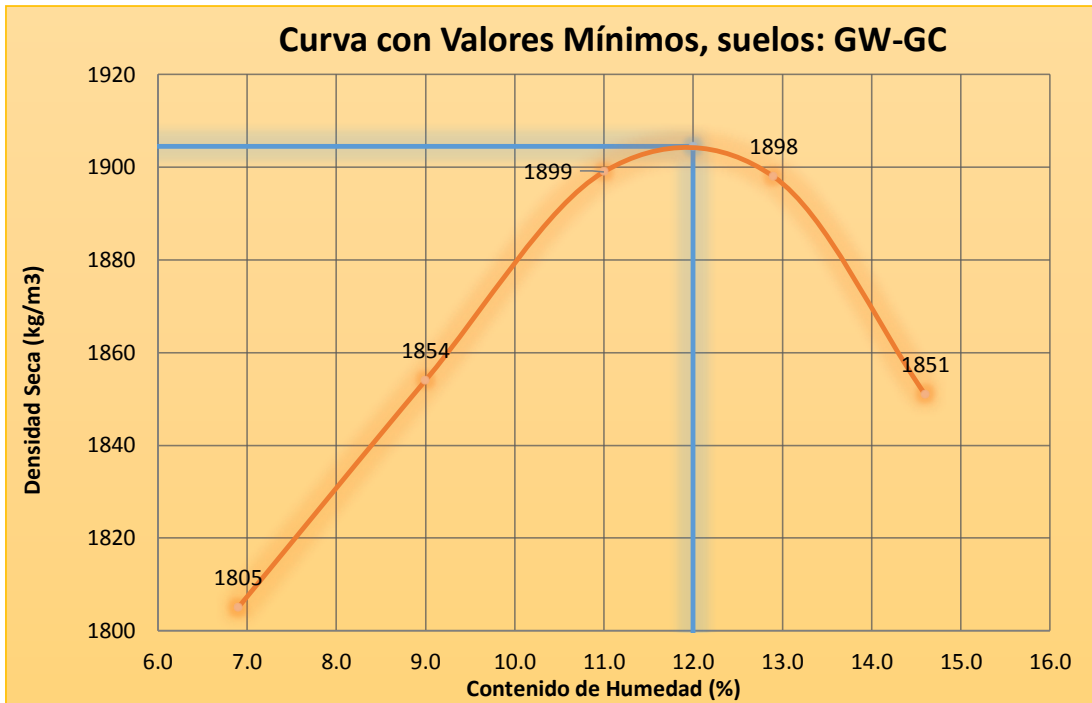


Figura 68. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava arcillosa bien graduada (GW-GC)” – con valores mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

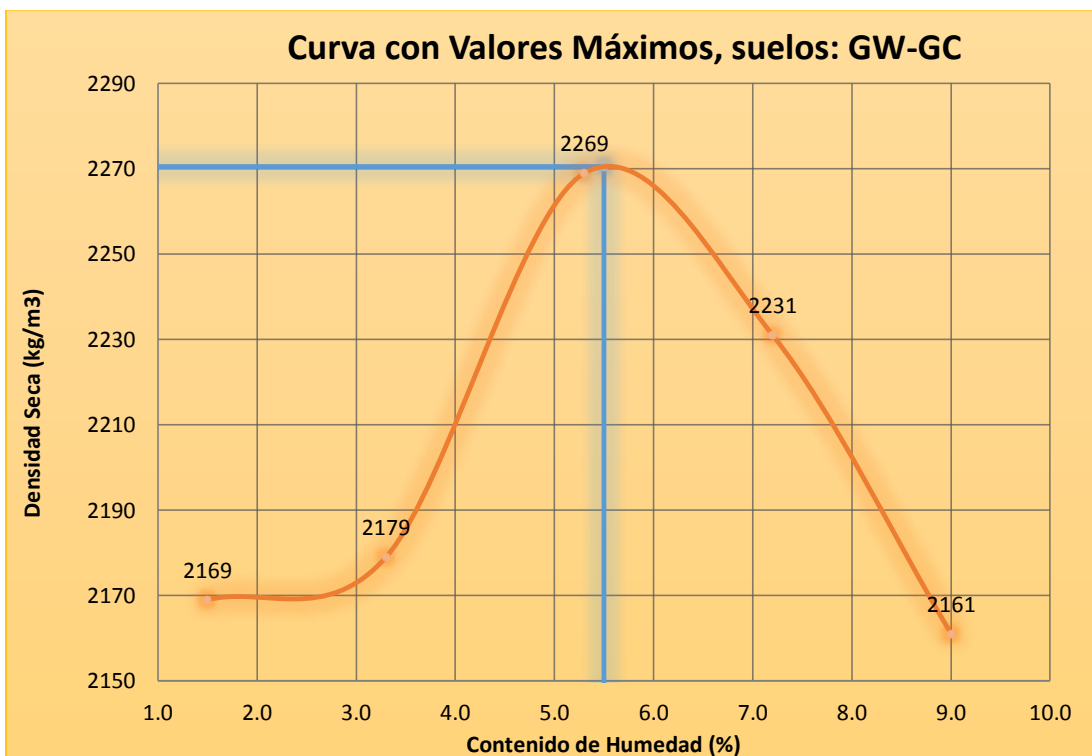


Figura 69. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava arcillosa bien graduada (GW-GC)” – con valores máximos.

Fuente: Elaboración propia.

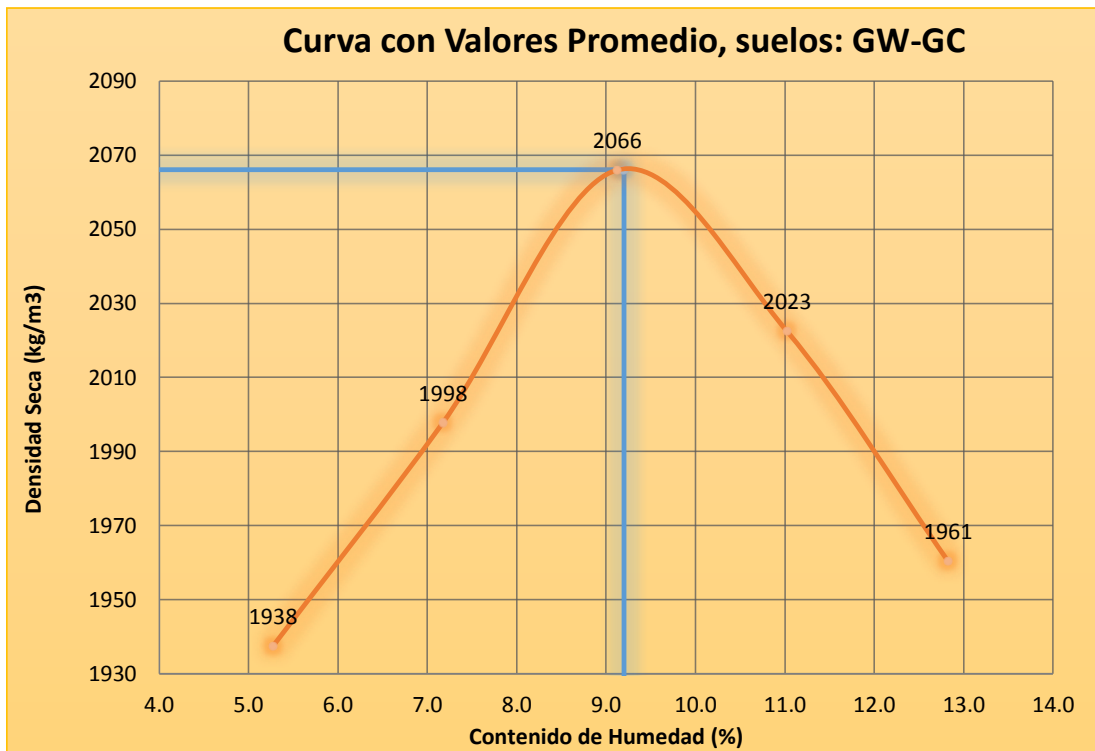


Figura 70. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava arcillosa bien graduada (GW-GC)” – con valores promedio.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.4 Resultados de curvas de compactación para suelos “grava limosa bien graduada – GW-GM”

Respecto a las “curvas de compactación” de esta subdivisión de las gravas, que contienen cantidad apreciable de finos no plásticos y adicionalmente las gravas presentan buena gradación; y que conforman los suelos grava limosa bien graduada GW-GM, y de acuerdo a los resultados obtenidos en los laboratorios de mecánica de suelos y que fueron procesados en esta investigación, se han obtenido tres curvas de la relación Densidad – Humedad, una curva que representa los valores medios, otra curva que representa los valores máximos y finalmente otra curva que representa los valores mínimos de esta categoría o tipo de suelo.

Curvas de Compactación para suelos: Grava Limosa bien graduada (GW-GM)

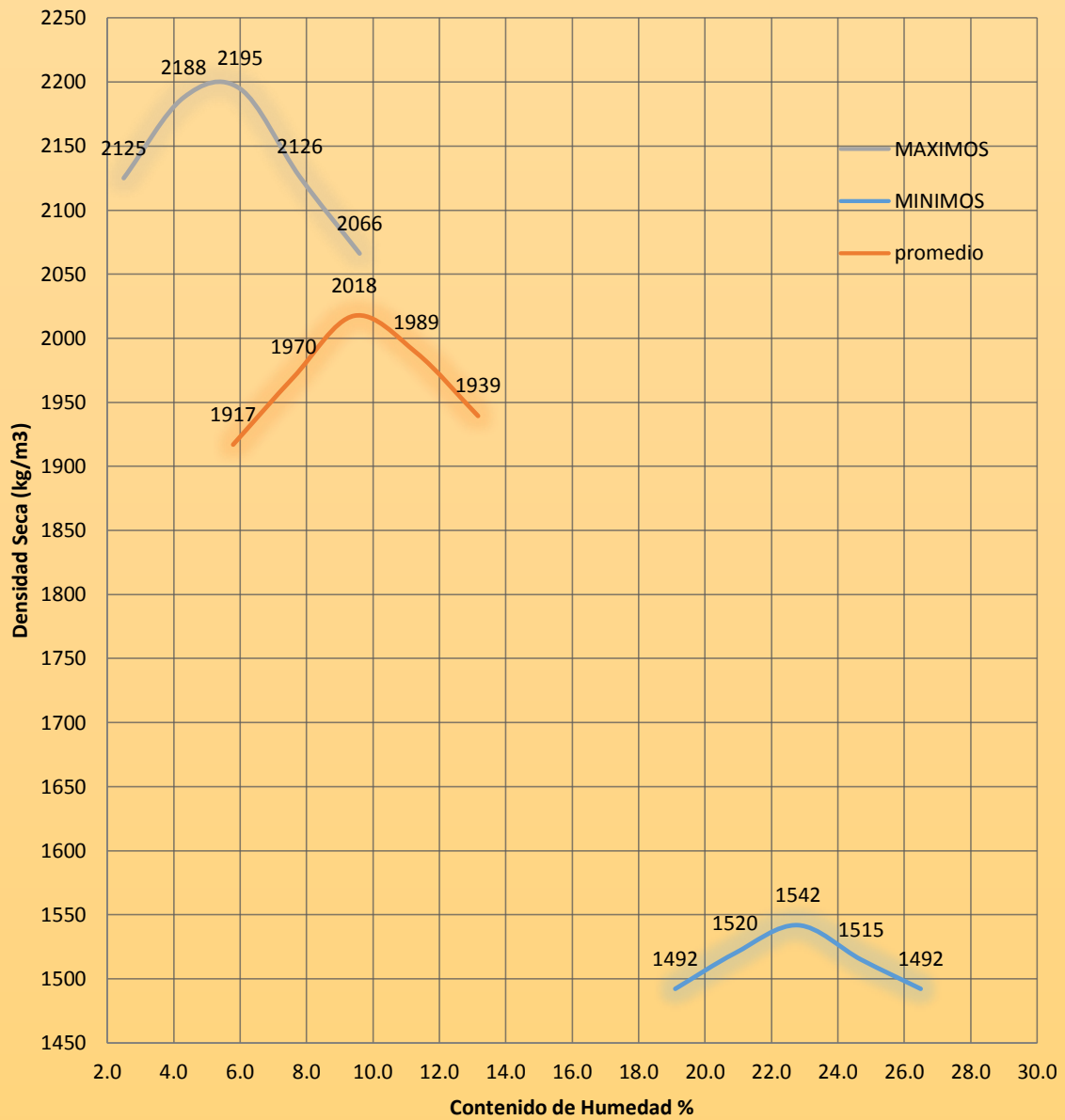


Figura 71. Gráfica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos “grava limosa bien graduada (GW-GM)” – con valores máximos, promedios y mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

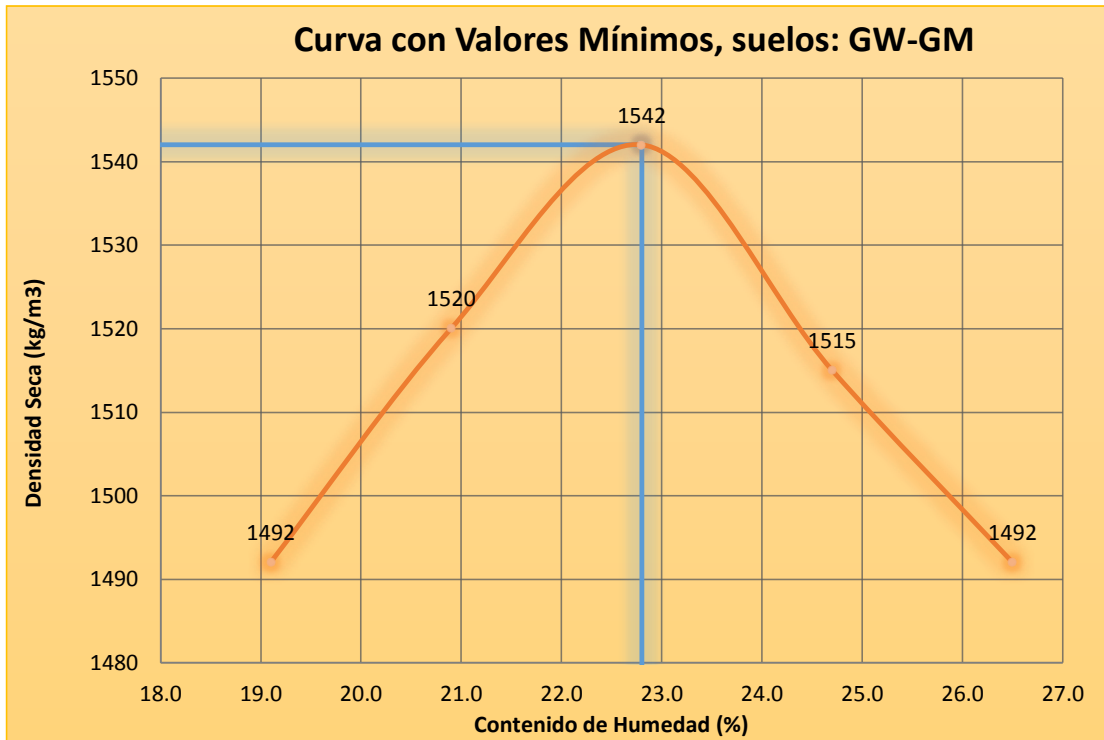


Figura 72. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava limosa bien graduada (GW-GM)” – con valores mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

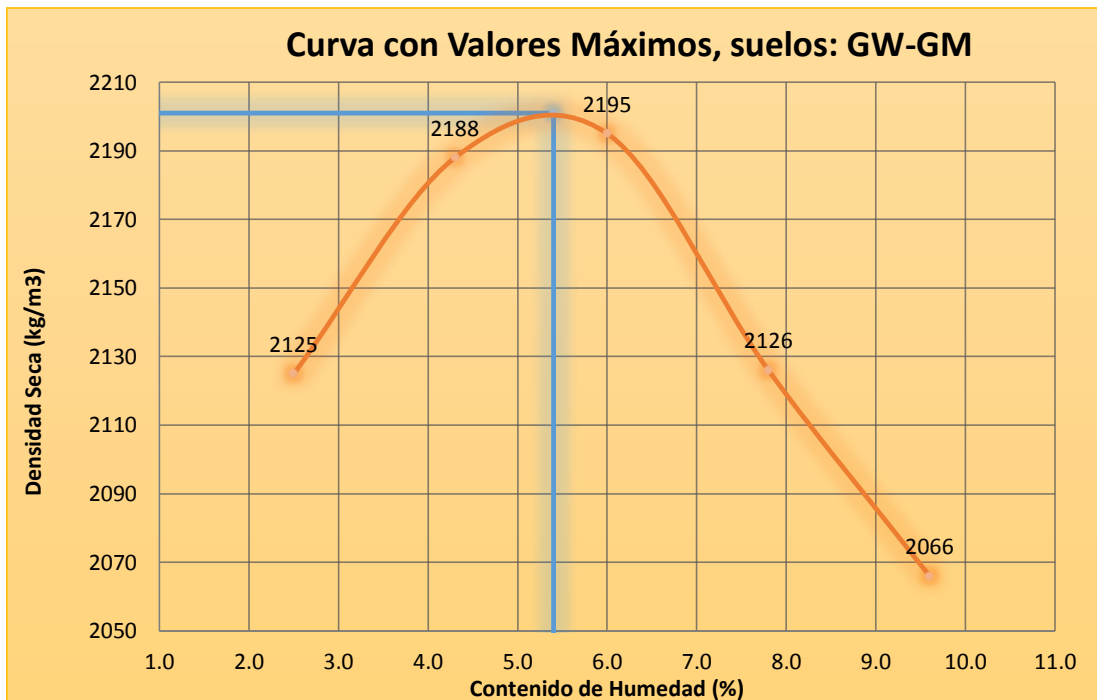


Figura 73. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava limosa bien graduada (GW-GM)” – con valores máximos.

Fuente: Elaboración propia.

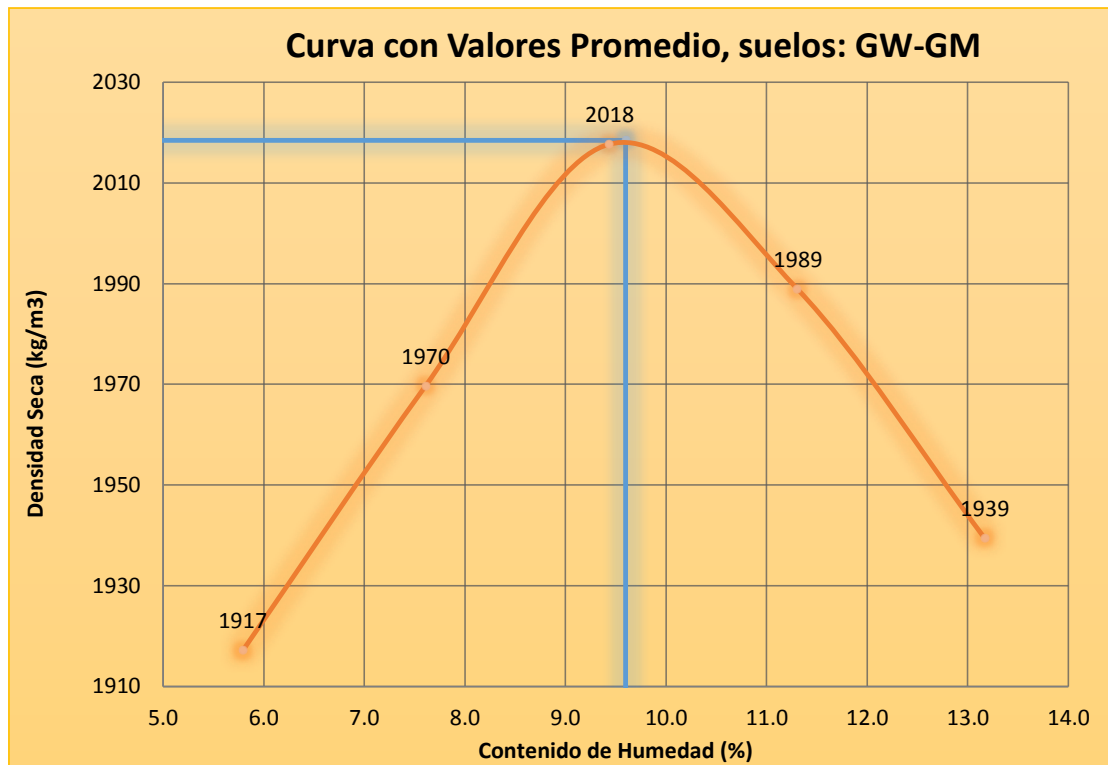


Figura 74. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava limosa bien graduada (GW-GC)” – con valores promedio.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.5 Resultados de curvas de compactación para suelos “grava limo-arcillosa con arena – GC-GM”

Respecto a las “curvas de compactación” de esta subdivisión de las gravas que contienen cantidad apreciable tanto de finos plásticos como no plásticos predominando los plásticos, y que conforman los suelos conocidos como grava limosa arcillosa con arena GC-GM, y de acuerdo a los resultados obtenidos en los laboratorios de mecánica de suelos y que fueron procesados en esta investigación, se han obtenido tres curvas de la relación Densidad – Humedad; una curva que representa los valores medios, otra curva que representa los valores máximos y finalmente otra curva que representan los valores mínimos de esta categoría o tipo de suelo.

Curvas de Compactación para suelos: Grava Limo-Arcillosa con arena (GC-GM)

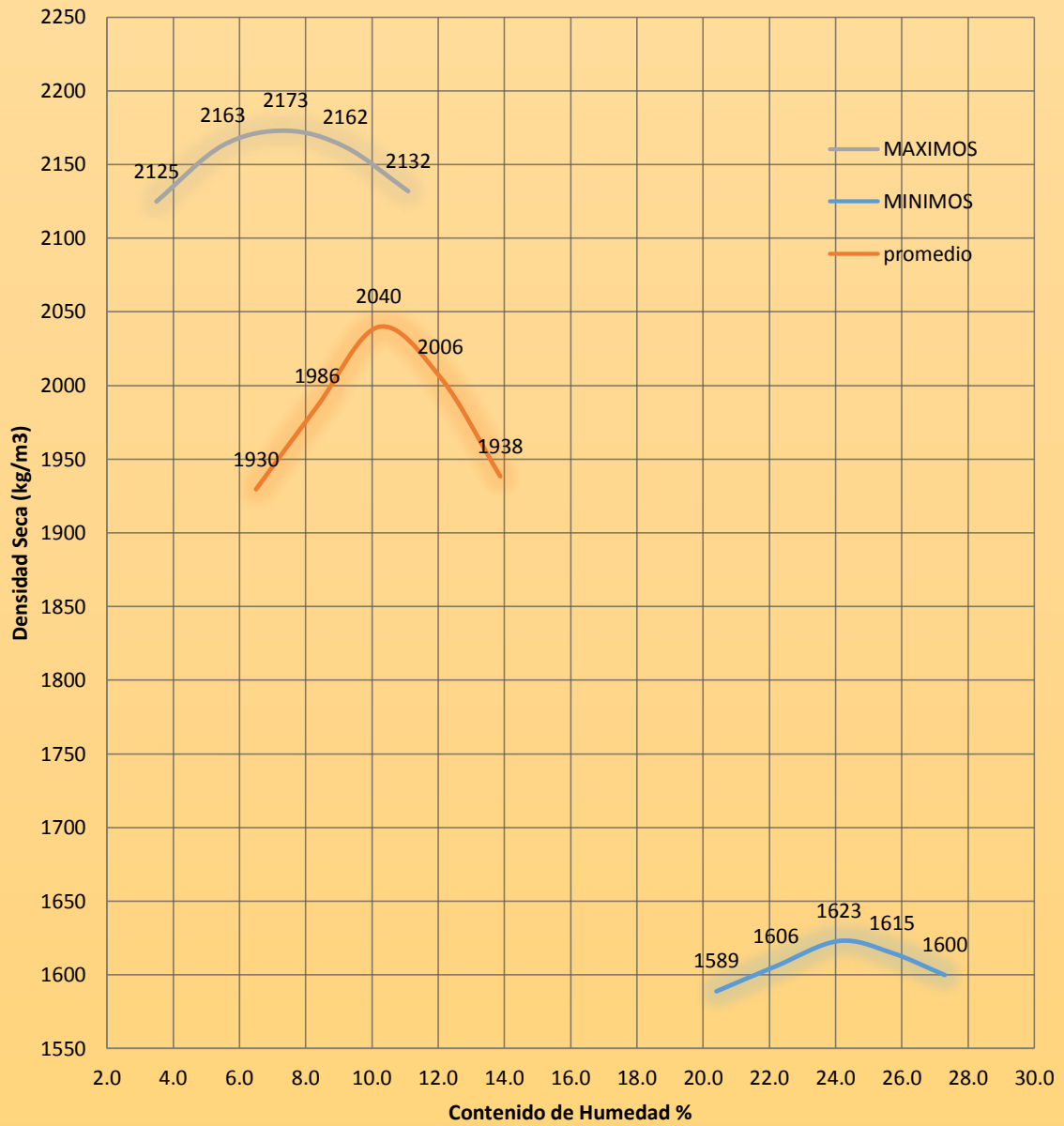


Figura 75. Gráfica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos “grava limo arcillosa con arena (GC-GM)” – con valores máximos, promedios y mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

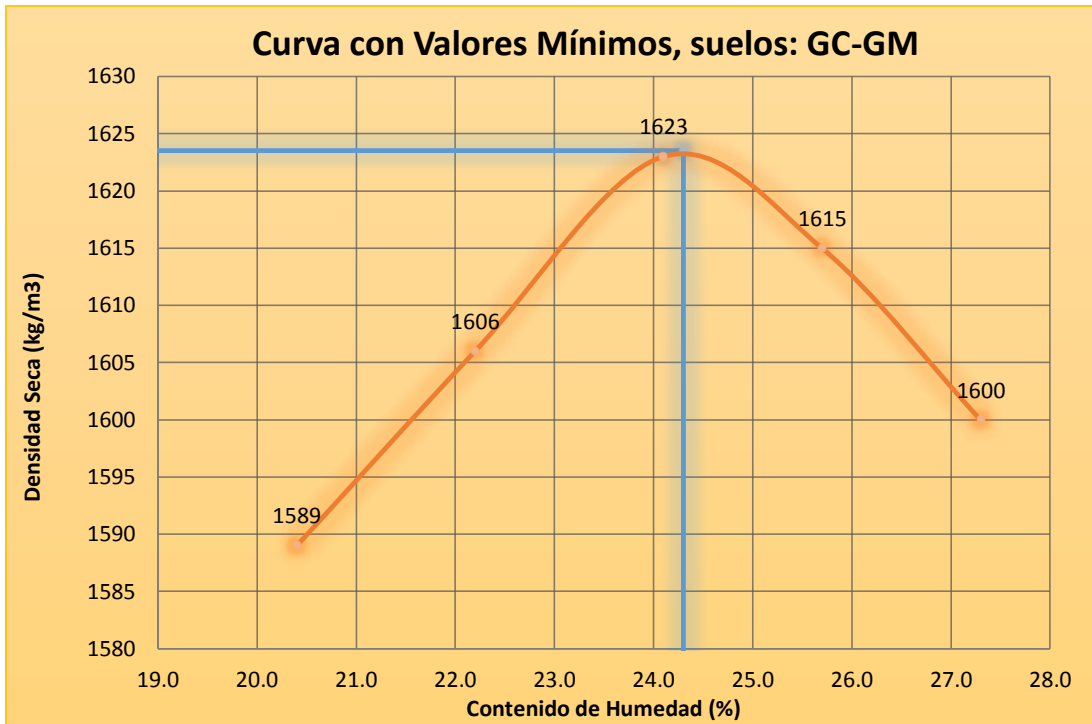


Figura 76. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava limo arcillosa con arena (GC-GM)” – con valores mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

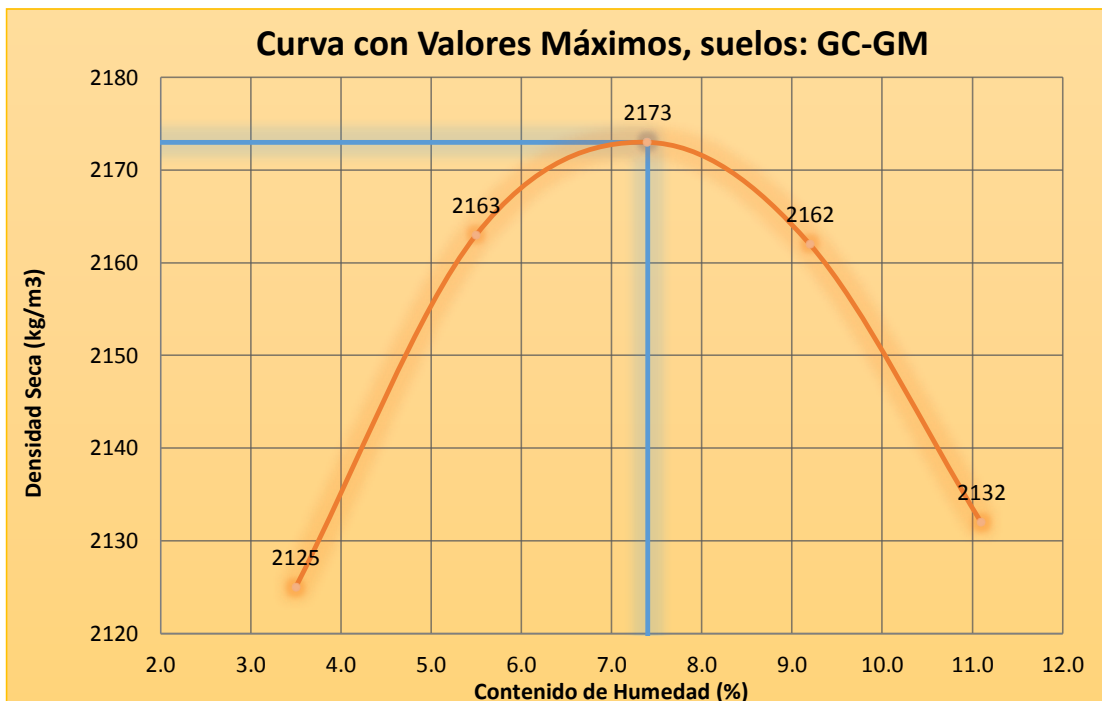


Figura 77. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava limo arcillosa con arena (GC-GM)” – con valores máximos.

Fuente: Elaboración propia

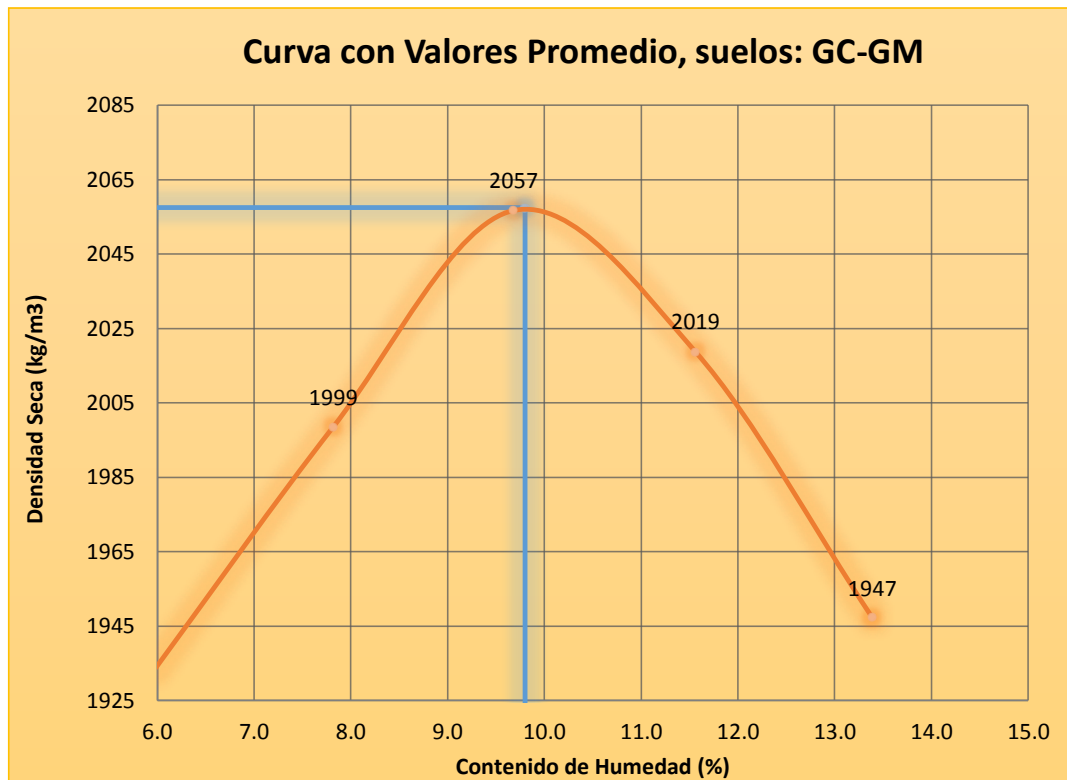


Figura 78. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava limo arcillosa con arena (GC-GM)” – con valores promedio.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.6 Resultados de curvas de compactación para suelos “grava limosa pobremente graduada – GP-GM”

Respecto a las “curvas de compactación” de esta subdivisión de las gravas que contiene cantidad apreciable de finos no plásticos y las gravas no presentan buena gradación, y que conforman los suelos conocidos como grava limosa pobremente graduada GP-GM, y de acuerdo a los resultados obtenidos en los laboratorios de mecánica de suelos y que fueron procesados en esta investigación, se han obtenido tres curvas de la relación Densidad – Humedad; una curva que representa los valores medios, otra curva que representa los valores máximos y finalmente otra curva que representa los valores mínimos de esta categoría o tipo de suelo.

**Curvas de Compactación para suelos:
Grava Limosa pobremente graduada (GP-GM)**

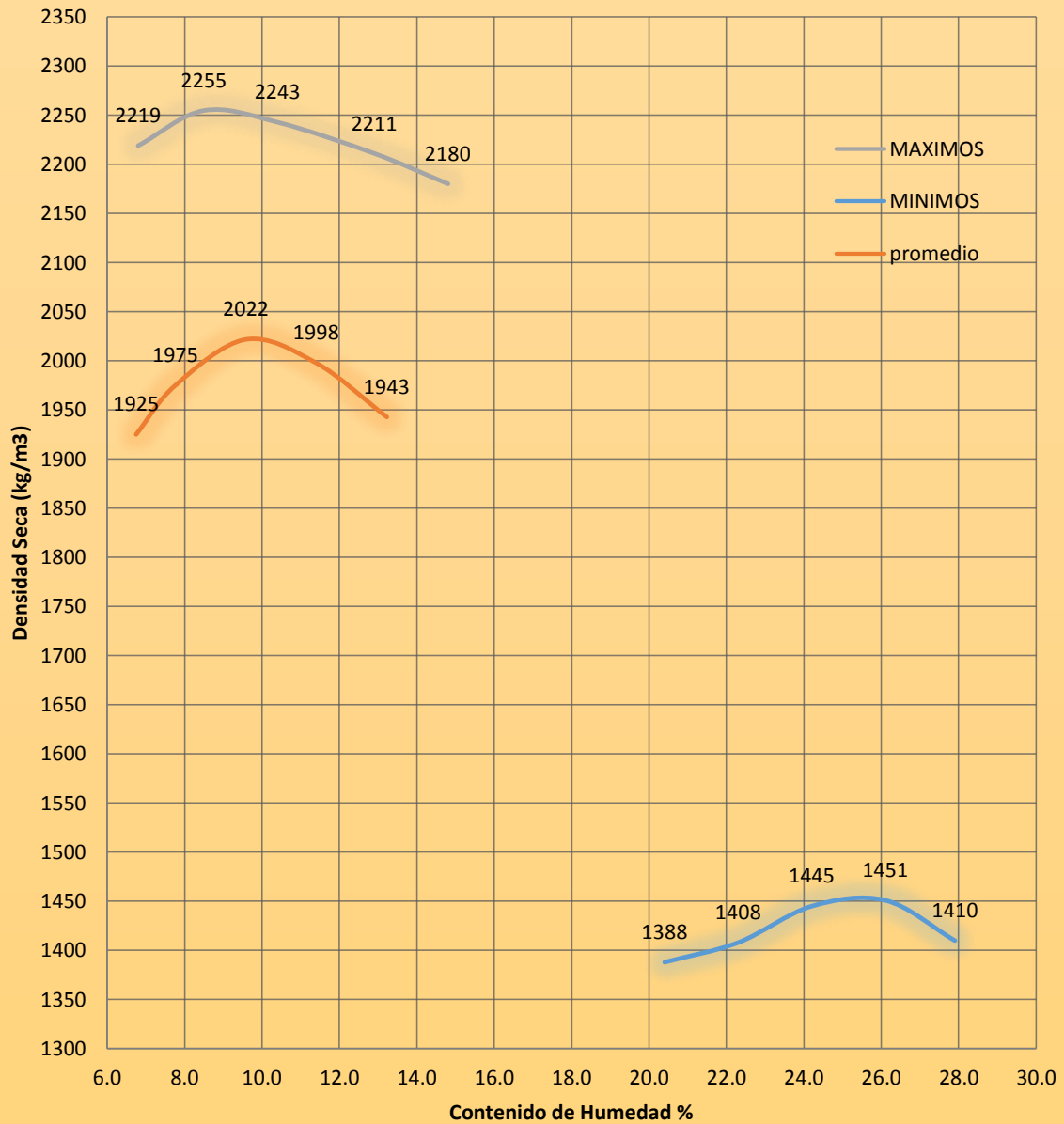


Figura 79. Gráfica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos “grava limosa pobremente graduada (GP-GM)” – con valores máximos, promedios y mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

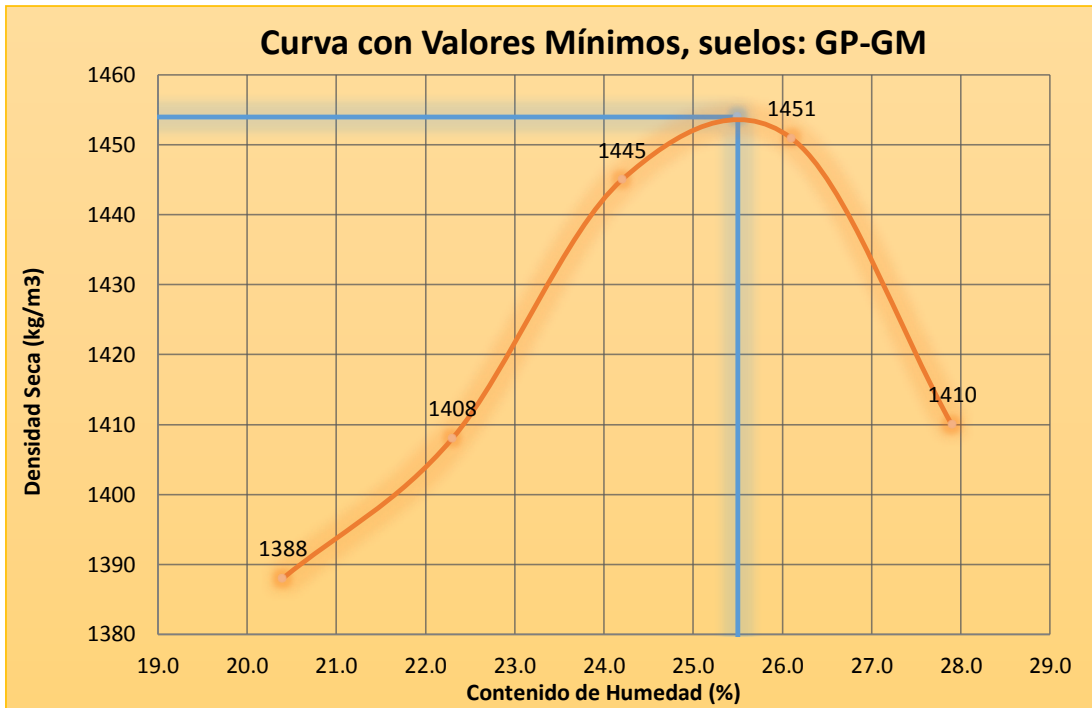


Figura 80. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava limosa pobremente graduada (GP-GM)” – con valores mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

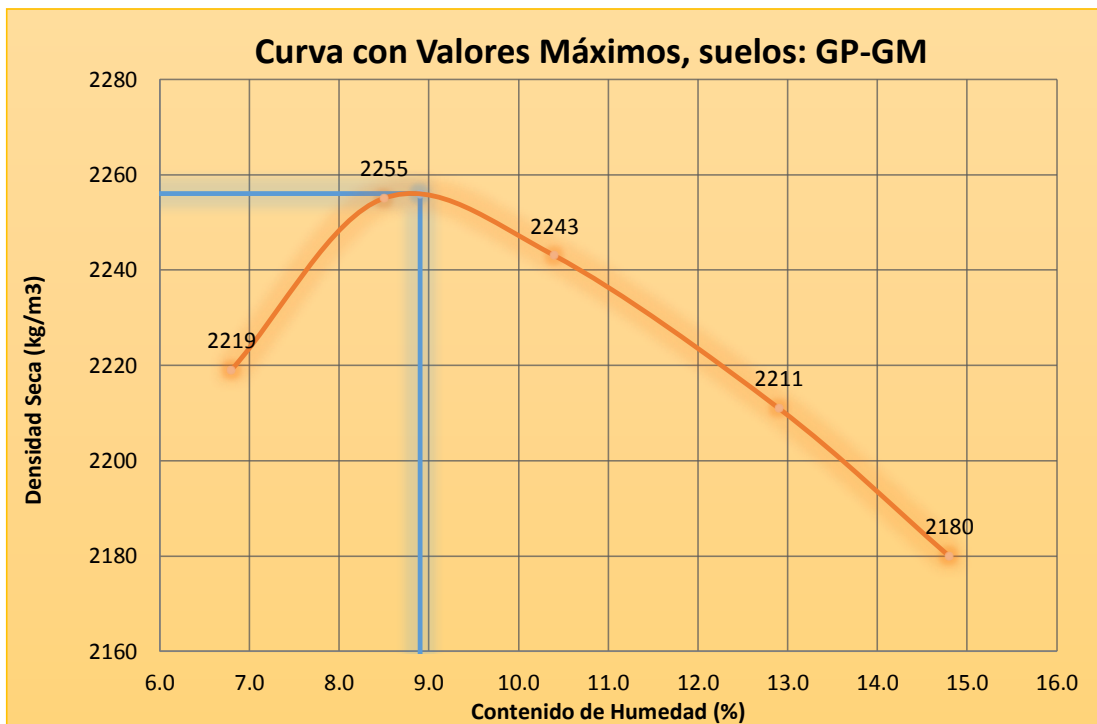


Figura 81. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava limosa pobremente graduada (GP-GM)” – con valores máximos.

Fuente: Elaboración propia.

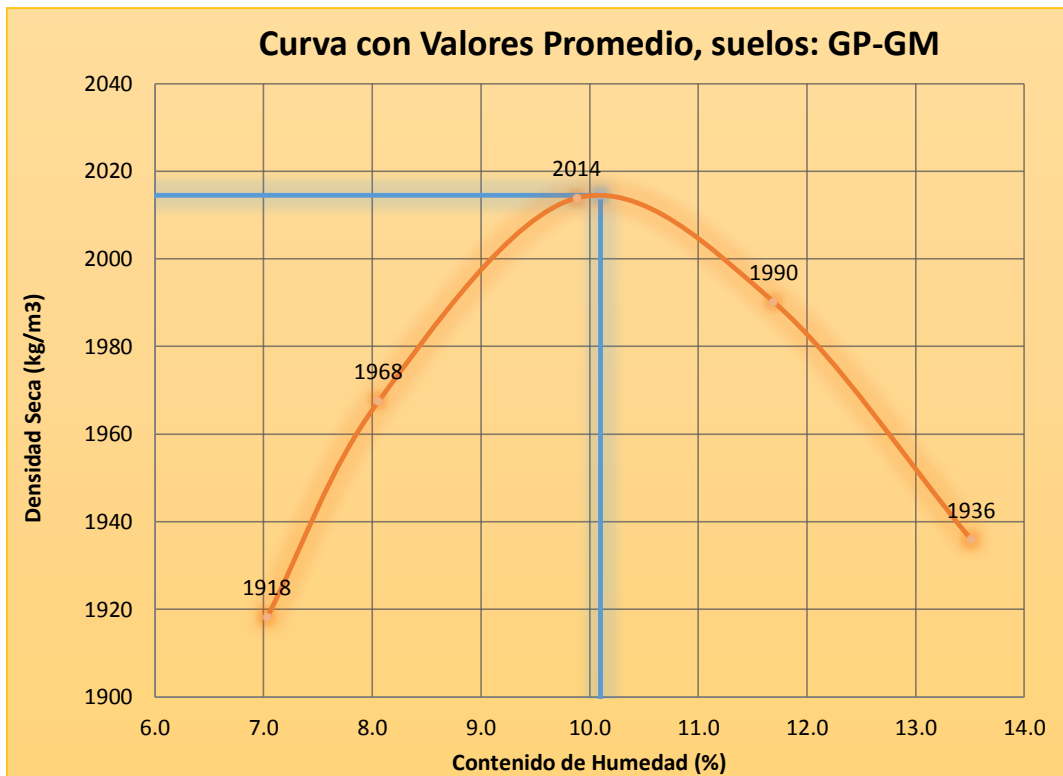


Figura 82. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava limosa pobremente graduada (GP-GM)” – con valores promedio.

3.5.7 Resultados de curvas de compactación para suelos “grava bien graduada - GW”

Respecto a las “curvas de compactación” de esta subdivisión de las gravas que se caracterizan por ser materiales limpios de finos y las gravas presentan buena gradación, y que conforman los suelos conocidos como grava bien graduada GW, y de acuerdo a los resultados obtenidos en los laboratorios de mecánica de suelos y que fueron procesados en esta investigación, se han obtenido tres curvas de la relación Densidad – Humedad; una curva que representa a los valores medios, otra curva que representa los valores máximos y finalmente otra curva que representa los valores mínimos de esta categoría o tipo de suelo.

Curvas de Compactación para suelos: Grava bien graduada (GW)



Figura 83. Grafica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos “grava bien graduada (GW)” – con valores máximos, promedios y mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

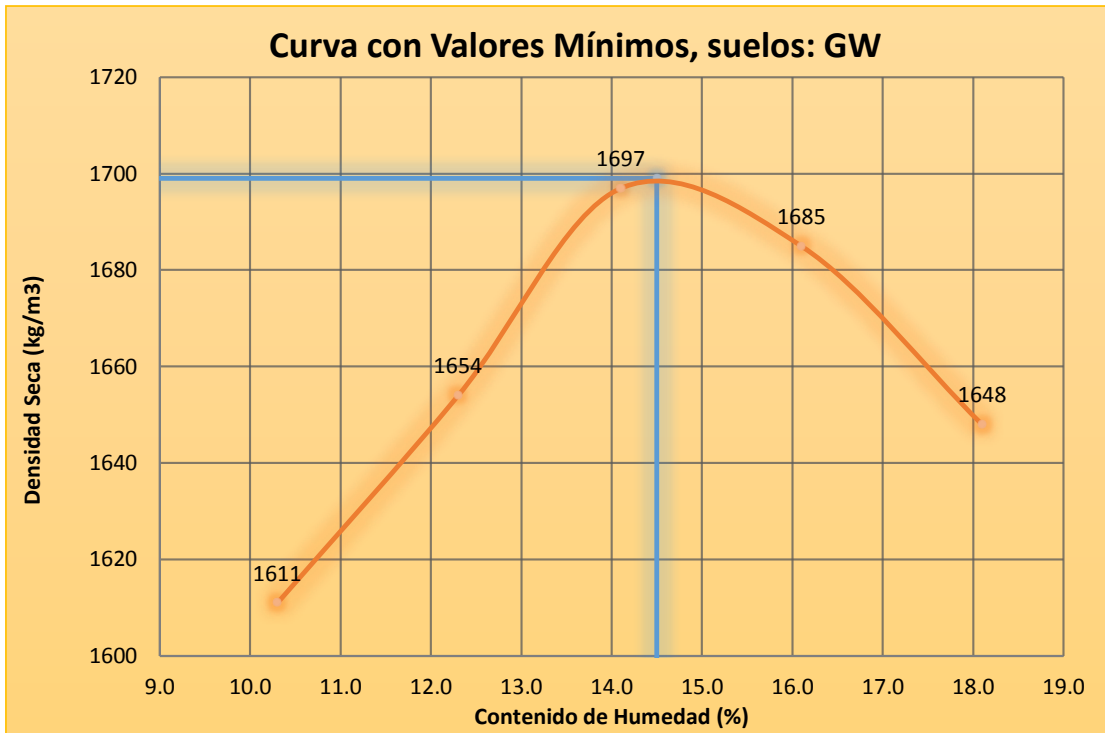


Figura 84. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava bien graduada (GW)” – con valores mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

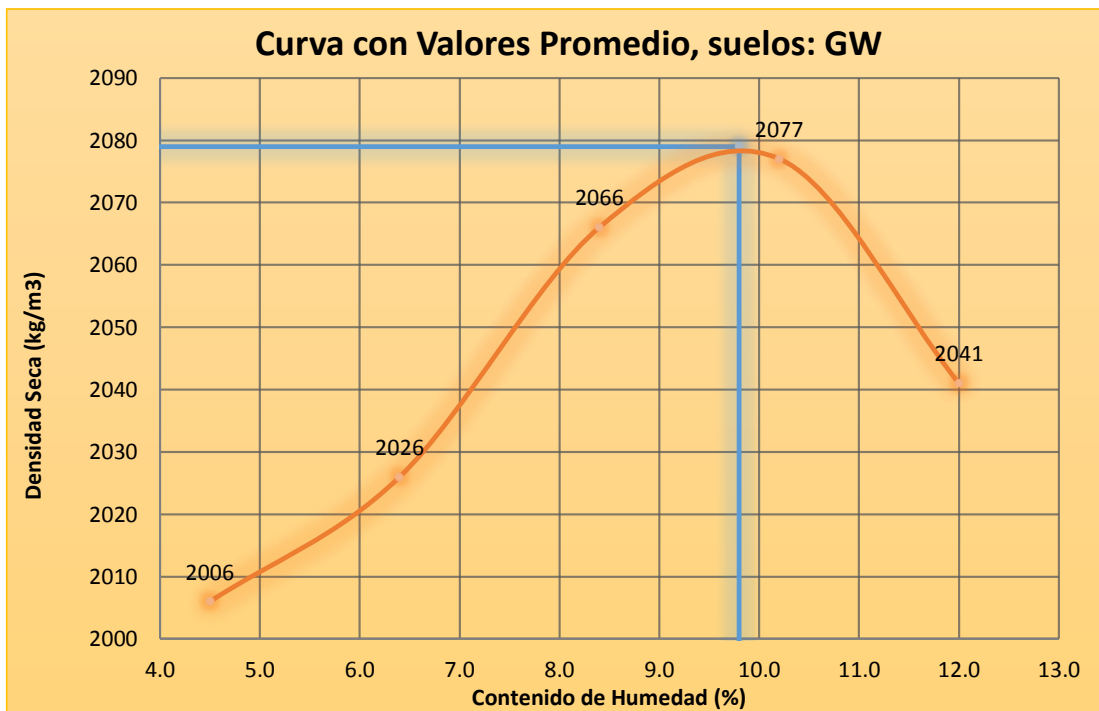


Figura 85. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava bien graduada (GW)” – con valores máximos.

Fuente: Elaboración propia.

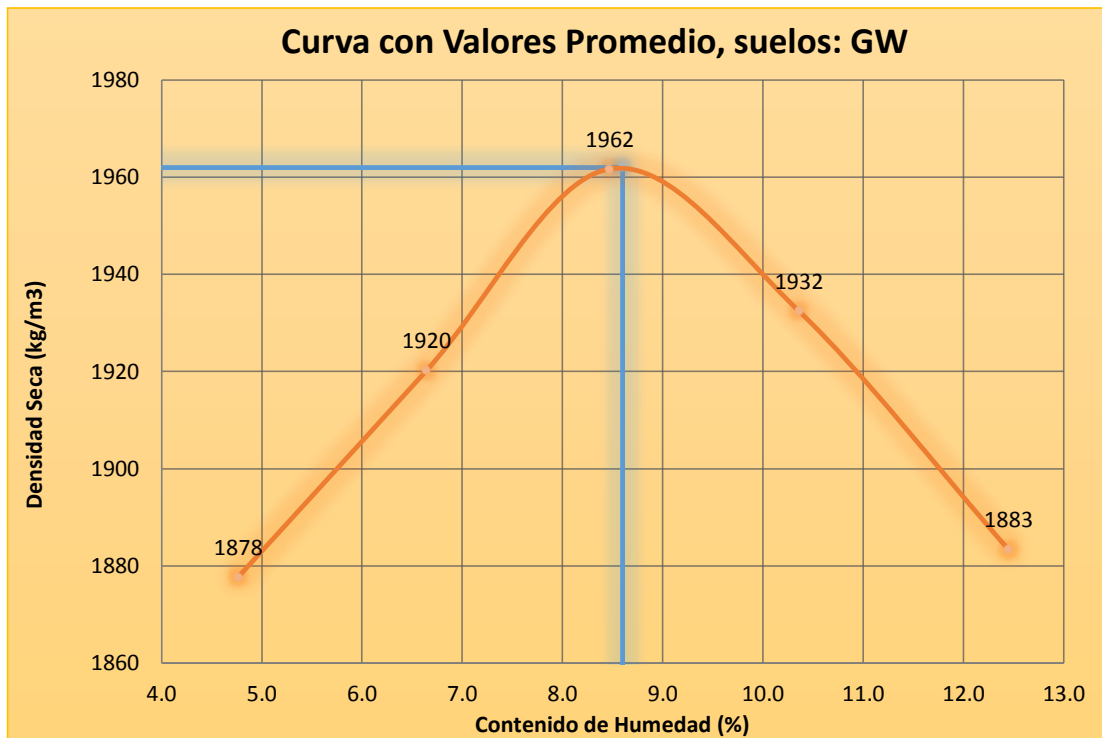


Figura 86. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava bien graduada (GW)” – con valores promedio.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.8 Resultados de curvas de compactación para suelos “grava arcillosa pobremente graduada GP-GC”

Respecto a las “curvas de compactación” de esta subdivisión de las gravas que contienen cantidad apreciable de finos plásticos y las gravas presentan pobre gradación GP-GC, y de acuerdo a los resultados obtenidos en los laboratorios de mecánica de suelos y que fueron procesados en esta investigación, se han obtenido tres curvas de la relación Densidad – Humedad; una curva que representa los valores medios, otra curva que representa los valores máximos y finalmente otra curva que representa los valores mínimos de esta categoría o tipo de suelo.

Curvas de Compactación para suelos: Grava Arcillosa pobremente graduada (GP-GC)

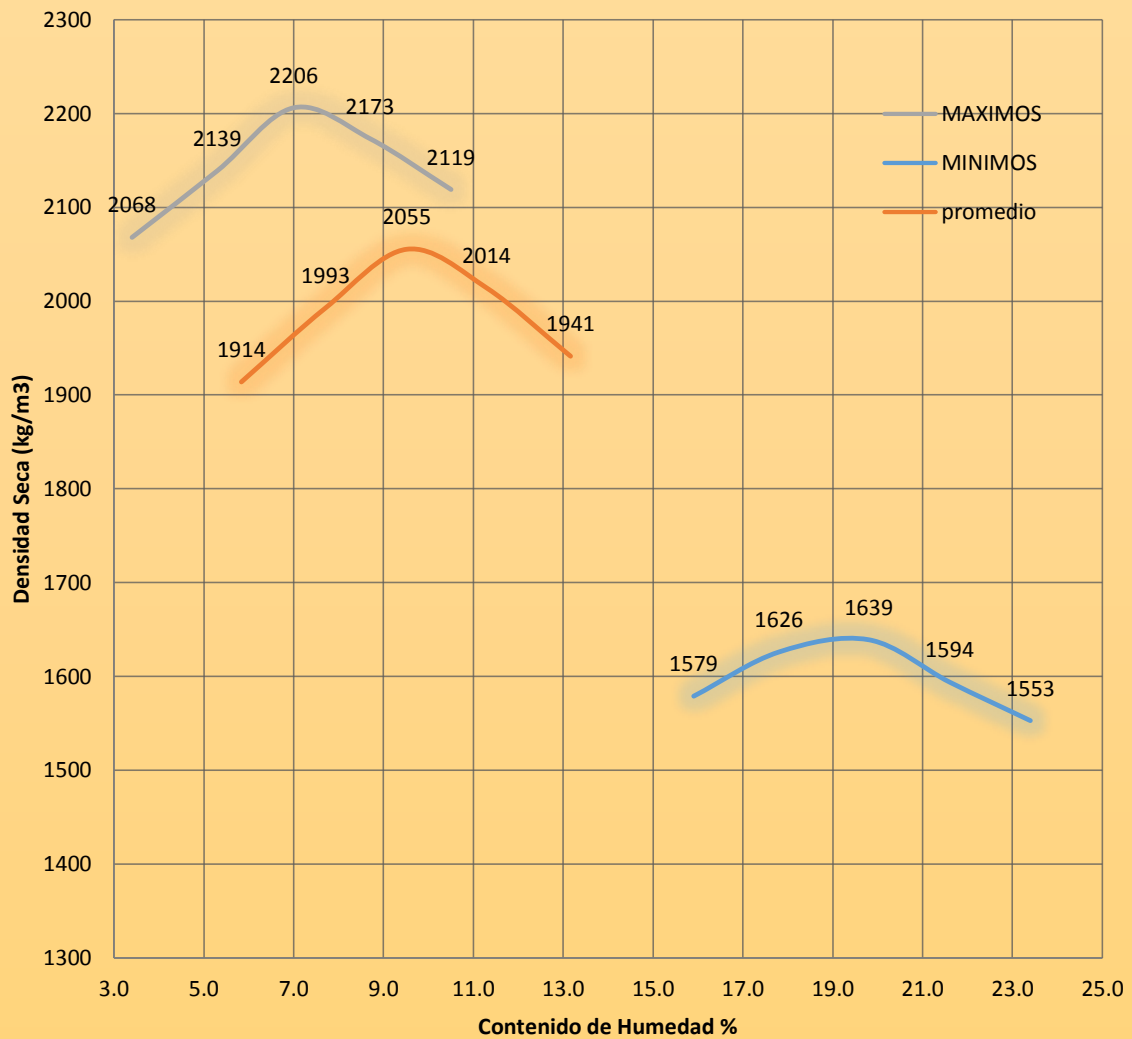


Figura 87. Gráfica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos “grava arcillosa pobremente graduada (GP-GC)” – con valores máximos, promedios y mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

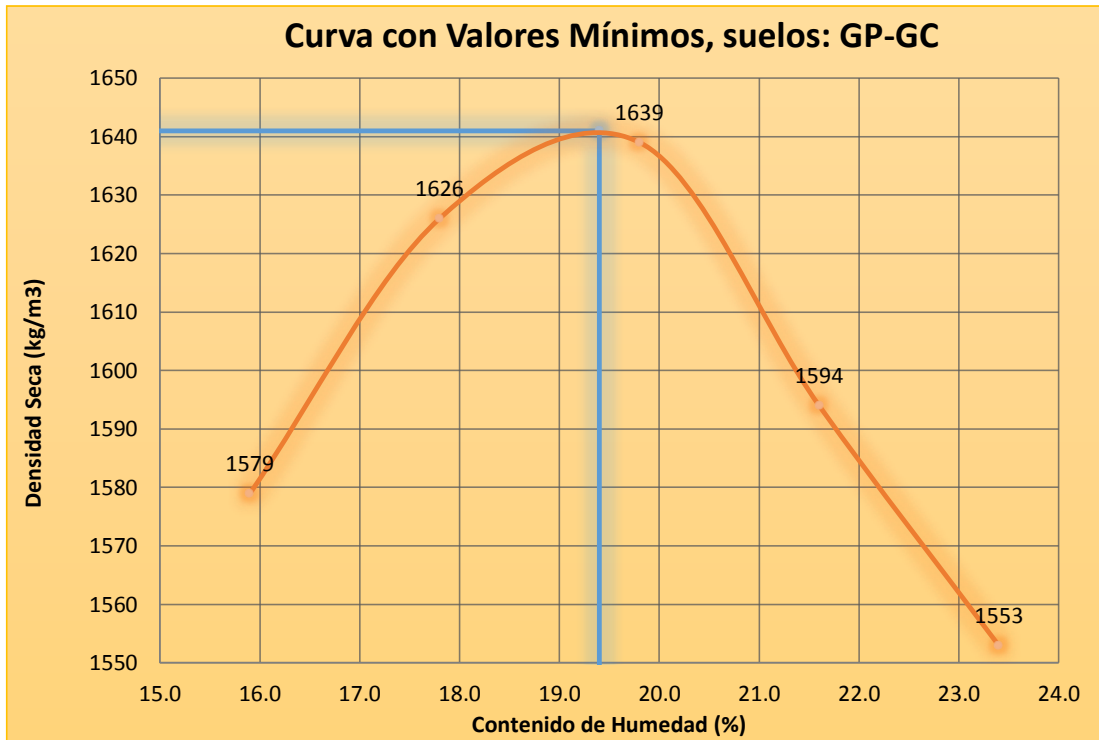


Figura 88. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava arcillosa pobremente graduada (GP-GC)” – con valores mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

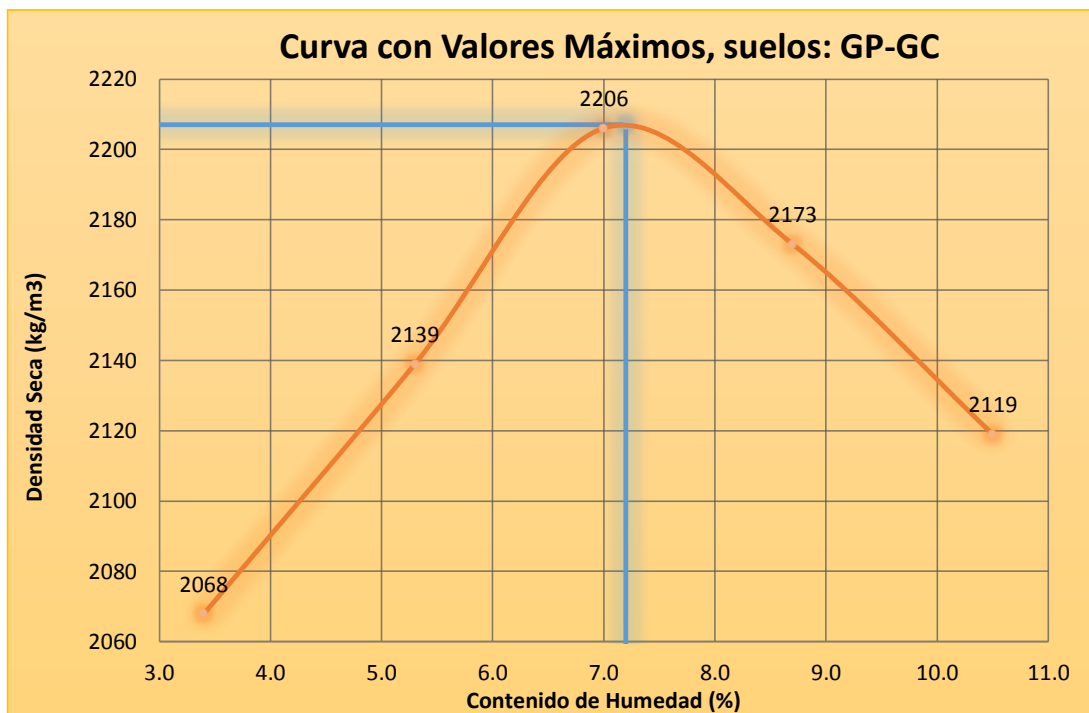


Figura 89. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava arcillosa pobremente graduada (GP-GC)” – con valores máximos.

Fuente: Elaboración propia.

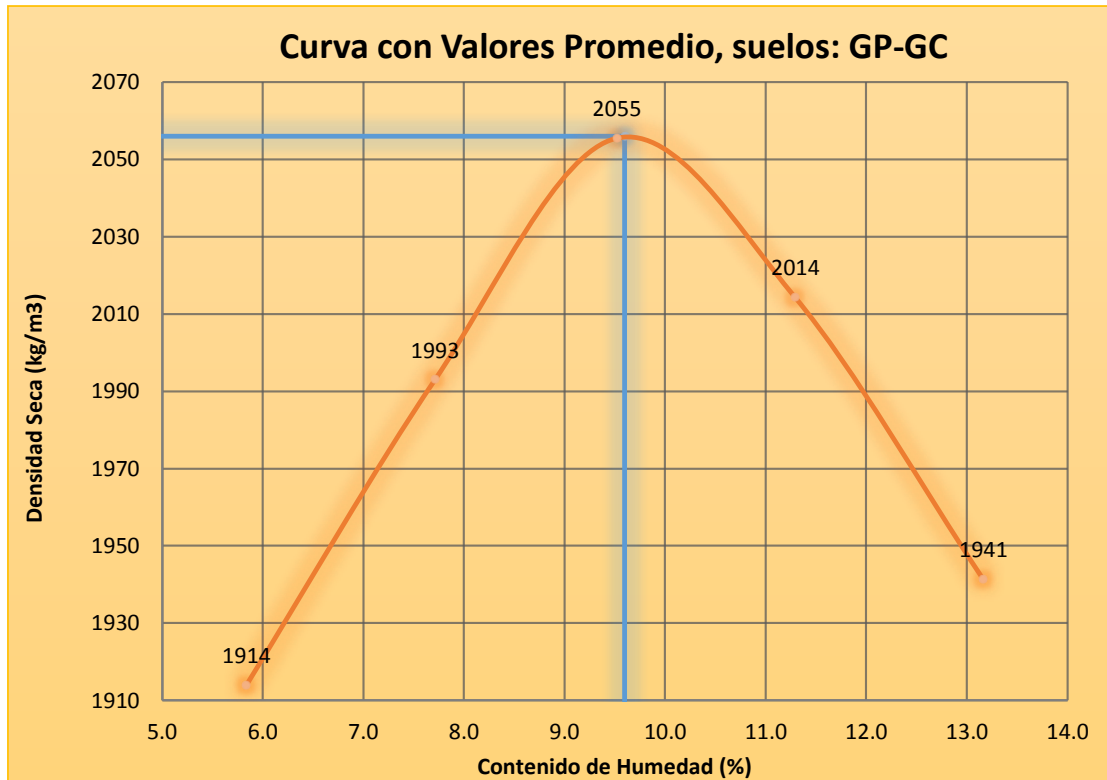


Figura 90. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava arcillosa pobremente graduada (GP-GC)” – con valores promedio.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.9 Resultados de curvas de comparación para suelos “grava pobremente graduada – GP”

Respecto a las “curvas de compactación” de esta subdivisión de las gravas que se presentan limpias de finos y gravas mal gradadas y que conforman los suelos conocidos como grava pobremente graduada GP, y de acuerdo a los resultados obtenidos en los laboratorios de mecánica de suelos, y que fueron procesados en esta investigación, se han obtenido tres curvas de la relación Densidad – Humedad, una curva que representa los valores medios, otra curva que representa los valores máximos y finalmente otra curva que representa los valores mínimos de esta categoría o tipo de suelo.

Curvas de Compactación para suelos: Grava pobremente graduada (GP)

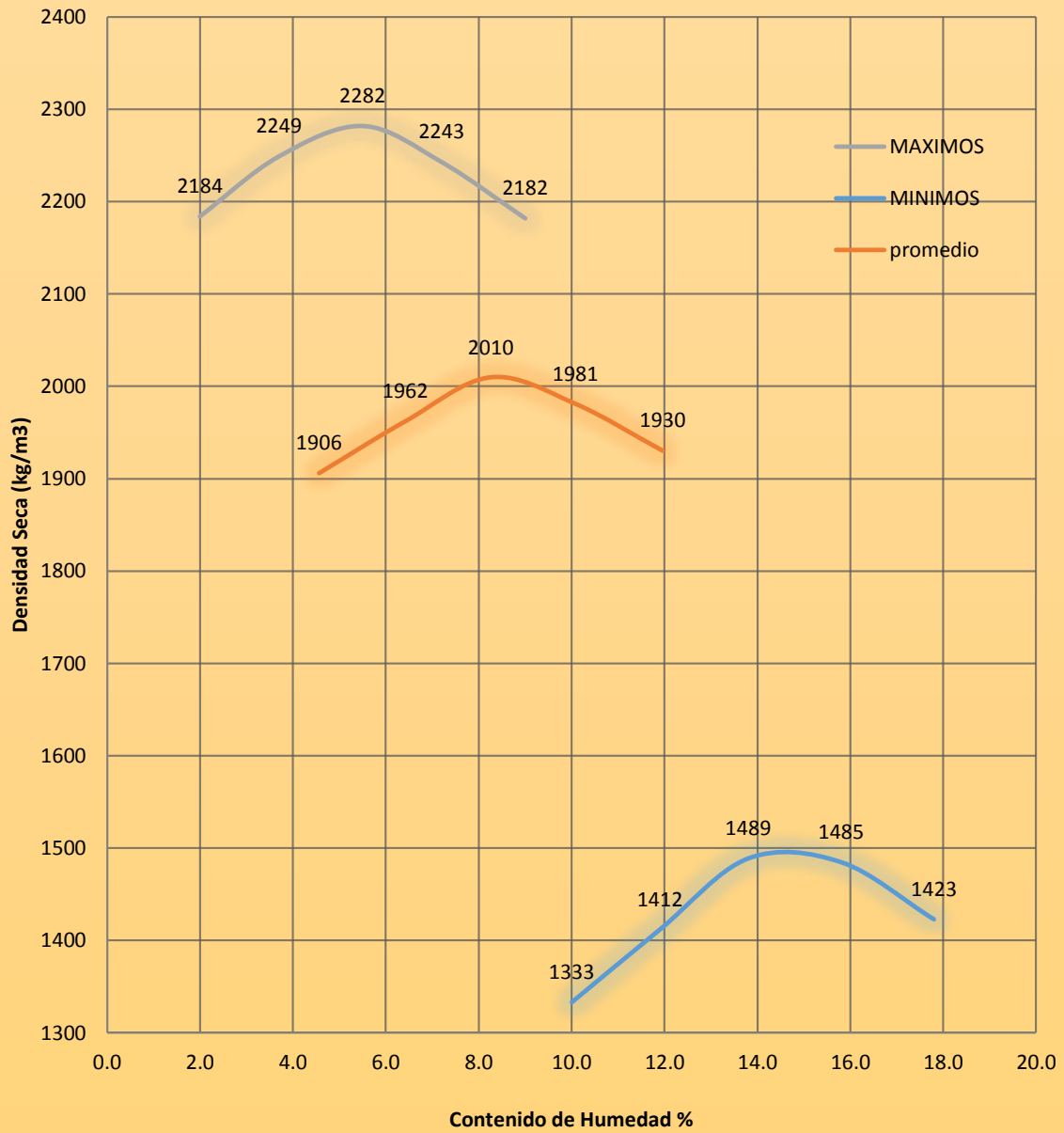


Figura 91. Gráfica de las “curvas de compactación” para la subdivisión de suelos “grava pobremente graduada (GP)” – con valores máximos, promedios y mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

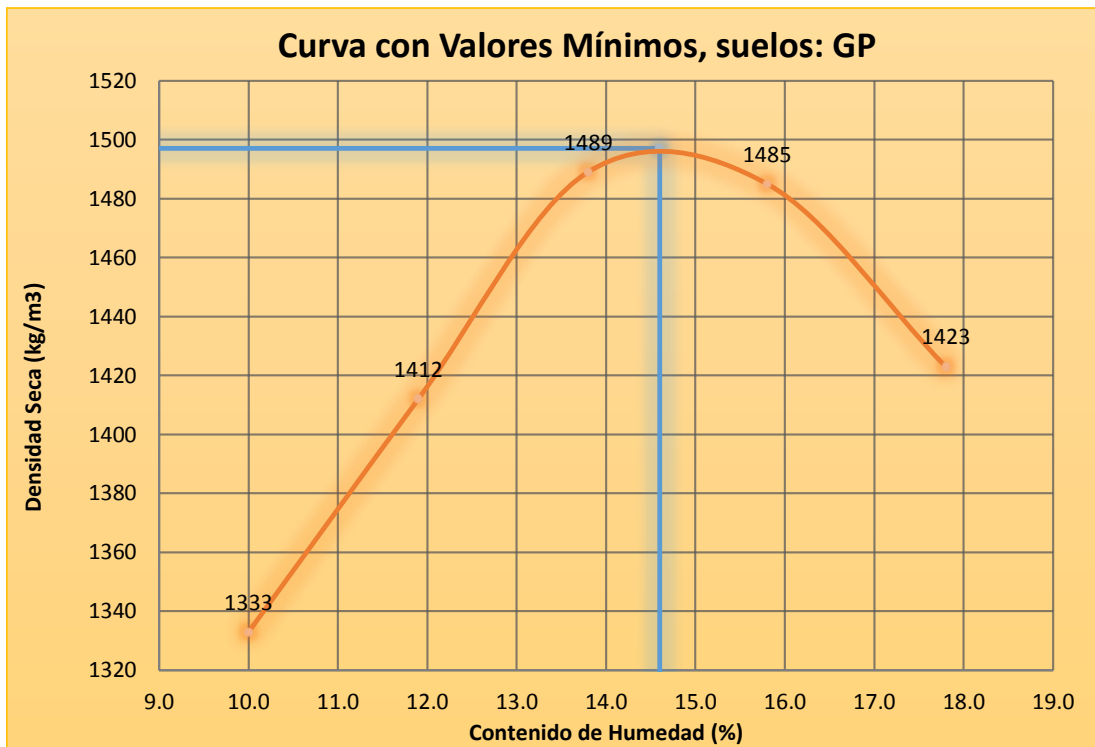


Figura 92. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava pobremente graduada (GP)” – con valores mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

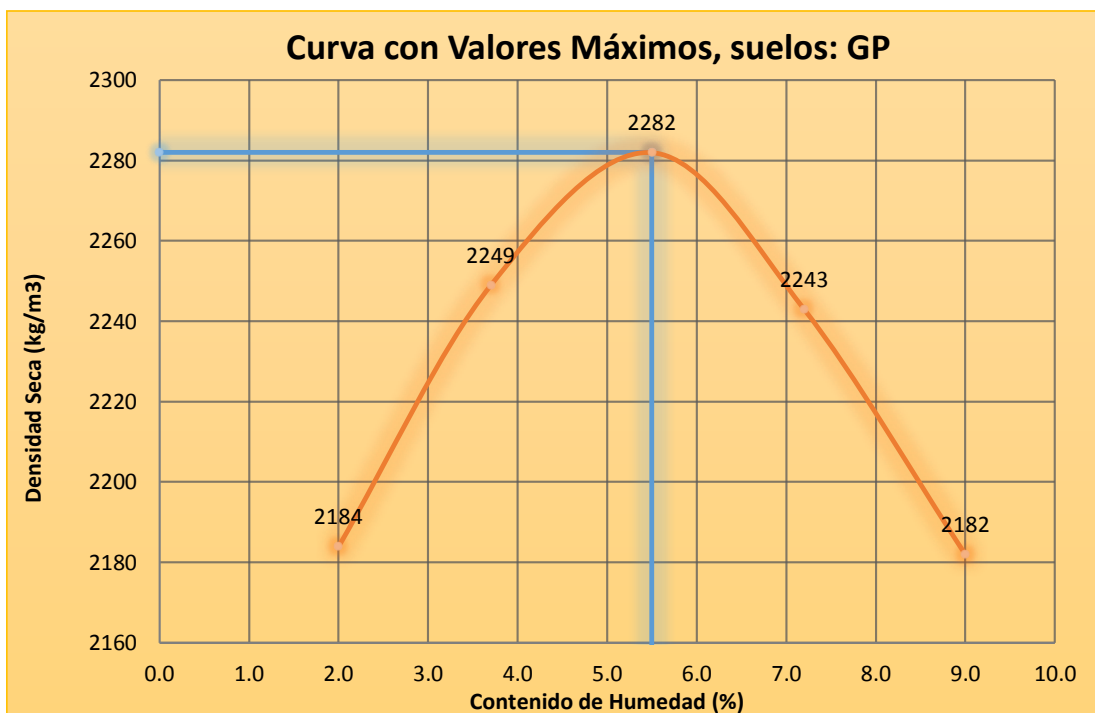


Figura 93. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava pobremente graduada (GP)” – con valores máximos.

Fuente: Elaboración propia.

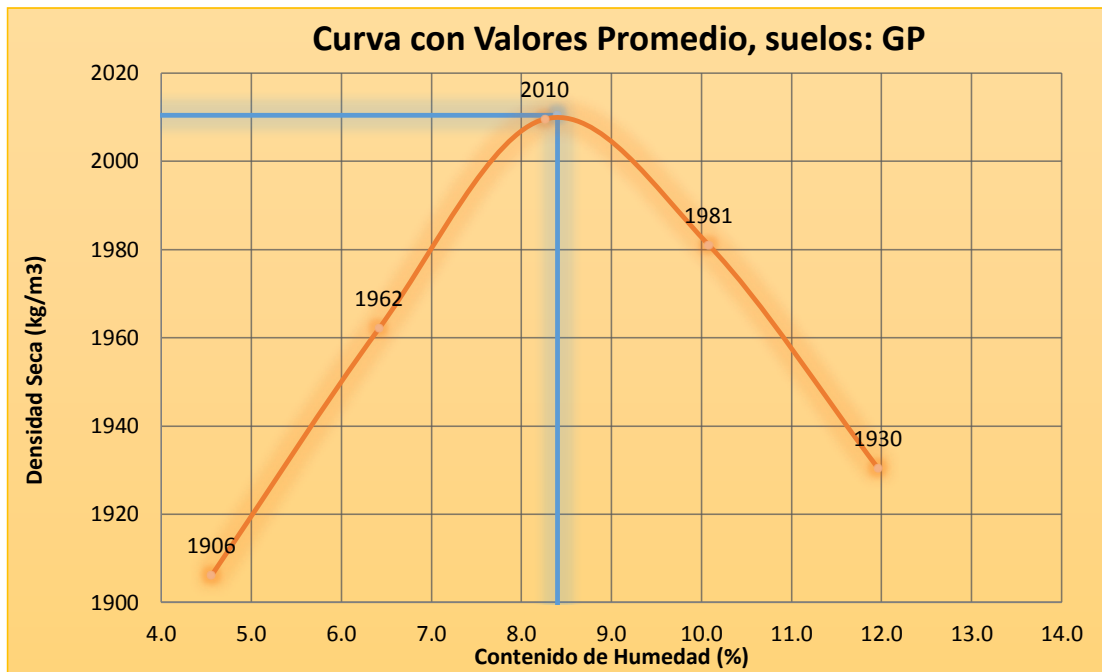


Figura 94. Gráfica de la “curva de compactación” para la subdivisión de suelos “grava pobremente graduada (GP)” – con valores promedio.

Fuente: Elaboración propia

3.6 Resultados de la incorporación de las curvas de compactación de los suelos gravosos, arenosos y finos con valores mínimos obtenidos vs la teoría de Braja Das

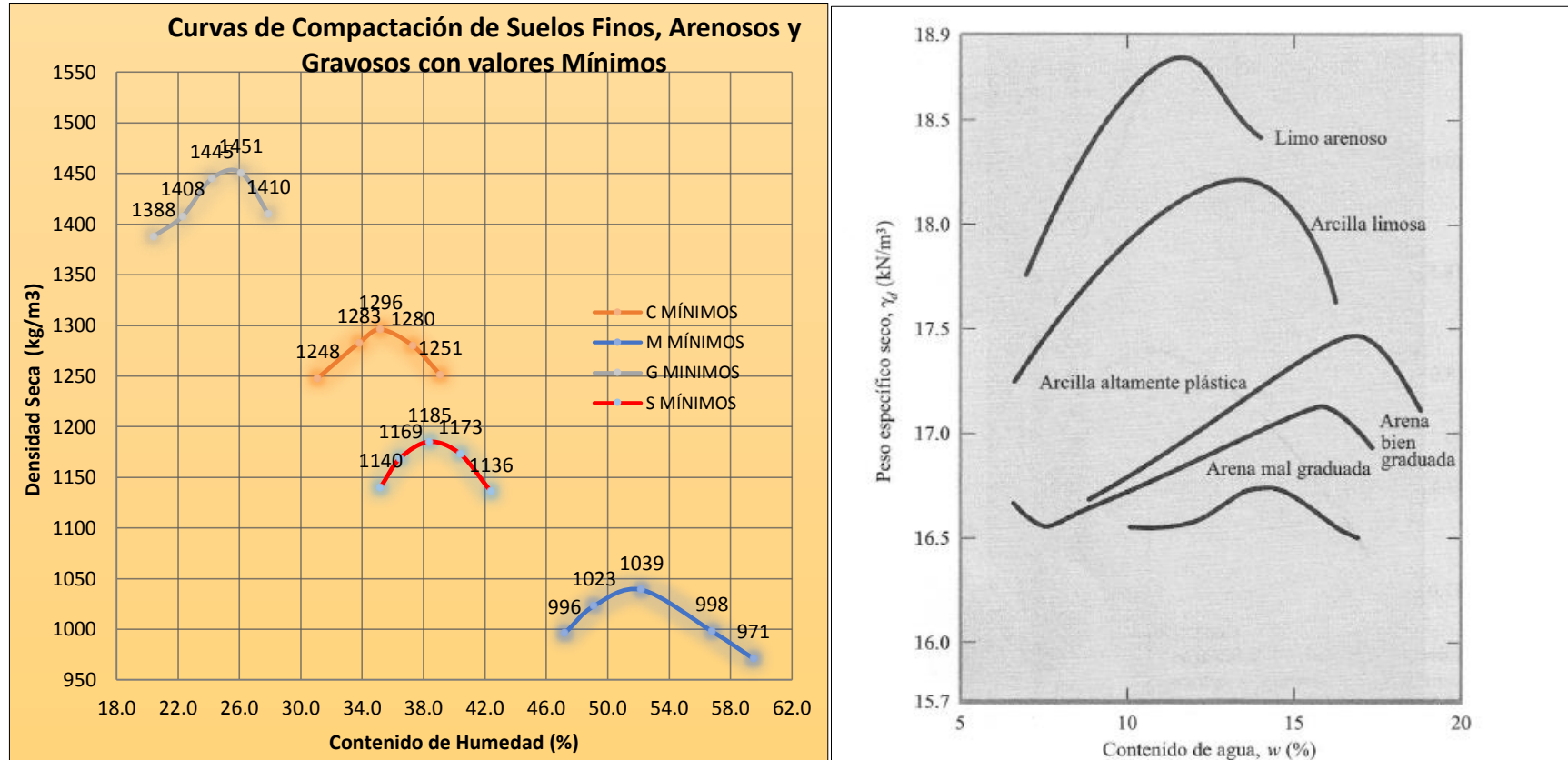


Figura 95. Gráfica de las “curvas de compactación” para las categorías de suelos “gravosos (G), arenosos (S) y finos (C, M)” – con valores mínimos obtenidos.

Fuente: Elaboración propia.

3.7 Resultados de la incorporación de las curvas de compactación de los suelos gravosos, arenosos y finos con valores máximos obtenidos vs la teoría de Braja Das

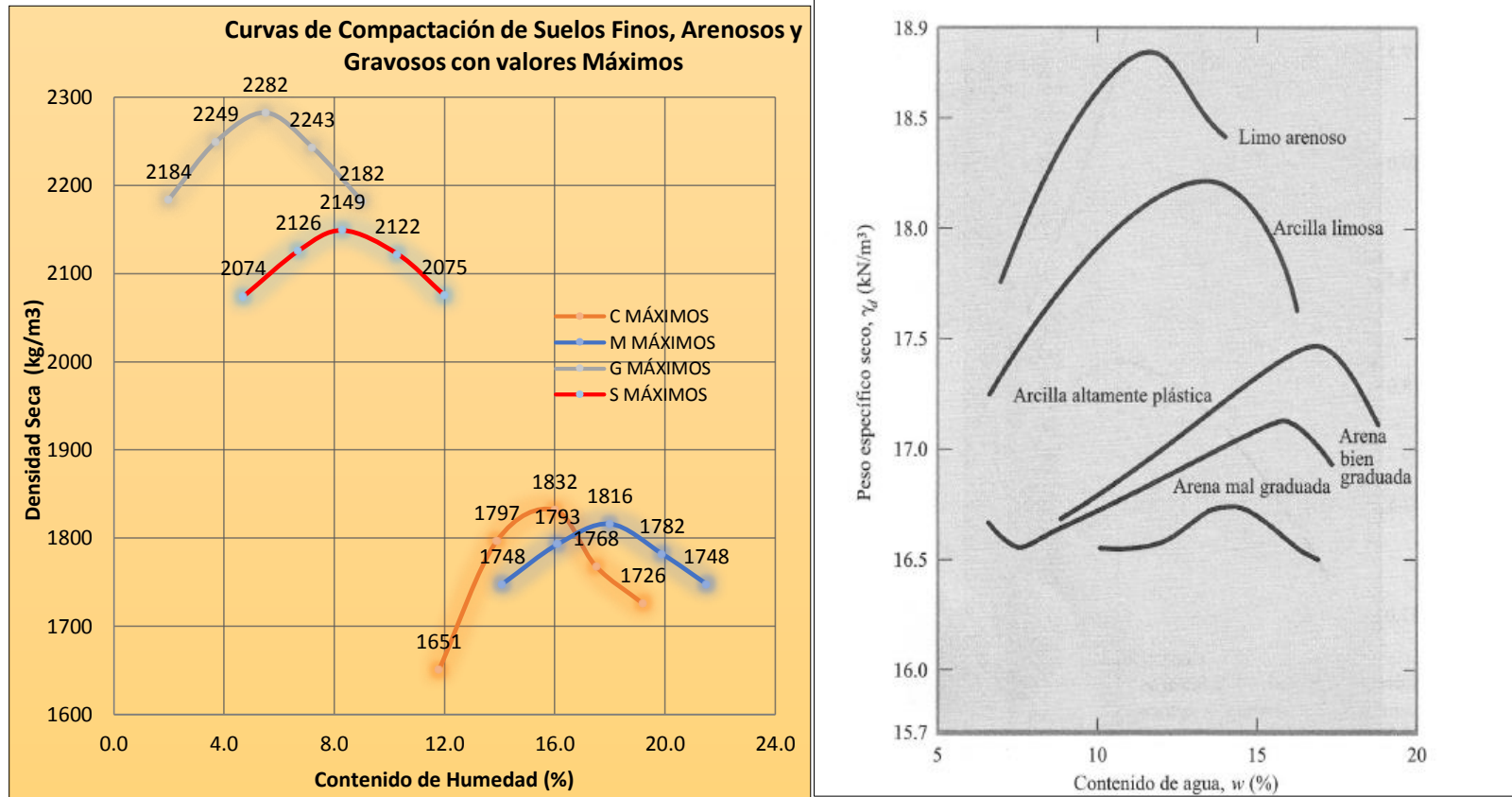


Figura 96. Gráfica de las “curvas de compactación” para las categorías de suelos “gravosos (G), arenosos (S) y finos (C y M)” – con valores máximos.

Fuente: Elaboración propia.

3.8 Resultados de la incorporación de las curvas de compactación de suelos gravosos, arenosos y finos con los valores promedio vs la teoría de Braja Das

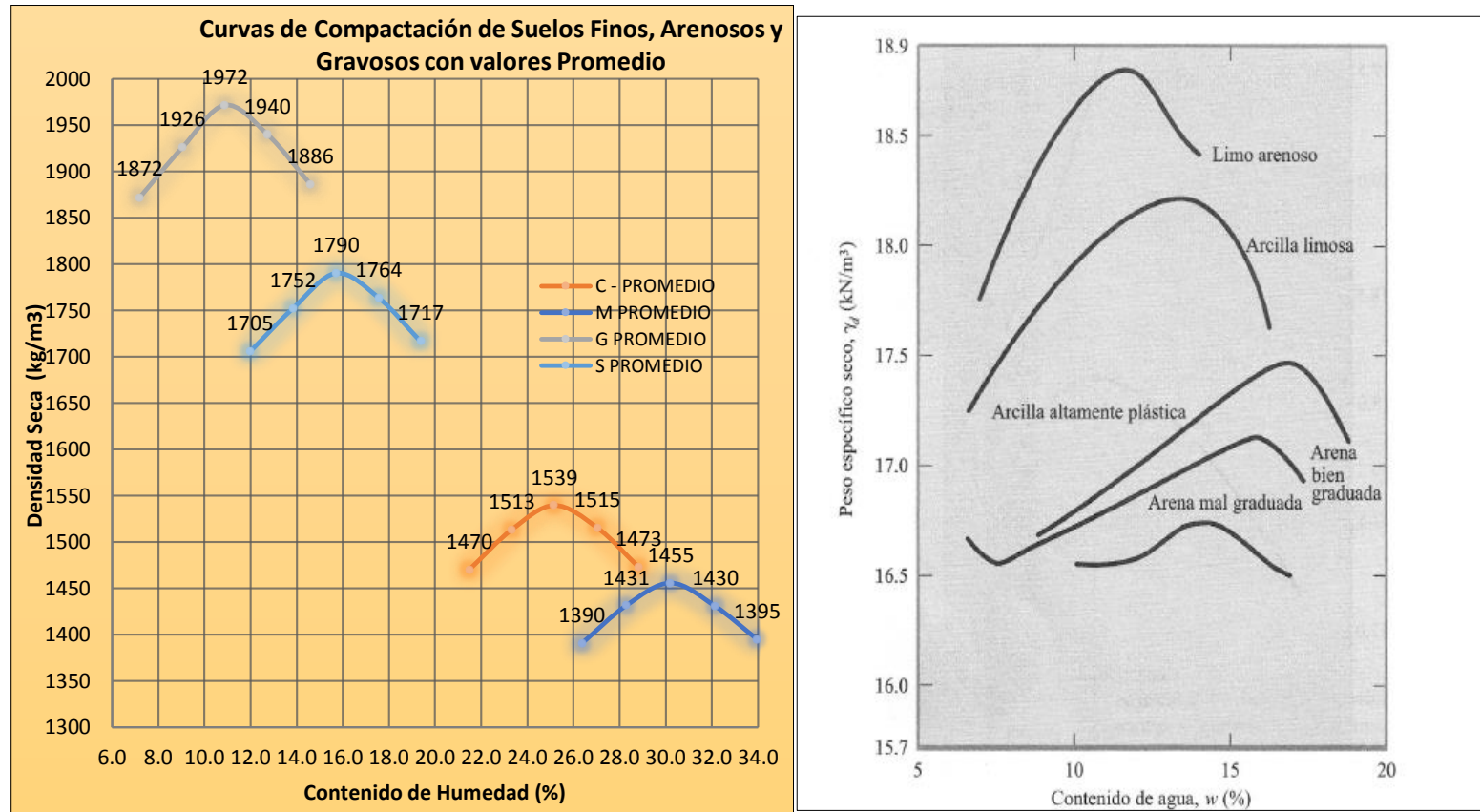


Figura 97. Gráfica de las “curvas de compactación” para las categorías de suelos “gravosos (G), arenosos (S) y finos (C y L)” – con valores promedio.

Fuente: Elaboración propia.

3.9 Resultados de la incorporación de las curvas de compactación de suelos de todas la categorías con valores mínimos, máximos y promedios



Figura 98. Gráfica de las “curvas de compactación” para las categorías de suelos “gravosos (G), arenosos (S) y finos (C y M)” – con valores máximos, promedios y mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Se muestra los valores mínimos, promedio y máximos de la “máxima densidad seca” sin corregir de las categorías de suelos así como su óptimo contenido de humedad

MÁXIMA DENSIDAD SECA				
	ARCILLAS	LIMOS	ARENAS	GRAVAS
MÍNIMO	1318	1039	1185	1445
PROMEDIO	1542	1458	1790	1972
MÁXIMO	1832	1817	2149	2282

OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD				
	ARCILLAS	LIMOS	ARENAS	GRAVAS
MÍNIMO	35.2	52.4	38.4	24.2
PROMEDIO	25.2	30.1	15.7	10.90
MÁXIMO	15.8	17.8	8.3	5.50

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Se muestran los valores mínimos, promedio y máximos de la “máxima densidad seca corregida” de las categorías de suelos así como su óptimo contenido de humedad corregido

MÁXIMA DENSIDAD SECA CORREGIDA				
	ARCILLAS	LIMOS	ARENAS	GRAVAS
MÍNIMO	1318	1039	1289	1498
PROMEDIO	1568	1474	1844	2040
MÁXIMO	1870	1817	2194	2362

OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD CORREGIDO				
	ARCILLAS	LIMOS	ARENAS	GRAVAS
MÍNIMO	35.1	52.4	34.4	19.7
PROMEDIO	24.2	29.2	14.1	9.40
MÁXIMO	14.5	17.8	7.8	4.00

Fuente: Elaboración propia.

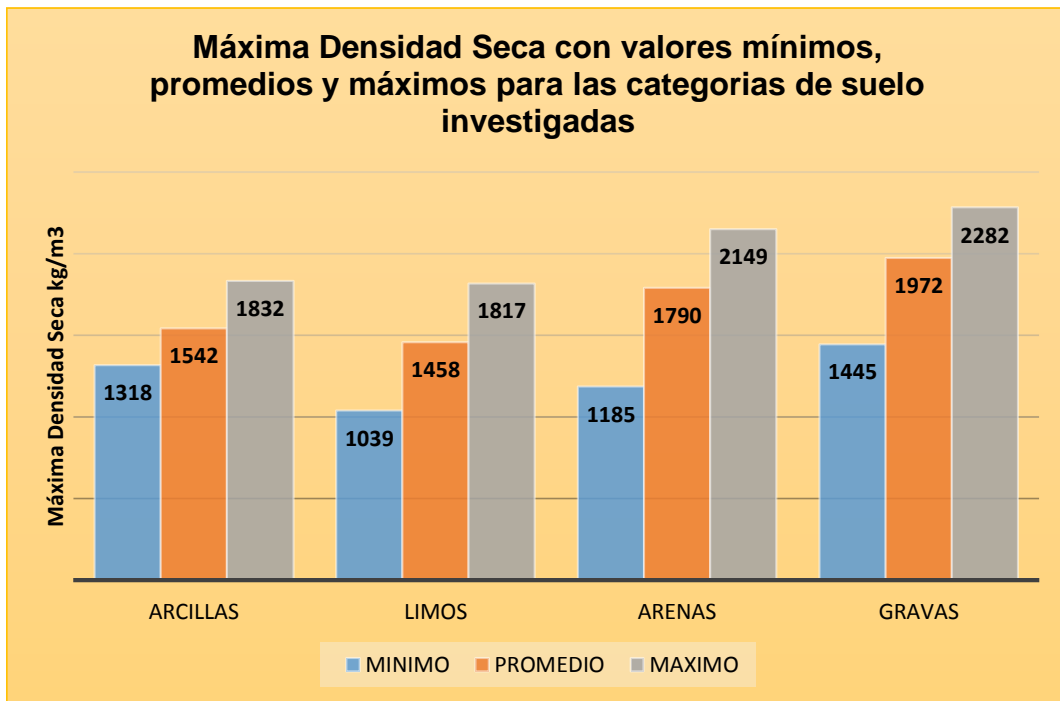


Figura 99. Gráfica de barras de los valores de “máxima densidad seca” sin corregir, con los valores mínimos, promedios y máximos para todas las categorías de suelos.

Fuente: Elaboración propia

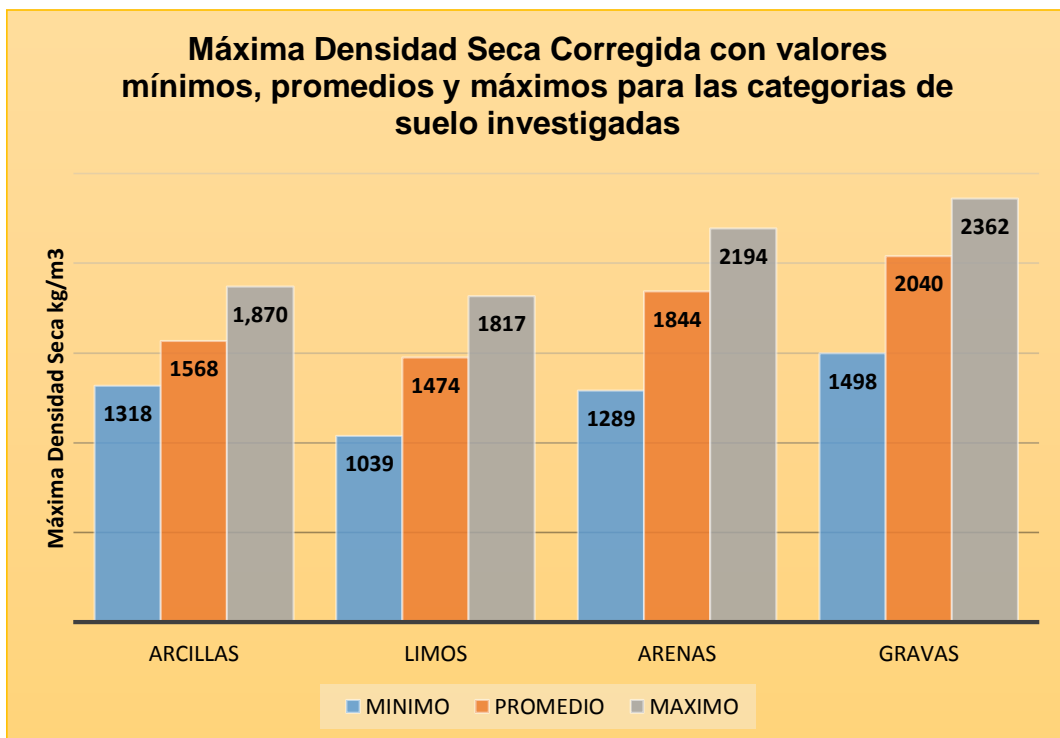


Figura 100. Gráfica de barras de los valores de “máxima densidad seca corregida”, con los valores mínimos, promedios y máximos para todas las categorías de suelos.

Fuente: Elaboración propia.

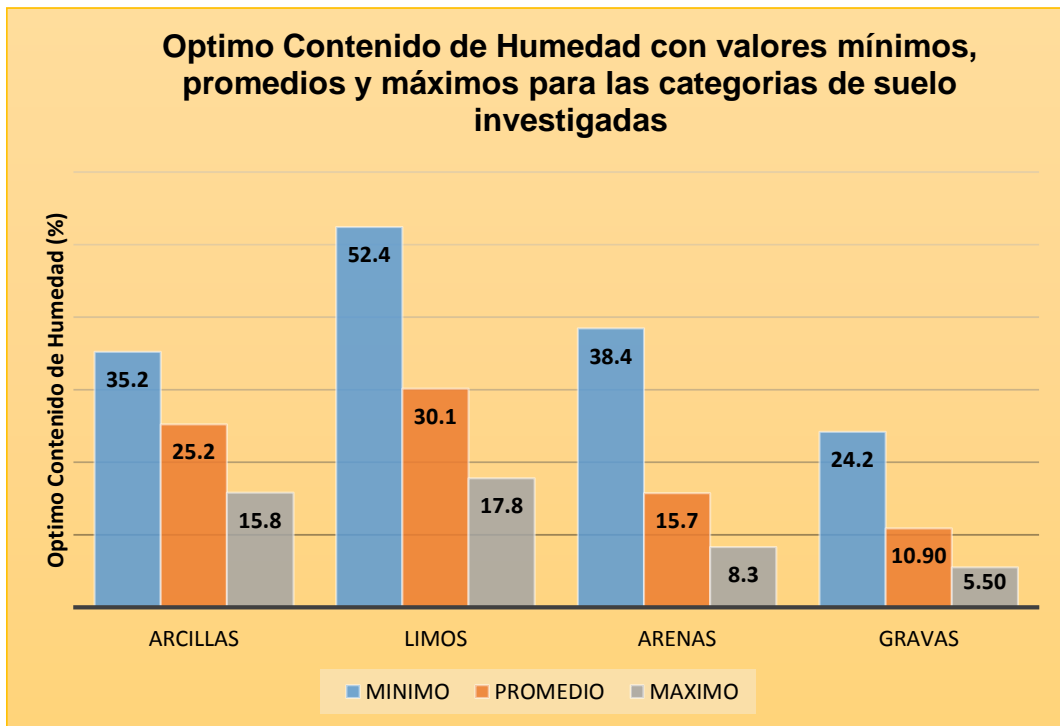


Figura 101. Gráfico de barras del óptimo contenido de humedad sin corregir en porcentaje para cada valor de la “máxima densidad seca” sin corregir (mínimo, promedio y máximo), para todas las categorías de suelos.

Fuente: Elaboración propia.

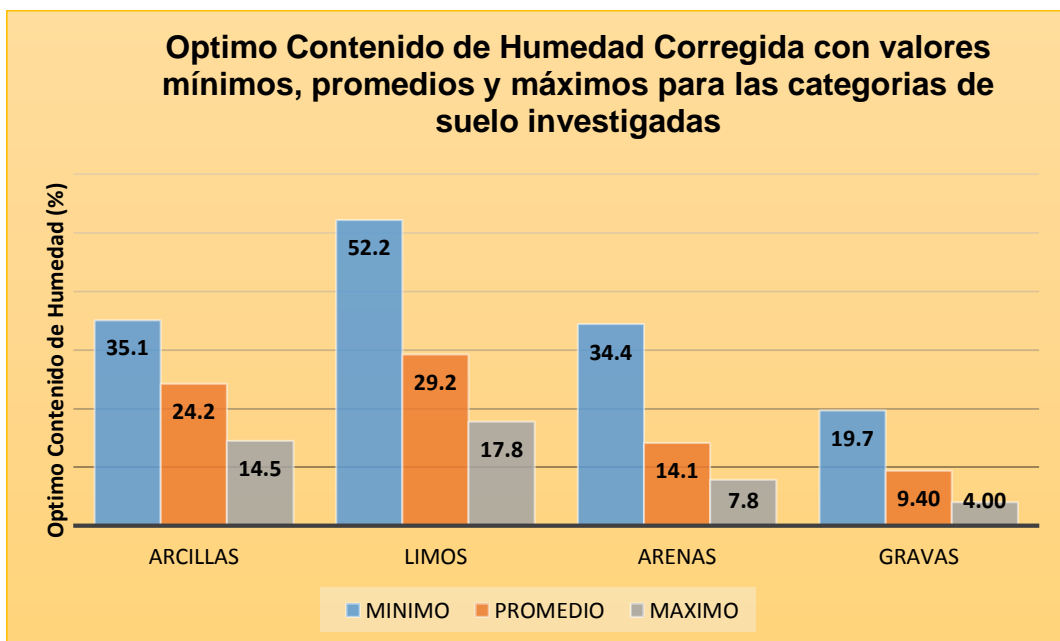


Figura 102. Gráfico de barras del óptimo contenido de humedad corregido en porcentaje para cada valor de la “máxima densidad seca corregida” (mínimo, promedio y máximo), para todas las categorías de suelos.

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO 4: DISCUSIÓN

4 DISCUSIÓN

Las “curvas de compactación” (de ensayo próctor) utilizadas en la teoría de compactación de suelos planteado por Braja Das, permitió estudiar las “curvas de compactación” de suelos arcillosos y limosos, sin embargo, en ellas dejó un vacío al no incorporar los suelos gravosos, situación probablemente debida a que en el estudio de las 37 muestras que sirvieron de base para esa investigación no se dispuso de esta categoría de suelos.

Próctor (1933) indicó las variables que afectan la compactación en suelos cohesivos como el peso unitario seco (densidad), el contenido de agua, el tipo o categoría de suelo y la energía de compactación, sin embargo existen otras que afectan este proceso como es el método de compactación; la humedad original del suelo, el número y espesor de capas en los rellenos, la temperatura ambiente entre otros; por lo tanto estas variables deben tenerse en cuenta y controlarlas.

A partir de la teoría y los resultados obtenidos por Braja Das en su investigación, en nuestro medio hemos adaptado estos resultados como “propios” y que representarían a los suelos existentes en nuestro país, para explicar la compactación de los suelos. Sin embargo los suelos utilizados en esta teoría corresponden a suelos existentes en otras latitudes que probablemente se formaron con procesos geológicos muy diferentes a los nuestros; generalmente para nuestro ámbito los suelos se formaron de rocas sedimentarias.

Los suelos “gravosos” son muy requeridos en las actividades constructivas debido a que son suelos de alta resistencia, con buena capacidad de drenaje y alto comportamiento ingenieril; esta condición hace que su incorporación en la teoría de compactación de suelos (como una categoría más), sea muy necesaria; por las ventajas que representan su utilización y manejo en la construcción de obras civiles. Por ejemplo en la actualidad en nuestro país, no se concibe una “obra civil” por pequeña que ésta sea, donde el mejoramiento de suelos no implique, el uso de suelos gravosos.

El suelo como material de construcción presenta ventajas porque es fácilmente disponible en la naturaleza, se puede disponer de canteras que con prospecciones y evaluaciones de campo muy rápidas, se puede llegar a determinar su “potencia”

con la simple excavación de “calicatas a cielo abierto” y con las ventajas económicas que representa esta práctica; su uso es muy variado en obras como caminos, terraplenes, presas, diques, mejoramiento de fundaciones para edificaciones, etc.

La compactación de los suelos es el procedimiento de aplicar energía al suelo suelto, *in situ* o proveniente de canteras previamente aprobadas para su uso, con la finalidad de eliminar espacios vacíos, reduciendo su volumen y aumentando su densidad, en consecuencia su capacidad de soporte, su estabilidad y otras propiedades muy necesarias para las prácticas constructivas. Sin embargo este proceso debe ser controlado a partir de los resultados que se obtienen en el laboratorio.

Para proceder a la compactación de una muestra de suelo primero se lo debe caracterizar obteniendo su humedad, granulometría, límites de consistencia, el peso específico de la grava, entre otros parámetros. Estas características permitirán al ensayista determinar el método normalizado de compactación a aplicar; del mismo modo, en campo, a partir de ellas se puede definir el equipo de compactación a utilizar que puede ser estático, neumático, vibratorio, rodillo “pata de cabra”, por impacto u oscilatorio entre otros; desde luego no es menos importante definir la forma de usar el equipo, considerando la velocidad, el número de pasadas, la presión de inflado, el área de patas y el esquema de compactación.

Las “curvas de compactación” para cada tipo de suelo, se obtiene en el laboratorio preparando, por lo general, cinco especímenes a los que se los humedece a diferentes contenidos para luego obtener las densidades húmedas de cada espécimen; en este proceso se busca que de los cinco puntos ensayados para la “curva de compactación” dos se ubiquen en el lado húmedo del próctor de la máxima densidad húmeda y dos en el lado seco. Es aceptable también obtener dos en el lado húmedo y tres en el lado seco ó a la inversa. Obtenidas las densidades húmedas se obtiene las densidades secas y por ende la “máxima densidad seca” del suelo ensayado, que representa la “máxima densidad seca” que puede alcanzar el suelo sin considerar la corrección por la grava existente en la muestra.

En resumen el objetivo de la prueba Próctor es medir la densidad obtenible de un suelo (de acuerdo a la normativa existente) y determinar el efecto de la humedad teniendo en cuenta que cada suelo reacciona de diferente manera con respecto a la máxima densidad y su humedad óptima ya que cada suelo tiene su propia y única “curva de compactación”.

Como se ha descrito anteriormente la teoría de compactación de suelos planteada por Braja Das, se estableció a partir de la realización de 37 ensayos (Próctor) de mecánica de suelos, los que permitieron establecer algunos valores y “curvas de compactación”, si bien la contribución hecha hasta ese entonces permitió contar con esta teoría que se usa hasta la actualidad, sin embargo el estudio realizado arrojó resultados que representan rangos sólo para los tipos de suelos existentes en el ámbito geográfico donde se hizo el estudio, por la cantidad de ensayos realizados los resultados pueden tener una representatividad muy baja de las categorías de suelos dada el tamaño de la muestra.

Para esta investigación por el contrario, se utilizaron los resultados de 471 ensayos próctor de la categoría de suelos “gravas”, 391 ensayos Próctor de la categoría de suelos “arenas”, 88 ensayos Próctor de la categoría de suelos “limos” y 46 ensayos de la categoría de suelo “arcillas”, cantidad de ensayos que incluso han permitido elaborar estadísticas de la mayor cantidad de subdivisiones de suelos existentes en cada categoría y establecer “curvas de compactación” para cada categoría con la representatividad que brinda el número de ensayos utilizados, que en la categoría de suelos “arcillas” incluso supera el número de ensayos utilizados por Braja Das.

De las investigaciones realizadas en nuestro país referidas a los suelos existentes en nuestro medio, no se han tenido estudios que permitan comparar resultados con la teoría de compactación propuesta, en ese contexto, esta investigación plantea sobre una base muy sólida (cantidad de ensayos involucrados en el estudio) una teoría de compactación que incorpora los suelos gravosos, arenosos y finos; por lo tanto, teniendo en consideración que los datos de los ensayos utilizados en este estudio, se han realizado en diferentes laboratorios de nuestro país por lo tanto se podría asumir que esta investigación es válida para nuestro país y para aquellos países donde la geología sea parecida.

De los resultados obtenidos en cada categoría incluyendo la subdivisión de cada categoría y en base a los rangos determinados y que figuran en la tabla 7, se puede establecer una zona en la relación densidad – humedad para cada categoría e incluso para cada subdivisión, esto se puede evidenciar en la gráfica N° 102, sin embargo los rangos para cada categoría con sus valores mínimos, máximos y promedios se mezclan con las otras categorías estudiadas, por lo que se podría plantear que el rango promedio obtenido en cada categoría estaría representando a la categoría propiamente con un rango hacia arriba y hacia abajo del valor obtenido.

Los resultados obtenidos del rango de la “máxima densidad seca” de las arcillas entre su valor promedio y su valor máximo nos muestran valores altos que oscilan entre 1533 kg/m³ hasta 1832 kg/m³, este rango de igual manera es cercano al obtenido para los limos (1460 kg/m³ hasta 1816 kg/m³), estos rangos de los suelos finos se ubican comparativamente en el rango de valores promedio de las arenas hacia abajo (1790 kg/m³). Estos valores altos de densidad seca para los suelos finos estarían fuertemente influenciados por el contenido de gravas y arenas en la muestra de suelo ensayado, indicando que no son enteramente suelos finos, sino suelos misceláneos de acuerdo a la definición de la Soil Taxonomy de Estados Unidos conformados por una mezcla de suelos finos, arenas y gravas.

De igual manera los resultados obtenidos del rango de la “máxima densidad seca” de las arenas, entre su valor promedio y su valor máximo nos muestran valores muy altos que oscilan entre 1790 kg/m³ hasta 2149 kg/m³, este rango de la “máxima densidad seca” de las arenas se ubican comparativamente por encima del valor promedio de las gravas (1972 kg/m³). Los valores altos de la densidad seca de las arenas están influenciados por el contenido de gravas y material fino presente en la muestra indicando de igual manera que no se trata de suelos enteramente arenosos sino suelos misceláneos para esta categoría en el rango puntualizado líneas arriba.

Lo descrito en los dos párrafos anteriores respecto a la categorización “suelo misceláneo” a materiales que presentan dificultades para una clasificación ordenada y se explican también en los resultados del análisis de correlación que para el caso de los suelos finos de la categoría arcillas, establece una correlación

alta de la “máxima densidad seca” que depende de las variables contenido de gravas, contenido de arenas, contenido de finos y del peso específico, donde la mayor correlación se obtiene entre la “máxima densidad seca” y la variable contenido de finos seguido de la variable contenido de gravas.

Para el caso de los suelos finos de la categoría limos los resultados del análisis de correlación, establece existe una baja correlación entre la máxima densidad seca con las variables contenido de gravas y peso específico y una nula o escasa correlación de la variable densidad seca con el contenido de finos.

Para el caso de los suelos de la categoría arenas los resultados del análisis de correlación establece que existe una moderada correlación entre la variable “máxima densidad seca” con las variables contenido de finos en primer lugar seguido de la variable contenido de gravas.

Para el caso de las gravas no se tendría el rango de “suelo misceláneo” esta afirmación se sustenta en el análisis de correlación que establece que existe una alta correlación de la variable densidad con la variable peso específico de la grava, seguido de la variable contenido de finos que establece una baja correlación con la variable estudio.

En lo que respecta a la otra variable de la relación Densidad – Humedad sin la corrección del ensayo Próctor por grava, se puede discutir que con un determinado contenido de humedad el suelo llega a su densidad máxima aplicando la cantidad de energía específica para cada categoría de suelo y los resultados obtenidos nos muestran que el rango de humedad es amplio y para obtener todas las categorías y subcategorías de nuestros suelos se requieren contenidos de humedad expresados en porcentaje (%) que oscilan entre 2% hasta 60%. Las gravas requieren de un rango de humedad del 2% a 28%, las arenas de 4.7% a 42.4%, las arcillas de 11.8% a 39.1% y los limos de 14.1% a 59.5%, estos resultados nos estaría indicando que los limos requieren de mayores cantidades de humedad para alcanzar su densidad máxima, luego con menor requerimiento de humedad están las arenas, enseguida las arcillas y por último las gravas.

Tal como se puede observar en las gráficas de barras desde la gráfica número 99 hasta la gráfica número 102 y en las tablas 07 y 08, las diferencias de los valores

de la densidad máxima seca corregida y la no corregida, se marcan completamente cuando se incorpora, la corrección del “ensayo Próctor”, por la grava contenida en la muestra analizada y que no se incorporó durante la realización del ensayo. Este porcentaje de sobretamaño que varía de acuerdo al método aplicado y según la granulometría obtenida, se utiliza una vez concluido el ensayo para la respectiva corrección.

La densidad corregida representa el valor de la muestra ensayada sea cual fuere su categoría de suelo y permite el control de las compactaciones en campo. Esto valores nos estaría indicando que aun cuando la normativa vigente establece que las muestras que no contengan grava menor al 5% ya no se debería realizar la “corrección”, sin embargo, a raíz de los resultados obtenidos tanto en las gráficas y en las tablas antes señaladas, esta corrección debería hacerse sin importar el valor del porcentaje del sobretamaño considerando como ajusta el valor final de la densidad.

Respecto a la humedad, se verifica, que el porcentaje requerido para la densificación del suelo y para obtener los valores corregidos, por el contrario, tiende a reducirse, entendiéndose, que se debe a que una vez calculada la corrección de la densidad máxima seca, este valor corregido incorpora el peso de la grava de sobretamaño en el resultado final y que por lo tanto reduce y ajusta el porcentaje de contenido de “finos”, el contenido de “arenas” y obviamente aumenta el contenido de las “gravas”, generando que el requerimiento de agua para la densificación que en gran parte lo determina el contenido de “finos” también sea menor.

CAPITULO 5: PROPUESTA

5 PROPUESTA

5.1 Datos informativos.

Título: “Gráfica de Densidades Promedios y Rangos de la relación Densidad – Humedad de suelos y Cartilla de Máximas Densidades Secas vs Categorías de Suelos”

Área: Suelos y Cimentaciones - Estructuras

Elaborado por: Ing. EDWIN HERNÁN CASTAÑEDA VILLANUEVA

Dirigido a: Laboratorios de Mecánica de Suelos del Perú, Técnicos de Mecánica de Suelos e Ingenieros Civiles.

5.2 Fundamentación

La incorporación de los suelos gravosos en la teoría de compactación de suelos y la cartilla de Máximas Densidades Secas vs Categoría de Suelos, elaborado como resultado de la investigación realizada, constituye un instrumento de control de la gestión de los ensayos de laboratorio mecánica de suelos, debido a que permite fortalecer la gestión de los resultados de los “ensayos de compactación” en laboratorio e identificar la categoría de suelo que se utilizó en el ensaye o viceversa; es decir el técnico/profesional tendrá la oportunidad de contar con un instrumento que le permitirá contar con rangos de los valores de la “máxima densidad seca” del ensayo de compactación y asumir la categoría de suelo utilizada o viceversa.

5.3 Objetivos

Elaborar la gráfica de la relación densidad – humedad con la incorporación de los suelos gravosos.

Elaborar la cartilla de Máximas Densidades Secas vs Categoría de Suelos, orientada a identificar el rango de la densidad y la categoría de suelo o viceversa.

Disponer de un instrumento de control para la gestión de ensayos de compactación en “laboratorio de mecánica de suelos”.

5.4 Base Teórica de la propuesta

El trabajo de investigación se apoya en la propuesta de la teoría de compactación de suelos de Braja Das planteado en su libro “Fundamentos de Ingeniería Geotécnica”, donde se destaca la relación densidad – humedad de los suelos según su categoría, con base en el ensayo próctor (1933), aporte que fue muy útil para comenzar a entender la mecánica de los suelos cuando son sometidos a energía de compactación.

Las “curvas de compactación” obtenidas a partir de una gama variada de resultados de diferentes tipos de suelo de nuestro ámbito, permite desarrollar la teoría propuesta y ampliarla con la incorporación de los suelos gravosos.

La nueva propuesta teórica se elabora en una base amplia de datos y ayuda a la praxis de la ingeniería civil para organizar en forma científica y ordenada, el conocimiento amplio de los suelos en sus distintas categorías y su mecánica.

5.5 Metodología

La ejecución de los ensayos de mecánica de suelos en los laboratorios se realizará bajo la normativa correspondiente siguiendo la metodología desarrollada en cada norma y una vez obtenidos los resultados se seguirán los procesos metodológicos que se detallan a continuación:

Control de Resultados Obtenidos. Entendido como el proceso permanente mediante el cual el técnico de laboratorio o Ingeniero controlan la “curva de compactación” obtenida en laboratorio con la gráfica de la relación densidad – humedad y los rangos investigados para cada categoría y subdivisión de suelos.

Validación de resultados. Entendida como el proceso mediante el cual el técnico o profesional civil compara los valores obtenidos con la cartilla de Máximas Densidades Secas corregidas vs la Categoría de Suelos.

La gráfica de densidades promedio y sus rangos así como la cartilla de máximas densidades vs categorías de suelos se adjuntan en anexo.

CAPITULO 6: CONCLUSIONES

6 CONCLUSIONES

- ✓ Se incorporó las “curvas de compactación” de los suelos “gravosos” (G), categoría que para el ámbito donde se llevó a cabo la investigación tiene un rango de “máxima densidad seca” sin corregir entre 1,445 kg/m³ hasta 2,282 kg/m³, llegando hasta un valor de 2,362 kg/m³ cuando se realiza la corrección por grava.
- ✓ Se validó el rango de la “máxima densidad seca” para la categoría de suelos “arenosos” (S), que para el ámbito donde se llevó a cabo la investigación tiene un rango entre 1,185 kg/m³ hasta 2,155 kg/m³, llegando hasta un valor de 2,194 kg/m³ cuando se realiza la corrección por grava.
- ✓ Se validó el rango de la “máxima densidad seca” para la categoría de suelos “finos” (C y M), que para el ámbito donde se llevó a cabo la investigación tienen un rango de 1,296 kg/m³ hasta 1,832 kg/m³ llegando hasta un valor de 1,870 kg/m³ cuando se realiza la corrección por grava para las “arcillas”; y de 1,039 kg/m³ hasta 1,816 kg/m³ llegando hasta un valor de 1,817 kg/m³ cuando se realiza la corrección por grava para los limos.
- ✓ La “máxima densidad seca” en las arcillas y limos muestra una correlación moderada con el contenido de material fino en las muestras analizadas, mientras que para las arenas muestra una correlación alta con la fracción arenosa igual que para las gravas que muestra una correlación alta con el contenido de gravas.

CAPITULO 7: RECOMENDACIONES

7 RECOMENDACIONES

- ✓ Teniendo en cuenta que los datos utilizados para la presente investigación provienen del ámbito de la sierra y la costa del Perú, se recomienda ampliar la presente investigación con suelos de la región selva con la finalidad de validarla a nivel nacional.
- ✓ Las “curvas de compactación” de los “suelos gravosos” provienen casi en su totalidad de suelos andinos cuyo basamento rocoso del cual provienen en su mayoría son rocas sedimentarias donde predominan las “calizas”; en la costa de igual manera predominan las rocas sedimentarias donde predominan las “areniscas” cuyo peso unitario son parecidos (varían desde 2,400 a 2,600 kg/m³), por lo tanto, es válido el estudio para este ámbito, sin embargo se recomienda realizar investigaciones que incorporen los “suelos gravosos” de la selva a fin de validar los resultados obtenidos para esta región.
- ✓ Se recomienda realizar investigaciones referidas a los parámetros de resistencia de los suelos existentes en nuestro país para las categorías de suelos existentes con la finalidad de validar o descartar los resultados obtenidos en otros ámbitos y que venimos usándolos; en el caso de descartar los estudios existentes proponer nuevos valores representativos.

8 BIBLIOGRAFÍA

ATALA ABAD, César Augusto. 2011. *Estudio experimental sobre correlaciones en suelos granulares finos (arenas) compactados usando equipos de penetración.* Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2011. p. 195.

BAÑÓN BLAZQUEZ, Luis y BEVIA GARCIA, José. 2000. *Manual de Carreteras - Tomo II.* Alicante : Universidad de Alicante, 2000. pp. 3 - 13.

BOHL ARBULÚ, Alejandro. 2006. *Determinación de los Factores de Reducción de Capacidad de Suelos y su Aplicación en el Diseño Geotécnico.* Lima : Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2006. pp. 33-34.

BRAJA M, Das. 1985. *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.* Iowa : Thomson Learning, 1985. ISBN: 9706860614.

CRESPO VILLALAZ, Carlos. 1976-1980. *Mecánica de Suelos y Cimentaciones.* Mexico : LIMUSA, 1976-1980. ISBN: 9681864891.

GARAY PORTEROS, Hilda y ALVA HURTADO, Jorge. 1999. *Identificación y ensayos en suelos dispersivos.* Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 1999. pp. 01-11.

HASHIMOTO, Ernesto y CAMPOS, Walter. 2000. *Introducción a los diferentes paradigmas de la ciencia.* Chiclayo : Iberoamérica, 2000. p. 100.

HERNANDEZ TOVAR, J y GÓMEZ GRANADOS, J. 2012. *Estudio y Caracterización de Suelos Dispersivos.* Bucaramanga : Universidad Industrial de Santander, 2012. p. 56.

JUAREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. 2005. *MECANICA DE SUELOS.* Mexico : LIMUSA, 2005. ISBN: 9681800699.

MUELAS RODRIGUEZ, Angel. 1999. *Manual de Mecánica de Suelos y Cimentaciones.* Medellín : Univerdidad de Educación a Distancia - UNED, 1999. pp. 43-44.

NARSILIO, Guillermo y SANTAMARÍA, Carlos. 2010. *Clasificación de Suelos: Fundamento Físico, Prácticas Actuales y recomendaciones.* Atlanta : Georgia Institute of Technology, 2010. pp. 1-16.

OCHOA, Octavio. 2013. *Identificación y Características Geotécnicas de los Depósitos de Suelos de la Ciudad de Veracruz.* Veracruz : Universidad Veracruzana, 2013. p. 11.

QUINTANA CRESPO, Enrique. 2005. *Tesis Doctoral: Relación entre las Propiedades Geotécnicas y los componentes puzolánicos de los Sedimentos Pampeanos.* Córdoba : Universidad Nacional de Córdoba, 2005. pp. 273 - 274.

RIVAS PEREA, Diana. 2010. *Influencia de la Microestructura en el Comportamiento Dinámico de los Suelos de Esquistos en Sabaneta.* Medellín : Universidad Nacional de Colombia, 2010. p. 46.

RODRÍGUEZ OCHOA, Jesús. 2014. *"Estudio de calidad petrología de gravas en el banco de material km 9 (El Pueblito).* Obregón : Instituto Tecnológico de Sonora, 2014. pp. 16 - 45.

SAGÜES, Patricia. 2007. *Propiedades de los Suelos Compactados.* Buenos Aires : Universidad de Buenos Aires, 2007. pp. 1 - 8.

SAGÜES, Patricia. 2008. *Rigidez a Baja Deformación en el Pampeano Compactado.* Buenos Aires : Universidad de Buenos Aires, 2008. p. 15.

ANEXOS

FOTOS



Laboratorio de Mecánica de Suelos de G&S Servicios de Ingeniería SRL



Personal Técnico ejecutando los ensayos de la prueba Próctor

FORMATOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS QUE INVOLUCRA UN ENSAYO PROCTOR

Título:	CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D 4643 / D 2216	Código de control Nro. F2-10-OC
Nro de revisión:	2	Fecha de revisión: 1-Jun-10
		Página 1 de 1

Obra:	_____	Fecha muestreo: 06-Jul-11	Capa :	_____
Descripción:	RELLENO ESTRUCTURAL		Curva No.	_____
Muestreado por:	_____			
Solicitado por:	_____			

Condiciones de Secado: 60°C / 110°C **X** **Método :** Horno (O) **X** Microonda (M)

Muestra No.	G&S-LS-M05-CS/2011			
Ubicación	E =	----	N =	----
Profundidad				
Muestra o ensayo	1	2	3	4
RECIPIENTE No	T - 11	T - 5		
Pr + Ph A	5647.0	5423.2		
Pr + Ps B	5337.9	5102.2		
Pr C	455.1	278.4		
P. AGUA D = A - B	309.1	321.0		
Ps E = B - C	4882.8	4823.8		
% DE HUMEDAD (D/E) * 100	6.3	6.7	Promedio = 6.5	
CLASIFICACION SUCS	GP - GM			

OBSERVACIONES CONTENIDO DE HUMEDAD DE TODA LA MUESTRA.

Muestra No.	G&S-LS-M05-CS/2011			
Ubicación	E =	----	N =	----
Profundidad				
Muestra o ensayo	5	6	7	8
RECIPIENTE No	T - 16	T - 16		
Pr + Ph A	955.6	1164.3		
Pr + Ps B	928.3	1132.2		
Pr C	205.9	205.9		
P. AGUA D = A - B	27.3	32.1		
Ps E = B - C	722.4	926.3		
% DE HUMEDAD (D/E) * 100	3.8	3.5	Promedio = 3.6	

OBSERVACIONES CONTENIDO DE HUMEDAD DE GRAVA RETENIDO EN TAMIZ 3/4", PARA CORRECCIÓN DE PRÓCTOR.

PR= PESO DEL RECIPIENTE
 PH= PESO HUMEDO
 PS= PESO SECO

EJECUTÓ	REVISÓ	APROBÓ	Vo. Bo.
TÉCNICO LABORATORIO <small>NOMBRE Y FIRMA</small>	LIDER LABORATORIO <small>NOMBRE Y FIRMA</small>	JEFE QC <small>NOMBRE Y FIRMA</small>	INGENIERO QA <small>NOMBRE Y FIRMA</small>
<small>FECHA</small>	<small>FECHA</small>	<small>FECHA</small>	<small>FECHA</small>

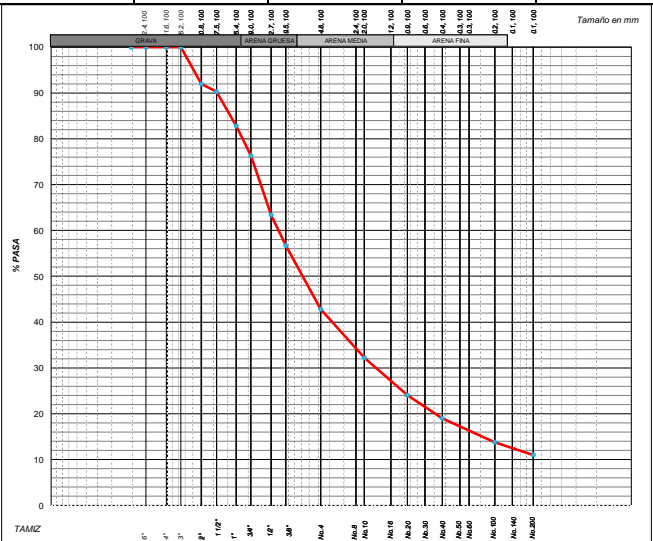
Título: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ASTM D 422 / C136		Código de control Nro. F3C-10-OC
Nro de revisión: 3	Fecha de revisión: 01-jun-10	Página 1 de 1

Obra 00-ene-00	Fecha muestreo: 06-Jul-11	Muestra No. G&S-LS-M05-CS/2011
Localización E= ---- N= ----	Cota m.s.n.m. ----	Capa -
Descripción: RELLENO ESTRUCTURAL		Curva No. -
Muestreado por: 00-ene-00		
Solicitado por: 00-ene-00		

Tamaño Tamiz	Peso Reten. Acumulado	% Retenido	% Pasa	Especific.
8"	0.0	0.0	100.0	Cantidad de suelo que pasa el tamiz No. 4 (Compactación AASHTO): [1-contenido de humedad (-No.4)/100*(6000g ó 13.231 lb)*(-No. 4)*(-2")]
6"	0.0	0.0	100.0	-
4"	0.0	0.0	100.0	-
3"	0.0	0.0	100.0	Cantidad de suelo entre los tamices 3/4 y N°4 (Compactación AASHTO): 1.01*(6000 ó 13.231 lb)*[(-2")*(-No.4)](-2")
2"	1366.1	8.0	92.0	-
1 1/2"	1647.3	9.7	90.3	-
1"	2926.3	17.2	82.8	-
3/4"	4042.3	23.7	76.3	Condiciones de Secado y Lavado del suelo Retenido en la malla N° 4 Secado a 110°C sin lavar.
1/2"	6239.0	36.6	63.4	
3/8"	7387.6	43.3	56.7	
No. 4	9761.9	57.2	42.8	Peso suelo Húmedo que pasa (g) 7925.1
No. 8				Peso suelo seco que pasa (g) 7,290.8
No. 10	166.7	67.8	32.2	Peso suelo seco retenido (g) 9761.9
No. 16				Peso suelo seco total (g) 17052.7
No. 20	292.6	75.9	24.1	
No. 30				
No. 40	371.8	81.0	19.0	
No. 50				
No. 60				
No. 100	454.3	86.2	13.8	
No. 140				
No. 200	498.4	89.0	11.0	
Platillo	498.4			

OVER=	0.0 %
GRAVA=	57.2 %
ARENA=	31.8 %
FINOS=	11 %

CU=	----
CC=	----



CLASIFICACION SUCS: GP - GM			
DESCRIPCION: Grava mal Gradada, ligeramente limosa			
COLOR: ROJISO			
Contenido de humedad de la fracción de Suelo seco que pasa la malla N° 4.	% de suelo seco que pasa la malla No. 200		
No. Tara	M - 4	No. Tara	M - 4
Peso Humedo + Tara	836.2	Peso Seco + Tara	778.1
Peso Seco + Tara	778.1	P. Seco Lavado +Tara	606.5
Peso de Tara	108.1	Peso de Tara	108.1
Peso del Agua	58.1	Suelo Seco (-No. 200) g	171.6
Peso Seco	670.0	Suelo Seco (+No. 200) g	498.4
Cont. de humedad %	8.7	Suelo Seco (-No. 200) %	11.0

OBSERVACIONES MUESTRA INTEGRAL AL 100% PARA EL ENSAYO.
0

EJECUTÓ	REVISÓ	APROBÓ	Vo. Bo.	RESULTADO
TÉCNICO LABORATORIO NOMBRE Y FIRMA	LIDER LABORATORIO NOMBRE Y FIRMA	JEFE QC NOMBRE Y FIRMA	INGENIERO QA NOMBRE Y FIRMA	<input type="radio"/> CUMPLE <input type="radio"/> NO CUMPLE <input type="radio"/> NO APLICA
FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	

Título: LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D 4318		Código de control Nro. F1-10-OC
Nro de revisión: 1	Fecha de revisión: 15-Apr-08	Página 1 de 1

Obra: 00-ene-00	Fecha muestreo: 06-Jul-11	Muestra No. G&S-LS-M05-CS/2011
Localización E = ----	N = ----	Cota m.s.n.m. ----
Descripción: RELLENO ESTRUCTURAL	Capa (m)	Curva No.
Muestreado por: 00-ene-00		

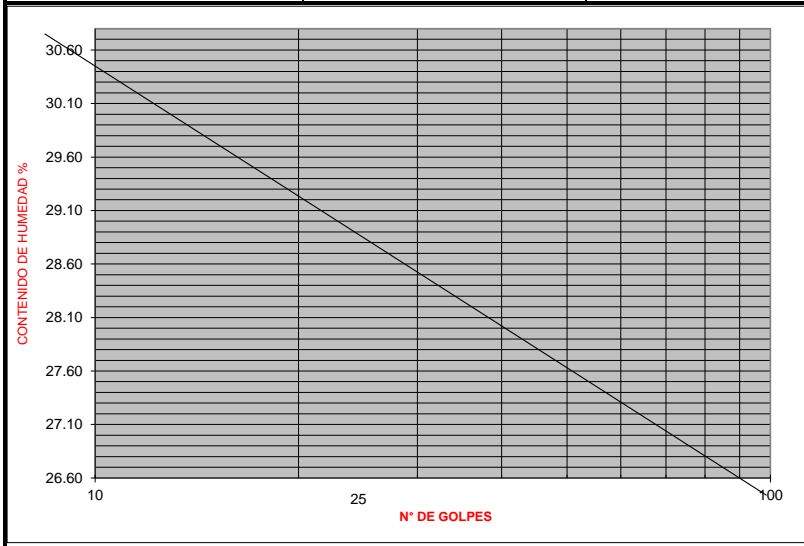
LÍMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO

Muestra o ensayo	1	2	3	4
No DE GOLPES				
RECIPIENTE No				
Pr + Ph				
Pr + Ps				
P. AGUA				
Pr				
Ps				
% DE HUMEDAD				

LÍMITE PLÁSTICO

RECIPIENTE No				
Pr + Ph				
Pr + Ps				
P. AGUA				
Pr				
Ps				
% DE HUMEDAD				



HUMEDAD NATURAL %:	6.5
LÍMITE LÍQUIDO %:	NO SE PUEDE OBTENER
LÍMITE PLÁSTICO %:	NO TIENE
ÍNDICE DE PLASTICIDAD %:	N.P.

OBSERVACIONES 0

No. Golpes	Factor K
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

PR= PESO DEL RECIPIENTE	TEMPERATURA DE SECADO	AGUA USADA
PH= PESO HUMEDO	PREPARACION DE LA MUESTRA 60° C AMBIENTE	DESTILADA OTRA
PS= PESO SECO	CONTENIDO DE HUMEDAD 60° C 110° C	POTABLE

EJECUTO	REVISO	APROBO	Vo. Bo.	RESULTADO
TÉCNICO LABORATORIO NOMBRE Y FIRMA	LIDER LABORATORIO NOMBRE Y FIRMA	JEFE QC NOMBRE Y FIRMA	INGENIERO QA NOMBRE Y FIRMA	<input type="radio"/> CUMPLE <input type="radio"/> NO CUMPLE <input type="radio"/> NO APLICA
FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	

Título: PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO ASTM C127		Código de Control Nro. F9-10-OC
Nro de Revisión: 2	Fecha de Revisión: 1-Jun-10	Página 1 de 1

Obra : 00-ene-00	F. muestreo: 06-jul-11	Muestra No. G&S-LS-M05-CS/2011
Localización X = ----	Y = ----	Cota m.s.n.m. ----
Descripción: RELLENO ESTRUCTURAL		
Solicitado por: 00-ene-00	Muestreado por: 00-ene-00	

No. De Partículas > 3 pulg.	-		
No. Bandeja	T - 5		
Agregado Saturado Superficial Seco + Tara	8612.5		
Agregado Seco + Tara	8286.4		
Peso de Tara	278.4		
Agregado Saturado Superficial Seco	B	8,334.1	
Agregado Seco	A	8,008.0	
Agregado + Canastilla sumergida		5666.4	
Peso Canastilla sumergida		854.7	
Agregado Saturado Sumergido	C	4,811.7	
Temperatura del Agua		23°C	
Factor de Corrección		1	
Peso Especifico Aparente	(A / (A-C))	2.505	
Gravedad Especifica Bulk SSS	(B / (B-C))	2.366	
Gravedad Especifica Bulk	(A / (B-C))	2.273	
Absorción		4.1	
Porcentaje Retenido No. 4		---	
Porcentaje Pasa No. 4		---	
Peso Agregado que Pasa No. 4		---	
Peso Especifico Promedio		2.273	

OBSERVACIONES

ENSAYO REALIZADO POR CUARTEO

EJECUTÓ	REVISÓ	APROBÓ	Vo. Bo.
TÉCNICO LABORATORIO NOMBRE Y FIRMA	LIDER LABORATORIO NOMBRE Y FIRMA	JEFE OC NOMBRE Y FIRMA	INGENIERO QA NOMBRE Y FIRMA
FECHA	FECHA	FECHA	FECHA

Título: RELACIÓN DENSIDAD Vs HUMEDAD (Próctor)
ASTM D 698 / 1557

Código de control:
F4A-10-OC

Nro de revisión: 2

Fecha de revisión: Jun-10

Página 1 de 1

Obra: 00-ene-00

Fecha de muestreo: 06-Jul-11

Localización: X = ---- Y = ----

C = ----

Descripción: RELLENO ESTRUCTURAL

Capa = -

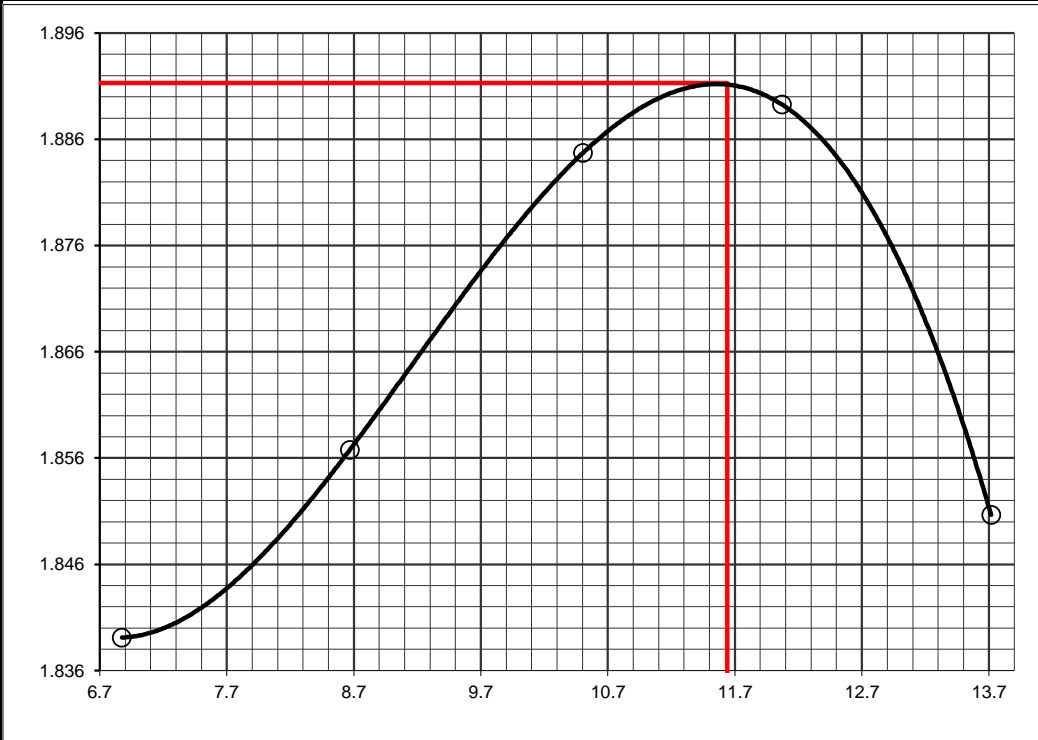
Muestra No.: G&S-LS-M05-CS/2011

Curva No. = -

Solicitado por: 00-ene-00

Muestreado por: 00-ene-00

DETERMINACIÓN	1	2	3	4	5		
Agua Agregada	0%	2%	4%	6%	8%		
Peso Molde + material húmedo	10892.0	11002.0	11139.0	11212.0	11185.0		
Peso del molde (g).	6748.10	6748.10	6748.10	6748.10	6748.10		
Peso de material húmedo (g).	4143.9	4253.9	4390.9	4463.9	4436.9		
Volumen del molde (cm3).	2108.27	2108.27	2108.27	2108.27	2108.27		
Densidad húmeda (g/cm3).	1.966	2.018	2.083	2.117	2.105		
Cápsula + material húmedo (g).	933.8	821.3	781.6	796.8	1095.4		
Cápsula + material seco (g).	881.8	764.8	726.2	732.4	988.1		
Peso del agua (g).	52.0	56.5	55.4	64.4	107.3		
Número de cápsula	M - 5	T - 108	L - 12	T - 15	T - 16		
Peso de la cápsula (g).	125.4	113.0	198.8	198.9	205.9		
Peso de suelo seco (g).	756.4	651.8	527.4	533.5	782.2		
Contenido de agua (%).	6.9	8.7	10.5	12.1	13.7		
Densidad seca (g/cm3).	1.839	1.857	1.885	1.889	1.851		
Tipo molde	4" X 6" diámetro		Volumen Molde	T° Secado	Peso molde		
Metodo	A	B	X	C	2108.27 CC	60°C/110°C X	6748.1 g
Clasificación SUCS:	GP - GM			ASTM	698/1557 X		



DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3) 1.891
HUMEDAD OPTIMA % 11.6
CORREGIDO DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3) 1.969
HUMEDAD OPTIMA % 9.7

OBSERVACIONES: 0

EJECUTÓ	REVISÓ	APROBÓ	Vo. Bo.
TÉCNICO LABORATORIO NOMBRE Y FIRMA	LIDER LABORATORIO NOMBRE Y FIRMA	JEFE QC NOMBRE Y FIRMA	INGENIERO QA NOMBRE Y FIRMA
FECHA	FECHA	FECHA	FECHA

Título: CORRECCIÓN DE PRÓCTOR POR GRAVA ASTM D 4718		Código de control: F4B-10-OC
Nro de revisión: 2	Fecha de revisión: Jun-10	Página 1 de 1

Obra	00-ene-00	Fecha de muestreo:	06-Jul-11
Localización	X = ---- Y = ----	C =	----
Descripción	RELLENO ESTRUCTURAL	Curva No.	
Muestra No.:	G&S-LS-M05-CS/2011		
Solicitado por:	00-ene-00		
Muestreado por:	00-ene-00		

A. Corrección para el Contenido de Humedad (MC) - Muestra Total

3/4"	<u>23.7</u>	% retenido en 3/4"	(Nota 1)
C.H.	<u>3.6</u>	%	
3/4"	<u>76.3</u>	% pasante en 3/4"	
C.H.	<u>11.6</u>	%	
C.H. Corregido =	$(0.237 \times 0.036) + (0.763 \times 0.116)$		= 9.7 %

B. Corrección para Máxima Densidad Seca de Muestra Total

1.891 gr/cm3 Valor del Proctor sin corrección
(Ver curva adjunta)

$DCS = [100 * (Df) * (Gm) * (Dw)] / [(Df * Pc) + (Gm * Dw * Pf)]$

DSC =	Corrección de peso unitario seco del Material Total calculado	=	gr/cm3
Df =	Optima Densidad Seca Fracción Fina	=	1.891 gr/cm3
Gm =	Peso Especifico de Grava	=	2.273 gr/cm3
Dw =	Peso Unitario de Agua	=	1
Pc =	Porcentaje de Sobretamaño >3/4"	=	23.7 %
Pf =	Porcentaje de Fracción Fina <3/4"	=	76.3 %

DCS = $[100 * (1.891) * (2.273) * (1)] / [(1.891 * 23.7) + (2.273 * 1 * 76.3)]$

DCS = 1.969 gr/cm3

C.H. Corregido	<u>9.7</u>	%
Densidad Seca Corregida	<u>1.969</u>	gr/cm3

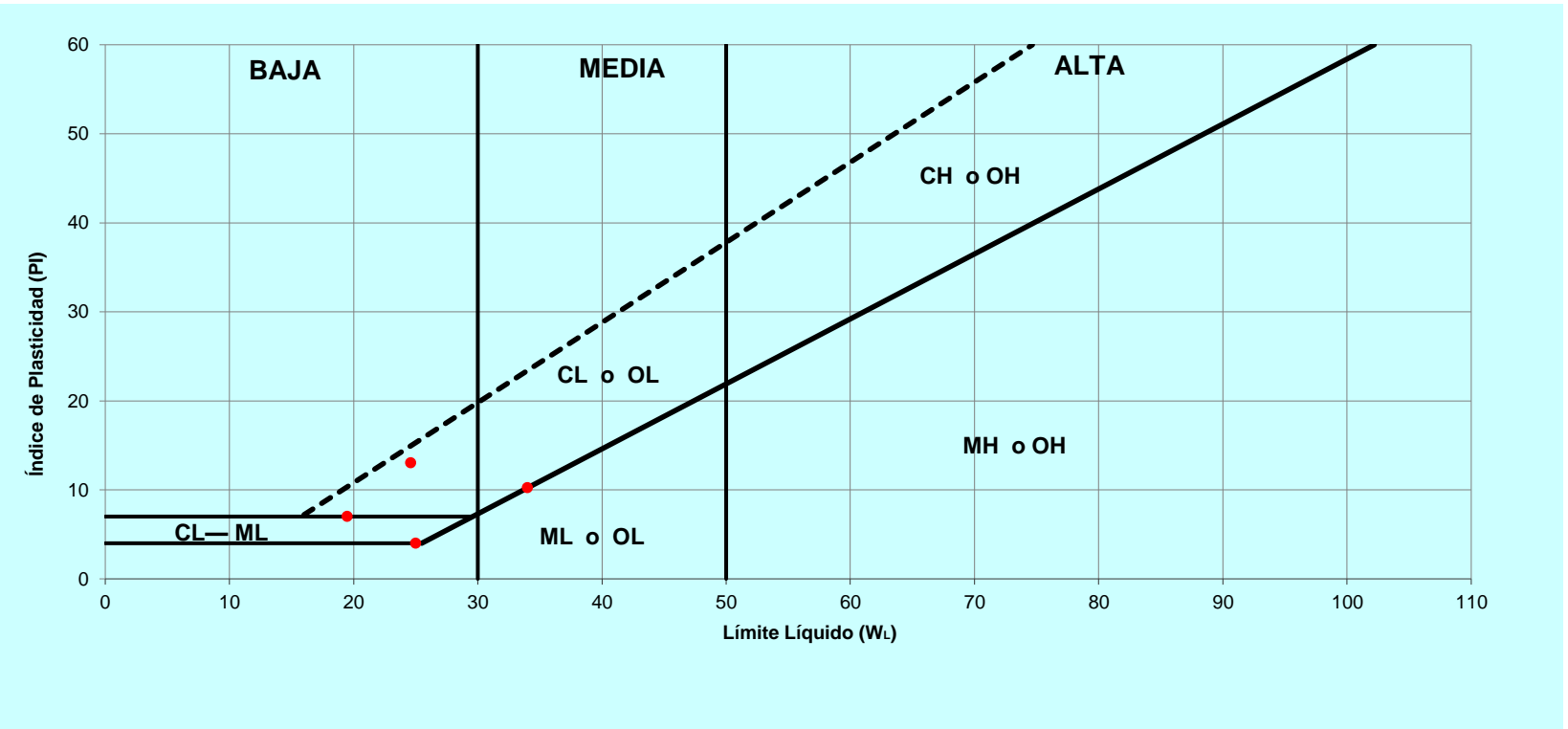
OBSERVACIONES: 0
0

EJECUTÓ	REVISÓ	APROBÓ	Vo. Bo.
TÉCNICO LABORATORIO NOMBRE Y FIRMA	LIDER LABORATORIO NOMBRE Y FIRMA	JEFE QC NOMBRE Y FIRMA	INGENIERO QA NOMBRE Y FIRMA
FECHA	FECHA	FECHA	FECHA

CARTILLA DE PLASTICIDAD USADA POR EL AUTOR PARA LOS SUELOS FINOS

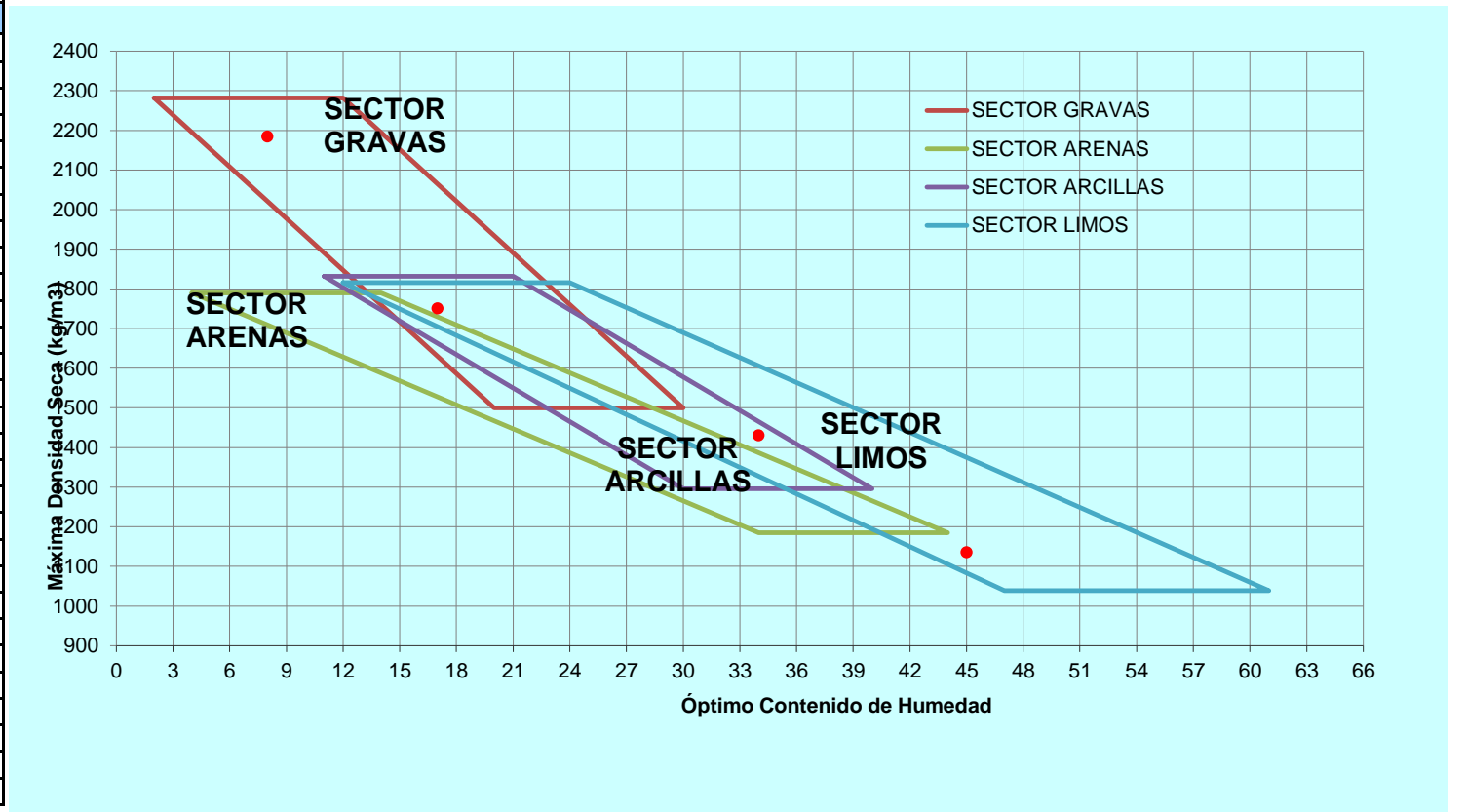
NOTA: Introducir tantos como sean necesarios

Límite líquido	Índice de Plasticidad	Nombre
W _L	PI	Nombre
34	10.22	
25.0	4.0	
24.6	13	
19.5	7.0	



% O.C. Humedad	M. Densidad S. (kg/m ³)	
W_L	PI	Nombre
34	1430	
17.0	1750.0	
8.0	2184	
45.0	1135.0	

NOTA: Introducir tantos como sean necesarios



CARTILLA DE RANGOS DE MÁXIMA DENSIDAD SECA VS OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD PROPUESTA POR EL AUTOR