

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

TESIS:

**ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE SUELOS
POR LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DE ARCILLA UTILIZADA PARA LA
FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL EN EL CENTRO POBLADO
SANTA BÁRBARA - CAJAMARCA.**

Para optar el Grado Académico de

DOCTOR EN CIENCIAS

Presentada por:

M.Cs. YVONNE KATHERINE FERNÁNDEZ LEÓN

Asesor:

Dr. GILBERTO CRUZADO VÁSQUEZ

Cajamarca – Perú

2019

COPYRIGHT © 2019
YVONNE KATHERINE FERNÁNDEZ LEÓN
Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

TESIS APROBADA:

**ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE SUELOS
POR LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DE ARCILLA UTILIZADA PARA LA
FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL EN EL CENTRO POBLADO
SANTA BÁRBARA - CAJAMARCA.**

Para optar el Grado Académico de

DOCTOR EN CIENCIAS

Presentada por:

M.Cs. YVONNE KATHERINE FERNÁNDEZ LEÓN

JURADO EVALUADOR

Dr. Gilberto Cruzado Vásquez
Asesor

Dr. Juan Edmundo Chávez Rabanal
Jurado Evaluador

Dr. Marcial Idelso Mendo Velásquez
Jurado Evaluador

Dr. Glicerio Eduardo Torres Carranza
Jurado Evaluador

Cajamarca - Perú

2019



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD
Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERU



PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

Siendo las ¹⁶.....horas del día 17 de octubre del año dos mil diecinueve, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **Dr. JUAN EDMUNDO CHÁVEZ RABANAL** y **Dr. MARCIAL HIDELSO MENDO VELÁSQUEZ**, **Dr. GLICERIO EDUARDO TORRES CARRANZA**; y en calidad de Asesor, el **Dr. GILBERTO CRUZADO VÁSQUEZ**; Actuando de conformidad con el Reglamento Interno de la Escuela de Posgrado y el Reglamento del Programa de Doctorado de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se inició la SUSTENTACIÓN de la tesis titulada: **ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE SUELOS POR LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DE ARCILLA UTILIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL EN EL CENTRO POBLADO SANTA BÁRBARA-CAJAMARCA**; Presentado por la **Maestra en Ciencias YVONNE KATHERINE FERNÁNDEZ LEÓN**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación se acordó ^{LA APROBACION}..... con la calificación de ^{Dieciocho (18)}..... la mencionada Tesis; en tal virtud, la **Maestra en Ciencias YVONNE KATHERINE FERNÁNDEZ LEÓN**, está apta para recibir en ceremonia especial el Diploma que la acredita como **DOCTOR EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, Mención: **GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES**.

Siendo las ^{17:30}..... horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

.....
Dr. Gilberto Cruzado Vásquez
Asesor

.....
Dr. Juan Edmundo Chávez Rabanal
Presidente-Jurado Evaluador

.....
Dr. Marcial Hidelso Mendo Velásquez
Jurado Evaluador

.....
Dr. Glicerio Eduardo Torres Carranza
Jurado Evaluador

A:

Mi Dios en quien confío todos los proyectos de mi vida y me acompaña en ellos.

Mi esposo Segundo y a mi adorada hija Sofía quienes compartieron pacientemente conmigo las emociones y sentimientos en el camino de este Doctorado.

Mis queridos padres María de los Dolores y Hernán del Carmen, por lo que han logrado en mí como ser humano.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Cajamarca por el apoyo académico y económico brindado para realizar mis estudios de Doctorado.

Al Dr. Gilberto Cruzado Vásquez, por el asesoramiento brindado durante el trabajo de campo y por las sugerencias oportunas durante la ejecución de esta tesis.

A la Dra. Rosa Llique Mondragón, jefe del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNC, por permitirme realizar los ensayos de suelos para esta tesis doctoral. Al técnico de laboratorio Sr. Marcial Misahumán, por apoyarme desinteresadamente durante la ejecución de los ensayos.

Una sociedad se define no sólo por lo que crea, sino por lo que se niega a destruir.

- Jhon Sawhill.

TABLA DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	vi
EPÍGRAFE.....	vii
TABLA DE CONTENIDOS.....	viii
LISTA DE ILUSTRACIONES.....	x
LISTA DE TABLAS.....	xvi
LISTA DE ABREVIACIONES.....	xviii
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II.....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Antecedentes de la investigación.....	5
2.2 Bases teóricas.....	14
CAPÍTULO III.....	37
MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
3.1 Materiales.....	37
3.2 Metodología de la investigación.....	38
CAPÍTULO IV.....	58
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	58
CAPÍTULO V.....	114
CONCLUSIONES.....	114

PROPUESTA.....	117
CAPÍTULO VI.....	120
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	120
CAPÍTULO VII.....	124
APÉNDICE 1: Mapas	124
APÉNDICE 2: Registro de excavación de calicatas.....	127
APÉNDICE 3: Formato de registro de laboratorio de suelos.....	144
APÉNDICE 4: Análisis estadístico de resultados.....	149
APÉNDICE 5: Registro fotográfico.....	183

LISTA DE ILUSTRACIONES

LISTA DE FIGURAS

	Página
<i>Figura 1.</i> Elemento suelo en estado natural y sus fases.....	16
<i>Figura 2.</i> Estados de consistencia de un suelo arcilloso.....	20
<i>Figura 3.</i> Variación del esfuerzo cortante frente al desplazamiento cortante..	25
<i>Figura 4.</i> Envoltorio de Mohor.....	26
<i>Figura 5.</i> Falla en la capacidad de carga de un suelo con cimentación continua.....	27
<i>Figura 6.</i> Mapa de localización de la zona de estudio.....	38
<i>Figura 7.</i> Formación Farrat localizada en CP Santa Bárbara.....	40
<i>Figura 8.</i> Formación Inca localizada en CP Santa Bárbara.....	40
<i>Figura 9.</i> Depósitos Cuaternarios localizados en CP Santa Bárbara.....	42
<i>Figura 10.</i> Distribución de ladrilleras en el distrito de Baños del Inca. Cajamarca.....	44
<i>Figura 11.</i> Zonificación y ubicación de canteras en uso en Santa Bárbara. Baños del Inca. Cajamarca.....	47
<i>Figura 12.</i> Mapa de ubicación de canteras de arcilla estudiadas. Santa Bárbara. Cajamarca.....	49
<i>Figura 13.</i> Distribución de tipos de suelo en el estrato 2 de suelo no intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara.....	65
<i>Figura 14.</i> Distribución de tipos de suelo en el estrato 3 de suelo no intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara.....	65
<i>Figura 15.</i> Distribución de los tipos de suelo en el estrato 4 de suelo no intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara....	65
<i>Figura 16.</i> Distribución de los tipos de suelo en el estrato 1 de suelo intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara...	66
<i>Figura 17.</i> Variación del contenido de grava en los diferentes estratos de suelo no intervenido y suelo intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara.....	75
<i>Figura 18.</i> Variación del contenido de arena en los diferentes estratos de suelo no intervenido y suelo intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara.....	76
<i>Figura 19.</i> Variación del contenido de finos en los diferentes estratos de suelo no intervenido y suelo intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara.....	77
<i>Figura 20.</i> Variación del peso específico de sólidos en los diferentes estratos de suelo no intervenido y suelo intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara.....	77
<i>Figura 21.</i> Variación del contenido de humedad en los diferentes estratos de suelo no intervenido y suelo intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara.....	78
<i>Figura 22.</i> Variación del límite líquido en los diferentes estratos de suelo no intervenido y suelo intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara.....	79
<i>Figura 23.</i> Variación del límite plástico en los diferentes estratos de suelo no intervenido y suelo intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara.....	80

<i>Figura 24.</i>	Variación del índice de plasticidad en los diferentes estratos de suelo no intervenido y suelo intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara.....	80
<i>Figura 25.</i>	Variación del ángulo de fricción interno de suelo no intervenido y suelo intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara.....	81
<i>Figura 26.</i>	Variación del coeficiente de cohesión entre partículas de suelo no intervenido y suelo intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara.....	82
<i>Figura 27.</i>	Variación de la capacidad portante de suelo no intervenido y suelo intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara....	82
<i>Figura 28.</i>	Variación del esfuerzo admisible de suelo no intervenido y suelo intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara....	83
<i>Figura 29.</i>	Mapa geomorfológico de zona de estudio.....	125
<i>Figura 30.</i>	Mapa geológico de zona de estudio.....	126
<i>Figura 31.</i>	Registro de excavación de calicata 1 en suelo no intervenido.....	127
<i>Figura 32.</i>	Registro de excavación de calicata 2 en suelo no intervenido.....	128
<i>Figura 33.</i>	Registro de excavación de calicata 3 en suelo no intervenido.....	129
<i>Figura 34.</i>	Registro de excavación de calicata 4 en suelo no intervenido.....	130
<i>Figura 35.</i>	Registro de excavación de calicata 5 en suelo no intervenido.....	131
<i>Figura 36.</i>	Registro de excavación de calicata 6 en suelo no intervenido.....	132
<i>Figura 37.</i>	Registro de excavación de calicata 7 en suelo no intervenido.....	133
<i>Figura 38.</i>	Registro de excavación de calicata 8 en suelo no intervenido.....	134
<i>Figura 39.</i>	Registro de excavación de calicata 1i en suelo intervenido.....	135
<i>Figura 40.</i>	Registro de excavación de calicata 2i en suelo intervenido.....	135
<i>Figura 41.</i>	Registro de excavación de calicata 3i en suelo intervenido.....	136
<i>Figura 42.</i>	Registro de excavación de calicata 4i en suelo intervenido.....	136
<i>Figura 43.</i>	Registro de excavación de calicata 5i en suelo intervenido.....	137
<i>Figura 44.</i>	Registro de excavación de calicata 6i en suelo intervenido.....	137
<i>Figura 45.</i>	Registro de excavación de calicata 7i en suelo intervenido.....	138
<i>Figura 46.</i>	Registro de excavación de calicata 8i en suelo intervenido.....	138
<i>Figura 47.</i>	Registro de excavación de calicata 9i en suelo intervenido.....	139
<i>Figura 48.</i>	Registro de excavación de calicata 10i en suelo intervenido.....	139
<i>Figura 49.</i>	Registro de excavación de calicata 11i en suelo intervenido.....	140
<i>Figura 50.</i>	Registro de excavación de calicata 12i en suelo intervenido.....	140
<i>Figura 51.</i>	Registro de excavación de calicata 13i en suelo intervenido.....	141
<i>Figura 52.</i>	Registro de excavación de calicata 14i en suelo intervenido.....	141
<i>Figura 53.</i>	Registro de excavación de calicata 15i en suelo intervenido.....	142
<i>Figura 54.</i>	Registro de excavación de calicata 16i en suelo intervenido.....	142
<i>Figura 55.</i>	Registro de excavación de calicata 17i en suelo intervenido.....	143
<i>Figura 56.</i>	Registro de excavación de calicata 18i en suelo intervenido.....	143
<i>Figura 57.</i>	Registro típico de ensayo granulométrico, contenido de humedad e índices de plasticidad de muestra de suelo no intervenido.....	144
<i>Figura 58.</i>	Registro típico de ensayo granulométrico, contenido de humedad e índices de plasticidad de muestra de suelo intervenido.....	145
<i>Figura 59.</i>	Registro típico de ensayo de corte directo no consolidado no drenado de muestra de suelo no intervenido.....	145
<i>Figura 60.</i>	Registro típico de ensayo de corte directo no consolidado no drenado de muestra de suelo intervenido.....	147

<i>Figura 61.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de grava en el estrato 2, suelo no intervenido.....	149
<i>Figura 62.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de grava en el estrato 3, suelo no intervenido.....	149
<i>Figura 63.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de grava en el estrato 4, suelo no intervenido.....	150
<i>Figura 64.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de grava en el estrato 1, suelo intervenido.....	150
<i>Figura 65.</i>	Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del contenido de grava en las muestras de suelo no intervenido estrato 2 y suelo intervenido estrato 1.	151
<i>Figura 66.</i>	Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del contenido de grava en las muestras de suelo no intervenido estrato 3 y suelo intervenido estrato 1	151
<i>Figura 67.</i>	Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del contenido de grava en las muestras de suelo no intervenido estrato 4 y suelo intervenido estrato 1	152
<i>Figura 68.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de arena en el estrato 2, suelo no intervenido.....	152
<i>Figura 69.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de arena en el estrato 3, suelo no intervenido.....	153
<i>Figura 70.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de arena en el estrato 4, suelo no intervenido.....	153
<i>Figura 71.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de arena en el estrato 1, suelo intervenido.....	154
<i>Figura 72.</i>	Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del contenido de arena en las muestras de suelo no intervenido estrato 2 y suelo intervenido estrato 1.....	154
<i>Figura 73.</i>	Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del contenido de arena en las muestras de suelo no intervenido estrato 3 y suelo intervenido estrato 1.....	155
<i>Figura 74.</i>	Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del contenido de arena en las muestras de suelo no intervenido estrato 4 y suelo intervenido estrato 1	155
<i>Figura 75.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de finos en el estrato 2, suelo no intervenido.....	156
<i>Figura 76.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de finos en el estrato 3, suelo no intervenido.....	156
<i>Figura 77.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de finos en el estrato 4, suelo no intervenido.....	157
<i>Figura 78.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de finos en el estrato 1, suelo intervenido.....	157
<i>Figura 79.</i>	Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del contenido de finos en las muestras de suelo no intervenido estrato 2 y suelo intervenido estrato 1.....	158
<i>Figura 80.</i>	Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del contenido de finos en las muestras de suelo no intervenido estrato 3 y suelo intervenido estrato 1	158

<i>Figura 81.</i>	Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del contenido de finos en las muestras de suelo no intervenido estrato 4 y suelo intervenido estrato 1	159
<i>Figura 82.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de humedad en el estrato 2, suelo no intervenido.....	159
<i>Figura 83.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de humedad en el estrato 3, suelo no intervenido.....	160
<i>Figura 84.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de humedad en el estrato 4, suelo no intervenido.....	160
<i>Figura 85.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de humedad en el estrato 1, suelo intervenido.....	161
<i>Figura 86.</i>	Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del contenido de humedad en las muestras de suelo no intervenido estrato 4 y suelo intervenido estrato 1	161
<i>Figura 87.</i>	Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del contenido de humedad en las muestras de suelo no intervenido estrato 3 y suelo intervenido estrato 1	162
<i>Figura 88.</i>	Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del contenido de humedad en las muestras de suelo no intervenido estrato 4 y suelo intervenido estrato 1	162
<i>Figura 89.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de peso específico de sólidos en el estrato 2, suelo no intervenido.....	163
<i>Figura 90.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de peso específico de sólidos en el estrato 3, suelo no intervenido.....	163
<i>Figura 91.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de peso específico de sólidos en el estrato 4, suelo no intervenido.....	164
<i>Figura 92.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de peso específico de sólidos en el estrato 1, suelo intervenido.....	164
<i>Figura 93.</i>	Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del peso específico de sólidos en las muestras de suelo no intervenido estrato 2 y suelo intervenido estrato 1	165
<i>Figura 94.</i>	Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del peso específico de sólidos en las muestras de suelo no intervenido estrato 3 y suelo intervenido estrato 1	165
<i>Figura 95.</i>	Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del peso específico de sólidos en las muestras de suelo no intervenido estrato 4 y suelo intervenido estrato 1	166
<i>Figura 96.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de límite líquido en el estrato 2, suelo no intervenido.....	166
<i>Figura 97.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de índice de plasticidad en el estrato 2, suelo no intervenido.....	167
<i>Figura 98.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de límite líquido en el estrato 3, suelo no intervenido.....	167
<i>Figura 99.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de límite plástico en el estrato 3, suelo no intervenido.....	168
<i>Figura 100.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de índice de plasticidad en el estrato 3, suelo no intervenido.....	168
<i>Figura 101.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de límite líquido en el estrato 4, suelo no intervenido.....	164

<i>Figura 102.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de límite plástico en el estrato 4, suelo no intervenido.....	169
<i>Figura 103.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de índice de plasticidad en el estrato 4, suelo no intervenido.....	170
<i>Figura 104.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de límite líquido en el estrato 1, suelo intervenido.....	170
<i>Figura 105.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de límite plástico en el estrato 1, suelo intervenido.....	171
<i>Figura 106.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de índice de plasticidad en el estrato 1, suelo intervenido.....	171
<i>Figura 107.</i>	Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del límite líquido en las muestras de suelo no intervenido estrato 2 y suelo intervenido estrato 1	172
<i>Figura 108.</i>	Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del límite líquido en las muestras de suelo no intervenido estrato 3 y suelo intervenido estrato 1	172
<i>Figura 109.</i>	Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del límite líquido en las muestras de suelo no intervenido estrato 4 y suelo intervenido estrato 1	173
<i>Figura 110.</i>	Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del límite plástico en las muestras de suelo no intervenido estrato 2 y suelo intervenido estrato 1	173
<i>Figura 111.</i>	Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del límite plástico en las muestras de suelo no intervenido estrato 3 y suelo intervenido estrato 1	174
<i>Figura 112.</i>	Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del límite plástico en las muestras de suelo no intervenido estrato 4 y suelo intervenido estrato 1	174
<i>Figura 113.</i>	Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del índice de plasticidad en las muestras de suelo no intervenido estrato 2 y suelo intervenido estrato 1	175
<i>Figura 114.</i>	Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del índice de plasticidad en las muestras de suelo no intervenido estrato 3 y suelo intervenido estrato 1	175
<i>Figura 115.</i>	Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del índice de plasticidad en las muestras de suelo no intervenido estrato 4 y suelo intervenido estrato 1	176
<i>Figura 116.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de ángulo de fricción en el estrato 4, suelo no intervenido.....	176
<i>Figura 117.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de ángulo de fricción en el estrato 1, suelo intervenido.....	177
<i>Figura 118.</i>	Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del ángulo de fricción en las muestras de suelo no intervenido estrato 4 y suelo intervenido estrato 1	177
<i>Figura 119.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de coeficiente de cohesión en el estrato 4, suelo no intervenido.....	178
<i>Figura 120.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de coeficiente de cohesión en el estrato 1, suelo intervenido.....	178

<i>Figura 121.</i>	Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del coeficiente de cohesión en las muestras de suelo no intervenido estrato 4 y suelo intervenido estrato 1	179
<i>Figura 122.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de capacidad portante en el estrato 4, suelo no intervenido.....	179
<i>Figura 123.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de capacidad portante en el estrato 1, suelo intervenido.....	180
<i>Figura 124.</i>	Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media de la capacidad portante en las muestras de suelo no intervenido estrato 4 y suelo intervenido estrato 1	180
<i>Figura 125.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de esfuerzo admisible en el estrato 4, suelo no intervenido.....	181
<i>Figura 126.</i>	Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de esfuerzo admisible en el estrato 1, suelo intervenido.....	181
<i>Figura 127.</i>	Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del esfuerzo admisible en las muestras de suelo no intervenido estrato 4 y suelo intervenido estrato 1	182
<i>Figura 128.</i>	Cantera de arcilla 1. CP Santa Bárbara. Cajamarca.....	183
<i>Figura 129.</i>	Cantera de arcilla 2. CP Santa Bárbara. Cajamarca.....	183
<i>Figura 130.</i>	Cantera de arcilla 3. CP Santa Bárbara. Cajamarca.....	183
<i>Figura 131.</i>	Cantera de arcilla 4. CP Santa Bárbara. Cajamarca.....	183
<i>Figura 132.</i>	Cantera de arcilla 5. CP Santa Bárbara. Cajamarca.....	184
<i>Figura 133.</i>	Cantera de arcilla 6. CP Santa Bárbara. Cajamarca.....	184
<i>Figura 134.</i>	Cantera de arcilla 7. CP Santa Bárbara. Cajamarca.....	184
<i>Figura 135.</i>	Cantera de arcilla 8. CP Santa Bárbara. Cajamarca.....	184
<i>Figura 136.</i>	Calicata C1. Suelo no intervenido. CP Santa Bárbara. Cajamarca...	185
<i>Figura 137.</i>	Calicata C1I. Suelo intervenido CP Santa Bárbara. Cajamarca.....	185
<i>Figura 138.</i>	Muestra inalterada de suelo intervenido. CP Santa Bárbara.....	185
<i>Figura 139.</i>	Calicata C2. Suelo no intervenido. CP Santa Bárbara. Cajamarca..	185
<i>Figura 140.</i>	Calicata C2I. Suelo intervenido. CP Santa Bárbara. Cajamarca.....	186
<i>Figura 141.</i>	Calicata C4I. Suelo no intervenido. CP Santa Bárbara. Cajamarca..	186
<i>Figura 142.</i>	Calicata C5. Suelo no intervenido. CP Santa Bárbara. Cajamarca...	186
<i>Figura 143.</i>	Calicata C6. Suelo no intervenido. CP Santa Bárbara. Cajamarca...	186
<i>Figura 144.</i>	Calicata C6. Suelo no intervenido. CP Santa Bárbara. Cajamarca..	187
<i>Figura 145.</i>	Calicata C7I. Suelo intervenido. CP Santa Bárbara. Cajamarca.....	187
<i>Figura 146.</i>	Ensayo de contenido de humedad.....	187
<i>Figura 147.</i>	Ensayo de granulometría.....	187
<i>Figura 148.</i>	Muestra de suelo intervenido a ensayar.....	184
<i>Figura 149.</i>	Muestras de suelo para ensayo de corte directo.....	184
<i>Figura 150.</i>	Ensayo de corte directo. Suelo CP Santa Bárbara. Cajamarca.....	184
<i>Figura 151.</i>	Ensayo de corte directo. Suelo CP Santa Bárbara. Cajamarca.....	184

LISTA DE TABLAS

	Página
<i>Tabla 1.</i> Límites de separación de tamaño de suelo.....	22
<i>Tabla 2.</i> Rango de tamices utilizados en el análisis de tamaño de partículas según normas ASTM.....	24
<i>Tabla 3.</i> Factores de forma para cálculo de capacidad portante de suelo según Meyerhof.....	29
<i>Tabla 4.</i> Técnicas de investigación de campo aplicables al estudio de mecánica de suelos.....	31
<i>Tabla 5.</i> Porcentaje de ladrilleras según clasificación en el distrito de Baños del Inca.....	45
<i>Tabla 6.</i> Porcentaje de ladrilleras según antigüedad en el distrito de Baños del Inca.....	46
<i>Tabla 7.</i> Ubicación de calicatas de suelo no intervenido por la actividad extractiva de arcilla CP Santa Bárbara. Cajamarca.....	48
<i>Tabla 8.</i> Ubicación de calicatas en suelo intervenido por la actividad extractiva de arcilla CP Santa Bárbara. Cajamarca.....	48
<i>Tabla 9.</i> Denominación de canteras y calicatas. Codificación de muestras de suelo.....	50
<i>Tabla 10.</i> Número de muestras de suelo para ensayos generales y ensayos especiales.....	51
<i>Tabla 11.</i> Niveles de alteración de suelo intervenido por la actividad extractiva de arcilla según índice de alteración de muestra.....	57
<i>Tabla 12.</i> Descripción de estratos en calicatas de suelos no intervenidos por la actividad extractiva de arcilla CP Santa Bárbara.....	59
<i>Tabla 13.</i> Descripción de estratos en calicatas de suelos intervenidos por la actividad extractiva de arcilla CP Santa Bárbara.....	61
<i>Tabla 14.</i> Clasificación y distribución granulométrica de muestras de suelo no intervenido.....	63
<i>Tabla 15.</i> Clasificación y distribución granulométrica de muestras de suelo intervenido.....	64
<i>Tabla 16.</i> Clasificación y distribución granulométrica de suelos por estrato en zona ladrillera Santa Bárbara.....	64
<i>Tabla 17.</i> Propiedades físicas de muestras de suelo no intervenido en zona ladrillera Santa Bárbara.....	68
<i>Tabla 18.</i> Propiedades físicas de muestras de suelo intervenido en zona ladrillera Santa Bárbara.....	68
<i>Tabla 19.</i> Propiedades físicas de los suelos por estrato en zona ladrillera Santa Bárbara.....	70
<i>Tabla 20.</i> Propiedades mecánicas de muestras de suelo no intervenido en zona ladrillera.....	72
<i>Tabla 21.</i> Propiedades mecánicas de muestras de suelo intervenido en zona ladrillera.....	73
<i>Tabla 22.</i> Propiedades mecánicas de los suelos por estrato en zona ladrillera Santa Bárbara.....	73
<i>Tabla 23.</i> Resultados de análisis estadístico y prueba de hipótesis para los suelos de la zona ladrillera Santa Bárbara.....	84

<i>Tabla 24.</i>	Resultados de análisis estadístico y prueba de hipótesis según estrato.... Índice de alteración promedio de las propiedades físicas de suelos no intervenidos en sus diferentes estratos.....	85
<i>Tabla 25.</i>	Índice de alteración promedio de las propiedades mecánicas de suelos no intervenidos en sus diferentes estratos.....	89
<i>Tabla 26.</i>	Porcentaje de muestras según niveles de índice de alteración de propiedades físicas de suelo intervenido respecto a suelo no intervenido. Estrato 2.....	89
<i>Tabla 27.</i>	Porcentaje de muestras según niveles de índice de alteración de propiedades físicas de suelo intervenido respecto a suelo no intervenido. Estrato 3.....	91
<i>Tabla 28.</i>	Porcentaje de muestras según niveles de índice de alteración de propiedades físicas de suelo intervenido respecto a suelo no intervenido. Estrato 4.....	92
<i>Tabla 29.</i>	Porcentaje de muestras según niveles de índice de alteración de propiedades mecánicas de suelo en la zona ladrillera Santa Bárbara.....	94
<i>Tabla 30.</i>	Porcentaje de muestras según niveles de índice de alteración de propiedades físicas de suelo en la zona ladrillera Santa Bárbara.....	94
<i>Tabla 31.</i>	Resultados de análisis estadístico y prueba de hipótesis según clase de suelo.....	96
<i>Tabla 32.</i>	Índice de alteración promedio de las propiedades físicas según clases de suelo. Zona ladrillera Santa Bárbara.....	97
<i>Tabla 33.</i>	Índice de alteración promedio de las propiedades mecánicas según clases de suelo. Zona ladrillera Santa Bárbara.....	107
<i>Tabla 34.</i>	Porcentaje de muestras según niveles del índice de alteración de propiedades físicas de suelo intervenido respecto a suelos no intervenidos SC.....	107
<i>Tabla 35.</i>	Porcentaje de muestras según niveles del índice de alteración de propiedades físicas de suelo intervenido respecto a suelos no intervenidos CL.....	108
<i>Tabla 36.</i>	Porcentaje de muestras según niveles del índice de alteración de propiedades físicas de suelo intervenido respecto a suelos no intervenidos CH.....	109
<i>Tabla 37.</i>	Porcentaje de muestras según propiedades físicas y alteración de clases de suelo en la zona ladrillera de Santa Bárbara.....	110
<i>Tabla 38.</i>	Porcentaje de muestras según niveles del índice de alteración de propiedades mecánicas de suelo intervenido respecto a suelos SC.....	111
<i>Tabla 39.</i>	Porcentaje de muestras según niveles del índice de alteración de propiedades mecánicas de suelo intervenido respecto a suelos CL.....	112
<i>Tabla 40.</i>	Porcentaje de muestras según niveles del índice de alteración de propiedades mecánicas de suelo intervenido respecto a suelos CH.....	112
<i>Tabla 41.</i>	Porcentaje de muestras según propiedades mecánicas y alteración de clases de suelo en la zona ladrillera de Santa Bárbara.....	113
<i>Tabla 42.</i>	Registro típico de capacidad portante y esfuerzo admisible de suelo calculados según método de Meyerhof de muestra de suelo no intervenido.....	113
<i>Tabla 43.</i>	Registro típico de capacidad portante y esfuerzo admisible de suelo calculados según método de Meyerhof de muestra de suelo	148
<i>Tabla 44.</i>	intervenido.....	148

LISTA DE ABREVIACIONES

ASTM	: Asociación Americana de Ensayo de Materiales
AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
CP	: Centro Poblado
FAO	: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GPS	: Sistema de Posicionamiento Global
INEI	: Instituto Nacional de Estadística e Informática
ITINCI	: Industria, Turismo, Integración y Negociaciones Comerciales Internacionales
NTP	: Norma Técnica Peruana
SIG	: Sistema de Información Geográfica
SUCS	: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

RESUMEN

En esta investigación se determinó la alteración de las propiedades físico mecánicas de los suelos generadas por la actividad extractiva de arcilla utilizada para la fabricación de ladrillo artesanal en el Centro Poblado Santa Bárbara – Cajamarca. A través de ensayos de laboratorio se clasificaron y determinaron las propiedades físico mecánicas de suelos no intervenidos y de suelos intervenidos por la actividad extractiva de arcilla, se compararon los valores característicos según estrato de suelo y clasificación y se calculó su nivel de degradación. Las pruebas de índice de laboratorio fueron: límites de Atterberg, peso específico de sólidos, contenido de humedad y distribución granulométrica, con las cuales se clasificó y caracterizaron los suelos desde el punto de vista ingenieril, así mismo se realizaron ensayos de corte directo para muestras no consolidadas no drenadas con los que se determinó el ángulo de fricción interno y el coeficiente de cohesión entre partículas calculándose su capacidad portante para cimentaciones superficiales que son las más empleadas en la zona. Para realizar los ensayos se tomaron 68 muestras de suelo provenientes de los diferentes estratos de 26 calicatas de 3m de profundidad hechas en 15 canteras de arcilla para fabricación de ladrillo artesanal seleccionadas en la zona de mayor conturbación del centro poblado. Los resultados obtenidos, condujeron a concluir que la actividad extractiva de arcilla genera suelos arenosos sueltos, mal graduados, reduce sus propiedades de plasticidad, su peso específico aparente y cohesión entre partículas e incrementa su contenido de humedad natural, consecuentemente reduce significativamente la capacidad portante de los suelos de la zona.

Palabras clave: Degradación, canteras de arcilla, actividad extractiva, suelos intervenidos, ladrillo artesanal, propiedades físico mecánicas de suelos, capacidad portante de suelos, compactación de suelos.

ABSTRACT

In this investigation, the alteration of the physical and mechanical properties of the soils generated by the extractive clay activity used for the manufacture of artisanal brick in the Santa Barbara Village Center - Cajamarca was determined. Through laboratory tests the physical and mechanical properties of both non intervened soils and soils intervened by the extractive clay activity were classified and determined, the characteristic values were compared according to soil stratum and classification and their level of degradation was calculated. The laboratory index tests were: Atterberg limits, specific weight of solids, moisture content and granulometric distribution, with which the soils were classified and characterized from an engineering point of view, as well as direct cutting tests for samples unconsolidated undrained with which the internal friction angle and the coefficient of cohesion between particles was determined calculating its bearing capacity for surface foundations that are the most used in the area. In order to carry out the tests, 68 soil samples were taken from the different strata of 26 calicatas whose depth was 3m made in 15 clay quarries for the manufacture of artisanal brick selected in the area of greatest conurbation of the populated center. The results obtained led to the conclusion that the clay extractive activity generates loose, poorly graded sandy soils, reduces its plasticity properties, its specific specific weight and cohesion between particles and increases its natural moisture content, consequently significantly reducing the bearing capacity of the floors of the area.

Keywords: Degradation, clay quarries, extractive activity, intervened soils, artisanal brick, physical mechanical properties of soils, soil bearing capacity, soil compaction.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural de vital importancia para el desarrollo de la vida, constituye la base funcional de todos los ecosistemas terrestres y además es el soporte físico de todas y cada una de las actividades humanas. Siendo un sistema complejo en el que se dan de manera simultánea los procesos de gradación y degradación, supone cambios en la calidad del mismo, lo cual se intensifica y acelera por las actividades que el ser humano realiza en él, trayendo como consecuencia que se disminuya su capacidad de soporte para sostener el desarrollo de la vida y por ende se reduzca la habilidad para desarrollar sus funciones en el ecosistema en general (López, 2002).

La degradación del suelo puede ser de orden natural presentándose de manera lenta o drástica. Los generados por actividades antrópicas son más rápidos, perturban el delicado balance entre el suelo y su medio ambiente y ocasionan alteraciones drásticas en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y en sus procesos de formación. Se calcula que casi el 11% del suelo fértil de la tierra ha sufrido erosión o ha sido alterado química o físicamente, de manera que su función biótica original para procesar nutrientes de forma que puedan ser utilizados por los organismos vivos, ha sido dañada; igualmente cerca del 3% del suelo ha sido degradado hasta el punto de no poder seguir cumpliendo esa función (FAO, 2016).

Las investigaciones orientadas a determinar el nivel de degradación de los suelos asociado a las causas que lo producen en diferentes lugares del planeta son numerosas, siendo más escasos los estudios realizados a nivel nacional y local. De manera particular interesa conocer la alteración de las propiedades físico mecánicas de los suelos desde un punto de vista estructural que causa de la actividad extractiva de arcilla en la zona

ladrillera de Santa Bárbara que hace más de tres décadas es un abastecedor importante de ladrillo de arcilla para construcción de edificaciones en la ciudad de Cajamarca y alrededores.

El informe del *Diagnóstico Situacional de las Ladrilleras en el Distrito de Baños del Inca* elaborado por la Dirección Regional de Industria y Turismo (ITINCI, 2003) reporta que la actividad ladrillera en el distrito, data desde 1980, existiendo un número de 187 ladrilleras que abastecen la demanda de ladrillo artesanal de arcilla destinado a la construcción de edificaciones en la ciudad de Cajamarca y sus alrededores, instaladas en las zonas de El Cerrillo, Otuzco, Santa Bárbara y Huacataz. Del total de ladrilleras el 23% se encuentran en el Centro Poblado Menor de Santa Bárbara.

Por su parte, ITDG (2003) citado por Valverde, Bances, Rojas, y Rodríguez (2004) indica que las capacidades de producción de las ladrilleras, están definidas básicamente por la capacidad de los hornos que emplean para el quemado del ladrillo, siendo Cajamarca y Ayacucho los departamentos con mayores volúmenes de producción, cuya capacidad es de 15 a 30 millares por quema, volúmenes que resultan de la disponibilidad de la materia prima en la zona, así como de la demanda de ladrillo en la construcción de edificaciones en la ciudad y sus alrededores como resultado de la expansión urbana multidireccional.

Observaciones de campo desde hace muchos años evidencian que, el proceso de extracción de arcilla en la zona de Santa Bárbara es artesanal, el material arcilloso es extraído a cielo abierto de donde se obtienen grandes bloques de traquita altamente intemperizada, para ser triturados y mezclados con la arcilla. Las canteras de arcilla son explotadas por un tiempo determinado sin que los titulares de la actividad apliquen procesos de regeneración en los suelos intervenidos, ni restauración de la geomorfología

de las áreas disturbadas para tener un ambiente saludable y seguro acorde con el paisaje. Estos suelos van siendo reemplazados con material de préstamo proveniente de los residuos de la misma cantera, desmonte que proviene de construcciones de lugares aledaños y de las actividades agrícolas y pastoriles en la zona y residuos orgánicos e inorgánicos que genera la propia población.

La presente investigación respondió al problema ¿en qué medida la actividad extractiva de arcilla utilizada para la fabricación de ladrillo artesanal en el Centro Poblado Santa Bárbara- Cajamarca altera de las propiedades físico mecánicas de los suelos?, postulando la hipótesis que la actividad extractiva de arcilla utilizada para la fabricación de ladrillo artesanal en el Centro Poblado Santa Bárbara – Cajamarca, altera significativamente las propiedades físico mecánicas de los suelos.

Tuvo como objetivo general determinar la alteración de las propiedades físico mecánicas de los suelos por la actividad extractiva de arcilla utilizada para la fabricación de ladrillo artesanal en el Centro Poblado Santa Bárbara, Cajamarca y como objetivos específicos - Clasificar y determinar las características físico mecánicas de cada estrato de suelo no intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara, Cajamarca. Clasificar y determinar las características físico mecánicas de cada estrato de suelo intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara, Cajamarca. Comparar los valores característicos de las propiedades físico mecánicas de los suelos no intervenidos e intervenidos por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara, Cajamarca teniendo en cuenta el estrato y la clase de suelo. Medir el nivel de alteración de las propiedades físico mecánicas de los suelos como consecuencia de la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara, Cajamarca-.

La investigación se llevó a cabo en la zona de mayor concentración de canteras de arcilla que vienen siendo aprovechadas para la fabricación de ladrillo artesanal y que una vez rellenadas serán utilizadas como terrenos para construcción de edificaciones. Debido a la dinámica de explotación de canteras, el estudio tiene carácter temporal y los procedimientos realizados y cálculos realizados tuvieron en cuenta únicamente los casos de cimentaciones superficiales. La profundidad de las calicatas fue de 3 metros de cuyos estratos se extrajeron las muestras de suelo tanto alteradas como inalteradas según las propiedades a determinar. Los ensayos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca.

La tesis se encuentra dividida en siete capítulos, el primero de los cuales corresponde a la introducción; el capítulo II corresponde al marco teórico donde se hizo referencia a investigaciones relacionadas a determinar degradación, alteración de propiedades físico mecánicas de suelo a causa de diversas actividades antrópicas, así como investigaciones sobre suelos destinados a la actividad ladrillera. El capítulo III corresponde a materiales y métodos, en él se describe la metodología utilizada en la investigación tanto en la recolección de datos como en su tratamiento. En el capítulo IV se presentan y discuten los resultados obtenidos. En el capítulo V se indican las conclusiones a las que se llegan. El capítulo VI corresponde a las referencias bibliográficas y el VII los apéndices y anexos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Mora (1998) realiza el estudio de las propiedades físicas, hidráulicas y mecánicas de suelos de origen volcánico, en el valle central de Costa Rica, con el fin de establecer sus rangos de variación y las posibilidades de su utilización como lugares destinados en la disposición final de desechos sólidos. Entre otros parámetros determinó, peso específico, índices de consistencia, granulometría, compactación, conductividad hidráulica y parámetros efectivos de resistencia la corte. Concluye que las variedades mineralógicas y los estados de meteorización de los depósitos volcánicos del valle, generan rangos amplios de variación en sus propiedades físicas, los que producen limos de plasticidad alta, con tendencia a los limos de plasticidad muy alta; así mismo, los productos de la meteorización de productos volcánicos cuentan generalmente con cohesiones efectivas muy bajas que varían entre 0 y 11 KPa y con ángulos de fricción efectivos altos que llegan a 38° y los valores de peso específico de sólidos que oscilan entre 26 a 26,5 KN/m³, se pueden considerar muy bajos y se deben al gran volumen de vacíos con que cuentan los suelos derivados de la meteorización de productos volcánicos.

Mataix (1999) en su tesis doctoral determina las alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales evaluando la pérdida de nutrientes en los suelos afectados por incendios de diferente intensidad y propone medidas de regeneración que faciliten mayor éxito en las repoblaciones y minimicen los riesgos de erosión, mediante la utilización de suelo de compost de lodo depurado en diversas proporciones. Los parámetros evaluados fueron: pH, textura, agregados estables, color, conductividad eléctrica, materia orgánica, entre otros. El investigador concluyó que la

pérdida de materia orgánica, así como la redistribución de agregados luego de producirse la perturbación, son responsables de las alteraciones en las propiedades físicas del suelo. La aplicación de los tratamientos de compost de lodo en mayor dosis acelera notablemente la regeneración de la cubierta vegetal, incrementa la biomasa microbiana del suelo, el contenido de materia orgánica y de nutrientes esenciales, sin detectarse toxicidad en ninguno de los elementos estudiados.

En el mismo sentido, Grieve (2001) evalúa los impactos de origen antrópico en las propiedades del suelo y sus implicancias en la sensibilidad de los sistemas de suelo en Escocia, sosteniendo que las actividades humanas han tenido impactos pronunciados, causando disminuciones significativas en el pH del suelo y en la calidad y la renovación de la materia orgánica asociando la deposición ácida al aumento de la acidez del suelo y la movilidad de metales traza en el mismo lo que incrementa las concentraciones de metales en las aguas de drenaje.

Seguel y Orellana (2008) determinan la relación entre las propiedades mecánicas de los suelos y los procesos de génesis e intensidad de uso de los mismos, utilizando muestras de seis suelos agrupados en dos tipos, Andisoles y Ultisoles, con distinto manejo y desarrollo estructural. Se determinó la capacidad de soporte mediante prueba de consolidación confinada con drenaje libre, con cargas entre 6,25 y 1200 KPa. La cohesión y el ángulo de fricción se determinaron mediante pruebas de corte directo con cargas normales inferiores a 50 KPa y velocidad de 1 cm/hora. Las propiedades mecánicas de los Ultisoles se asocian al manejo, evidenciado por un daño estructural debido al historial de uso más intenso. El valor de pre consolidación resultó ser un parámetro mecánico que se relaciona bien con el grado evolutivo de los suelos, los que se ordenan de mayor a menor capacidad de soporte desde las condiciones climáticas de menor a mayor

precipitación. La mayor resistencia mecánica es el resultado de la intensificación de los ciclos de secado, lo que se traduce en mayores valores de densidad aparente en suelos Andisoles. En los suelos arcillosos se presentó un comportamiento en el cual la mayor intensidad de uso destruye los agregados, aumentando la cohesión y disminuyendo el ángulo de fricción. Por otro lado, indican que un aumento de la fricción interna puede deberse a la menor capacidad de soporte de este suelo lo que en la prueba de corte estaría reflejando el roce entre partículas individuales, principalmente fragmentos gruesos, sobre las cuales la carga normal genera un acercamiento, con el consecuente aumento de la fricción interna.

Así mismo, Gómez (2008) analiza el efecto de la cohesión aparente en la capacidad soportante de cimentaciones, determinando las propiedades físico mecánicas de las arcillas estudiadas haciendo variar el grado de saturación de un suelo. Los resultados de su investigación le llavan a concluir que la cohesión aparente obtenida de diferentes porcentajes de saturación afecta notablemente la capacidad soportante de cimentaciones superficiales, mayores valores de cohesión disminuyen las dimensiones de las cimentaciones superficiales y viceversa.

Por su parte, Guerra (2010) en su tesis doctoral evalúa la degradación de los suelos naturales de la isla de Tenerife a causa de actividades humanas. Las propiedades físicas analizadas fueron: contenido de humedad, capacidad de retención de agua, composición granulométrica, densidad aparente y elementos gruesos y reporta la identificación de los principales procesos de degradación como la erosión hídrica, degradación biológica, pérdida de las propiedades ándicas, compactación y formación de costras de sellado superficial, pérdida de la capacidad de retención de agua, degradación natural por influencia marina y degradación por causas antrópicas como la construcción de vías de

comunicación, abancalamiento y posterior abandono del terreno para cultivo y el desmesurado crecimiento urbanísticos de la zona durante los últimos años. Estos factores tienen como efecto más importante, la salinización de los suelos, la disminución de la protección de su superficie y la sustitución de la vegetación climática, favoreciendo la severidad de los procesos de degradación.

Espinosa y Andrade (2011) estudian la degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México. Evaluó los tipos de degradación de los suelos en la zona, los niveles de afección y los factores antrópicos que han causado tal degradación. Las propiedades del suelo evaluadas fueron: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, cationes solubles, relación de absorción de sodio, entre otras. El investigador concluye en que los niveles de degradación de estos suelos son: 57,70%, degradación alta; 22,37% moderada a fuerte y ligeramente degradada en 19,93%. Los factores de degradación más sobresalientes son el sobrepastoreo 33%, las prácticas agrícolas inadecuadas 18%, las actividades industriales de exploración y perforación de PEMEX (Petróleos Mexicanos) 14%, la sobreexplotación de la vegetación como recolección de leña y producción de carbón 6%. Indica también que del 73,52% de la superficie afectada por erosión hídrica, el pastoreo intensivo y la mecanización excesiva en áreas agrícolas están ligados al grado de compactación existente en el suelo, lo que provoca cambios en las condiciones físicas y disminución de la tasa de infiltración del suelo, afectando al crecimiento de las plantas y aumento de la susceptibilidad a la erosión. Finalmente, la tasa anual de 9% de degradación del suelo en los últimos 10 años, muestra que el 40% de la superficie se encuentra en un proceso positivo.

Aristizabal, Valencia, Guerra, Vélez, y Echeverri (2011) realizan una caracterización geotécnica de los perfiles de meteorización desarrollados sobre rocas

ígneas en ambientes tropicales, ocupándose de evaluar las propiedades físico mecánicas de dos perfiles de meteorización derivados de rocas ígneas plutónicas y volcánicas del Valle de Aburrá tales como color, humedad, granulometría de gruesos y finos, límites de consistencia, clasificación, compresión simple, succión y corte directo, en muestras alteradas e inalteradas en cada horizonte los suelos estudiados encontrando una fuerte relación entre la succión y la resistencia de los perfiles resaltando por tanto la importancia que la estructura y la succión tienen en el comportamiento mecánico del suelo.

Dentro de este marco, Melani (2012) en sus búsquedas sobre alteración de las propiedades mecánicas de suelos irrigados con agua con altas concentraciones de sodio, simuló los efectos de una irrigación con agua con alto contenido de sodio a fin de inferir aspectos vinculados a la traficabilidad y labranza de suelos sodificados. El investigador utilizó muestras reconstituidas en laboratorio de dos suelos provenientes de distintas localidades de Italia los que fueron sometidos a tratamientos de sodificación artificial. Los ensayos físicos y mecánicos realizados fueron: contenido de humedad, ensayos de compresión y corte realizados al 18% y 8% de humedad en Cardone y al 5% y 15% para los tratamientos de Ozzano, concluyendo enfáticamente que el sodio disminuye la vulnerabilidad a la compresión de los suelos mientras que aumenta la resistencia a la rotura de los agregados independientemente de su tamaño. Existe una jerarquía de agregados siendo los agregados de mayores dimensiones menos resistentes a la rotura.

Por otro lado, entre los estudios orientados a determinar las características de las arcillas utilizadas para la fabricación de ladrillo artesanal, Zea (2005) realiza su investigación en diferentes ladrilleras de la región Tejar-Chimaltenango en Guatemala determinando características físicas, químicas y mecánicas de los suelos utilizados. Éstas características fueron: índice de plasticidad con valores entre 10,51 a 21,56; gravedad

específica que varió entre 2,39 a 2,48; análisis granulométrico cuyos resultados revelaron que, en esa zona, los suelos son limos inorgánicos, limos arcillosos, arcillas limosas, arcillas arenosas y arenas limosas cuya plasticidad van desde plasticidad nula hasta altamente plásticas, contenido de óxidos de calcio, magnesio, hierro, aluminio y sílice; así mismo absorción y resistencia a la compresión de los ladrillos fabricados.

Por su parte, Garzón (2013) realiza una investigación de los impactos ambientales y sociales generados por la minería de arcillas a cielo abierto en la Ciudad de Bolívar, Colombia. En ella llega a determinar que la expansión promedio de la cantera por año es de 4533,62 m² e identifica un total de 9 impactos ambientales que repercuten en el medio físico y socioeconómico de la zona ladrillera estudiada, de los cuales 6 son impactos al medio físico (deterioro en la calidad del aire, ruido, erosión, contaminación y uso del agua, intervención a la cobertura vegetal, y cambio del valor paisajístico) y 3 son impactos al medio socio económico (calidad de vida, seguridad social y generación de empleo), siendo de los 9 impactos solo los dos últimos positivos y en realidad benefician a un sector muy limitado de la comunidad. De los impactos negativos al medio físico el más crítico es la pérdida del valor paisajístico y paralelo la pérdida de cobertura vegetal producto de la expansión de la cantera, seguido por la contaminación del aire generado por la constante quema del ladrillo afectando la calidad de vida y siendo una posible causa de los problemas de salud de los habitantes de las viviendas más cercanas a la ladrillera.

Entre las investigaciones realizadas a nivel nacional, Valverde, Bances, Rojas y Rodríguez (2004) evalúan el impacto ambiental producido por la fabricación de ladrillos en el valle de Altomayo-San Martín, identificando impactos irrelevantes, moderados y severos en el ambiente estudiado cuya medida a aplicar es mitigadora. Concluyen que entre los impactos identificados como más severos se presentan en el proceso de

excavación afectando la calidad del suelo, la flora y la fauna; además la emisión de gases de combustión y emisión de material particulado que afectan la calidad de aire, así como la flora y la fauna. Sostienen además de antemano, que el funcionamiento de ladrilleras artesanales fomentará la aridez de suelos por disposición de cenizas y erosión de los mismos por su uso como materia prima.

Así mismo Sandoval, Ramírez y Cuarán (2015) determinaron la resistencia al esfuerzo cortante en rellenos sanitarios y sostienen en su investigación que estas propiedades pueden determinarse de manera similar a la de un material geotécnico. Los autores no encontraron dependencia significativa entre los parámetros de ángulo de fricción y coeficiente de cohesión con el peso específico del material de relleno y la profundidad a la que fueron tomadas las muestras. Los valores del ángulo de fricción variaron entre $29,1^\circ$ a $34,7^\circ$ mientras que los del coeficiente de cohesión entre 9,1 KPa hasta 31,4 KPa, para un peso específico del material de relleno aproximado de 11 KN/m^3 .

La compactación de los suelos mejoran el comportamiento mecánico de los suelos, Olaya y Vaca (2018) concluyen que según sea el material y su permeabilidad al agua y al aire, el comportamiento del material en el proceso de compactación será diferente siendo importante controlar el contenido de agua óptimo, especialmente en el caso de suelos cohesivos, con el fin de evitar los desagradables problemas de inestabilidad mecánica. Para que se presente fenómenos de inestabilidad mecánica el suelo se debe encontrar con un determinado grado de saturación muy próximo a 1, es decir con un contenido de agua mayor al contenido de agua óptimo determinado en los ensayos de compactación en laboratorio. Así mismo indican que la presión de poro puede favorecer la compactación si no es demasiado alta y si se mide dicha presión junto a la resistencia, se puede determinar de forma más controlada la calidad del proceso de compactación, de

ahí que si se requiere un proceso de compactación muy riguroso se sugiere realizar pruebas de permeabilidad al aire y al agua del material a compactar. En caso de presentarse problemas de inestabilidad mecánica en obra (colchones) significa que el grado de saturación no es el adecuado, dicho de otra manera, el contenido de agua es mayor al contenido de agua óptima; para resolver este problema sugieren que si las condiciones climáticas lo permiten, se escarifique el material y se espere a que disminuya el contenido de agua, una vez se haya alcanzado el contenido de agua óptimo se proceda a compactar, sin embargo, si las condiciones no lo permiten una alternativa de solución puede ser un cambio de material y compactar con el contenido de agua óptimo del nuevo material.

En el ámbito regional, Alcántara (2010) presenta un resumen sobre la desertificación en la Región Cajamarca, donde indica que el 1% del territorio de la región se encuentra en un proceso de desertificación severa, el 45,24% en un proceso fuerte de desertificación relacionándolo con espacios donde el poblador andino, practica una agricultura intensiva sobre suelos con pendientes pronunciadas y con tecnología tradicional. Así mismo indica, que el 52,23% del territorio se encuentra en un proceso moderado de desertificación, la mayor parte corresponde a espacios con bosques naturales y cultivados, donde la actividad antrópica es fuerte y que el 2% se encuentra en un proceso ligero de desertificación correspondiendo a zonas altas, donde las temperaturas son bajas, mayormente cubiertos por pastos naturales en las cuales las actividades antrópicas se vienen intensificando.

A nivel local, Fernández (2009) determinó la influencia del tipo de arcilla en las características técnicas del ladrillo. Santa Bárbara – Cajamarca. En su investigación clasificó a los suelos que se emplean en esta actividad artesanal de acuerdo a sus

características físicas indicando que son arcillas de alta, mediana y baja plasticidad CL y CH, arenas arcillosas SC y limos mezclados con arcilla ML cuyos valores de límite líquido están entre 26% a 42,5% y de índice de plasticidad entre 10,30% a 24,20%, concluyendo que las propiedades que reúnen las arcillas de la zona no son las más óptimas para producir ladrillos de calidad desde el punto de vista estructural.

Por su parte Ruíz (2015) determinó la influencia de la adición de vidrio triturado en la resistencia a la compresión axial de un ladrillo de arcilla artesanal de Cajamarca, realizándola en la zona ladrillera de Santa Bárbara. Para hacer este estudio tuvo que determinar las características físicas de las arcillas en la zona como contenido de humedad cuyo valor fue 9,61%; límite líquido 42,38%, límite plástico 22,54% e índice de plasticidad 19,83% clasificando los suelos como arcillas limosas (CL) de mediana y baja plasticidad.

Palomino (2016) investiga la influencia de la adición de cloruro de sodio en el índice de California Bearing Ratio (CBR) de un suelo arcilloso, tomando las muestras en el centro poblado de Santa Bárbara. Las propiedades físico mecánicas que determinó en este material fueron: contenido de humedad con valor de 23,29%; límite líquido 27%; límite plástico 16%; índice de plasticidad 11%; peso específico $2,25 \text{ gr-f/cm}^3$. El análisis granulométrico reveló el contenido de arena 48,12% y de finos 51,88% clasificando el suelo como arcilla de baja a media plasticidad (CL). Así mismo determinó el contenido óptimo de humedad con un valor de 10,23% y la densidad máxima seca $1,90 \text{ gr/cm}^3$.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1 Uso y calidad de los suelos.

Parr et al. citado por López (2002) indica que la calidad de suelo es producto de componentes químicos, físicos y biológicos y sus interacciones y es definida como su capacidad para funcionar de manera deseada para producir cultivos, animales y seres humanos saludables, resistir la degradación y minimizar impactos ambientales.

Por su parte Blum (1998) citado por López (2002) relaciona seis usos principales del suelo con el proceso de degradación de los mismos:

- La producción de la biomasa, función básica para la vida humana y animal.
- El uso de suelo como filtro, amortiguador y transformador de compuestos adversos entre la atmósfera, el agua subterránea y las raíces de las plantas.
- Como hábitat biológico constituyéndose como una reserva de genes albergando a una gran variedad de organismos sobre y dentro de él.
- Como basamento para el desarrollo de estructuras técnicas, industriales y socio económicas de gran importancia para el desarrollo de la vida humana.
- Como almacén de fuentes de energía geogénica, materias primas como arcillas, arenas gravas, etc. y agua.
- Como herencia geogenética y cultural, formando parte del paisaje, y siendo almacén de tesoros paleontológicos y arqueológicos de gran importancia para el entendimiento de la historia del planeta y de la humanidad.

Sin embargo, para propósitos de ingeniería estructural, el suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) con líquido y gas en los espacios vacíos entre las partículas sólidas. El suelo se utiliza como material de construcción en diversos proyectos de ingeniería civil y con

cimientos estructurales. Por lo tanto, los ingenieros civiles deben estudiar las propiedades del suelo, tales como el origen, la distribución de tamaño de grano, la capacidad de drenar el agua, compresión, resistencia al corte y la capacidad de soporte de carga (Das, 2015).

Desarrollando el uso correspondiente a la explotación minera que incluye la extracción de agregados, se encuentra que Blum (1998) citado por López (2002) reporta que esta actividad genera degradación de características reversibles aunque con considerables dificultades, ya que, para lograr la recuperación del suelo perturbado cuando la actividad ha cesado, se necesita de la aplicación sostenida y a largo plazo de técnicas con alta demanda de energía y altos costos; sin embargo presenta casos como en EE.UU., Francia, Bélgica y el Reino Unido, donde las excavaciones dieron lugar a lagos de poca profundidad, rellenos sanitarios o lugares destinados para uso recreacional.

La extracción de materiales minerales y escombros da lugar a grandes cavidades en el terreno explotado y los escombros devueltos al sitio de la excavación, una vez asentados, pueden generar depresión. El restablecimiento de la vegetación en el lugar de la mina o en el sitio de minas abandonadas que no han recibido restauración puede ser un problema, debido a la ausencia del suelo que anteriormente cubría el área o debido a la presencia de niveles tóxicos de varios elementos contenidos en los escombros. En este orden, existe riesgo de inundación de las excavaciones, hecho que puede tener un impacto positivo cuando las actividades de minería han cesado por su potencial aprovechamiento recreacional y para la vida silvestre.

2.2.2 Propiedades físico mecánicas de los suelos.

Berry y Reid (2000), Juárez y Rico (2005) así como Das (2015) coinciden al sostener que, el suelo es un material trifásico, constituido por el esqueleto de partículas sólidas, rodeado por espacios llenos de agua y aire tal como se aprecia en la figura:

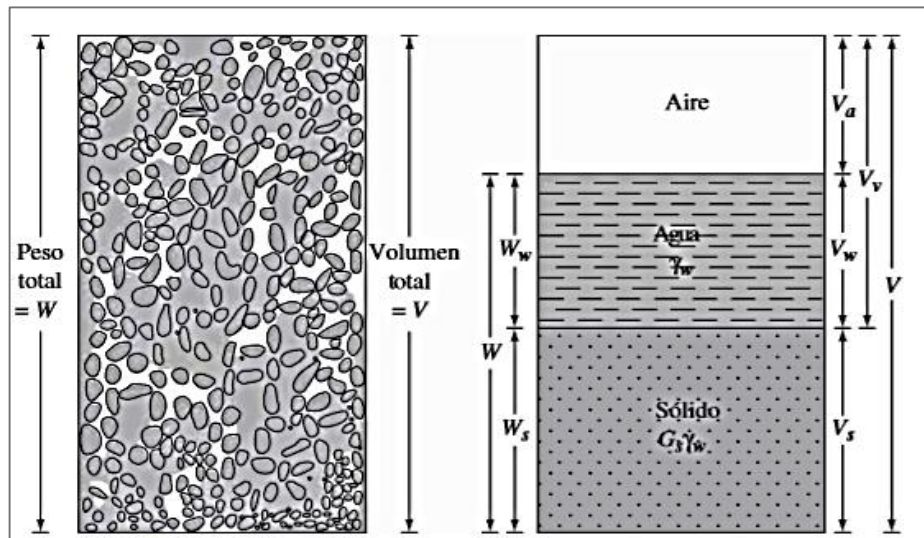


Figura 1. Elemento suelo en estado natural y sus fases.

Fuente: Fundamentos de la ingeniería geotécnica (Das, 2015).

Para poder describir completamente las características de un depósito de suelo es necesario expresar la mezcla de sólidos, agua y aire en términos de algunas propiedades físicas estándar, (Berry y Reid, 2000) las cuales se utilizaron en esta investigación. Alva (2011) precisa que existen propiedades índice que describen las características de los suelos que pueden ser utilizadas tanto para arenas como para arcillas. “...Ya que las partículas en suelos cohesivos tienden a ser muy finas para el análisis granulométrico de rutina, la curva granulométrica en estos casos se determina por medio del análisis por hidrómetro. Este método se aplica para tamaños de partículas de diámetro de 0,03 mm (limo grueso) a 0,001 mm. Desafortunadamente no ha sido posible relacionar la curva granulométrica de materiales finos con propiedades útiles de ingeniería. El polvo de roca, con partículas más finas que 0,002 mm, se comporta como una arena fina, mientras que otros suelos con menos del 50% de partículas menores que 0,002 mm tienen propiedades semejantes a la arcilla. Por lo tanto, en el diseño de cimentaciones es muy raro realizar análisis granulométricos para suelos cohesivos; cuando éstos se realizan es para determinar el porcentaje más fino que 0.002 mm (fracción arcillosa)”. Así mismo sostiene

que, las propiedades ingenieriles de los suelos cohesivos varían considerablemente con la densidad; más que la encontrada para suelos granulares arguyendo que las partículas en un suelo granular tienden a ser equidimensionales y por lo tanto no pueden empacarse muy sueltas mientras que en los suelos cohesivos muchas de las partículas tienen forma de placa, por lo que pueden empacarse densamente cuando las placas están paralelas o muy sueltas si las placas están de modo mutuamente perpendicular con muchos vacíos incorporados. Indica además que en suelos granulares densidad sola no era una buena propiedad índice, por lo que se usa la densidad relativa que se define en función de las relaciones de vacíos a su vez, en suelos cohesivos se utiliza el contenido de humedad en vez de densidad y se establecen límites en el contenido de humedad conocidos como *límites de Atterberg*.

Las propiedades índice consideradas en esta investigación son las siguientes:

1. *Peso específico*. Es equivalente a la densidad del suelo en otro sistema de medición. Define el peso por unidad de volumen y puede calcularse el peso específico de sólidos (γ_s), el peso específico seco (γ_d), y el peso unitario aparente γ ((Berry y Reid, 2000), (Juárez y Rico, 2005) y (Das, 2015)).

a. *Peso específico aparente del suelo* (γ). Llamado también peso específico saturado del suelo. Su valor resulta ser:

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{W_s(1+w)}{V} \dots\dots (1.1)$$

Donde:

γ : Peso específico aparente del suelo.

W : Peso total de la muestra de suelo.

V: Volumen total de la muestra de suelo.

W_s : Peso de la parte sólida de la muestra de suelo.

W_w : Peso del agua contenida en el suelo.

ω : Contenido de humedad del suelo.

b. *Peso específico seco (γ_d)*. Se calcula según la siguiente ecuación:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{\gamma}{1+\omega} \dots\dots (1.2)$$

Donde:

γ_d : Peso específico seco del suelo.

V: Volumen total de la muestra de suelo.

W_s : Peso de la parte sólida de la muestra de suelo.

ω : Contenido de humedad del suelo.

c. *Peso específico de sólidos (γ_s)*. Se calcula según la siguiente ecuación:

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \dots\dots (1.3)$$

Donde:

γ_s : Peso específico de sólidos del suelo.

V_s : Volumen de la parte sólida de la muestra de suelo.

W_s : Peso de la parte sólida de la muestra de suelo.

d. *Peso específico relativo del suelo (G)*. Se calcula según la siguiente

ecuación:

$$G = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \dots\dots (1.4)$$

Donde:

G : Peso específico o gravedad específica de sólidos del suelo.

γ_s : Peso específico de sólidos del suelo.

γ_w : Peso específico del agua.

Según Das (2015) el peso específico relativo de los sólidos de arena, que está compuesta principalmente de cuarzo, se puede estimar en alrededor de 2,65 para suelos arcillosos y limosos puede variar entre 2,60 hasta 2,90. Por su parte Juárez y Rico (2005) indican que de la mayoría de partículas de suelo alcanzan un peso específico relativo que varía entre 2,69 a 2,90 llegando a 3 en suelos con abundante hierro y en turba a 1,50. En el caso de la arcilla entre 2,80 a 2,90 precisando que en arcillas volcánicas este valor se encuentra entre 2,20 a 2,60 siendo normal que su valor supere al de los minerales de fracción gruesa.

2. **Contenido de humedad (w)**. Es la proporción de agua presente en un elemento de suelo en términos de su peso seco. Se calcula como:

$$\omega\% = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \dots(1.5)$$

Donde:

M_w : Masa de agua intersticial del suelo.

M_s : Masa de sólidos del suelo.

Su valor combinado con otras propiedades del suelo sirve para efectos de clasificación. Así mismo sirve para obtener valores óptimos de humedad en diversos diseños, representando junto con la cantidad de aire contenido en el

suelo, una de las características más importantes para explicar el comportamiento de suelos de textura fina, como por son cambios de volumen, cohesión, entre otros (Berry y Reid, 2000).

3. **Límites de Atterberg e Índice de Plasticidad (IP).** Juárez y Rico (2005) indican que la plasticidad no es una propiedad permanente en las arcillas, sino que depende de su contenido de agua, por lo que existen intervalos de éste en los que la arcilla se comporta plásticamente.

Los límites de consistencia o límites de Atterberg, permiten obtener los límites del rango de humedad dentro del cual el suelo se mantiene en estado plástico. Con ellos es posible clasificarlo. El contenido de humedad para el cual la consistencia cambia de un estado a otro varía de un suelo a otro dependiendo de la cantidad y del tipo de mineral de arcilla presente (Berry y Reid, 2000).

El mismo autor presenta la clasificación de las arcillas basado en los contenidos de humedad límites tal como se muestran en la Figura 2, los que se denominan *límites de Atterberg*.

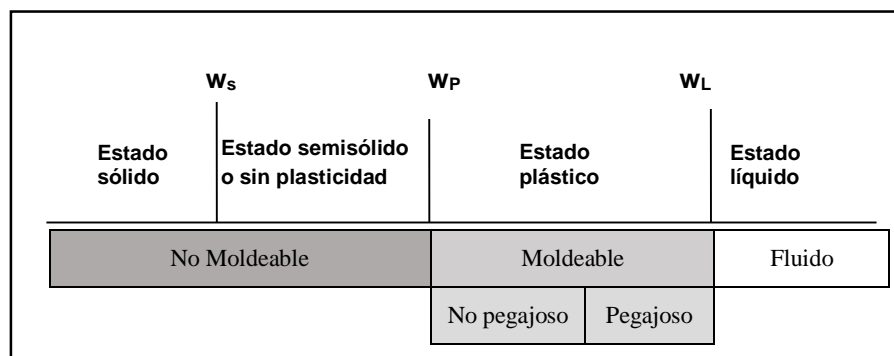


Figura 2. Estados de consistencia de un suelo arcilloso.

Fuente: Mecánica de suelos (Berry y Reid, 2000).

Donde:

- W_S : Límite de retracción o LS. Definido como el cambio del estado sólido al estado semisólido o no plástico.
- W_P : Límite plástico o LP. Se define como el cambio del estado no plástico al estado plástico.
- W_L : Límite líquido o LL. Se define como el cambio del estado plástico al estado líquido.

El rango de variación de contenidos de humedad en el que la arcilla presenta plasticidad se denomina índice de plasticidad, IP o PI y está dado por:

$$IP = LL - LP \dots\dots (1.6)$$

Por su parte Reverté (2001) en sus investigaciones sobre la industria ladrillera hace una distinción entre arcillas y limos a partir de los límites de Atterberg e indica que para estos fines la plasticidad es la capacidad de la arcilla para absorber y fijar agua en sus poros formando una masa que puede ser moldeada en la forma deseada la cual se mantiene al cesar la presión o liberarse el agua endureciéndose, fijando los siguientes rangos para tal distinción:

- Límite líquido LL (%):
 - Arcillas: 40 a 60.
 - Limos: 25 a 50.
- Límite plástico LP (%):
 - Arcillas y limos: 5 a 30.
- Índice plástico IP:
 - Baja plasticidad: 5 a 10.
 - Alta plasticidad: cercano a 20.

Sin embargo, se puede realizar una distinción más precisa de los tipos de suelo y una determinación del grado de plasticidad de las arcillas mediante los sistemas de clasificación tal como el SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) y otros. El primero se basa sólo en los límites de Atterberg de la fracción de suelo que pasa por el tamiz N° 40 y se obtiene con la carta de plasticidad correspondiente.

4. Tamaño de partícula. Independientemente de su origen, los tamaños de partículas que conforman el suelo pueden variar en un amplio intervalo. Los suelos son generalmente llamados grava, arena, limo o arcilla, dependiendo del tamaño predominante de las partículas dentro del suelo. Para describir los suelos por su tamaño de partícula, varias organizaciones han desarrollado límites de separación de tamaño de suelo (Das, 2015) tal como se muestra en la Tabla 1.

En la actualidad el Sistema Unificado es casi universalmente aceptado y ha sido adoptado por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.

Tabla 1

Límites de separación de tamaño de suelo.

Nombre de la organización	Tamaño de granos (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT)	>2	2 a 0,06	0,06 a 0,002	<0,002
Departamento de Agricultura de E.U. (USDA)	>2	2 a 0,05	0,05 a 0,002	<0,002
Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte (AASHTO)	76,2 a 2	2 a 0,075	0,075 a 0,002	<0,002
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de E.U., Oficina de Reclamación de E.U., Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)	76,2 a 4,75	4,75 a 0,075	Finos (p.ej., limos y arcillas) <0.075	

Fuente: Fundamentos de la Ingeniería Geotécnica (Das, 2015).

5. **Granulometría.** Para la determinación de las diferentes proporciones de gruesos y de acuerdo a la finalidad del estudio se emplean los métodos de tamizado, lavado en agua corriente o sedimentación en agua quieta.

El tamizado es el procedimiento más práctico y determina la proporción relativa en masa de los diferentes tamaños de granos, definidos por las aberturas de las mallas utilizadas y es aplicable a arenas y gravas mientras que un análisis por sedimentación debe ser utilizado para la fracción limosa. (Tabla 2)

Consiste en determinar los porcentajes de material que pasa a través de los tamices estándar con aberturas cada vez más pequeñas midiendo luego la masa retenida en cada uno de ellos; además son necesarios junto con los límites de plasticidad para poder clasificar las arcillas con el sistema de clasificación unificado SUCS.

Tabla 2

Rango de tamices utilizados en el análisis de tamaño de partículas según normas ASTM

Normas Británicas BS (según tamaño de abertura)	Normas ASTM	
	Designación	Tamaño de abertura
75,0 mm	3 pulgadas	75,0 mm
63,0 mm	2 pulgadas	50,0 mm
50,0 mm	1 1/2 pulgadas	37,5 mm
37,5 mm	1 pulgada	25,0 mm
28,0 mm	3/4 pulgada	19,0 mm
20,0 mm	3/8 pulgada	9,5 mm
14,0 mm	Nº 4	4,75 mm
10,0 mm	Nº 8	2,36 mm
6,3 mm	Nº 10	2,0 mm
5,0 mm	Nº 16	1,18 mm
3,35 mm	Nº 20	850 µm
2,0 mm	Nº 30	600 µm
1,18 mm	Nº 40	425 µm
600 µm	Nº 50	300 µm
425 µm	Nº 60	250 µm
300 µm	Nº 100	150 µm
212 µm	Nº 140	106 µm
150 µm	Nº 200	75 µm
63 µm		

Fuente: Mecánica de suelos (Berry y Reid, 2000).

6. Resistencia cortante. Es la resistencia interna que la masa de suelo ofrece a la falla y el deslizamiento a lo largo de cualquier plano en su interior. De tal manera que haga posible analizar: capacidad de carga de cimentaciones superficiales, estabilidad de taludes naturales o de origen humano, presión lateral de tierra para el diseño de estructuras de retención de tierras, capacidad de carga de pilotes y pozos perforados.

La resistencia al corte o cizallamiento es, en general, una función de la cohesión entre las partículas del suelo, la resistencia a la fricción entre las partículas sólidas, el contenido de humedad y la presión del agua intersticial en la masa del suelo (Das, 2015).

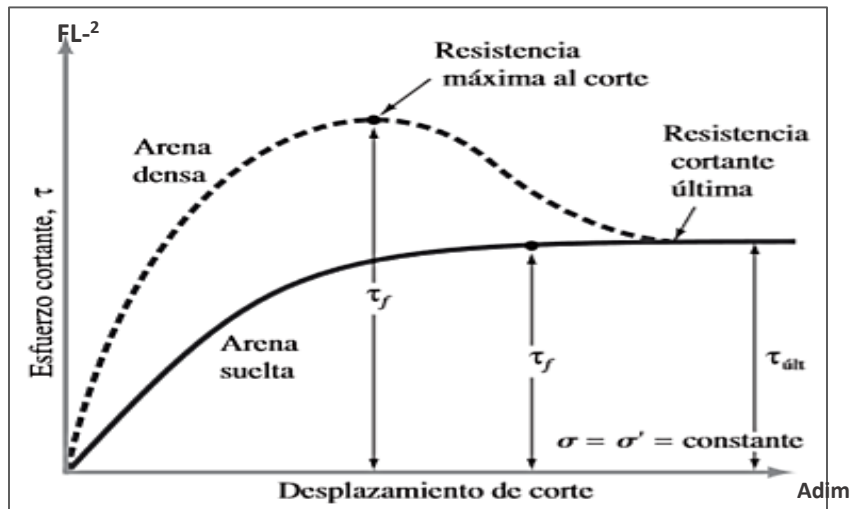


Figura 3. Variación del esfuerzo cortante frente al desplazamiento cortante. Fuente: Fundamentos de la ingeniería geotécnica (Das, 2015).

La relación entre estos parámetros se basa en el criterio de falla de Mohr-Coulomb para la ruptura en los materiales. Esta teoría sostiene que un material falla debido a una combinación crítica del esfuerzo normal y el esfuerzo cortante, y no de cualquier esfuerzo máximo normal o cortante solo; esta relación se cumple mediante la siguiente ecuación:

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \dots (1.7)$$

Donde:

c : esfuerzo de cohesión efectivo.

ϕ : ángulo de fricción efectivo.

τ_f : esfuerzo cortante efectivo o esfuerzo cortante en plano de falla.

σ : esfuerzo normal en plano de falla.

Esta relación se muestra en la siguiente figura:

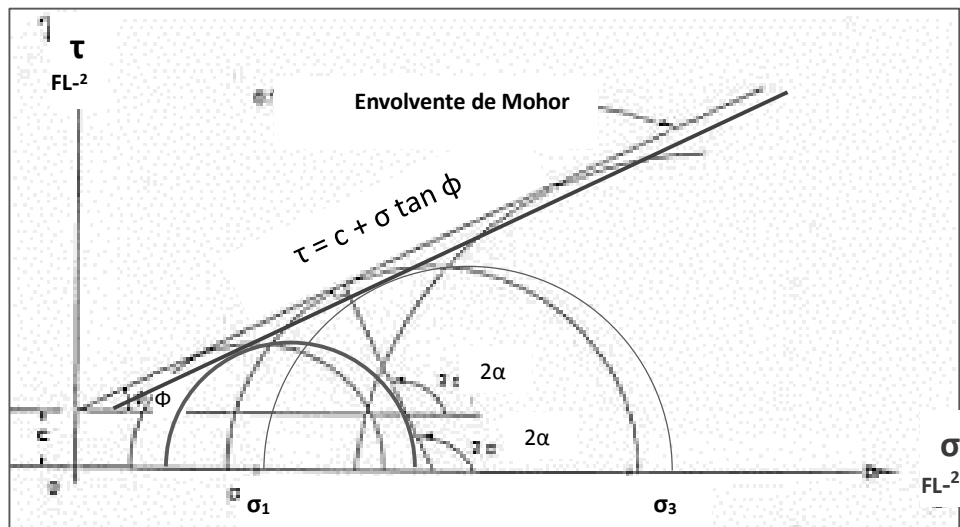


Figura 4. Envolvente de Mohor.

Fuente: Fundamentos de la ingeniería geotécnica (Das, 2015).

7. **Capacidad Portante.** Es la carga por unidad de área de fundación bajo la cual ocurre la falla por corte en el suelo. El exceso de presión que se genera en el suelo se disipa con lentitud, por ello es necesario analizar la presión máxima que soporta el suelo a fin de que no se produzcan fallas por asentamientos diferenciales, de allí que es un parámetro muy importante que estima la resistencia de apoyo del suelo para el diseño de fundaciones, siendo ésta no solo una propiedad del tipo de suelo, también lo es de las condiciones en que se encuentra su grado de compactación, contenido de humedad, etc. (Bozzo y Barbat, citado por Fernández, 2015).

Según Das (2015) Terzaghi fue el primer investigador que presentó una teoría global con el fin de evaluar la capacidad última de carga de cimentaciones superficiales o poco profundas como se conocen en esta teoría, para la que debe cumplirse que la profundidad de la cimentación D_f , es menor o igual que el ancho

de la cimentación. El mismo autor indica que a medida que se realizaron otras investigaciones las cimentaciones con profundidad D_f igual a 3 a 4 veces el ancho de la cimentación se pueden considerar como cimentaciones poco profundas.

Terzaghi sugirió que para una cimentación continua o de franja cuya razón de ancho a largo de la cimentación tiende a 0, la superficie de falla en el suelo bajo carga máxima puede dividirse en tres zonas tal como se muestra en la Figura 5.

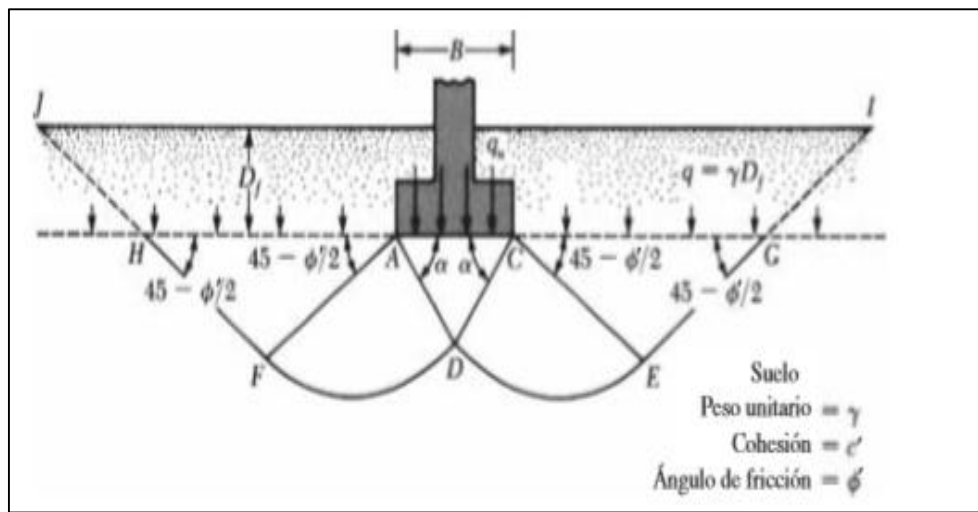


Figura 5. Falla en la capacidad de carga de un suelo con cimentación continua. Fuente: Fundamentos de la ingeniería geotécnica (Das, 2015).

- La zona triangular ACD inmediatamente debajo de la cimentación.
- Las zonas de corte radiales ADF y CDE, con las curvas DE y DF siendo arcos de una espiral logarítmica.
- Dos zonas pasivas Rankine triangulares AFH y CEG.

Los ángulos CAD y ACD son iguales al ángulo de fricción del suelo y la capacidad última de carga según Terzaghi se calcula como:

$$q_u = c'N_c + qN_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma \dots (1.8)$$

Donde:

c' : Cohesión del suelo.

γ : Peso unitario del suelo.

Q : γD_f

N_c, N_q, N_γ : Factores de capacidad de carga adimensionales en función del ángulo de fricción del suelo.

B : Ancho de cimentación, ancho o diámetro de zapata.

Según este autor, para zapatas cuadradas y circulares Terzaghi sugirió las siguientes ecuaciones respectivamente:

$$q_u = 1,3c'N_c + qN_q + 0,4 \gamma BN_\gamma \dots (1.9)$$

$$q_u = 1,3c'N_c + qN_q + 0,3 \gamma BN_\gamma \dots (1.10)$$

Por su parte Meyerhof introdujo a las ecuaciones anteriores factores de forma que determinan de manera más precisa la capacidad de carga y se presentan en la Tabla 3. Las ecuaciones se enuncian como:

$$q_u = c'N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + qN_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma BN_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i} \dots (1.11)$$

Donde:

$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$: Factores de forma.

$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$: Factores de profundidad.

$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$: Factores de inclinación.

Tabla 3

Factores de forma para cálculo de capacidad portante de suelo según Meyerhof.

Factores	Relación	Autor
Forma L>B; L: longitud de cimentación	$F_{cs} = 1 + \frac{B}{L} \frac{N_q}{N_c} \dots\dots\dots(1.12)$	De Beer
	$F_{qs} = 1 + \frac{B}{L} \tan \varphi' \dots\dots\dots(1.13)$	
	$F_{\gamma s} = 1 - 0,4 \frac{B}{L} \dots\dots\dots(1.14)$	
Profundidad	$F_{cd} = 1 + 0,4 \frac{D_f}{B} \dots\dots\dots(1.15)$	Hansen
	$F_{qd} = 1 \dots\dots\dots(1.16)$	
	$F_{\gamma d} = 1 \dots\dots\dots(1.17)$	
$D_f / B \leq 1$ y $\varphi=0$	$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1-F_{qd}}{N_c \tan \varphi} \dots\dots\dots(1.18)$	Hansen
	$F_{qd} = 1 + 2 \tan \varphi (1 + \sin \varphi)^2 \frac{D_f}{B} \dots\dots(1.19)$	
	$F_{\gamma d} = 1 \dots\dots\dots(1.20)$	
$D_f / B > 1$ y $\varphi=0$	$F_{cd} = 1 + 0,4 \tan^{-1} \frac{D_f}{B} \dots\dots\dots(1.21)$	Hansen
	$F_{qd} = 1 \dots\dots\dots(1.22)$	
	$F_{\gamma d} = 1 \dots\dots\dots(1.23)$	
$D_f / B > 1$ y $\varphi>0$	$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1-F_{qd}}{N_c \tan \varphi} \dots\dots\dots(1.24)$	Hansen
	$F_{qd} = 1 + 2 \tan \varphi (1 + \sin \varphi)^2 \tan^{-1} \frac{D_f}{B} \dots\dots(1.25)$	
	$F_{\gamma d} = 1 \dots\dots\dots(1.26)$	
Inclinación β : inclinación de la carga sobre la cimentación respecto a la vertical	$F_{ci} = 1 - \left(\frac{\beta}{90}\right)^2 \dots\dots\dots(1.27)$	Meyerhof y Hanna
	$F_{qi} = 1 - \left(\frac{\beta}{90}\right)^2 \dots\dots\dots(1.28)$	
	$F_{\gamma i} = 1 - \left(\frac{\beta}{\phi}\right)^2 \dots\dots\dots(1.29)$	

Fuente: Fundamentos de la ingeniería geotécnica (Das, 2015).

2.2.3 Norma Técnica E.050: Suelos y cimentaciones.

La Norma Técnica E.050 contenida en el título VI del Reglamento Nacional de Edificaciones (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2018b) establece los requisitos para la ejecución de Estudios de Mecánica de Suelos, con fines de cimentación de edificaciones y otras obras indicadas en esta Norma los cuales se ejecutarán con la finalidad de asegurar la estabilidad y permanencia de las obras y para promover la utilización racional de los recursos.

Para fines de la presente investigación citaremos las siguientes consideraciones contenidas en la mencionada norma:

- **Técnicas de investigación de campo y su aplicación**

Las técnicas de investigación de campo a las que se refiere la norma, aplicables en los Estudios de Mecánica de Suelos son las indicadas en la Tabla 4, cuyas limitaciones indicadas en la misma norma corresponden al empleo de los ensayos indicados (**). (***) Se aplicará lo indicado en la Norma UNE 103-801:1994 (peso del martillo, altura de caída, método de ensayo, etc.) con excepción de lo siguiente: Las Barras serán reemplazadas por las «AW», que son las usadas en el ensayo SPT, NTP 339.133 (ASTM D1586) y la punta cónica se reemplazará por un cono de 6,35 cm (2,5 pulgadas) de diámetro y 60° de ángulo en la punta. El número de golpes se registrará cada 0,15 m y se graficará cada 0,30 m. Cn es la suma de golpes por cada 0,30 m.

La norma E.050 señala que la investigación de campo se realizará respetando las cantidades, valores mínimos y limitaciones que se indican en esta Norma y adicionalmente, en todo aquello que no se contradiga, se aplicará la «Guía normalizada para caracterización de campo con fines de diseño de ingeniería y construcción» NTP 339.162 (ASTM D 420) y se realizarán in situ.

Tabla 4

Técnicas de investigación de campo aplicables al estudio de mecánica de suelos.

Técnica	Norma aplicable
Método de ensayo de penetración estándar SPT	NTP 339.133 (ASTM D 1586)
Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos SUCS)	NTP 339.134 (ASTM D 2487)
Densidad in-situ mediante el método del cono de arena **	NTP 339.143 (ASTM D1556)
Densidad in-situ mediante métodos nucleares (profundidad superficial)	NTP 339.144 (ASTM D2922)
Ensayo de penetración cuasiestática profunda de suelos con cono y cono de fricción	NTP 339.148 (ASTM D 3441)
Descripción e identificación de suelos (Procedimiento visual – manual)	NTP 339.150 (ASTM D 2488)
Método de ensayo normalizado para la capacidad portante del suelo por carga estática y para cimientos aislados	NTP 339.153 (ASTM D 1194)
Método normalizado para ensayo de corte por veleta de campo de suelos cohesivos	NTP 339.155 (ASTM D 2573)
Método de ensayo normalizado para la auscultación con penetrómetro dinámico ligero de punta cónica (DPL)	NTE 339.159 (DIN4094)
Norma práctica para la investigación y muestreo de suelos por perforaciones con barrena	NTP 339.161 (ASTM D 1452)
Guía normalizada para caracterización de campo con fines de diseño de ingeniería y construcción	NTP 339.162 (ASTM D 420)
Método de ensayo normalizado de corte por veleta en miniatura de laboratorio en suelos finos arcillosos saturados.	NTP 339.168 (ASTM D 4648)
Práctica normalizada para la perforación de núcleos de roca y muestreo de roca para investigación del sitio.	NTP 339.173 (ASTM D 2113)
Densidad in-situ mediante el método del reemplazo con agua en un pozo de exploración **	NTP 339.253 (ASTM D5030)
Densidad in-situ mediante el método del balón de jebe **	ASTM D2167
Cono Dinámico Superpesado (DPSH)	UNE 103-801:1994
Cono Dinámico Tipo Peck	UNE 103-801:1994***

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2018b).

La misma norma se encarga de definir el tipo de excavaciones y su utilización necesarias para la toma de muestras.

- **Pozos o calicatas y trincheras.** Son excavaciones de formas diversas que permiten una observación directa del terreno, así como la toma de muestras y la realización de ensayos in situ que no requieran confinamiento. Las calicatas y trincheras serán realizadas según la NTP 339.162 (ASTM D 420). El profesional responsable deberá tomar las precauciones necesarias a fin de evitar accidentes.

- **Perforaciones manuales y mecánicas.** Son sondeos que permiten reconocer la naturaleza y localización de las diferentes capas del terreno, así como extraer muestras del mismo y realizar ensayos in situ. La profundidad recomendable es hasta 10 metros en perforación manual, sin limitación en perforación mecánica. Las perforaciones manuales o mecánicas tendrán las siguientes limitaciones:
 - *Perforaciones mediante espiral mecánico.* Los espirales mecánicos que no dispongan de un dispositivo para introducir herramientas de muestreo en el eje, no deben usarse en terrenos donde sea necesario conocer con precisión la cota de los estratos, o donde el espesor de los mismos sea menor de 0,30 m.

 - *Perforaciones por lavado con agua.* Se recomiendan para diámetros menores a 0,100 m. Las muestras procedentes del agua del lavado no deberán emplearse para ningún ensayo de laboratorio.

- **Método de ensayo de penetración estándar (SPT).** NTP 339.133 (ASTM D 1586) Son aplicables, según se indica en la Tabla 4. No se recomienda ejecutar ensayos SPT en el fondo de calicatas, debido a la pérdida de confinamiento.

- **Ensayo de penetración cuasi-estática profunda de suelos con cono y cono de fricción (CPT).** *NTP 339.148 (ASTM D 3441)* Este método se conoce también como el cono holandés. Véase aplicación en la Tabla 4.
- **Cono dinámico superpesado (DPSH).** *UNE 103-801:1994.* Se utiliza para auscultaciones dinámicas que requieren investigación adicional de suelos para su interpretación y no sustituyen al Ensayo de Penetración Estándar. No se recomienda ejecutar ensayos DPSH en el fondo de calicatas, debido a la pérdida de confinamiento. Para determinar las condiciones de cimentación sobre la base de auscultaciones dinámicas, debe conocerse previamente la estratigrafía del terreno obtenida mediante la ejecución de calicatas, trincheras o perforaciones. Véase aplicación en la Tabla 4.
- **Cono dinámico tipo Peck** *UNE 103-801:1994.* Se utiliza para auscultaciones dinámicas que requieren investigación adicional de suelos para su interpretación y no sustituyen al Ensayo de Penetración Estándar. No se recomienda ejecutar ensayos Tipo Peck en el fondo de calicatas, debido a la pérdida de confinamiento. Para determinar las condiciones de cimentación sobre la base de auscultaciones dinámicas, debe conocerse previamente la estratigrafía del terreno obtenida mediante la ejecución de calicatas, trincheras o perforaciones. Véase aplicación en la Tabla 4.
- **Método de ensayo normalizado para la auscultación con penetrómetro dinámico ligero de punta cónica (DPL)** *NTP339.159.* Las auscultaciones dinámicas son ensayos que requieren investigación adicional de suelos para su interpretación y no sustituyen al Ensayo de Penetración Estándar. No se recomienda ejecutarse ensayos DPL en el fondo de calicatas, debido a la pérdida

de confinamiento. Para determinar las condiciones de cimentación sobre la base de auscultaciones dinámicas, debe conocerse previamente la estratigrafía del terreno obtenida mediante la ejecución de calicatas, trincheras o perforaciones. Su aplicación se indica en la Tabla 4.

- **Método normalizado para ensayo de corte con veleta de campo en suelos cohesivos** *NTP 339.155 (ASTM D 2573)*. Este ensayo es aplicable únicamente cuando se trata de suelos cohesivos saturados desprovistos de arena o grava, como complemento de la información obtenida mediante calicatas o perforaciones. Véase la Tabla 4.

- **Método de ensayo normalizado para la capacidad portante del suelo por carga estática y para cimientos aislados** *NTP 339.153 (ASTM D 1194)*. Las pruebas de carga deben ser precedidas por un ensayo de mecánica de suelos y se recomienda su uso únicamente cuando el suelo a ensayar es tridimensionalmente homogéneo, comprende la profundidad activa de la cimentación y es semejante al ubicado bajo el plato de carga.

- **Cimentación sobre rellenos.** Los rellenos son depósitos artificiales que se diferencian por su naturaleza y por las condiciones bajo las que son colocados. Por su naturaleza pueden ser:
 - *Materiales seleccionados:* todo tipo de suelo compactable, con partículas no mayores de 7,5 (3”), con 30% o menos de material retenido en la malla ¾” y sin elementos distintos de los suelos naturales.

- *Materiales no seleccionados*: todo aquél que no cumpla con la condición anterior.

Por las condiciones bajo las que son colocados pueden ser controlados y no controlados.

- *Rellenos controlados o de ingeniería*: Los rellenos controlados, son aquellos que se construyen con material seleccionado, tendrán las mismas condiciones de apoyo que las cimentaciones superficiales. Los métodos empleados en su conformación, compactación y control, dependen principalmente de las propiedades físicas del material.

El material seleccionado con el que se debe construir el relleno controlado deberá ser compactado de la siguiente manera:

Si tiene más de 12% de finos, deberá compactarse a una densidad mayor o igual del 90% de la máxima densidad seca del método de ensayo Proctor Modificado, NTP 339.141 (ASTM D 1557), en todo su espesor. Si tiene igual o menos de 12% de finos, deberá compactarse a una densidad no menor del 95% de la máxima densidad seca del método de ensayo Proctor Modificado, NTP 339.141 (ASTM D 1557), en todo su espesor. En todos los casos deberán realizarse controles de compactación en todas las capas compactadas, a razón necesariamente, de un control por cada 250 m² con un mínimo de tres controles por capa. En áreas pequeñas (igual o menores a 25 m²) se aceptará un ensayo como mínimo. En

cualquier caso, el espesor máximo a controlar será de 0,30 m de espesor.

Cuando se requiera verificar la compactación de un relleno controlado ya construido, este trabajo deberá realizarse mediante cualquiera de los siguientes métodos:

Un ensayo de Penetración Estándar, NTP 339.133 (ASTM D 1586) por cada metro de espesor de relleno controlado. El resultado de este ensayo debe ser mayor a $N_{60}=25$, golpes por cada 0,30m de penetración.

Un ensayo con Cono de Arena, NTP 339.143 (ASTM D1556) o por medio de métodos nucleares, NTP 339.144 (ASTM D2922), por cada 0,50 m de espesor. Los resultados deberán ser: mayores a 90% de la máxima densidad seca del ensayo Proctor Modificado, si tiene más de 12% de finos; o mayores al 95% de la máxima densidad seca del ensayo Proctor Modificado si tiene igual o menos de 12% de finos.

- *Rellenos no Controlados.* Aquellos que no cumplen con la sección anterior. Las cimentaciones superficiales no se podrán construir sobre estos rellenos no controlados, los cuales deberán ser reemplazados en su totalidad por materiales seleccionados debidamente compactados, como se indica anteriormente, antes de iniciar la construcción de la cimentación.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

- Plano topográfico a curvas de nivel cada 5m de la zona de estudio a escala 1:5000.
- Mapas hidrográficos y geológicos de la zona.
- Brújula de Brunton.
- GPS Map 76CSx .
- Winchas de 5m y 20 m.
- Lupa de 14 y 20 aumentos.
- Cartilla de colores de suelos y rocas.
- Ácido clorhídrico.
- Cámara digital.
- Palana y picota.
- Bolsas plásticas de dos colores.
- Parafina, franela, rafia.
- Caja de madera.
- Libreta de campo.
- Ficha de registro de datos.
- Fotografías satelitales.
- Fotografías digitales.
- Ficha de registro de laboratorio.
- Computador.
- Materiales de escritorio.
- Programas computacionales (Microsoft Office, SIG, Auto Cad, MTAB).

3.2 Metodología de la investigación

3.2.1 Descripción general de la zona en estudio

a. Ubicación y población

El Centro Poblado Santa Bárbara está ubicado en el distrito de Baños del Inca, en la provincia y región de Cajamarca. Geográficamente se halla entre las coordenadas: (9210000N, 773750E); (9210000N, 779375E); (9217500N, 773750E); (9217500N, 779375E) y a una altitud que varía entre los 2700 a 2800 msnm (Figura 6).

Constituye uno de los seis Centros Poblados Menores en los que se hallan agrupados los 62 caseríos del distrito de Baños del Inca, contando con una población de 2755 habitantes (INEI, 2015).

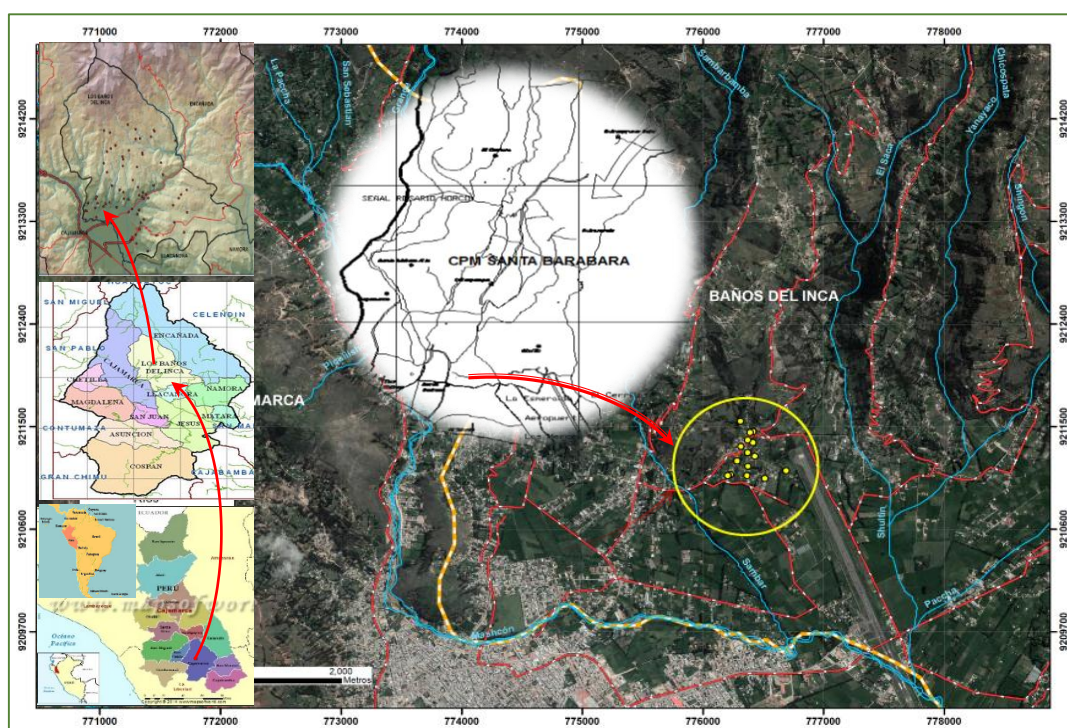


Figura 6. Mapa de localización de la zona de estudio.

b. Vías de comunicación

La principal vía de acceso a la zona en estudio lo constituye la carretera Cajamarca-San Luis, consistente en una carretera afirmada en regular estado de conservación. Existen otras dos vías de acceso, una que llega del aeropuerto Armando Revoredo Iglesias y otra del caserío Moyococha. Al interior de la zona, existen trochas carrozables y caminos de herradura.

c. Climatología

Según el sistema de Clasificación de Koppen, corresponde al tipo de clima Cw: Templado Moderado Lluvioso. Caracterizándose porque la temperatura media del mes más frío es menor de 18 °C y superior a -3 °C y la del mes más cálido es superior a 10 °C. Las precipitaciones exceden a la evaporación y se dan los bosques meso térmicos. El invierno es seco, disminuyendo considerablemente la precipitación; la relación entre el mes más lluvioso y el mes más seco es de 10:1 (Sánchez y Vásquez, 2010).

d. Geología

Según Cruzado y Crisólogo (2009) en el distrito de Baños del Inca, se presentan las siguientes formaciones geológicas:

- Depósitos del Cretáceo.

- Formación Farrat. Esta formación aflora consiste de areniscas blancas de grano medio a grueso, tiene un grosor promedio de 500 m. (Figura 7).



Figura 7. Formación Farrat localizada en CP Santa Bárbara.

- *Formación Inca.* Consta de la intercalación de areniscas calcáreas, lutitas ferruginosas dando en superficie un matiz amarillento. En los alrededores de Cajamarca es de coloración rojiza. Su grosor aproximado es de 100 m. (Figura 8).



Figura 8. Formación Inca localizada en CP Santa Bárbara.

- **Formación Paleógeno – Neógeno.**

- *Formación Volcánico Huambos.* La topografía del volcánico Huambos es bastante característica, generalmente forma llanuras delimitadas por farallones o escarpas donde se aprecia la estratificación, sobre estas superficies se ha desarrollado un sistema dendrítico de drenaje. Está compuesto por tobas y brechas de composición ácida. La litología común muestra fragmentos de cuarzo hasta de 3 mm. de diámetro y cristales de biotita en una matriz feldespática. Los piroclásticos del volcánico Huambos están bien estratificados en capas medianas a gruesas, parcialmente compactadas con escasos niveles de toba soldada o ignimbrita, alcanzando un grosor promedio de 50 a 100 m.

- **Depósitos Cuaternarios Recientes.**

- *Depósitos Fluviales y Aluviales.* Se han considerado los materiales con poco transporte y en los fluviales se consideran las diferentes terrazas dejadas por los ríos. Son depósitos que se acumulan en áreas favorables en los flancos de los valles y quebradas tributarias, están conformados por conglomerados polimícticos de tamaño heterogéneo englobados en una matriz limo arcillosa (Figura 9).



Figura 9. Depósitos Cuaternarios localizados en CP Santa Bárbara.

e. Principales actividades económicas

Una de las actividades económicas más importantes en el distrito es la agricultura y ganadería. La industria manufacturera dentro de la cual está considerada la fabricación de ladrillo también se muestra como una actividad significativa junto con la explotación de canteras de minerales de arcilla, cal y agregados para la construcción.

Según el ITINCI (2003) se pueden considerar cuatro zonas ladrilleras en el distrito de Baños del Inca: Cerrillo, Huacataz, Otuzco y Santa Bárbara, cuyas actividades económicas son:

- *Zona ladrillera de Cerrillo.* Esta zona ladrillera está constituida por los caseríos de Cerrillo, Quinuapata y San José de las Madres. En esta zona además de la producción ladrillera destacan las actividades de ganadería y agricultura.
- *Zona ladrillera de Huacataz.* Esta zona incluye cinco caseríos: Carhuaquero, Hornuyoc, Chicospata, Lluscapampa Los Perolitos y

Quirayquero Alto. Tiene como actividades complementarias o secundarias a la agricultura donde se cultivan productos propios de la zona puna (olluco, oca, mashua, etc.)

- *Zona ladrillera de Otuzco.* Los caseríos que conforman esta zona son: Plan Miraflores, Bajo Otuzco, Alto Miraflores, Cristo Rey, Rumi Pampa Alto y Manzanamayo. Además, se dedican a la ganadería y agricultura, y al turismo.
- *Zona ladrillera de Santa Bárbara.* Esta zona en que además se produce tejas de arcilla, cuenta con cinco caseríos productores de ladrillo. Estos son: Colcapampa, Quirayquero Bajo, Shultín, Santa Bárbara y Santa Bárbara Alta. Además de la actividad ladrillera tiene como actividades principales la ganadería, agricultura de auto consumo y el turismo. Esta zona es una de las primeras dedicadas a la actividad ladrillera donde la actividad extractiva de arcillas es intensa, razón por la cual se tomó zona de estudio.

f. Distribución de las ladrilleras en la zona

Según ITINCI (2003) las ladrilleras en el distrito de Baños del Inca son en número de 187 ubicadas en cuatro Centros Poblados: El Cerrillo cuenta con 31 ladrilleras, Huacataz con 44 ladrilleras, Otuzco con 69 ladrilleras y Santa Bárbara con 43 ladrilleras. Esta distribución se muestra en la siguiente figura:

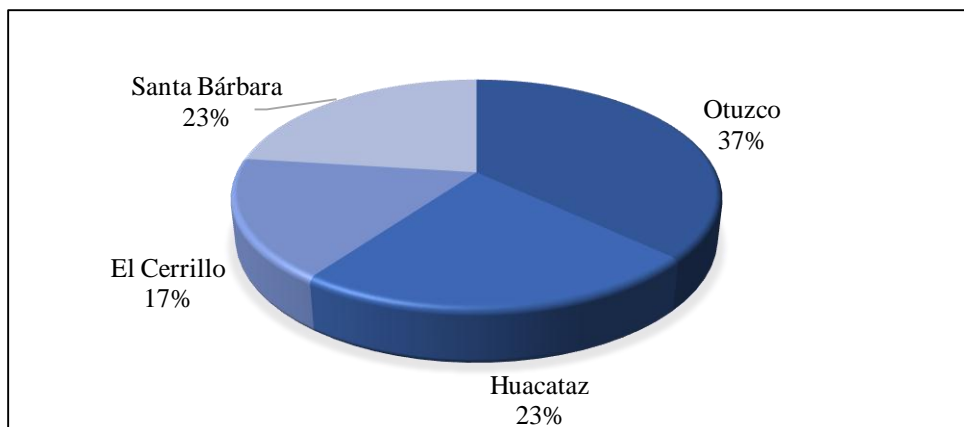


Figura 10. Distribución de ladrilleras en el distrito de Baños del Inca. Cajamarca. Fuente: Diagnóstico situacional de las ladrilleras en el distrito de Baños del Inca. Centros poblados de: Cerrillo, Huacataz, Otuzco y Santa Bárbara. Cajamarca. ITINCI – Cajamarca (2003).

g. Clasificación de ladrilleras en CP Santa Bárbara.

Teniendo en cuenta el volumen de producción, el número de hornos y número de trabajadores, ITINCI (2003) hace la siguiente clasificación:

- Micro ladrilleras. Presentan las siguientes características:
 - Capacidad máxima de producción: 15 millares / mes.
 - Número de hornos: 01
 - Capacidad máxima de quemado: 15 millares.
 - Número máximo de trabajadores: 07.

- Pequeñas ladrilleras. Sus características son:
 - Capacidad máxima de producción: 25 millares / mes.
 - Número de hornos: 01 ó 02
 - Capacidad máxima de quemado: 25 millares.
 - Número máximo de trabajadores: 10

- Medianas ladrilleras. Se caracterizan por:
 - Capacidad máxima de producción: 80 a 100 millares/mes.
 - Número de hornos: 02 ó 03
 - Capacidad máxima de quemado: 80 a 100 millares.
 - Número de trabajadores: 20 a más.

En la zona de Santa Bárbara, la mayor parte de fábricas corresponden a micro y pequeñas ladrilleras, cuyos volúmenes de producción no exceden a 25 millares/mes. ITINCI (2003) tal distribución se observa en la Tabla 5.

Tabla 5

Porcentaje de ladrilleras según clasificación en el distrito de Baños del Inca.

Centro Poblado	Clasificación de Ladrilleras			Total
	Micro	Pequeña	Mediana	
Cerrillo	16	11	04	31
Huacataz	23	18	03	44
Otuzco	28	31	10	69
Santa Bárbara	18	23	02	43
Total	85	83	19	187

Fuente: Diagnóstico situacional de las ladrilleras en el distrito de Baños del Inca.

Centros poblados: Cerrillo, Huacataz, Otuzco y Santa Bárbara. Cajamarca.

ITINCI – Cajamarca (2003).

h. Antigüedad de la actividad ladrillera

Según ITINCI (2003) las ladrilleras inician sus actividades productivas en el año 1980 con tendencia a incrementarse en los años siguientes, a excepción del CP Huacataz que incrementa significativamente el número de ladrilleras entre los años 1991. (Tabla 6)

Tabla 6

Porcentaje de ladrilleras según antigüedad en el distrito de Baños del Inca.

Centro Poblado	Año de inicio de actividades					Total (%)
	Antes de 1980	1981 a 1985	1986 a 1990	1991 a 2000	2001 a 2003	
Cerrillo	31	25	21	18	05	100
Huacataz	09	15	22	43	11	100
Otuzco	28	25	22	18	07	100
Santa Bárbara	36	27	18	11	08	100

Fuente: Diagnóstico situacional de las ladrilleras en el distrito de Baños del Inca.

Centros poblados: Cerrillo, Huacataz, Otuzco y Santa Bárbara. Cajamarca.

ITINCI – Cajamarca (2003).

3.2.3 Técnicas e instrumentos de investigación

a. Recolección de datos

- Se inició con la recopilación de información inherente al tema, revisión de normas y técnicas analíticas para determinar características físicas y mecánicas de los suelos, con el fin de establecer criterios de selección de las canteras favorables para hacer la toma de muestras, así como los ensayos a realizarse.
- En el plano de ubicación de labores del sector ladrillero de los centros poblados de Baños del Inca, Cajamarca, se zonificó el Centro Poblado Santa Bárbara de acuerdo a la concentración de ladrilleras y a las características comunes de suelo, diferenciándose tres zonas, de las que se seleccionó la zona I por tener mayor concentración de actividad extractiva, así como mayor accesibilidad para construcción de viviendas. La zona I, la muestra estuvo constituida por 15 ladrilleras (Figura 11).

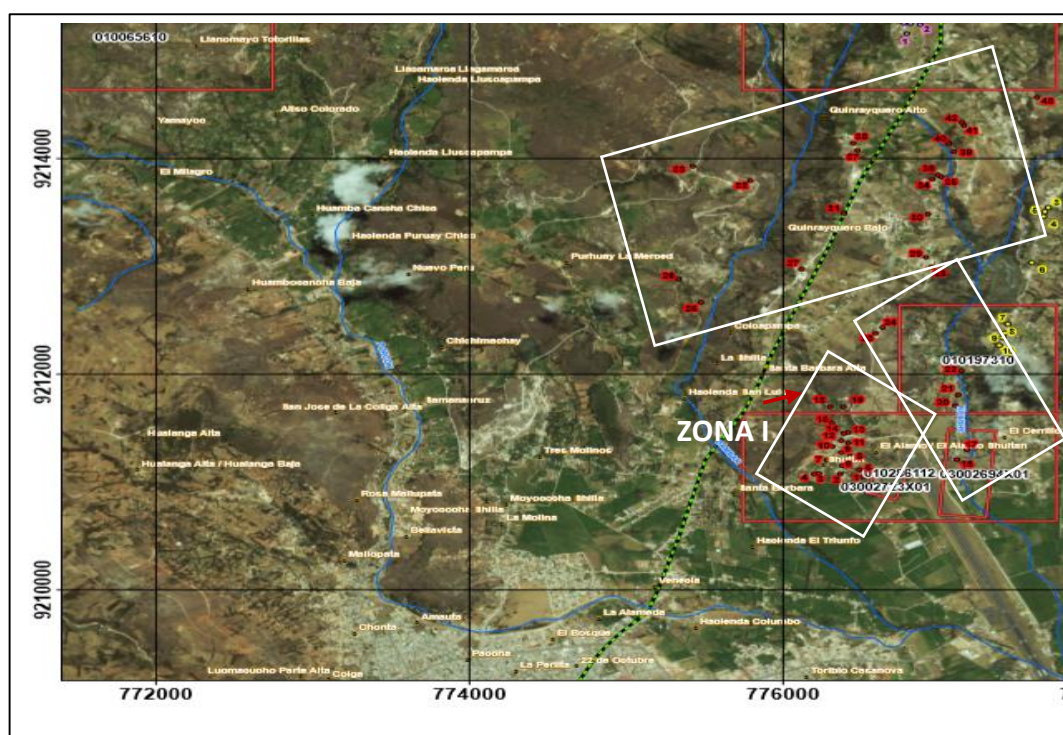


Figura 11. Zonificación y ubicación de canteras de arcilla en uso. Santa Bárbara. Baños del Inca. Cajamarca.

- En el trabajo de campo se procedió al reconocimiento y ubicación de las ladrilleras y sus respectivas canteras de arcilla en las que se excavaron 8 calicatas en suelo no intervenido y 18 en suelo intervenido hasta una profundidad de 3m.
- En cada calicata se realizó la descripción geológica de los estratos de suelo encontrados cuyos registros se presentan en el Apéndice 2.
- La ubicación de las calicatas de donde se extrajeron las muestras de suelo se presentan en la Tabla 7 y 8 y se observan en las figuras 12, 29 y 30.

Tabla 7

Ubicación de calicatas de suelo no intervenido por la actividad extractiva de arcilla CP Santa Bárbara. Cajamarca.

Calicata	Profundidad (m)	Coordenadas UTM		Altitud msnm
		Norte	Este	
1	3,00	9211045	776511	2706
2	3,00	9211071	776364	2708
3	3,00	9211072	776200	2711
4	3,00	9211152	776378	2712
5	3,00	9211201	776281	2710
6	3,00	9211325	776314	2712
7	3,00	9211361	776418	2709
8	3,00	9211449	776389	2708

Tabla 8

Ubicación de calicatas de suelo intervenido por la actividad extractiva de arcilla CP Santa Bárbara. Cajamarca.

Calicata	Profundidad (m)	Coordenadas UTM		Altitud msnm
		Norte	Este	
1i	3,00	9211045	776520	2706
2i	3,00	9211071	776373	2707
3i	3,00	9211079	776228	2709
4i	3,00	9211072	776209	2711
5i	3,00	9211072	776219	2711
6i	3,00	9211114	776489	2715
7i	3,00	9211152	776387	2717
8i	3,00	9211152	776397	2717
9i	3,00	9211201	776290	2716
10i	3,00	9211239	776429	2713
11i	3,00	9211273	776372	2715
12i	3,00	9211325	776323	2716
13i	3,00	9211325	776333	2716
14i	3,00	9211361	776427	2715
15i	3,00	9211383	776372	2714
16i	3,00	9211457	776426	2717
17i	3,00	9211449	776389	2719
18i	3,00	9211547	776312	2723

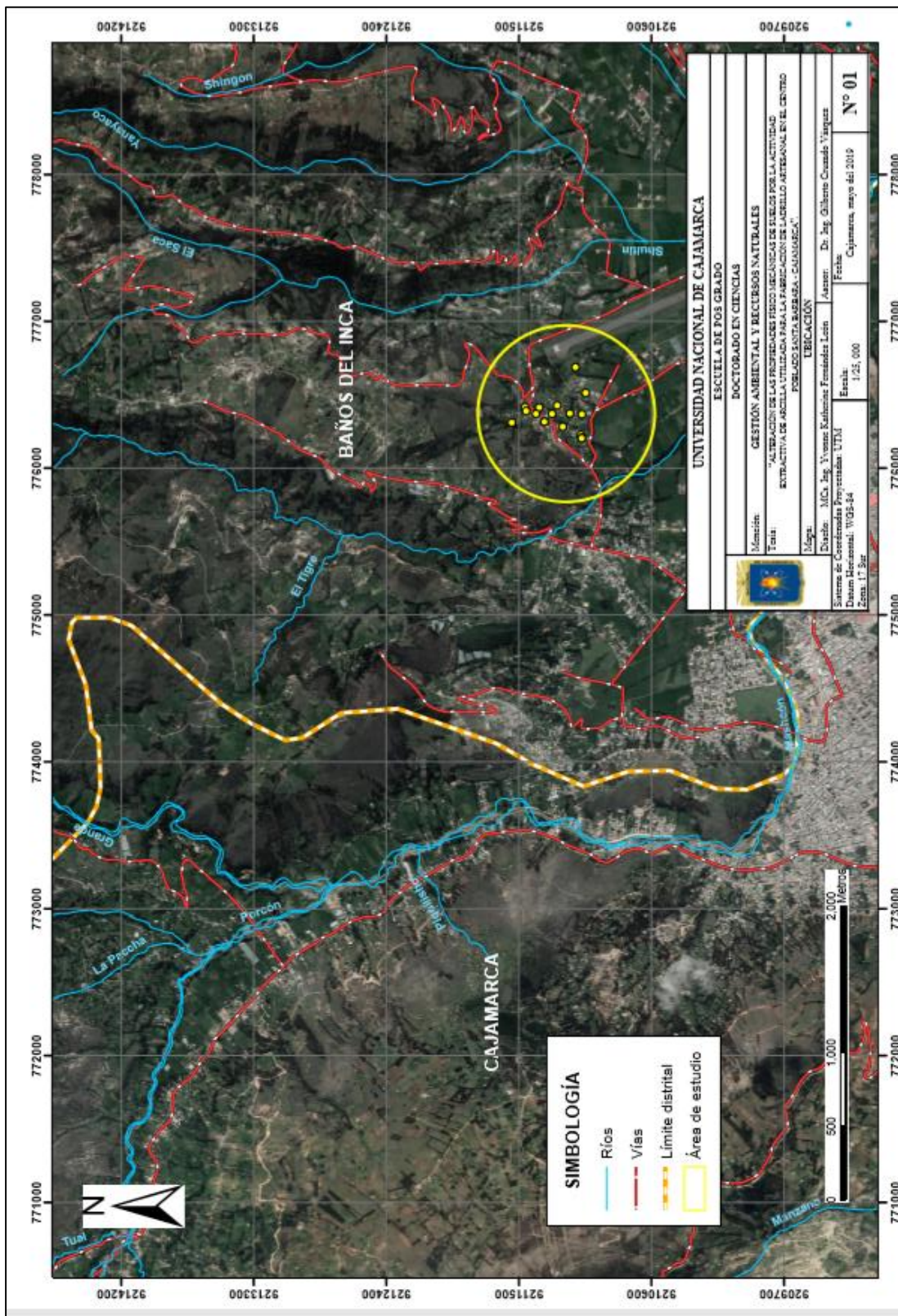


Figura 12. Mapa de ubicación de canteras de arcilla estudiadas. Santa Bárbara. Cajamarca.

- El número de muestras que se extrajeron corresponde a 32 muestras de suelo no intervenido y 36 muestras a suelo intervenido, destinadas para los diferentes ensayos como se especifica en la Tabla 9 y Tabla 10.

Tabla 9

Denominación de canteras y calicatas. Codificación de muestras de suelo.

Cantera	Suelo no intervenido				Suelo intervenido			
	Calicata	Estrato	Muestra		Calicata	Estrato	Muestra	
			(a)*	(b)**			(a)*	(b)**
1	1	2	M1		1i	1	MI1	MI2
		3	M2	M4				
		4	M3					
2	2	2	M5		2i	1	MI3	MI4
		3	M6	M8				
		4	M7					
3	-----	-----	-----		3i	1	MI5	MI6
4	3	2	M9		4i	1	MI7	MI8
		3	M10	M12				
		4	M11					
5	-----	-----	-----		6i	1	MI11	MI12
6	4	2	M13		7i	1	MI13	MI14
		3	M14	M16				
		4	M15					
7	5	2	M17		9i	1	MI17	MI18
		3	M18	M20				
		4	M19					
8	-----	-----	-----		10i	1	MI19	MI20
9	-----	-----	-----		11i	1	MI21	MI22
10	6	2	M21		12i	1	MI23	MI24
		3	M22	M24				
		4	M23					
11	7	2	M25		14i	1	MI27	MI28
		3	M26	M28				
		4	M27					
12	-----	-----	-----		15i	1	MI29	MI30
13	-----	-----	-----		16i	1	MI31	MI32
14	8	2	M29		17i	1	MI33	MI34
		3	M30	M32				
		4	M31					
15	-----	-----	-----		18i	1	MI35	MI36

(a) Muestra para ensayos generales.

(b) Muestra para ensayos especiales.

Tabla 10

Número de muestras de suelo para ensayos generales y ensayos especiales.

Tipo de suelo	N° de calicatas	N° de muestras		Denominación de muestra		
		Ensayos generales	Ensayos especiales	Ensayos generales	Ensayos especiales	
No intervenido	08	24	08	M1, M2, M3, M5, M6, M7, M9, M10, M11...M32	M4, M8, M12, M16, M20, M24, M28, M32	
Intervenido	18	18	18	MI1, MI3, MI5, MI7, MI9, MI11, MI13 ...MI35	MI2, MI4, MI6, MI8, MI10, MI12, MI14, ... MI36	

- Cada muestra fue envasada y etiquetada convenientemente, para ser llevada al laboratorio de suelos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca donde se realizaron los ensayos respectivos.
- Los ensayos generales se realizaron como se describe a continuación. El registro típico de los datos obtenidos en laboratorio consta en el Apéndice 3 y los resultados se presentan en las tablas 14, 15,16, 17, 18, 19, 20, 21 y 22.

Análisis granulométrico por lavado NTP 339.128 (ASTM D422)

- Se determinó las proporciones relativas de los diferentes tamaños de granos presentes en la muestra de suelo.
- Se secó la muestra y se pesó (Ws).
- A la muestra seca se la cubrió con agua dentro de un recipiente dejándola reposar por algunas horas.
- Se tamizó la muestra por el tamiz N° 200 mediante un chorro de agua, dejándose secar la porción retenida en el tamiz N° 200 dentro de la estufa a 50°C.

- Se pasó la muestra seca por el juego de tamices agitando en forma manual.
- Con el peso total de la muestra, se determinó el porcentaje retenido $\%RP$, los porcentajes retenidos acumulados $\%RA$ y los porcentajes acumulados que pasan por cada tamiz $\%AP$.

$$\%RP = \frac{\text{Peso retenido}}{W_s} \times 100 \dots\dots (1.30)$$

$$\%AP = 100 - \%RA \dots\dots\dots (1.31)$$

- Con los porcentajes acumulados que pasan y las aberturas de las mallas de los tamices, se graficó las curvas granulométricas en escala semilogarítmica.

Contenido de humedad NTP 339.127 (ASTM D2216)

- Primero se determinó el peso de la tara (W_t).
- Se pesó la muestra húmeda en tara ($W_h + t$).
- Dicha muestra se secó en la estufa durante 24 horas a temperatura 105°C luego se determinó su peso (W_s+t).
- Se calculó el peso del agua, el peso de la muestra seca y finalmente el contenido de humedad $W\%$.

$$W\% = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \dots\dots\dots(1.32)$$

Peso específico de sólidos NTP 339.131 (ASTM D854)

- Se midió el peso de la muestra seca (W_s) y el peso de la fiola vacía (W_f).

- La fiola fue llenada con 500ml de agua y se determinó su peso (W_{fw}).
- En la fiola vacía, se colocó la muestra seca ya pesada vertiendo agua hasta cubrir la muestra, se agitó y se conectó a la bomba de vacíos durante 15 minutos.
- Se agregó agua hasta la marca de 500ml y se pesó (W_{fws}).
- Finalmente se determinó el peso específico de sólidos con la siguiente fórmula:

$$\gamma_s = \frac{W_s}{W_s + W_{fw} - W_{fws}} \times \rho \dots\dots\dots(1.33)$$

donde ρ : densidad del agua a temperatura del ensayo

Límites de Atterberg NTP 339.129 (ASTM D4318)

Límite Líquido

- En la cápsula de porcelana se mezcló el suelo con agua, moviendo permanentemente hasta obtener una pasta uniforme.
- Se colocó la pasta en la copa de Casagrande nivelando la mezcla con un espesor de 1 cm.
- Dentro de la copa se dividió la muestra en dos partes con un ranurador luego se dejó caer la copa a razón de dos golpes por segundo hasta poner en contacto las dos mitades de suelo de la parte inferior a lo largo de 1,27 cm. Se registró el número de golpes.
- Se retiró el suelo de la parte inferior de la copa de Casagrande, se lo llevó a una estufa dentro de una tara.

- El suelo sobrante en la copa fue retirado de ésta, se lo colocó en la cápsula de porcelana y se agregó agua o suelo según el caso. Con esta mezcla se repitió el ensayo dos veces más.
- Se graficó la curva de fluidez con el contenido de humedad y el número de golpes determinándose en ella el contenido de humedad para 25 golpes, valor que determinó el límite líquido de la muestra ensayada.

Límite Plástico

- Se agregó suelo seco a la muestra preparada para calcular el límite líquido para bajar su contenido de humedad.
- Enrollando la muestra con la mano, se moldeó un cilindro de 3 mm de diámetro hasta que presente grietas, determinando su contenido de humedad.
- Se repitió por segunda vez el procedimiento, determinándose el valor del límite plástico con el promedio de ambos valores.
- Los ensayos especiales fueron realizados según el siguiente procedimiento:

Corte Directo NTP 339.171 (ASTM D3080)

- De la muestra inalterada de suelo, se obtuvo tres muestras de suelo que fueron sometidas a cargas de 1 Kg-f; 2 Kg-f y 4 Kg-f.
- Después de medir el peso de cada muestra, se las colocó en la caja rectangular del equipo de ensayo.

- Se calibraron los diales de deformación, y se procedió a aplicar la carga vertical de 1 Kg-f y la carga horizontal.
- Se registraron las deformaciones horizontales de la muestra en cada carga horizontal aplicada, hasta que se produjo su falla.
- Se repitió el ensayo en las otras dos muestras con carga vertical de 2 Kg-f y 4 Kg-f.
- Se determinó el peso de la muestra seca y se calculó su contenido de humedad natural y su peso específico aparente
- Mediante la teoría de Mohr-Coulomb, se determinó el ángulo de fricción interna (ϕ) y el coeficiente de cohesión (c) de cada muestra con los cuales se calculó la capacidad portante y el esfuerzo admisible del suelo a través de la ecuación de Meyerhof.
- El trabajo de gabinete consistió en la elaboración de los registros de excavación de calicatas, cálculo de parámetros y valores, gráficos de contenido de humedad vs número de golpes, curvas granulométricas, curvas esfuerzo cortante vs deformación, curvas de esfuerzo tangencial vs esfuerzo normal, así como la clasificación de suelos mediante el sistema SUCS. Luego se analizaron los resultados, se elaboró el plano de ubicación de zonas degradadas, así como el plano geológico y el geomorfológico. Se concluyó con la elaboración del informe.

b. Tratamiento de datos

- Se realizó el análisis e interpretación de los resultados de los ensayos físico-mecánicos de los suelos provenientes de cada calicata, a los cuales se los sometió a tratamiento estadístico para determinar valores representativos y compararlos.
- Se aplicó la prueba T-Student a los datos para establecer el nivel de significancia de las diferencias entre propiedades físico mecánicas de suelos intervenidos y suelos no intervenidos por la actividad extractiva de arcilla según estrato, así como de clase de suelo para contrastar la hipótesis.
- Se determinó el índice de alteración en las propiedades evaluadas en cada una de las muestras de suelo intervenido con respecto a cada uno de los estratos de suelo no intervenido y su grado de alteración siguiendo la siguiente ecuación:

$$IAM(i) = \frac{X_i - X_j}{X_j} \dots\dots\dots(1.34)$$

Donde:

$IAM(i)$: Índice de alteración de la muestra *i-esima* de suelo intervenido en una propiedad de suelo evaluada, siendo $i = 1, 2, 3...18$.

X_i : Valor que alcanza la propiedad *X* en las muestras de suelo intervenido, para $i = 1, 2, 3...18$.

X_j : Valor que alcanza la propiedad X en las muestras de suelo no intervenido, para $j = 1, 2, 3 \dots 8$.

- En base a los resultados del IAM, a través del análisis multivariado de correspondencia simple se realizó el conteo y ubicación del según el nivel de alteración que alcanzan las muestras de suelo intervenido (Tabla 11) a fin de determinar los casos de mayor alteración.

Tabla 11

Niveles de alteración de suelo intervenido por la actividad extractiva de arcilla según índice de alteración de la muestra.

IAM	Nivel de alteración	Codificación de alteración
>1	<i>Mayor a 100%</i>	A
$0,75 < IAM \leq 1$	<i>Entre 75% a 100%</i>	B
$0,50 < IAM \leq 0,75$	<i>Entre 50% a 75%</i>	C
$0,25 < IAM \leq 0,50$	<i>Entre 25% a 50%</i>	D
$0 \leq IAM \leq 0,25$	<i>Hasta 25%</i>	E

- Para el tratamiento de los datos y la elaboración de gráficos utilizaron hojas de cálculo en Microsoft Office Excel, para el análisis estadístico el software MINITAB versión 18 y el programa AutoCAD versión 2018 para la elaboración de planos y mapas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La zona de estudio está comprendida por dos unidades geomorfológicas (Figura 29), ladera de montaña empinada en rocas del Neógeno y complejo de terraza inundable y no inundable. De acuerdo a la publicación realizada por Alcántara (2010a) la primera es una de las unidades que se localizan de manera dispersa en casi todo el departamento de Cajamarca, incluye laderas de montaña estructuralmente plegadas mientras que la segunda unidad corresponde principalmente a valles interandinos ubicados por encima de la llanura o planicie los cuales son originados por depósitos aluviales y fluviales como consecuencia del transporte de sedimentos provenientes de procesos denudacionales y erosivos de las partes altas de las colinas y de las montañas producto del accionar de los agentes geomorfológicos externos.

Como se aprecia en la Figura 30, las características geológicas de la zona corresponden a la unidad estratigráfica de depósitos aluviales del Holoceno considerada por Cruzado y Crisólogo (2009) como materiales que se acumulan en los flancos de los valles y quebradas tributarias conformados por conglomerados polimícticos poco consolidados con clastos de tamaño heterogéneo englobados en una matriz limo arcillosa. Otra unidad que se distingue es la volcánico Huambos del Cuaternario cuya topografía es bastante característica, generalmente forma llanuras delimitadas por farallones o escarpas donde se aprecia la estratificación.

Del registro de excavación de calicatas en suelo no intervenido (Apéndice 2) se ha encontrado que a una profundidad de 3 m presentan 3 estratos bien diferenciados que subyacen a la capa orgánica de escasa potencia, mientras que, en suelos intervenidos, solamente se encontró un estrato los cuales se describen geológicamente en las siguientes tablas.

Tabla 12

Descripción de estratos en calicatas de suelos no intervenidos por la actividad extractiva de arcilla CP Santa Bárbara.

Calicata	Estrato	Profundidad (m)	Descripción
1	E1	0,00 – 0,60	Capa materia orgánica
	E2	0,60 – 0,95	Material areno arcilloso bloque angular, plasticidad alta, contracción media. Color marrón grisáceo amarillento 10YR4/2, con manchas de ematita. Su permeabilidad es lenta y su drenaje imperfecto
	E3	0,95 – 1,30	Material areno arcilloso gravoso de bloque angular, plasticidad alta, contracción media, color marrón grisáceo 5YR3/2. Contiene ematita, limonita y cuarzo, plasticidad moderadamente lenta y drenaje imperfecto
	E4	1,30 – 3,00	Material arcillo arenoso de bloque angular. Plasticidad alta, contracción alta. Color marrón oscuro 5YR2/2 con presencia de limonita. Permeabilidad lenta y drenaje imperfecto
2	E1	0,00 – 0,30	Capa materia orgánica
	E2	0,30 – 1,40	Material arcilla limosa bloque sub angular, plasticidad media, contracción media. Color marrón pálido amarillento 10YR6/2, con presencia de moscovita, feldespatos, ematita y limonita. Su permeabilidad es moderadamente lenta y su drenaje bueno.
	E3	1,40 – 2,70	Material arcilla inorgánica de bloque angular, plasticidad alta, contracción alta, color marrón amarillento polvoriento 10YR2/2. Contiene feldespatos y manchas de limonita, permeabilidad muy lenta y drenaje imperfecto
	E4	2,70 – 3,00	Material arcilla inorgánica de bloque angular. Plasticidad media, contracción alta. Color marrón oscuro 10YR2/2 con presencia de ematita. Permeabilidad extremadamente lenta y drenaje imperfecto
3	E1	0,00 – 0,30	Capa materia orgánica
	E2	0,30 – 1,40	Material areno arcilloso bloque sub angular, plasticidad media, contracción media. Color marrón pálido amarillento 10YR6/2, con presencia de moscovita, feldespatos, ematita y limonita. Su permeabilidad es moderadamente lenta y su drenaje bueno.
	E3	1,40 – 1,80	Material arcilla inorgánica de bloque angular, plasticidad alta, contracción alta, color marrón amarillento polvoriento 10YR2/2. Contiene feldespatos y manchas de limonita, permeabilidad muy lenta y drenaje imperfecto.
	E4	1,80 – 3,00	Material arcilla inorgánica de bloque angular. Plasticidad alta, contracción alta. Color marrón oscuro 10YR2/2 con presencia de ematita. Permeabilidad extremadamente lenta y drenaje imperfecto.
4	E1	0,00 – 0,30	Capa materia orgánica.
	E2	0,30 – 1,40	Material arcilla arenosa bloque sub angular, plasticidad media, contracción media. Color marrón oscuro amarillento 10YR2/2, con micas y feldespatos. Su permeabilidad es moderadamente lenta y su drenaje bueno.
	E3	1,40 – 2,50	Material arcilla limosa de bloque angular. Plasticidad alta, contracción media. Color marrón amarillento moderado 10YR5/4 con presencia de ematita, limonita, micas y feldespato. Permeabilidad moderadamente lenta y drenaje imperfecto.
	E4	2,50 – 3,00	Material arcilla inorgánica de bloque angular. Plasticidad alta, contracción alta. Color marrón amarillento moderado 10YR5/4 con presencia de limonita, pirolusita, micas y feldespato. Permeabilidad lenta y drenaje imperfecto.

...continúa

Calicata	Estrato	Profundidad (m)	Descripción
5	E1	0,00 – 0,40	Capa materia orgánica
	E2	0,40 – 1,50	Material arcillo arenoso bloque sub angular, plasticidad media, contracción media. Color marrón oscuro amarillento 10YR2/2, con micas y feldespatos. Su permeabilidad es moderadamente lenta y su drenaje bueno.
	E3	1,50 – 2,70	Material arcillo limoso de bloque angular. Plasticidad media, contracción media. Color marrón amarillento moderado 10YR5/4 con presencia de ematita, limonita, micas y feldespato. Permeabilidad moderadamente lenta y drenaje imperfecto.
	E4	2,70 – 3,00	Material arcilla inorgánica de bloque angular. Plasticidad alta, contracción alta. Color marrón amarillento moderado 10YR5/4 con presencia de limonita, pirolusita, micas y feldespato. Permeabilidad lenta y drenaje imperfecto.
6	E1	0,00 – 0,40	Capa materia orgánica
	E2	0,40 – 1,20	Material areno arcilloso bloque angular, plasticidad alta, contracción media. Color marrón amarillento polvoriento 10YR2/2, con manchas de ematita. Su permeabilidad es lenta y su drenaje imperfecto
	E3	1,20 – 1,60	Material arcillo arenoso gravoso de bloque angular, plasticidad media, contracción media, color marrón grisáceo 5YR3/2. Contiene ematita, limonita y cuarzo, plasticidad moderadamente lenta y drenaje imperfecto
	E4	1,60 – 3,00	Material arcilla inorgánica de bloque angular. Plasticidad media, contracción alta. Color marrón amarillento moderado 10YR5/4 con presencia de limonita, pirolusita, micas y feldespato. Permeabilidad lenta y drenaje imperfecto.
7	E1	0,00 – 0,40	Capa materia orgánica
	E2	0,40 – 1,20	Material areno arcilloso bloque angular, plasticidad media, contracción alta. Color gris amarillento marrón 10YR4/2, con feldespatos, cuarzo y ematita. Su permeabilidad es lenta y su drenaje imperfecto.
	E3	1,20 – 1,60	Material arcillo arenoso bloque angular, plasticidad media, contracción alta. Color marrón amarillento opaco 10YR4/3, con feldespatos, cuarzo y ematita. Su permeabilidad es lenta y su drenaje imperfecto
	E4	1,60 – 3,00	Material arcillo arenoso de bloque angular. Plasticidad media, contracción alta. Color marrón oscuro 5YR2/2 con presencia de limonita. Permeabilidad lenta y drenaje imperfecto
8	E1	0,00 – 0,60	Capa materia orgánica
	E2	0,60 – 1,80	Material areno arcilloso bloque angular, plasticidad media, contracción alta. Color marrón amarillento opaco 10YR5/4, con feldespatos, y cuarzo. Su permeabilidad es lenta y su drenaje imperfecto.
	E3	1,80 – 2,00	Material arcillo arenoso bloque angular, plasticidad media, contracción alta. Color amarillo grisáceo oscuro 2.5YR5/2, con feldespatos, cuarzo y ematita. Su permeabilidad es lenta y su drenaje imperfecto
	E4	2,00 – 3,00	Material areno arcilloso de bloque angular. Plasticidad media, contracción alta. Color marrón grisáceo 5YR5/2 con presencia de limonita. Permeabilidad lenta y drenaje imperfecto

Tabla 13

Descripción de estratos en calicatas de suelos intervenidos por la actividad extractiva de arcilla CP Santa Bárbara.

Calicata	Estrato	Profundidad (m)	Descripción
1i	E1	0,00 – 1,30	Material areno arcilloso de estructura alterada con presencia de piedra, grava y fracción de desechos. Plasticidad baja, contracción media. Color marrón oscuro amarillento 5YR4/2 con presencia de cuarzo, limonita, carbón y feldespatos. Permeabilidad lenta y drenaje bueno. Napa freática 1.30 m.
2i	E1	0,00 – 3,00	Material franco areno limoso de estructura granular simple con presencia de piedra y grava. Plasticidad nula, contracción nula. Color marrón pálido 5YR5/2 con presencia de cuarzo y feldespatos. Permeabilidad rápida y drenaje excesivo
3i	E1	0,00 – 3,00	Roca traquita intemperizada de estructura granular, plasticidad nula, contracción nula. Color olivo grisáceo claro 5YR6/1, con micas, feldespatos y piroxenos. Su permeabilidad es alta y su drenaje excesivo.
4i	E1	0,00 – 3,00	Roca traquita intemperizada de estructura granular, plasticidad nula, contracción nula. Color olivo grisáceo claro 5YR6/1, con micas, feldespatos y piroxenos. Su permeabilidad es alta y su drenaje excesivo. Se distingue fracción de desechos.
5i	E1	0,00 – 3,00	Roca traquita intemperizada de estructura granular, plasticidad nula, contracción nula. Color olivo grisáceo claro 5YR6/1, con micas, feldespatos y piroxenos. Su permeabilidad es alta y su drenaje excesivo. Se distingue fracción de desechos.
6i	E1	0,00 – 3,00	Material areno arcilloso de estructura alterada con presencia de piedra, grava y fracción de desechos. Plasticidad media, contracción media. Color marrón oscuro amarillento 5YR4/2 con presencia de cuarzo, limonita y feldespatos. Permeabilidad lenta y drenaje bueno.
7i	E1	0,00 – 3,00	Material areno arcilloso de estructura alterada con presencia de piedra, grava y fracción de desechos. Plasticidad media, contracción media. Color marrón grisáceo 5YR4/2 con presencia de cuarzo, limonita y feldespatos. Permeabilidad lenta y drenaje bueno.
8i	E1	0,00 – 3,00	Material areno arcilloso de estructura alterada con presencia de piedra y grava. Plasticidad alta, contracción media. Color marrón grisáceo 5YR4/2 con presencia de cuarzo, limonita y feldespatos. Permeabilidad lenta y drenaje bueno.
9i	E1	0,00 – 3,00	Material areno arcilloso de estructura alterada con presencia de piedra, grava y fracción de desechos. Plasticidad alta, contracción media. Color marrón rojizo mate 5YR5/4 con presencia de cuarzo, limonita y feldespatos. Permeabilidad lenta y drenaje bueno.
10i	E1	0,00 – 3,00	Material areno arcilloso de estructura alterada con presencia de piedra, grava y fracción de desechos. Plasticidad media, contracción media. Color marrón oscuro amarillento 5YR3/2 con presencia de cuarzo, limonita y feldespatos. Permeabilidad lenta y drenaje bueno.
11i	E1	0,00 – 3,00	Material areno arcilloso de estructura alterada con presencia de piedra y grava. Plasticidad media, contracción media. Color marrón grisáceo 5YR5/2 con presencia de cuarzo, limonita y feldespatos. Permeabilidad lenta y drenaje bueno.
12i	E1	0,00 – 3,00	Material areno arcilloso de estructura alterada con presencia de piedra, grava y fracción de desechos. Plasticidad media, contracción media. Color marrón oscuro amarillento 5YR3/2 con presencia de cuarzo, limonita y feldespatos. Permeabilidad lenta y drenaje bueno.

...continúa

Calicata	Estrato	Profundidad (m)	Descripción
13i	E1	0,00 – 3,00	Material areno arcilloso de estructura alterada con presencia de piedra y grava. Plasticidad media, contracción media. Color marrón oscuro rojizo 5YR3/3 con presencia de cuarzo, limonita y feldespatos. Permeabilidad lenta y drenaje bueno.
14i	E1	0,00 – 3,00	Material areno arcilloso de estructura alterada con presencia de piedra y grava. Plasticidad media, contracción media. Color marrón oscuro gris 5YR7/2 con presencia de cuarzo, limonita y feldespatos. Permeabilidad lenta y drenaje bueno
15i	E1	0,00 – 3,00	Material areno arcilloso de estructura alterada con presencia de piedra y grava. Plasticidad media, contracción media. Color marrón oscuro gris 5YR7/2 con presencia de cuarzo, limonita y feldespatos. Permeabilidad lenta y drenaje bueno.
16i	E1	0,00 – 3,00	Material areno arcilloso de estructura alterada con presencia de piedra y grava. Plasticidad media, contracción media. Color marrón oscuro rojizo 5YR3/3 con presencia de cuarzo, limonita y feldespatos. Permeabilidad lenta y drenaje bueno.
17i	E1	0,00 – 3,00	Material areno arcilloso de estructura alterada con presencia de piedra y grava. Plasticidad media, contracción media. Color marrón grisáceo 5YR6/2 con presencia de cuarzo, limonita y feldespatos. Permeabilidad lenta y drenaje bueno.
18i	E1	0,00 – 3,00	Material areno arcilloso de estructura alterada con presencia de piedra y grava. Plasticidad media, contracción media. Color marrón grisáceo 5YR6/2 con presencia de cuarzo, limonita y feldespatos. Permeabilidad lenta y drenaje bueno.

Como se describe en las tablas anteriores los materiales de los que están conformados los suelos no intervenidos estudiados, corresponden en su totalidad a suelos arcillosos de mediana a alta plasticidad, de colores oscuros característicos y permeabilidad lenta (Tabla 12). En el caso de suelos intervenidos, existe material areno arcilloso con presencia de gravas, son de plasticidad media a baja de colores más claros que los anteriores y permeabilidad rápida (Tabla 13).

Los resultados de los ensayos de laboratorio realizados según las normas American Standard of Testing Materials (ASTM) y las Normas Técnicas Peruanas (NTP) se presentan en las tablas siguientes. La Tabla 14 y Tabla 15, indican la clasificación de las muestras de suelo no intervenidos e intervenidos respectivamente según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS, así como su granulometría expresada según los porcentajes de contenido de grava, contenido de arena y contenido de finos.

Tabla 14

Clasificación y distribución granulométrica de muestras de suelo no intervenido.

Muestra	Granulometría							Clasificación
	Tamices				Grava	Arena	Finos	
	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200	%	%	%	SUCS
M1	62,46	58,20	48,58	25,36	36,62	38,02	25,36	SC
M2	90,18	82,70	64,00	34,52	8,54	56,94	34,52	SC
M3	99,96	99,80	97,26	67,10	0,00	32,90	67,10	CH
M5	100,00	99,88	97,22	80,96	0,00	19,04	80,96	CL
M6	100,00	100,00	99,96	99,02	0,00	0,98	99,02	CH
M7	99,98	99,92	93,42	74,86	0,00	25,14	74,86	CH
M9	97,78	93,25	63,43	31,25	1,68	67,07	31,25	SC
M10	98,58	97,63	86,23	62,60	1,35	36,05	62,60	CL
M11	97,95	96,93	85,63	68,40	1,25	30,35	68,40	CL
M13	97,68	92,08	82,66	62,50	1,44	36,06	62,50	CL
M14	99,32	96,64	88,10	57,46	0,48	42,06	57,46	CL
M15	99,82	98,86	85,72	53,48	0,08	46,44	53,48	CL
M17	97,80	92,50	83,12	61,00	1,36	37,64	61,00	CL
M18	99,24	96,40	87,36	56,14	0,52	43,34	56,14	CL
M19	99,66	98,62	85,04	53,42	0,18	46,40	53,42	CL
M21	99,34	97,20	78,68	42,48	0,40	57,12	42,48	SC
M22	98,34	96,46	85,94	61,52	1,10	37,38	61,52	CL
M23	97,64	92,64	77,40	46,34	1,74	51,92	46,34	SC
M25	98,50	96,82	79,10	43,26	0,78	55,96	43,26	SC
M26	99,58	96,50	87,16	57,54	0,18	42,28	57,54	CL
M27	98,28	95,78	85,78	57,38	0,88	41,74	57,38	CL
M29	99,26	96,74	78,32	42,60	0,32	57,08	42,60	SC
M30	98,70	97,22	85,08	54,18	0,64	45,18	54,18	CL
M31	96,82	91,26	75,04	46,56	2,06	51,38	46,56	SC

SC: Arena arcillosa; CH: Arcilla de alta plasticidad; CL: Arcilla inorgánica de baja a media plasticidad.

Tabla 15

Clasificación y distribución granulométrica de muestras de suelo intervenido

Muestra	Granulometría							Clasificación SUCS
	Tamices				Grava %	Arena %	Finos %	
	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200				
MI1	71,34	65,96	54,44	34,88	27,38	37,74	34,88	SC
MI3	95,20	90,06	73,58	46,64	3,90	49,46	46,64	SC
MI5	99,80	98,85	83,88	55,60	0,13	44,28	55,60	CL
MI7	95,68	91,54	77,64	44,84	3,56	51,60	44,84	SC
MI9	96,73	96,15	84,93	57,13	3,28	48,95	47,78	SC
MI11	91,44	87,24	71,72	32,24	6,40	61,36	32,24	SC
MI13	92,50	88,60	73,32	33,40	5,04	61,56	33,40	SC
MI15	91,96	87,54	71,80	32,94	5,58	61,48	32,94	SC
MI17	95,88	91,42	77,60	47,78	3,28	48,94	47,78	SC
MI19	88,18	82,88	66,52	32,72	8,14	59,14	32,72	SC
MI21	88,28	83,60	66,02	31,92	6,82	61,26	31,92	SC
MI23	88,88	84,80	67,38	32,24	6,40	61,36	32,24	SC
MI25	88,66	83,84	67,72	32,24	6,82	60,94	32,24	SC
MI27	83,16	77,86	55,12	26,22	11,14	62,64	26,22	SC
MI29	83,08	75,74	52,66	25,96	8,88	65,16	25,96	SC
MI31	81,62	77,36	55,18	26,04	11,92	62,04	26,04	SC
MI33	88,60	84,14	67,70	34,14	7,08	58,78	34,14	SC
MI35	82,40	77,28	62,00	33,82	11,14	55,04	33,82	SC

SC: Arenas arcillosas; CL: Arcilla inorgánica de baja a media plasticidad.

De los resultados presentados en las tablas 14 y 15 se ha obtenido la clasificación y distribución granulométrica a nivel de la zona ladrillera estudiada diferenciándola por cada estrato de suelo. Los resultados se presentan en la Tabla 16 y en las figuras 12, 13, 14 y 15 y sus registros en el apéndice 3.

Tabla 16

Clasificación y distribución granulométrica de suelos por estrato en zona ladrillera.

Estado del suelo	Estrato	Granulometría (%)			Clasificación SUCS (%)		
		Grava	Arena	Finos	SC	CL	CH
<i>No intervenido</i>	E2	1,08	48,50	50,43	62	38	0
	E3	0,73	42,78	55,62	0	87	13
	E4	0,90	40,66	58,57	25	37	38
<i>Intervenido</i>	E1	6,50	55,71	37,26	94	6	0

SC: Arenas arcillosas. CH: Arcillas de alta plasticidad. CL: Arcillas de baja a media plasticidad.

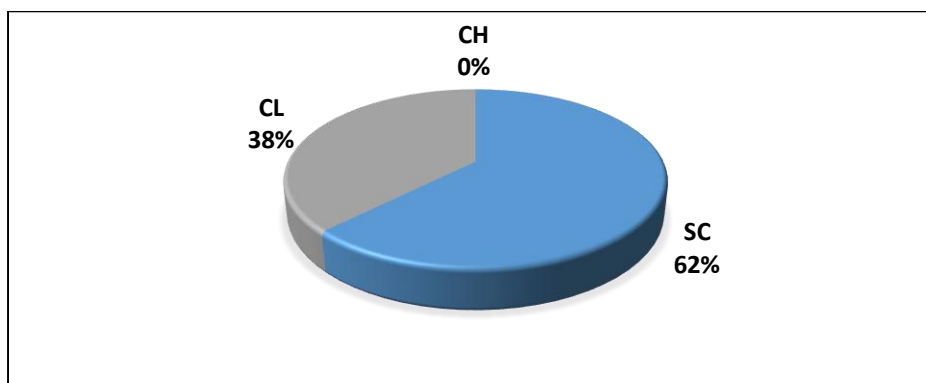


Figura 13. Distribución de tipos de suelo en el estrato 2 de suelo no intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara.

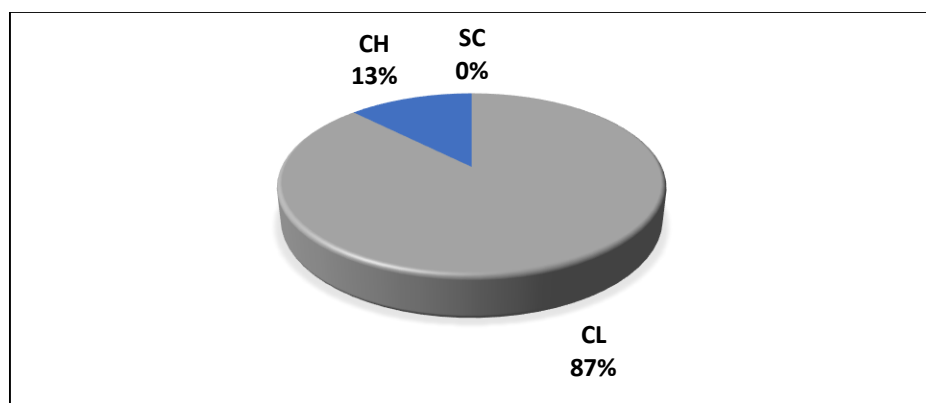


Figura 14. Distribución de tipos de suelo en el estrato 3 de suelo no intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara.

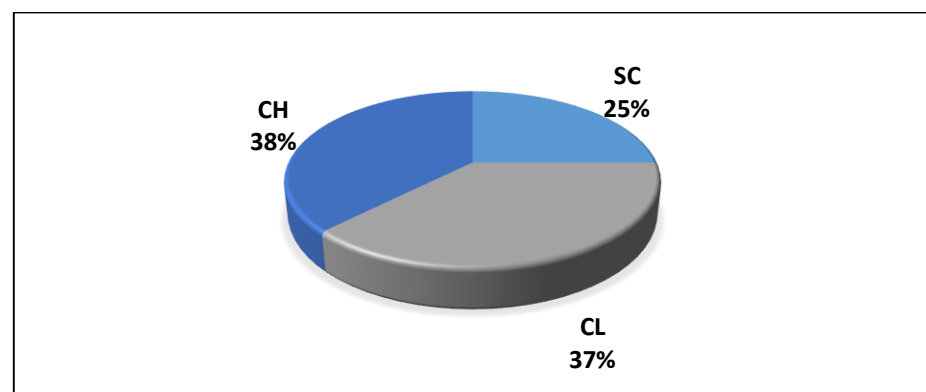


Figura 15. Distribución de tipos de suelo en el estrato 4 de suelo no intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara.

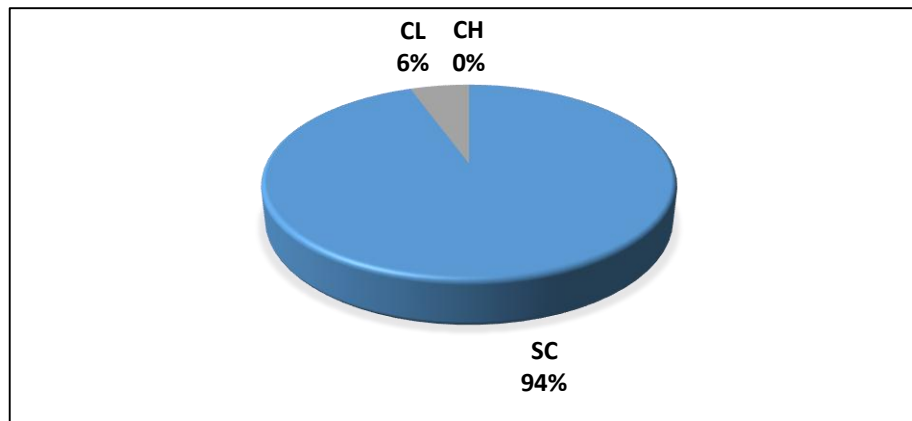


Figura 16. Distribución de tipos de suelo en el estrato 1 de suelo intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara.

De acuerdo a las normas ASTM citadas por Das (2015) los suelos no intervenidos del segundo estrato cuya potencia varía entre 0,30m a 1,20m (Tabla 12), clasifican como el 62% arenas arcillosas, es decir mezcla de arena y arcilla mal graduada y el 38% restante arcillas de baja plasticidad (Tabla 16 y Figura 13). Estos tipos de suelo son empleados como materia prima en la fabricación de ladrillos sin embargo no son los óptimos (Reverté, 2001) y (Fernández, 2009) y tampoco califican para fines estructurales por ser suelos mal graduados (Juárez y Rico, 2005). Además es el estrato donde se presenta mayor porcentaje de grava aunque su valor es bajo, esto debido a que al ser el estrato superior está expuesto a efectos de arrastre de partículas finas, es decir erosión eólica e hídrica. El porcentaje de arena y finos es casi el mismo, para la industria ladrillera esta proporción es ventajosa ya que la arena servirá como desgrasante y dará mayor resistencia al ladrillo (Santos, Malagón, y Córdoba, 2011) y (Reverté, 2001). Por su parte, el tercer estrato cuya potencia según la Tabla 12, varía entre 1,20m a 2m y de acuerdo a las normas ASTM citadas por Das (2015) tal como se indica en la Tabla 16 y Figura 14, clasifican el 87% como arcillas de baja plasticidad poco aptas para la fabricación de ladrillo y 13% como arcillas de alta plasticidad, aptas para esta industria (Reverté, 2001). No son aptos para fines estructurales ya que son sólo suelos arcillosos (Juárez y Rico, 2005). En el

estrato cuatro cuya potencia varía entre 2m a 3m (Tabla 12), el 37% de suelos son arcillas de baja plasticidad y el 38% arcillas de alta plasticidad, que los hacen aptos para ser empleados en la fabricación de ladrillo (Tabla 16 y Figura 15), el 25% que clasifican como arenas arcillosas no son aptos para la industria ladrillera (Reverté, 2001) sin embargo mejoran para fines estructurales (Juárez y Rico, 2005). Estos resultados guardan relación con los obtenidos por Palomino (2016) en su investigación, en la cual, aunque no precisa la ubicación del estrato del cual extrajo las muestras de suelo los valores que encuentra para contenido de arena, grava y finos, así como la clasificación de suelos son muy semejantes a los presentados en la Tabla 16.

Los suelos intervenidos clasifican mayormente como arenas arcillosas (Tabla 16 y Figura 16), y en escaso porcentaje son arcillas inorgánicas de plasticidad baja. Debido a su mala graduación no son aptas para fines estructurales (Juárez y Rico, 2005).

Los resultados de los ensayos de laboratorio de las propiedades físicas de los suelos estudiados correspondientes a peso específico de sólidos, contenido de humedad y límites de consistencia se presentan en las tablas 17 y 18 y los registros de laboratorio se muestran en el apéndice 3.

Tabla 17

Propiedades físicas de muestras de suelo no intervenido en zona ladrillera Santa

Bárbara.

Muestra	Peso específico de sólidos (KN/m ³)	Contenido de humedad (%)	Límites consistencia (%)		
			LL	LP	IP
M1	25,11	8,95	33,50	15,87	17,63
M2	25,02	11,65	42,30	20,79	21,51
M3	24,13	8,87	51,40	22,34	29,06
M5	24,03	4,70	45,70	21,57	24,13
M6	23,64	9,21	62,80	27,54	35,26
M7	24,33	8,55	61,60	21,69	39,91
M9	25,21	4,97	25,10	11,22	13,88
M10	24,03	6,25	30,10	13,57	16,53
M11	24,03	7,32	28,70	15,27	13,43
M14	25,70	4,23	34,70	15,60	19,10
M15	24,03	3,56	30,80	14,90	15,90
M17	23,64	3,44	30,70	17,82	12,88
M18	25,80	4,84	33,10	15,63	17,48
M19	24,23	3,42	30,20	16,67	13,53
M21	23,25	2,00	21,10	11,46	9,64
M22	24,03	3,59	26,70	13,83	12,87
M23	24,53	5,57	28,50	15,52	12,98
M25	24,13	5,42	31,40	13,10	18,30
M26	27,27	5,60	38,20	12,80	25,40
M27	24,43	6,10	40,10	11,40	28,70
M29	26,09	4,10	23,80	10,52	13,28
M30	27,86	9,70	28,90	12,40	16,50
M31	28,45	11,20	26,50	11,42	15,08

LL: Límite líquido; LP: Límite Plástico; IP: Índice de Plasticidad.

KN: Kilo Newton.

Tabla 18

Propiedades físicas de muestras de suelo intervenido en zona ladrillera Santa

Bárbara.

Muestra	Peso específico de sólidos (KN/m ³)	Contenido de humedad (%)	Límites consistencia (%)		
			LL	LP	IP
MI1	23,74	23,23	33,90	28,50	5,40
MI3	24,62	16,74	32,50	22,87	9,63
MI5	24,43	18,58	28,40	19,10	9,30
MI7	25,21	11,17	24,60	16,33	8,27
MI9	25,02	11,63	25,10	17,16	7,94
MI11	23,25	14,47	31,80	24,04	7,76
MI13	24,43	15,84	26,40	18,10	8,30
MI15	26,88	14,65	25,10	16,60	8,50
MI17	20,80	15,60	30,10	20,40	9,70
MI19	31,59	15,80	32,60	20,10	12,50
MI21	26,49	14,20	33,10	19,50	13,60
MI23	25,11	13,21	36,40	21,30	15,10
MI25	20,80	12,40	32,40	18,50	13,90
MI27	30,41	10,20	24,20	13,20	11,00
MI29	27,96	19,54	28,60	17,24	11,36
MI31	28,84	11,48	22,10	12,41	9,69
MI33	30,21	16,20	30,20	12,45	17,75
MI35	31,39	16,40	31,10	11,44	19,66

LL: Límite líquido; LP: Límite Plástico; IP: Índice de Plasticidad. KN: KiloNewton

De acuerdo a los resultados presentados en las tablas 17 y 18, se han obtenido las propiedades físicas de los suelos de la zona ladrillera diferenciándolas a nivel de estrato.

Estos resultados se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19

Propiedades físicas de suelos por estrato en zona ladrillera Santa Bárbara.

Estado de suelo	Estrato	Peso específico sólidos (KN/m ³)	Contenido de humedad (%)	Límites consistencia (%)		
				LL	LP	IP
<i>No intervenido</i>	E2	24,33	4,38	30,14	15,03	15,35
	E3	25,41	6,43	33,10	14,90	18,21
	E4	24,82	6,82	29,98	15,90	14,07
<i>Intervenido</i>	E1	26,19	15,07	29,37	18,29	11,08

LL: Límite líquido; LP: Límite Plástico; IP: Índice de Plasticidad. KN: Kilo Newton

Los resultados de la Tabla 19 indican que, en suelo no intervenido, en el estrato 2, el peso específico de sólidos que relacionan el peso y el volumen de la fase sólida del suelo, es de 24,33 KN/m³. Los valores obtenidos son muy semejantes a los encontrados en investigaciones sobre arcilla para ladrillo como la de Zea (2005) en las zonas ladrilleras de Guatemala, por Fernández (2009) y por Ruíz (2015) en la zona ladrillera de Santa Bárbara así como los indicados por Das (2015) y Juárez y Rodríguez (2005) precisando que en arcillas volcánicas este valor se encuentra entre 21,58 a 25,51 KN/m³. A la vez son superiores a los valores que Mora (1998) consideró como muy bajos en su investigación asociándolos al gran volumen de vacíos derivados de la meteorización de productos volcánicos. El contenido de humedad alcanza el valor más bajo en este estrato, debido a que está constituido por arenas arcillosas cuya permeabilidad y drenaje (Tabla 12) hace posible que el agua se filtre hacia estratos inferiores. El límite líquido del estrato indica que es necesario agregar una cantidad de agua equivalente al 30,14% del peso del suelo para que éste pase de un estado plástico a un estado líquido. De manera semejante, el límite plástico determina que se necesita una cantidad de agua cuyo peso sea el 15,03% del peso del suelo para que éste pase de un estado semisólido a plástico. Ambos valores de los límites de Atterberg indican, según Reverté (2001), que los suelos son limos y arcillas de plasticidad media. Todos estos valores guardan semejanza con los valores encontrados

en otras zonas ladrilleras por Zea (2005) en Guatemala y Santos, Malagón, y Córdoba (2011) en Santander, así como por Fernández (2009) y Ruíz (2015) en la zona ladrillera en estudio, así mismo Palomino (2016) determinó valores semejantes en los suelos arcillosos de la zona en estudio. En el tercer estrato el peso específico de sólidos es de 25,41 KN/m³ es muy semejante al encontrado en el estrato 2. El contenido de humedad se incrementó con respecto al estrato 2 lo que está indicando que el suelo retiene mayor cantidad de agua por ser de drenaje lento y ser menos permeable (Tabla 12). El límite líquido del estrato de 33,14% y el límite plástico de 14,90% indican que los suelos son limos y arcillas, mientras que índice de plasticidad 18,21% indica mediana plasticidad (Reverté, 2001). Al igual que en el estrato anterior, estos valores guardan semejanza con los valores encontrados en otras zonas ladrilleras por Zea (2005) en Guatemala y Santos, Malagón, y Córdoba (2011) en Santander, así como por Fernández (2009) y Ruíz (2015) en la zona ladrillera en estudio. Finalmente en el cuarto estrato se encontró que el peso específico de sólidos es semejante, lo cual junto al contenido de humedad que es mayor que los estratos anteriores indican presencia de suelos arcillosos de mayor plasticidad. Estos resultados siguen teniendo semejanza a los encontrados por Zea (2005) en Guatemala y Santos, Malagón, y Córdoba (2011) en Santander, así como por Fernández (2009), Ruíz (2015) y Palomino (2016) en la zona ladrillera en estudio.

En el caso del suelo intervenido, los valores que se presentan en la Tabla 19 indican que el peso específico de sólidos es alto al compararlo con el que alcanzan en su investigación Sandoval et al. en rellenos sanitarios cuyo valor fue de 11 KN/m³ y Mora (1998) con la posibilidad de su utilización como lugar destinado en la disposición final de desechos sólidos cuyos valores oscilaron en tre 9,8 y 13 KN/m³. El contenido de humedad, lo que se debe a que durante el proceso de extracción de arcilla, los forados se emplean como depósitos de agua y luego se los rellenan con diferente tipo de material

sólido sin drenarlos. Por otro lado, tal como se observa en la tabla, el índice de plasticidad ha disminuído, debido a que el material arcilloso ha sido aprovechado.

Las propiedades mecánicas de los suelos estudiados, se presentan en las tablas 20 y 21. De acuerdo a los resultados presentados en dichas tablas, se ha obtenido las propiedades mecánicas de los suelos de la zona ladrillera a nivel del último estrato las que se presentan en la Tabla 22.

Tabla 20

Propiedades mecánicas de muestras de suelo no intervenido en zona ladrillera.

Muestra	Ángulo de Fricción (ϕ°)	Coefficiente de Cohesión (KN/m ²)	q último (KN/m ²)	Q admisible (KN/m ²)
M4	10,00	20,59	352,52	117,51
M8	8,30	23,54	347,32	115,77
M12	6,30	22,36	277,99	92,60
M16	12,40	15,69	351,00	117,00
M20	13,60	15,69	382,93	127,64
M24	12,60	19,20	399,90	133,30
M28	9,25	20,60	330,50	110,17
M32	7,34	19,61	277,29	92,43

q último: capacidad portante del suelo según método de Meyerhof. Q adm: esfuerzo admisible del suelo (FS = 3).

Tabla 21

Propiedades mecánicas de muestras de suelo intervenido en zona ladrillera.

Muestra	Ángulo de Fricción (ϕ°)	Coefficiente de Cohesión (KN/m ²)	q último (KN/m ²)	Q admisible (KN/m ²)
MI2	25,00	0,10	202,93	67,64
MI4	20,86	0,20	152,47	50,82
MI6	21,80	0,00	132,95	44,32
MI8	23,60	0,00	192,85	64,28
MI10	20,20	0,20	172,52	57,51
MI12	21,44	0,30	213,84	71,28
MI14	22,10	0,60	252,43	84,14
MI16	20,31	0,20	188,19	62,73
MI18	18,92	0,10	188,21	62,74
MI20	18,70	0,60	299,47	99,82
MI22	19,90	0,20	178,87	59,62
MI24	22,21	0,40	183,45	61,15
MI26	17,29	0,80	260,54	47,17
MI28	20,76	0,30	240,14	80,05
MI30	16,53	0,60	127,81	42,60
MI32	20,19	0,10	169,22	56,41
MI34	18,98	0,80	220,66	73,55
MI36	17,97	0,40	224,51	74,84

q último: capacidad portante del suelo según método de Meyerhof. Q adm: esfuerzo admisible del suelo (FS = 3).

Tabla 22

Propiedades mecánicas de los suelos por estrato en zona ladrillera Santa Bárbara.

Estado del suelo	Estrato	Ángulo de fricción (ϕ°)	Coefficiente de cohesión (KN/m ²)	q último (KN/m ²)	Q adm (KN/m ²)
<i>No intervenido</i>	E4	9,97	20,91	339,93	113,31
<i>Intervenido</i>	E1	20,38	0,33	200,10	66,69

q último: capacidad portante del suelo según método de Meyerhof. Q adm: esfuerzo admisible del suelo (FS = 3).

La capacidad portante ha sido determinada para valores de peso específico aparente del suelo que varía entre $0,64 \times 10^{-3}$ KN/m³ a $2,06 \times 10^{-3}$ KN/m³.

Los valores del ángulo de fricción interna y coeficiente de cohesión de partículas en suelo no intervenido son de $9,97^\circ$ y $20,91 \text{ KN/m}^2$ respectivamente, estos valores indican que el material predominante es el material fino con presencia de material granular (Das, 2015). La capacidad portante del suelo calculado con el método de Meyerhof es $339,93 \text{ KN/m}^2$ y el esfuerzo admisible $113,31 \text{ KN/m}^2$ para un factor de seguridad igual a 3. De acuerdo a lo estipulado en la Norma Técnica E.050 el perfil de estos suelos es tipo S₂: suelos intermedios correspondiendo a suelos cohesivos compactos, que incrementan gradualmente sus propiedades mecánicas con la profundidad. (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2018a). Los resultados indican que a mayor contenido de humedad, menor capacidad portante del suelo lo cual es corroborado por Gómez (2008) en su investigación.

En el caso de suelo intervenido, el ángulo de fricción interna es $20,38^\circ$ y el coeficiente de cohesión $0,33 \text{ KN/m}^2$, que indican que estos suelos no son rellenos sanitarios según lo investigado por Sandoval et al. La capacidad portante es $200,10 \text{ KN/m}^2$ y el esfuerzo admisible $66,69 \text{ KN/m}^2$. Los resultados encontrados en este suelo están indicando que el material predominante es el granular con un escaso porcentaje de material fino, sin embargo, la capacidad portante y el esfuerzo admisible del suelo es baja, el suelo no es estable, es decir se halla en estado suelto según la Norma de diseño sísmico resistente E-050, corresponde a un perfil de suelo tipo S₃: Arena media a fina, o grava arenosa, o también suelo cohesivo blando, con un incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2018a). Los esfuerzos guardan relación directa con el peso aparente del suelo (valores menores determinan menor capacidad), así mismo, un alto contenido humedad determina, menor capacidad portante (Gómez, 2008). Seguel y Orellana (2008) indican que un aumento de la fricción interna puede deberse a la menor capacidad de soporte de este

suelo lo que estaría reflejando el roce entre partículas individuales, principalmente fragmentos gruesos con el consecuente aumento de la fricción interna.

Para determinar la diferencia entre las propiedades físico mecánicas de los suelos no intervenidos e intervenidos, se realizó la comparación de las mismas a nivel de estrato. Sus rangos de variación y la diferencia de sus medias se presentan en las figuras siguientes:

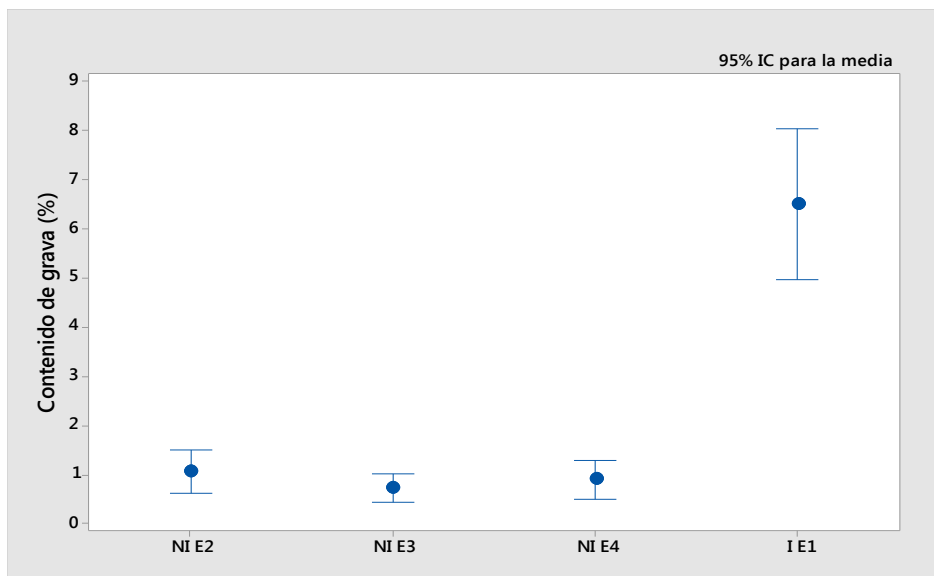


Figura 17. Variación del contenido de grava en los diferentes estratos de suelo no intervenido y suelo intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara.

Como puede apreciarse en la figura anterior, los rangos de variación para el contenido de grava en los diferentes estratos de suelo no intervenido son reducidos mientras que el rango de variación del contenido de grava para suelos intervenidos es mucho mayor. Esto se debe a que no existe uniformidad en los materiales que van conformando los suelos intervenidos en los cuales el contenido de grava es mayor porque se aprovecha el material fino y la arena como materia prima para la elaboración de ladrillo.

Con respecto a lo que se aprecia en las figuras 18 y 19, el contenido de arena es mayor en los suelos intervenidos y el contenido de finos es mucho menor. Esto tiene relación con lo que señala Reverté (2001) que la principal fuente de materia prima para la elaboración de ladrillos lo constituye el material fino, mientras que la arena se utiliza en menor proporción como un desgrasante. Por otro lado, se puede observar que el rango de variación del contenido de arena y de finos es uniforme en todos los estratos estudiados.

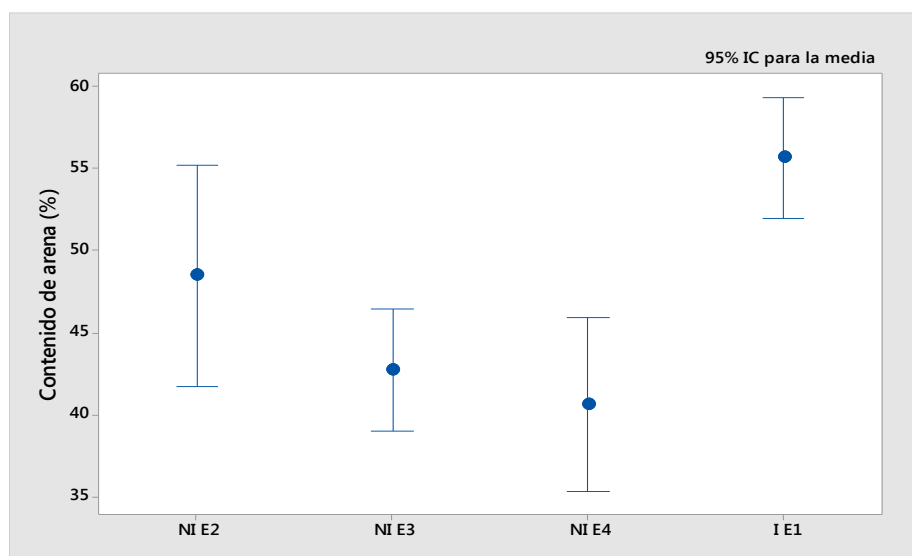


Figura 18. Variación del contenido de arena en los diferentes estratos de suelo no intervenido y suelo intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara.

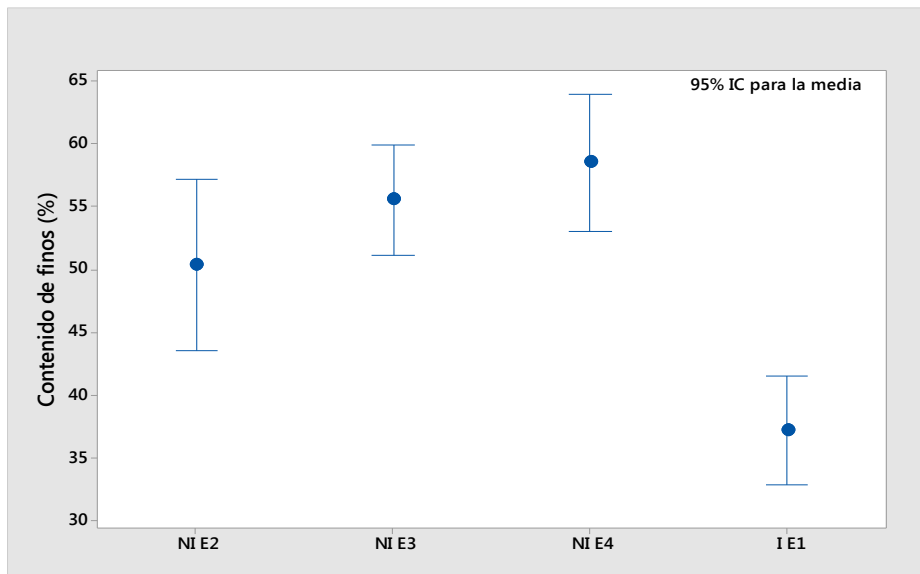


Figura 19. Variación del contenido de finos en los diferentes estratos de suelo no intervenido y suelo intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara.

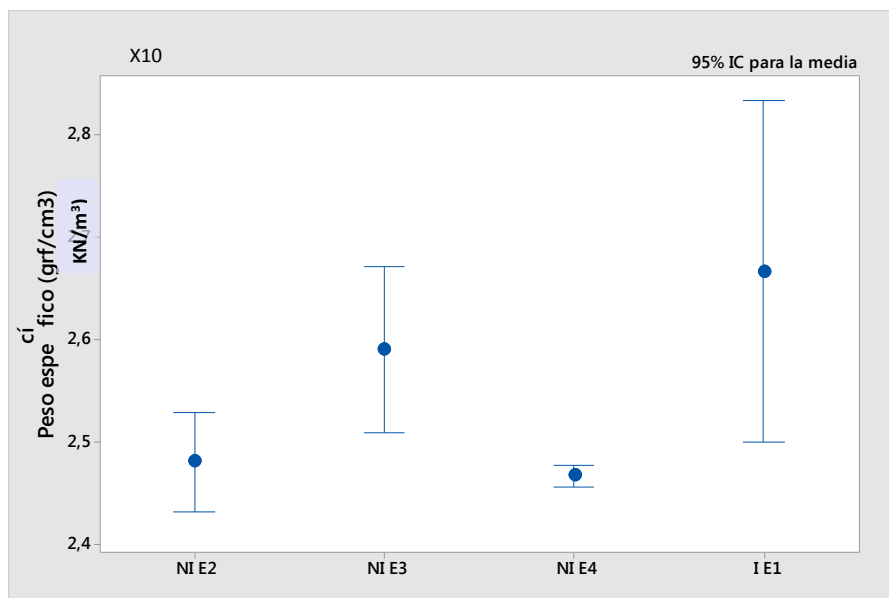


Figura 20. Variación del peso específico de sólidos de los diferentes estratos de suelo no intervenido y suelo intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara.

En relación al rango de variación del peso específico, es mucho mayor en los estratos que corresponden a suelos intervenidos, esto se puede explicar teniendo en cuenta que estos suelos están constituidos por rellenos no controlados con diversos tipos de material sin que exista un parámetro restrictivo que permita su adecuada selección. El material de relleno que van conformando el suelo intervenido no se encuentra compactado, posee un porcentaje de vacíos variable (Figura 20).

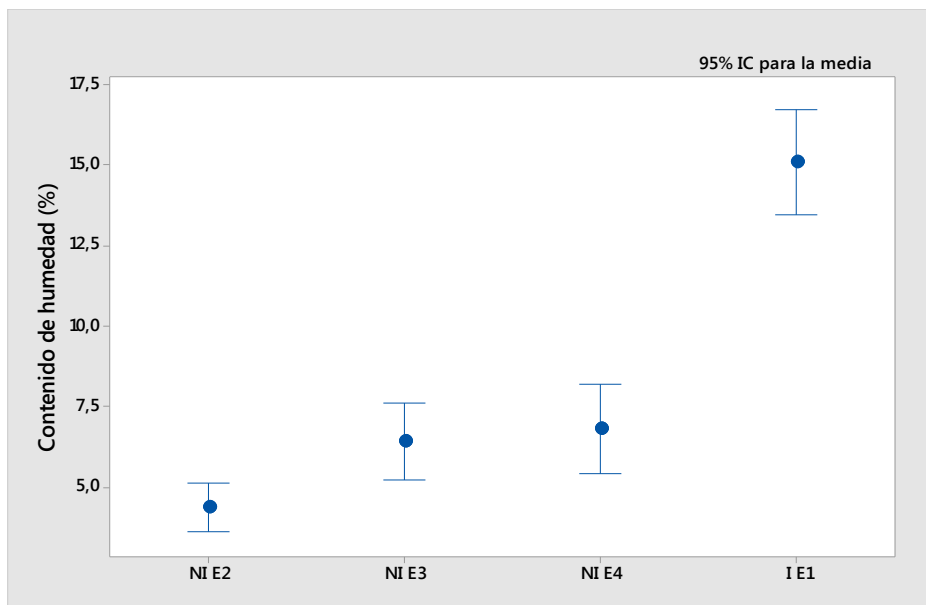


Figura 21. Variación del contenido de humedad en los diferentes estratos de suelo no intervenido y suelo intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara.

El rango de variación del contenido de humedad es uniforme en todos los estratos de suelo tal como se aprecia en la Figura 21, sin embargo, el valor promedio que alcanza en suelo intervenido es mucho mayor que el alcanzado en los diferentes estratos de suelo no intervenido. Esto se explica por el grado de saturación que alcanzan antes de ser rellenados ya que se utilizan como reservorios de agua durante el proceso de fabricación del ladrillo. (Apéndice 5)

Los rangos de variación del límite líquido presentados en la Figura 22 son uniformes, de acuerdo a lo que sostiene Berry y Reid (2000), los suelos estudiados en los diferentes estratos requieren de 30% de contenido de humedad para pasar de un estado plástico a un estado líquido. Este valor los estaría distinguiendo como limos y arcillas (Reverté, 2001).

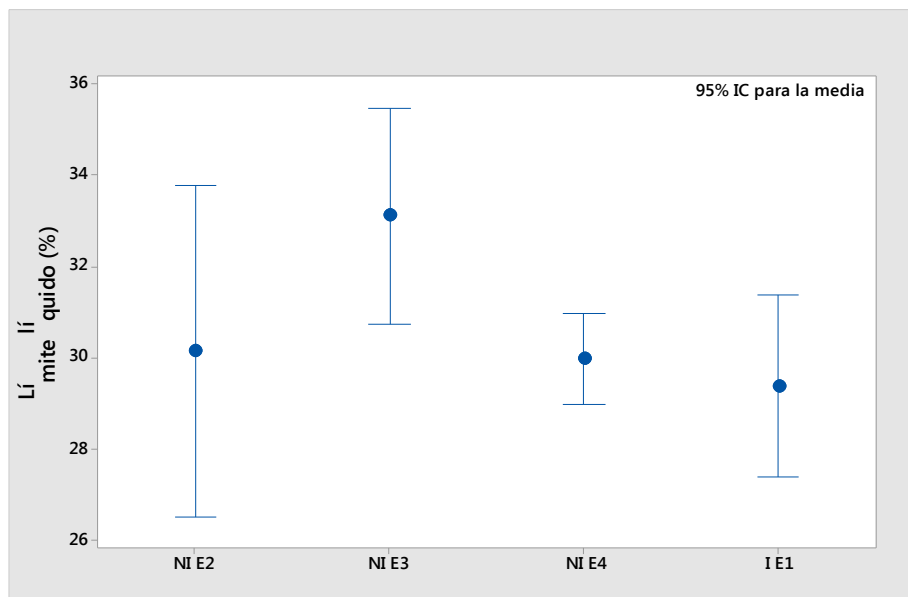


Figura 22. Variación del límite líquido en los diferentes estratos de suelo no intervenido y suelo intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara.

En la Figura 23 puede observarse que los rangos de variación del límite plástico son iguales, sin embargo, el promedio es mayor en suelos intervenidos lo que indica que éste necesita mayor contenido de humedad para pasar de un estado no plástico a un estado plástico que el que requieren los suelos no intervenidos (Berry y Reid, 2000).

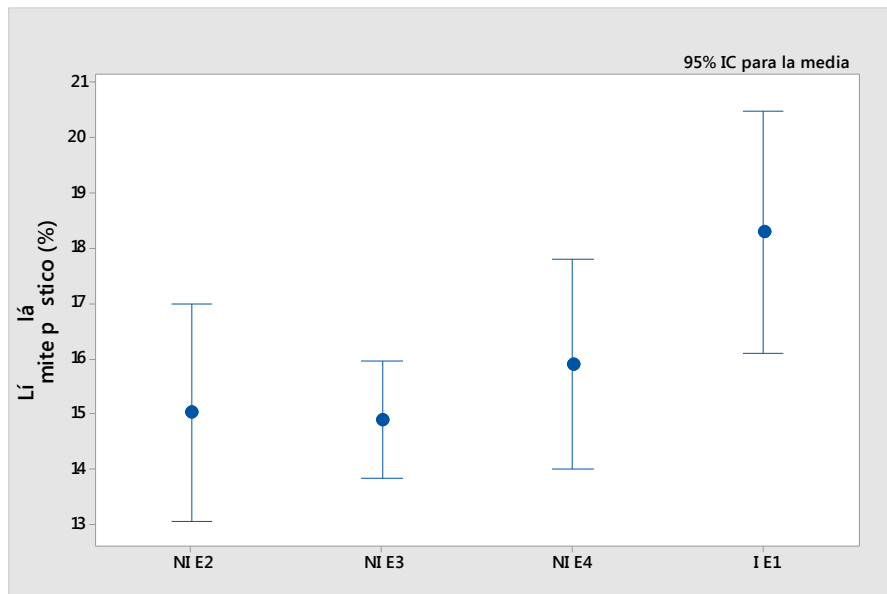


Figura 23. Variación del límite plástico en los diferentes estratos de suelo no intervenido y suelo intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara.

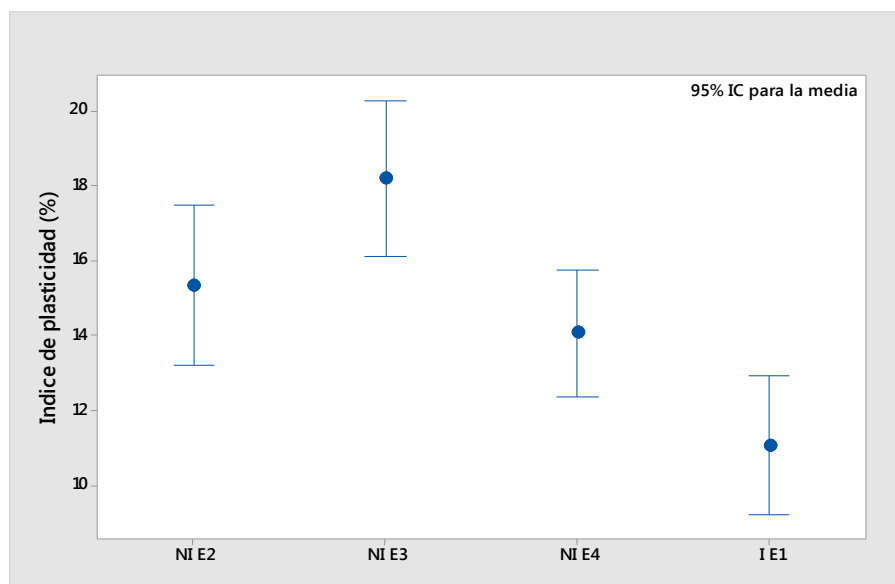


Figura 24. Variación del índice de plasticidad en los diferentes estratos de suelo no intervenido y suelo intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara.

Por otro lado, en la Figura 24 puede apreciarse que los rangos de variación del índice de plasticidad en los diferentes estratos de suelo comparados son uniformes alcanzando un nivel más alto en el estrato 3 del suelo no intervenido lo cual indica mayor plasticidad del suelo. El valor más bajo se presenta como era de esperar, en el suelo intervenido el que lo constituye un material menos plástico.

Las figuras 25 y 26 muestran las propiedades mecánicas de los suelos. La diferencia del ángulo de fricción de los suelos comparados es muy notoria siendo mayor en los suelos intervenidos lo cual indica la presencia de mayor porcentaje de material grueso como grava y arena. Por el contrario, un mayor valor del coeficiente de cohesión está indicando mayor porcentaje de finos en el suelo no intervenido como se puede apreciar en la Figura 25. Estas dos propiedades guardan relación inversa como lo sostienen Seguel y Orellana (2008) cuando determinan la relación entre las propiedades mecánicas de los suelos y los procesos de génesis e intensidad de uso de los mismos.

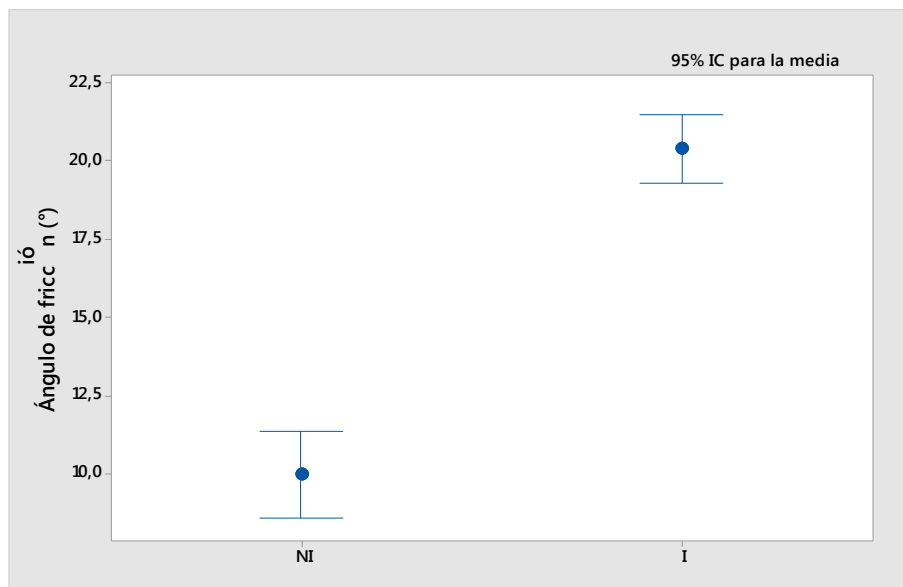


Figura 25. Variación del ángulo de fricción interno de suelo no intervenido y suelo intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara.

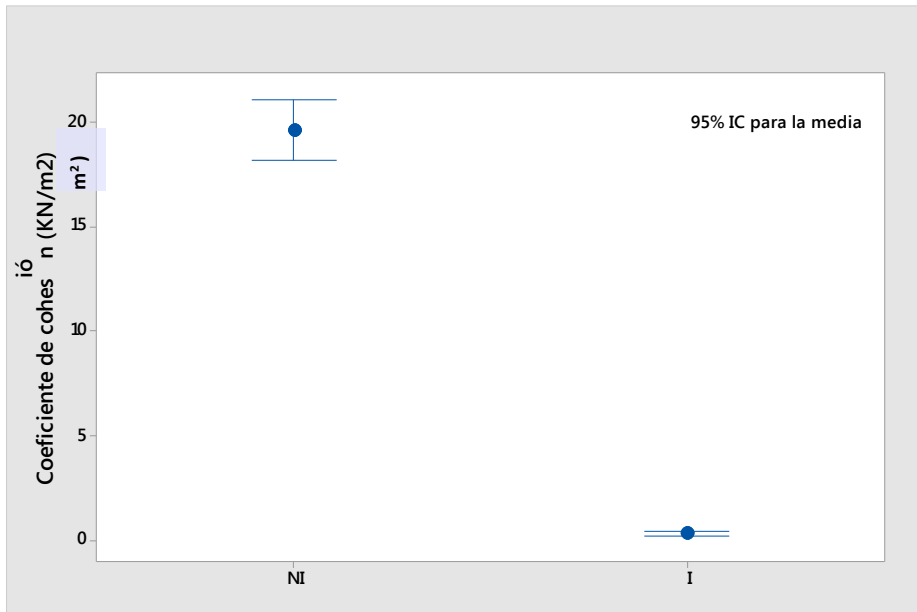


Figura 26. Variación del coeficiente de cohesión entre partículas de suelo no intervenido y suelo intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara.

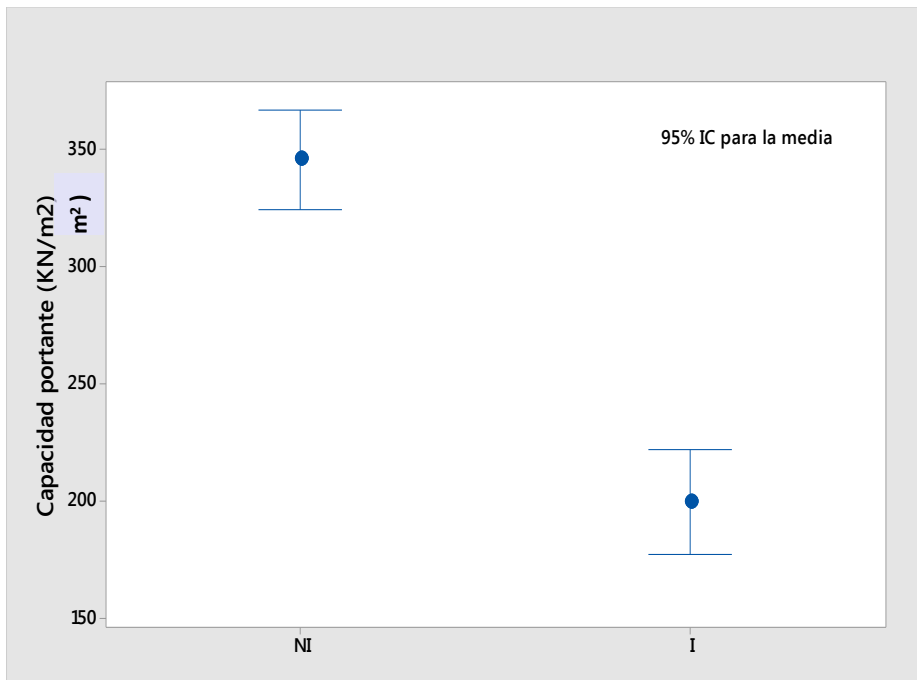


Figura 27. Variación de la capacidad portante de suelo no intervenido y suelo intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara.

Los rangos de variación de la capacidad portante y esfuerzo admisible de los suelos son uniformes. En ambos casos los valores que alcanza en suelos no intervenidos son superiores tal como se aprecia en las figuras 27 y 28.

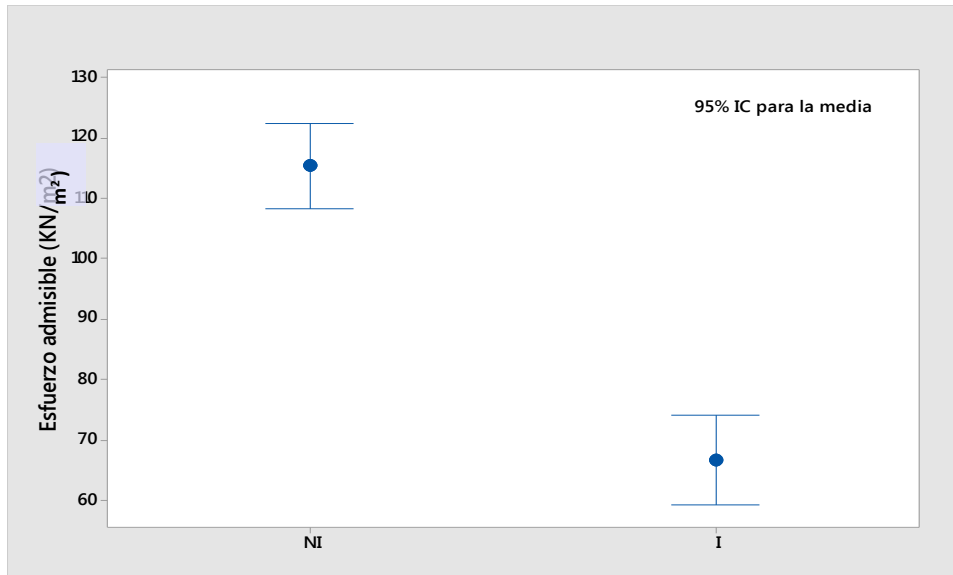


Figura 28. Variación del esfuerzo admisible de suelo no intervenido y suelo intervenido por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara.

Los resultados de las propiedades mecánicas guardan relación con lo sostenido por Seguel y Orellana (2008) respecto a que el incremento de la fricción interna puede deberse a la menor capacidad de soporte de este suelo lo que en la prueba de corte estaría reflejando el roce entre partículas individuales, principalmente fragmentos gruesos, sobre las cuales la carga normal genera un acercamiento, con el consecuente aumento de la fricción interna. Por otro lado, las figuras presentadas anteriormente muestran que los valores de las medias de las diferentes propiedades físicas y mecánicas de las muestras de suelo no intervenido difieren de los valores de las medias de las propiedades de las muestras de suelo intervenido en los distintos estratos estudiados.

Aplicando la prueba T-student a los resultados, el nivel de significancia de las diferencias de las propiedades físico mecánicas de los suelos no intervenidos e intervenidos en la zona ladrillera se presenta en la Tabla 23 mientras que en la Tabla 24 se hace una diferenciación según estrato de suelo.

Tabla 23

Resultados de análisis estadístico y prueba de hipótesis para los suelos de la zona ladrillera Santa Bárbara.

H ₀ : No existen diferencias significativas entre la propiedad (a) del suelo no intervenido e intervenido por la actividad extractiva de arcilla.			
H ₁ : Sí existen diferencias significativas entre la propiedad (a) del suelo no intervenido e intervenido por la actividad extractiva de arcilla.			
Nivel de significancia α		P(T<=t)	
Peso específico de sólidos			
0,05	0,075	P > α	se acepta H ₀
Contenido de humedad			
0,05	<0,001	P < α	se rechaza H ₀
Límite líquido			
0,05	0,010	P < α	se rechaza H ₀
Límite plástico			
0,05	0,083	P > α	se acepta H ₀
Índice de plasticidad			
0,05	<0,001	P < α	se rechaza H ₀
Contenido de grava			
0,05	<0,001	P < α	se rechaza H ₀
Contenido de arena			
0,05	<0,001	P < α	se rechaza H ₀
Contenido de finos			
0,05	<0,001	P < α	se rechaza H ₀
Ángulo de fricción			
0,05	<0,01	P < α	se rechaza H ₀
Coeficiente de cohesión			
0,05	<0,01	P < α	se rechaza H ₀
Capacidad portante y esfuerzo admisible			
0,05	<0,01	P < α	se rechaza H ₀

Como puede apreciarse en la Tabla 23, existen diferencias significativas entre las propiedades evaluadas en la zona ladrillera, salvo en el caso del peso específico de sólidos y el límite plástico para los que sus diferencias no resultan significativas.

Tabla 24

Resultados de análisis estadístico y prueba de hipótesis según estrato

H₀: No existen diferencias significativas entre la propiedad (a) del estrato de suelo no intervenido e intervenido por la actividad extractiva de arcilla.

H₁: Sí existen diferencias significativas entre la propiedad (a) del estrato de suelo no intervenido e intervenido por la actividad extractiva de arcilla.

Estrato	Nivel de significancia α	P(T<=t)		
Peso específico de sólidos				
E2	0,05	0,036	P< α	se rechaza H ₀
E3	0,05	0,395	P> α	se acepta H ₀
E4	0,05	0,022	P< α	se rechaza H ₀
Contenido de humedad				
E2	0,05	0,001	P< α	se rechaza H ₀
E3	0,05	0,001	P< α	se rechaza H ₀
E4	0,05	0,001	P< α	se rechaza H ₀
Límite líquido				
E2	0,05	0,696	P> α	se acepta H ₀
E3	0,05	0,016	P< α	se rechaza H ₀
E4	0,05	0,568	P> α	se acepta H ₀
Límite plástico				
E2	0,05	0,025	P< α	se rechaza H ₀
E3	0,05	0,007	P< α	se rechaza H ₀
E4	0,05	0,090	P> α	se acepta H ₀
Índice de plasticidad				
E2	0,05	0,003	P< α	se rechaza H ₀
E3	0,05	0,001	P< α	se rechaza H ₀
E4	0,05	0,017	P< α	se rechaza H ₀
Contenido de grava				
E2	0,05	<0,001	P< α	se rechaza H ₀
E3	0,05	<0,001	P< α	se rechaza H ₀
E4	0,05	<0,001	P< α	se rechaza H ₀
Contenido de arena				
E2	0,05	0,058	P> α	se acepta H ₀
E3	0,05	<0,001	P< α	se rechaza H ₀
E4	0,05	<0,001	P< α	se rechaza H ₀
Contenido de finos				
E2	0,05	0,002	P< α	se rechaza H ₀
E3	0,05	<0,001	P< α	se rechaza H ₀
E4	0,05	<0,001	P< α	se rechaza H ₀
Ángulo de fricción				
E4	0,05	<0,01	P< α	se rechaza H ₀
Coeficiente de cohesión				
E3	0,05	<0,01	P< α	se rechaza H ₀
Capacidad portante y esfuerzo admisible				
E4	0,05	<0,01	P< α	se rechaza H ₀

En la Tabla 24 se observa que el peso específico en suelos intervenidos se incrementa significativamente con respecto al estrato 2 y 4 de los suelos no intervenidos; el límite líquido se reduce significativamente solamente con respecto al estrato 3 de los suelos no intervenidos; el límite plástico se ha incrementado significativamente en el estrato 2 y 3, mientras que el índice de plasticidad que frecuentemente es utilizado para la caracterización de suelos cohesivos (Berry y Reid, 2000) se ha reducido significativamente con respecto a los tres estratos de suelos no intervenidos, de lo cual se puede inferir que, aunque siguen siendo plásticos, han perdido plasticidad, llegando a alcanzar una baja plasticidad (Reverté, 2001).

En cuanto al contenido de grava se incrementó significativamente con respecto a los tres estratos de suelo no intervenido, el contenido de arena se incrementó significativamente en los estratos 3 y 4 mientras que el contenido de finos se redujo significativamente en los tres estratos (Tabla 24). Esto debido a que, durante el proceso de trituración, tamizado y selección del material arcilloso extraído, las partículas gruesas que se desechan van a conformar los rellenos o suelos intervenidos tal como lo sostiene Garzón (2013) al evaluar los impactos ambientales generado por la minería de arcillas a cielo abierto.

El incremento significativo del contenido de humedad respecto a los estratos de suelos no intervenidos como consecuencia de la actividad ladrillera indica que los suelos intervenidos son más húmedos que los suelos naturales, debido a que los forados que se van formando durante el proceso de extracción de arcillas se utilizan inicialmente como reservorios de agua para la misma actividad ladrillera (Garzón, 2013). En ninguno de los casos, los suelos alcanzan el valor óptimo de contenido de humedad que según la investigación realizada por Llique (2015) para un suelo CH es de 22,5% y de 14% para un CL.

Las propiedades mecánicas con fines de cimentación superficial de los suelos intervenidos, han cambiado significativamente como se aprecia en la Tabla 24. La reducción del coeficiente de cohesión interna, indica que los suelos intervenidos se encuentran en estado suelto, su densidad es baja y su compactación menor (Das, 2015). Además, es menester indicar que mientras menor es el coeficiente de cohesión, las partículas de suelos son de mayor tamaño como se observa también en los resultados de la granulometría (Tabla 16). El ángulo de fricción entre partículas ha incrementado significativamente, alcanzando un valor de $20,38^\circ$ (Tabla 22); este valor indica un estado de suelo muy suelto (Das, 2015) con prominencia de partículas de arena y limo. Un valor un tanto mayor fue encontrado por Sandoval et al. (2015) en rellenos sanitarios. La capacidad portante del suelo intervenido y por consiguiente el esfuerzo admisible del mismo se ha reducido significativamente. El valor que alcanza en los suelos intervenidos indican una consistencia medianamente blanda mientras que en el caso de suelos no intervenidos una consistencia firme (Das, 2015). Tal como sostiene Gómez (2008) suelos con mayor contenido de humedad, alcanzan menor capacidad portante, tal es el caso de los suelos intervenidos cuyo contenido de humedad natural excede en casi 10% al contenido de humedad natural de los suelos no intervenidos (Tabla 22 y Tabla 24). Los resultados de corte directo presentados en la Tabla 24 indican que la capacidad portante de suelos intervenidos disminuye significativamente, esto debido a que su peso específico aparente es bajo ya que lo constituyen rellenos no controlados, que no han sido compactados adecuadamente según lo que estipulan las normas técnicas de edificaciones (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2018) generando suelos con alto porcentaje de vacíos. Otra causa es que, los suelos intervenidos presentan un bajo coeficiente de cohesión entre partículas, lo que indica que son suelos constituidos por partículas sueltas.

El índice de alteración promedio de las propiedades físico mecánicas correspondientes a cada estrato de suelo y a toda la zona de estudio se presenta en la Tabla 25 y Tabla 26.

Tabla 25

Índice de alteración promedio de las propiedades físicas de suelos no intervenidos en sus diferentes estratos.

Estratos comparados	Peso específico de sólidos		Contenido de humedad		Límite líquido		Límite plástico		Índice plástico		Contenido grava		Contenido arena		Contenido finos	
	DA	IAP (%)	DA	IAP (%)	DA	IAP (%)	DA	IAP (%)	DA	IAP (%)	DA	IAP (%)	DA	IAP (%)	DA	IAP (%)
E1i - E2	1,86	8,0	10,45	283	-1,02	1,6	3,38	30,3	-4,40	-23,5	1,17	22	9,71	21,1	-11,42	-23,5
E1i - E3	0,78	3,0	8,19	156	-7,73	-15,6	1,77	18,3	-9,51	-41,5	4,89	305	17,68	46,5	-23,12	-38,3
E1i - E4	1,37	6,0	8,25	159	-7,86	-14,1	2,14	19,6	-10,00	-37,8	5,72	737	14,92	36,6	-21,19	-36,3
Zona total	1,34	5,6	8,96	199,3	-5,54	-9,4	2,43	22,7	-7,97	-34,3	3,93	355	14,10	34,7	-18,58	-32,7

DA: Diferencia absoluta. IAP: Índice de alteración promedio. (+): Incremento de valor. (-): Reducción de valor

Tabla 26

Índice de alteración promedio de las propiedades mecánicas de suelos no intervenidos en sus diferentes estratos.

Estratos Comparados	Contenido de humedad natural		Peso específico aparente		Ángulo de fricción		Coeficiente de cohesión		Capacidad portante		Esfuerzo admisible	
	DA	IAP (%)	DA	IAP (%)	DA	IAP (%)	DA	IAP (%)	DA	IAP (%)	DA	IAP (%)
E1i - E4	7,69	69,1	-0,57	-32,2	10,4	104,3	-19,33	-98,3	-139,87	-41,10	-46,62	-41,10
Zona total	7,69	69,1	-0,57	-32,2	10,4	104,3	-19,33	-98,3	-139,87	-41,10	-46,62	-41,10

DA: Diferencia absoluta. IAP: Índice de alteración promedio. (+): Incremento de valor. (-): Reducción de valor.

Los mayores índices de alteración se presentan tanto en el contenido de grava, contenido de humedad y ángulo de fricción en los diferentes estratos, los cuales indican que se incrementan. Los mayores índices de alteración que indican una reducción de las propiedades en los diferentes estratos son el índice plástico, el contenido de finos, coeficiente de cohesión, capacidad portante y esfuerzo admisible.

Del análisis multivariado de correspondencia simple, las tablas de contingencia que se presentan como Tabla 27, Tabla 28, Tabla 29, Tabla 30 y Tabla 31 indican los porcentajes de las muestras alteradas según el índice de alteración de cada una de las propiedades del suelo evaluadas asociando el nivel de alteración según estrato. La Tabla 27 indica que, en el estrato 2, el 68,06% de muestras incrementan el valor de su peso específico de sólidos hasta en 50% y el 29,86% reducen su valor en niveles hasta 25%; el 2,08% no muestran alteración. El contenido de humedad incrementa su valor en el 100% de las muestras en niveles de hasta más del 100% en la mayor parte de las mismas. El límite líquido reduce e incrementa su valor indistintamente en 50% de las muestras mayormente en niveles de hasta 25%; el 2,08% no muestran alteración. El límite plástico incrementa su valor en el 72,92% de las muestras en diferentes niveles de alteración y se reduce en el 27,08% de las muestras en niveles de hasta 50% de su valor inicial. En el caso del índice de plasticidad incrementa su valor en el 20,83% de las muestras y se reduce en el 79,17% en niveles de hasta el 100%. El contenido de grava se incrementa en el 83,33% de las muestras en niveles de más del 100% y se reducen en el 16,67% de las mismas. El incremento en el contenido de arena se presenta en el 70,83% de las muestras en diferentes niveles y se reduce en el 29,17% de las muestras en niveles de hasta el 50%. Con respecto al contenido de finos en este estrato, se incrementa en el 35,42% de las muestras analizadas mientras que se reducen en el 64,58% en niveles que llegan hasta el 75%.

Tabla 27

Porcentaje de muestras según niveles del índice de alteración de propiedades físicas de suelo intervenido respecto a suelo no intervenido. Estrato 2.

Propiedades Físicas	% de muestras alteradas					Total (%)	% de muestras sin alteración	
	A	B	C	D	E			
INCREMENTO	Peso específico de sólidos	0,00	0,00	0,00	4,63	18,06	22,69	0,69
	Contenido de humedad	29,63	1,39	0,93	0,93	0,46	33,33	0,00
	Límite líquido	0,00	0,00	1,85	5,09	9,49	16,44	0,69
	Límite plástico	2,31	3,24	5,32	5,09	8,33	24,31	0,00
	Índice de plasticidad	0,23	0,23	0,46	2,31	3,70	6,94	0,00
	Contenido de Grava	27,31	0,46	0,00	0,00	0,00	27,78	0,00
	Contenido de Arena	3,94	0,46	7,18	3,70	8,33	23,61	0,00
	Contenido de Finos	0,23	1,39	0,46	3,47	6,25	11,81	0,00
REDUCCION	Peso específico de sólidos	0,00	0,00	0,00	0,00	9,95	9,95	
	Contenido de humedad	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Límite líquido	0,00	0,00	0,23	5,56	10,42	16,20	
	Límite plástico	0,00	0,00	0,00	3,01	6,02	9,03	
	Índice de plasticidad	0,00	0,23	6,25	12,73	7,18	26,39	
	Contenido de Grava	0,00	4,40	1,16	0,00	0,00	5,56	
	Contenido de Arena	0,00	0,00	0,00	1,85	7,87	9,72	
	Contenido de Finos	0,00	0,00	4,17	9,72	7,64	21,53	

En la Tabla 28 se observa que, en el estrato 3, el 56,25% de muestras incrementan su valor hasta en 50% y el 43,06% reducen su valor en niveles hasta 50%; el 0,69% no muestran alteración. El contenido de humedad incrementa su valor en el 97,22% de las muestras en niveles de hasta más del 100% y escasamente el 2,78% de las muestras reducen su valor en un nivel de hasta 25%. El límite líquido incrementa su valor en 23,61% de las muestras en niveles de hasta 50% y reduce en el 75,00% en niveles de hasta 75%; el 1,39% no muestran alteración. El límite plástico incrementa su valor en el 64,58% de las muestras en niveles de alteración de hasta más del 100% y se reduce en el 35,42% de las muestras en niveles de hasta 75% de su valor inicial. En el caso del índice de plasticidad incrementa su valor en el 8,33% de las muestras y se reduce en el 91,67% en niveles de hasta el 75%. El contenido de grava se incrementa en el 86,11%

de las muestras en niveles de más del 100% y se reducen en el 13,89% de las mismas. El incremento en el contenido de arena se presenta en el 90,97% de las muestras en diferentes niveles y se reduce en el 9,03% de las muestras en niveles de hasta el 50%. Con respecto al contenido de finos en este estrato, se incrementa en el 6,25% de las muestras analizadas mientras que se reducen en el 93,75% en niveles que llegan hasta el 75%.

Tabla 28

Porcentaje de muestras según niveles del índice de alteración de propiedades físicas de suelo intervenido respecto a suelo no intervenido. Estrato 3.

Propiedades Físicas	% de muestras alteradas					Total (%)	% de muestras sin alteración	
	A	B	C	D	E			
INCREMENTO	Peso específico de sólidos	0,00	0,00	0,00	3,24	15,61	18,75	0,23
	Contenido de humedad	20,37	2,55	3,70	3,24	2,55	32,41	0,00
	Límite líquido	0,00	0,00	0,00	0,69	7,18	7,87	0,46
	Límite plástico	0,93	1,62	3,94	8,10	6,94	21,53	0,00
	Índice de plasticidad	0,00	0,00	0,23	0,23	2,31	2,78	0,00
	Contenido de Grava	27,78	0,00	0,00	0,69	0,23	28,70	0,00
	Contenido de Arena	4,17	0,23	5,79	12,04	8,10	30,32	0,00
	Contenido de Finos	0,00	0,00	0,23	1,16	0,69	2,08	0,00
REDUCCION	Peso específico de sólidos	0,00	0,00	0,00	0,46	13,89	14,35	
	Contenido de humedad	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93	0,93	
	Límite líquido	0,00	0,00	2,55	8,10	14,35	25,00	
	Límite plástico	0,00	0,00	0,93	3,70	7,18	11,81	
	Índice de plasticidad	0,00	1,62	12,04	12,04	4,86	30,56	
	Contenido de Grava	0,00	0,93	1,39	1,16	1,16	4,63	
	Contenido de Arena	0,00	0,00	0,00	0,23	2,78	3,01	
	Contenido de Finos	0,00	0,00	8,10	13,89	9,26	31,25	

La Tabla 29 indica que en el estrato 4, el 68,75% de muestras incrementan su valor hasta en 50% y el 29,86% reducen su valor en niveles hasta 50%; el 1,39% no muestran alteración. El contenido de humedad incrementa su valor en el 98,61% de las muestras en niveles de hasta más del 100% y escasamente el 1,39% de las muestras

reducen su valor en un nivel de hasta 25%. El límite líquido incrementa su valor en 34,03% de las muestras en niveles de hasta 50% y reduce en el 65,28% en niveles de hasta 75%; el 0,69% no muestran alteración. El límite plástico incrementa su valor en el 66,67% de las muestras en niveles de alteración de hasta más del 100% y se reduce en el 33,33% de las muestras en niveles de hasta 50% de su valor inicial. En el caso del índice de plasticidad incrementa su valor en el 13,89% de las muestras y se reduce en el 86,11% en niveles de hasta el 100%. El contenido de grava se incrementa en el 96,53% de las muestras en niveles de más del 100% y se reducen en el 3,47% de las mismas. El incremento en el contenido de arena se presenta en el 88,89% de las muestras en diferentes niveles y se reduce en el 11,11% de las muestras en niveles de hasta el 50%. Con respecto al contenido de finos en este estrato, se incrementa en el 6,94% de las muestras analizadas mientras que se reducen en el 93,06% en niveles que llegan hasta el 75%.

Tabla 29

Porcentaje de muestras según niveles del índice de alteración de propiedades físicas de suelo intervenido respecto a suelo no intervenido. Estrato 4.

Propiedades Físicas	% de muestras alteradas					Total (%)	% de muestras sin alteración	
	A	B	C	D	E			
INCREMENTO	Peso específico de sólidos	0,00	0,00	0,00	4,86	18,06	22,92	0,46
	Contenido de humedad	19,44	4,40	3,24	4,40	1,39	32,87	0,00
	Límite líquido	0,000	0,000	0,000	0,93	10,42	11,34	0,23
	Límite plástico	1,39	2,08	3,94	5,79	9,03	22,22	0,00
	Índice de plasticidad	0,00	0,00	0,23	1,39	3,01	4,63	0,00
	Contenido de Grava	30,56	0,69	0,93	0,00	0,00	32,18	0,00
	Contenido de Arena	4,63	4,17	2,78	7,87	10,19	29,63	0,00
	Contenido de Finos	0,00	0,00	0,00	0,000	2,31	2,31	0,00
REDUCCION	Peso específico de sólidos	0,00	0,00	0,00	0,46	9,49	9,95	
	Contenido de humedad	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46	0,46	
	Límite líquido	0,00	0,00	3,47	7,18	11,11	21,76	
	Límite plástico	0,00	0,00	0,00	3,47	7,64	11,11	
	Índice de plasticidad	0,00	2,78	9,95	12,04	3,94	28,70	
	Contenido de Grava	0,00	0,93	0,00	0,23	0,000	1,16	
	Contenido de Arena	0,00	0,00	0,00	0,46	3,24	3,70	
	Contenido de Finos	0,00	0,00	9,03	15,97	6,02	31,02	

Tabla 30

Porcentaje de muestras según niveles del índice de alteración de propiedades mecánicas de suelo en la zona ladrillera de Santa Bárbara.

Propiedades Mecánicas	% de muestras alteradas					Total (%)	% de muestras sin alteración	
	A	B	C	D	E			
INCREMENTO	Ángulo de fricción	55,56	12,50	20,14	11,1	0,69	100,0	0,00
	Coefficiente de cohesión	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Capacidad portante	0,00	0,00	0,00	0,00	1,39	1,39	0,00
	Esfuerzo admisible	0,00	0,00	0,00	0,00	1,39	1,39	0,00
REDUCCION	Ángulo de fricción	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Coefficiente de cohesión	0,00	100,0	0,00	0,00	0,00	100,0	
	Capacidad portante	0,00	0,00	28,47	56,25	13,89	98,61	
	Esfuerzo admisible	0,00	0,00	28,47	56,25	13,89	98,61	

De la comparación de valores de las tablas, 27, 28 y 29 se puede observar que el mayor porcentaje de muestras alteradas en el peso específico se presentan en el estrato 3 con el 33,10% de las muestras, de las cuales, la mayor parte han reducido su valor. En el caso del contenido de humedad, la alteración se presenta en los tres estratos en los que se incrementa esta propiedad. Para el límite líquido el mayor porcentaje de muestras alteradas se presentan en el estrato 4 con 33,10% las cuales mayormente reducen su valor. El porcentaje de muestras alteradas en el límite plástico se presenta por igual en los tres estratos; la mayor parte de ellos incrementan su valor. El límite plástico se incrementa indistintamente en los tres estratos mientras que el índice plástico se reduce. El contenido de grava al igual que el contenido de arena se altera en los tres estratos incrementándose su valor mientras que el contenido de finos incrementa su valor casi en su totalidad en los tres estratos. En la Tabla 30 se observa que el coeficiente de fricción incrementa su valor en la totalidad de las muestras mientras que el ángulo de cohesión al igual que la capacidad portante y el esfuerzo admisible reducen su valor en la totalidad de las muestras.

Tabla 31

Porcentaje de muestras según niveles del índice de alteración de propiedades físicas de suelo en la zona ladrillera de Santa Bárbara.

Propiedades Físicas	% de muestras alteradas					% total de muestras alteradas	
	A	B	C	D	E		
INCREMENTO	Peso específico de sólidos	0,000	0,000	0,000	12,73	51,62	64,35
	Contenido de humedad	69,44	8,33	7,87	8,56	4,40	98,61
	Límite líquido	0,000	0,000	1,85	6,71	27,08	35,65
	Límite plástico	4,63	6,94	13,19	18,98	24,31	68,06
	Índice de plasticidad	0,23	0,23	0,93	3,94	9,03	14,35
	Contenido de Grava	85,65	1,16	0,93	0,69	0,23	88,66
	Contenido de Arena	12,73	4,86	15,74	23,61	26,62	83,56
	Contenido de Finos	0,23	1,39	0,69	4,63	9,26	16,20
REDUCCION	Peso específico de sólidos	0,000	0,000	0,000	0,93	34,72	35,65
	Contenido de humedad	0,000	0,000	0,000	0,000	1,39	1,39
	Límite líquido	0,000	0,000	6,25	20,83	37,27	64,35
	Límite plástico	0,000	0,000	0,93	10,19	20,83	31,94
	Índice de plasticidad	0,000	4,63	28,24	36,81	15,97	85,65
	Contenido de Grava	0,000	6,25	2,55	1,39	1,16	11,34
	Contenido de Arena	0,000	0,000	0,000	2,55	13,89	16,44
	Contenido de Finos	0,000	0,000	21,30	39,58	22,92	83,80

Como se aprecia en la Tabla 31, el peso específico de sólidos en suelo no intervenido es ligeramente más alto que en el estrato superior, debido a una mayor concentración de arcillas, por lo mismo el valor de contenido de humedad (en muestras alteradas) indica que retiene mayor cantidad de agua, sin embargo, no es completamente impermeable. El límite líquido se incrementó ligeramente con respecto al estrato 2 en 2%, el límite de plasticidad prácticamente se mantuvo igual, por lo que el índice de plasticidad se incrementó en la misma proporción, es decir que el intervalo de contenido de humedad en el cual el suelo puede moldearse es de 2,84%, (Juárez y Rico, 2005). Esto se debe también a la mayor presencia de finos en el estrato lo que favorece su uso en la industria ladrillera (Reverté, 2001). Estos resultados fueron presentados en la Tabla 14 y como en

el estrato anterior son semejantes a los reportados por Zea (2005) Fernández (2009) y por Ruíz (2015) en zonas ladrilleras. El contenido de grava es casi nulo, el contenido de arena 42,78% servirá como desgrasante y proporcionará mayor resistencia al producto final junto al porcentaje de finos que alcanza el 55,62%, hacen que el suelo sea apto para la fabricación de ladrillos (Santos et al., 2011), (Reverté, 2001) y (Fernández, 2009).

El nivel de significancia de las diferencias de las propiedades físico mecánicas de los suelos estudiados teniendo en cuenta la clase de suelo se presenta en la Tabla 32.

Tabla 32

Resultados de análisis estadístico y prueba de hipótesis según clase de suelo.

H₀: No existen diferencias significativas entre la propiedad (a) de la clase de suelo no intervenido e intervenido por la actividad extractiva de arcilla.

H₁: Sí existen diferencias significativas entre la propiedad (a) de la clase de suelo no intervenido e intervenido por la actividad extractiva de arcilla.

Clase de suelo intervenido	Clase de suelo no intervenido	Nivel de significancia α	P(T<=t)		
SC	Peso específico de sólidos				
	SC	0,05	0,299	P > α	se acepta H ₀
	CL	0,05	0,125	P > α	se acepta H ₀
	CH	0,05	0,017	P < α	se rechaza H ₀
	Contenido de humedad				
	SC	0,05	<0,001	P < α	se rechaza H ₀
	CL	0,05	<0,001	P < α	se rechaza H ₀
	CH	0,05	<0,001	P < α	se rechaza H ₀
	Límite líquido				
	SC	0,05	0,880	P > α	se acepta H ₀
	CL	0,05	0,055	P > α	se acepta H ₀
	CH	0,05	0,016	P < α	se rechaza H ₀
	Límite plástico				
	SC	0,05	0,014	P < α	se rechaza H ₀
	CL	0,05	0,037	P < α	se rechaza H ₀
	CH	0,05	0,080	P > α	se acepta H ₀
	Índice de plasticidad				
	SC	0,05	0,023	P < α	se rechaza H ₀
CL	0,05	<0,001	P < α	se rechaza H ₀	
CH	0,05	0,019	P < α	se rechaza H ₀	

Clase de suelo intervenido	Clase de suelo no intervenido	Nivel de significancia α	P(T \leq t)		
SC	Contenido de grava				
	SC	0,05	0,942	P > α	se acepta H ₀
	CL	0,05	<0,001	P < α	se rechaza H ₀
	CH	0,05	<0,001	P < α	se rechaza H ₀
	Contenido de arena				
	SC	0,05	0,573	P > α	se acepta H ₀
	CL	0,05	<0,001	P < α	se rechaza H ₀
	CH	0,05	0,064	P > α	se acepta H ₀
	Contenido de finos				
	SC	0,05	0,401	P > α	se acepta H ₀
	CL	0,05	<0,001	P < α	se rechaza H ₀
	CH	0,05	0,046	P < α	se rechaza H ₀
	Ángulo de fricción				
	SC	0,05	0,162	P > α	se acepta H ₀
	CL	0,05	0,011	P < α	se rechaza H ₀
	CH	0,05	0,057	P > α	se acepta H ₀
	Coeficiente de cohesión				
	SC	0,05	0,007	P < α	se rechaza H ₀
	CL	0,05	0,002	P < α	se rechaza H ₀
	CH	0,05	0,043	P < α	se rechaza H ₀
	Capacidad portante				
SC	0,05	0,862	P > α	se acepta H ₀	
CL	0,05	0,997	P > α	se acepta H ₀	
CH	0,05	1,000	P > α	se acepta H ₀	
CL	Peso específico de sólidos				
	SC	0,05	0,213	P > α	se acepta H ₀
	CL	0,05	0,389	P > α	se acepta H ₀
	CH	0,05	0,300	P > α	se acepta H ₀
	Contenido de humedad				
	SC	0,05	<0,001	P < α	se rechaza H ₀
	CL	0,05	<0,001	P < α	se rechaza H ₀
	CH	0,05	<0,001	P < α	se rechaza H ₀
	Límite líquido				
	SC	0,05	0,800	P > α	se acepta H ₀
	CL	0,05	0,009	P < α	se rechaza H ₀
	CH	0,05	0,014	P < α	se rechaza H ₀
	Límite plástico				
	SC	0,05	<0,001	P < α	se rechaza H ₀
	CL	0,05	<0,001	P < α	se rechaza H ₀
	CH	0,05	0,135	P > α	se acepta H ₀
	Índice de plasticidad				
	SC	0,05	0,003	P < α	se rechaza H ₀
CL	0,05	<0,001	P < α	se rechaza H ₀	
CH	0,05	0,015	P < α	se rechaza H ₀	

...continúa

Clase de suelo intervenido	Clase de suelo no intervenido	Nivel de significancia α	P(T<=t)		
CL	Contenido de grava				
	SC	0,05	0,189	P > α	se acepta H ₀
	CL	0,05	<0,001	P < α	se rechaza H ₀
	CH	0,05	0,105	P > α	se acepta H ₀
	Contenido de arena				
	SC	0,05	0,010	P < α	se rechaza H ₀
	CL	0,05	0,022	P < α	se rechaza H ₀
	CH	0,05	0,125	P > α	se acepta H ₀
	Contenido de finos				
	SC	0,05	<0,01	P < α	se rechaza H ₀
	CL	0,05	0,037	P < α	se rechaza H ₀
	CH	0,05	0,124	P > α	se acepta H ₀
	Ángulo de fricción				
	SC	0,05	0,140	P > α	se acepta H ₀
	CL	0,05	0,006	P < α	se rechaza H ₀
	CH	0,05	0,044	P < α	se rechaza H ₀
	Coeficiente de cohesión				
	SC	0,05	0,007	P < α	se rechaza H ₀
	CL	0,05	0,002	P < α	se rechaza H ₀
	CH	0,05	0,043	P < α	se rechaza H ₀
	Capacidad portante				
SC	0,05	0,908	P > α	se acepta H ₀	
CL	0,05	0,999	P > α	se acepta H ₀	
CH	0,05	0,996	P > α	se acepta H ₀	

En la Tabla 32 se observa que en los suelos SC que luego de ser intervenidos continúan clasificando como tales, la diferencia del peso específico de sólidos, no es significativa, tampoco lo es la diferencia del límite líquido, del contenido de grava, contenido de arena, contenido de finos, ángulo de fricción y capacidad portante; sí es significativa la diferencia en el contenido de humedad, límite plástico, índice de plasticidad y coeficiente de cohesión. Para el caso en que los suelos cambian de clasificación pasando de CL a SC la diferencia del peso específico, límite líquido y capacidad portante no es significativa; sí lo es la diferencia de contenido de humedad, límite plástico, índice de plasticidad, contenido de grava, contenido de arena, contenido de finos, ángulo de fricción y coeficiente de cohesión. Cuando los suelos no intervenidos

CH pasaron a clasificar como suelos SC, la diferencia del límite plástico, contenido de arena, ángulo de fricción y capacidad portante y capacidad portante no es significativa; sí lo es la diferencia de peso específico de sólidos, contenido de humedad, límite líquido, índice de plasticidad, contenido de grava, contenido de finos, y coeficiente de cohesión.

En la misma tabla se observa que en los suelos SC que luego de ser intervenidos pasan a clasificar como CL, la diferencia del peso específico de sólidos, no es significativa, tampoco lo es la diferencia del límite líquido, del contenido de grava, ángulo de fricción y capacidad portante; sí es significativa la diferencia en el contenido de humedad, límite plástico, índice de plasticidad, contenido de arena, contenido de finos y coeficiente de cohesión. Para el caso en que los suelos no cambian de clasificación CL, la diferencia del peso específico y capacidad portante no es significativa; sí lo es la diferencia de contenido de humedad, límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, contenido de grava, contenido de arena, contenido de finos, ángulo de fricción y coeficiente de cohesión. Cuando los suelos no intervenidos CH pasaron a clasificar como suelos CL, la diferencia del peso específico de sólidos, límite plástico, contenido de grava, contenido de arena, contenido de finos y capacidad portante no es significativa; sí lo es la diferencia de contenido de humedad, límite líquido, índice de plasticidad, ángulo de fricción y coeficiente de cohesión.

El índice de alteración promedio de las propiedades físico mecánicas correspondientes a cada clase de suelo se presenta en las tablas 33 y 34 en las que se observa que los mayores índices de alteración se presentan tanto en el contenido de grava, contenido de humedad y ángulo de fricción en las diferentes clases de suelo, cuyos valores indican que se incrementan. Los mayores índices de alteración que indican una reducción de las propiedades en las diferentes clases de suelo son el índice plástico, el

contenido de finos, capacidad portante y esfuerzo admisible. Las clases de suelo que sufren mayor alteración en las propiedades físicas son los que siendo suelos CL o suelos CH pasan a ser suelos SC después de la intervención, por el contrario, las clases de suelo que sufren mayor alteración en las propiedades mecánicas son los que siendo suelos SC terminan siendo suelos CL después de la intervención.

Del análisis multivariado de correspondencia simple, las tablas de contingencia que se presentan como Tabla 35, Tabla 36, Tabla 37 y Tabla 38 muestran los porcentajes de las muestras alteradas según el índice de alteración de cada una de las propiedades del suelo evaluadas y determina el nivel de alteración según la clase de suelo.

La Tabla 35 indica que, los suelos SC que luego de la intervención siguen clasificando como tales, el 54,86% de muestras incrementaron el valor de su peso específico de sólidos hasta en 50% y el 36,81% redujeron su valor en niveles hasta 50%; el 2,78% no muestran alteración, el contenido de humedad incrementó su valor en el 90,28% de las muestras en niveles de hasta más del 100% en la mayor parte de las mismas. El límite líquido redujo e incrementó su valor indistintamente en casi el 50% de las muestras mayormente en niveles de hasta 75%; el 1,39% no muestran alteración. El límite plástico incrementó su valor en el 77,08% de las muestras en diferentes niveles de alteración y se redujo en el 17,36% de las muestras en niveles de hasta 50% de su valor inicial. En el caso del índice de plasticidad incrementó su valor en el 20,83% de las muestras y se redujo en el 73,61% en niveles de hasta el 100%. El contenido de grava se incrementó en el 73,61% de las muestras en niveles de más del 100% y se redujo en el 20,83% de las mismas. El incremento en el contenido de arena se presentó en el 56,94% de las muestras en diferentes niveles y se redujo en el 37,50% de las muestras en niveles de hasta el 50%. Con respecto al contenido de finos en este suelo, se

incrementó en el 40,97% de las muestras analizadas mientras que se redujo en el 53,47% en niveles que llegan hasta el 75%. Con respecto a las propiedades mecánicas (Tabla 39), el ángulo de fricción se incrementó en el 94,44% de muestras en niveles que llegaron hasta más del 100% sin presentarse reducción del valor mencionado; el coeficiente de cohesión en cambio se redujo en el 94,44% en nivel de 100% mientras que la capacidad portante y el esfuerzo admisible se redujeron en el 91,67% de las muestras en niveles de hasta 75%. En suelos que pasan a ser CL, el peso específico de sólidos se incrementó en el 1,39% de las muestras hasta 25% y se redujo en el 4,17%; el contenido de humedad se incrementó en el 5,56% de las muestras hasta en 100%, el límite líquido redujo e incrementó su valor indistintamente en 2,78% de las muestras mayormente en niveles de hasta 50%. El límite plástico incrementó su valor en el 4,86% de las muestras en diferentes niveles de alteración y se redujo en el 0,69% de las muestras en niveles de hasta 75% de su valor inicial. En el caso del índice de plasticidad no incrementó su valor y se redujo en el 5,56% en niveles de hasta el 75%. El contenido de grava no incrementó y se redujo en el 5,56% de las mismas. El incremento en el contenido de arena se presentó en el 0,69% de las muestras en apenas el 25% y se redujo en el 4,86% de las muestras en niveles de hasta el 50%. El contenido de finos en este suelo, se incrementó en el 5,56% de las muestras analizadas en todos los niveles sin que se reduzca su valor. Con respecto a las propiedades mecánicas (Tabla 40), el ángulo de fricción se incrementó en el 5,56% de muestras en niveles que llegaron hasta más del 100% sin presentarse reducción del valor mencionado; el coeficiente de cohesión en cambio se redujo en el 5,56% de las muestras en nivel de 100% mientras que la capacidad portante y el esfuerzo admisible se redujeron en el 5,56% de las muestras en niveles de hasta 75%.

Los resultados de la Tabla 36 indican que, los suelos CL que luego de la intervención clasifican como SC, el 62,39% de muestras incrementaron el valor de su peso específico de sólidos hasta en 50% y el 31,62% redujeron su valor en niveles hasta 50%; el 0,43% no muestran alteración, el contenido de humedad incrementó su valor en el 94,02% de las muestras en niveles de hasta más del 100% en la mayor parte de las mismas. El límite líquido incrementó su valor en el 31,20% de las muestras en valores de hasta 50% y se redujo en el 61,54% en hasta el 75%; el 1,71% no muestran alteración. El límite plástico incrementó su valor en el 67,09% de las muestras en diferentes niveles de alteración y se redujo en el 27,35% de las muestras en niveles de hasta 50% de su valor inicial. En el caso del índice de plasticidad incrementó su valor en el 13,68% de las muestras y se redujo en el 80,77% en niveles de hasta el 100%. El contenido de grava se incrementó en el 94,44% de las muestras en niveles de más del 100% y no mostró reducción. El incremento en el contenido de arena se presentó en el 91,45% de las muestras en más del 100%. Con respecto al contenido de finos en este suelo, no mostró incremento y se redujo en el 94,44% en niveles que llegan hasta el 75%. Con respecto a las propiedades mecánicas (Tabla 40), el ángulo de fricción se incrementó en el 94,44% de muestras en niveles que llegaron hasta más del 100% sin presentarse reducción del valor mencionado; el coeficiente de cohesión en cambio se redujo en el 94,44% en nivel de 100% mientras que la capacidad portante y el esfuerzo admisible se redujeron en el 93,06% de las muestras en niveles de hasta 75%. En suelos que continuaron siendo CL (Tabla 36) el peso específico de sólidos se incrementó en el 3,42% de las muestras hasta 25% y se redujo en el 1,71%; el contenido de humedad se incrementó en el 5,56% de las muestras hasta en 100%, el límite líquido incrementó su valor indistintamente en 0,43% de las muestras hasta en niveles de 25% y se redujo en el 5,13% en niveles de 50%. El límite plástico incrementa su valor en el 5,13% de las muestras en diferentes niveles de

alteración y se reduce en el 0,43% de las muestras en niveles de hasta 75% de su valor inicial. En el caso del índice de plasticidad no incrementa su valor y se reduce en el 5,56% en niveles de hasta el 75%. El contenido de grava incrementó su valor en 0,85% de muestras y se redujo en el 4,70% de las mismas. El incremento en el contenido de arena se presenta en el 4,27% de las muestras mayormente en el 25% y se redujo en el 1,28% de las muestras en el mismo nivel. Con respecto al contenido de finos en este suelo, se incrementó en el 1,28% de las muestras analizadas en niveles de hasta 25% mientras que redujo su valor en el 4,27% de muestras. Con respecto a las propiedades mecánicas (Tabla 40), el ángulo de fricción se incrementó en el 5,56% de muestras en niveles que llegaron hasta más del 100% sin presentarse reducción del valor mencionado; el coeficiente de cohesión en cambio se redujo en el 5,56% de las muestras en nivel de más de 100% mientras que la capacidad portante y el esfuerzo admisible se redujeron en el 5,56% de las muestras en niveles de hasta 75%.

En la Tabla 37 se observa que los suelos CH que luego de la intervención clasifican como SC, el 74,07% de muestras incrementaron el valor de su peso específico de sólidos hasta en 50% y el 20,37% redujeron su valor en niveles hasta 25%; el contenido de humedad incrementó su valor en el 94,44% de las muestras en niveles de hasta más del 100% en la mayor parte de las mismas. El límite líquido no incrementó su valor y se redujo en el 94,44% en hasta el 75%. El límite plástico incrementa su valor en el 12,96% de las muestras en niveles de hasta 50% y se redujo en el 51,57% de las muestras en niveles de hasta 75% de su valor inicial. En el caso del índice de plasticidad no incrementó su valor y se redujo en el 94,44% en niveles de hasta el 100%. El contenido de grava se incrementó en el 94,44% de las muestras en niveles de más del 100% y no mostró reducción. El incremento en el contenido de arena se presentó en el 94,44% de las muestras en más del 100%. Con respecto al contenido de finos en este

suelo, no mostró incremento y se redujo en el 94,44% en niveles que llegan hasta el 75%. Con respecto a las propiedades mecánicas (Tabla 41), el ángulo de fricción se incrementó en el 94,44% de muestras en niveles que llegaron hasta más del 100% sin presentarse reducción del valor mencionado; el coeficiente de cohesión, en cambio se redujo en el 94,44% en nivel de 100% mientras que la capacidad portante y el esfuerzo admisible se redujeron en el 94,44% de las muestras en niveles de hasta 75%. En suelos que pasaron a clasificar como CL (Tabla 37) el peso específico de sólidos se incrementó en el 5,56% de las muestras hasta 25% y no se redujo, el contenido de humedad se incrementó en el 5,56% de las muestras hasta en 100%, el límite líquido tampoco incrementó su valor y se redujo en el 5,56% en niveles de 50%. El límite plástico redujo en el 5,56% de las muestras en niveles de hasta 75% de su valor inicial. En el caso del índice de plasticidad se redujo en el 5,56% en niveles de hasta el 100%. El contenido de grava incrementó su valor en 5,56% de muestras. El incremento en el contenido de arena se presentó en el 5,56% de las muestras hasta en más de 100%. Con respecto al contenido de finos en este suelo se redujo su valor en el 5,56% de muestras. Con respecto a las propiedades mecánicas (Tabla 41), el ángulo de fricción se incrementó en el 5,56% de muestras en niveles que llegaron hasta más del 100% sin presentarse reducción del valor mencionado; el coeficiente de cohesión en cambio se redujo en el 5,56% de las muestras en nivel de más de 100% mientras que la capacidad portante y el esfuerzo admisible se redujeron en el 5,56% de las muestras en niveles de hasta 75%.

De la Tabla 38 y Tabla 42 se puede observar que la mayor alteración en el peso específico de sólidos se presentó en los suelos que clasificaron como CL antes de su intervención, incrementándose su valor en el 35,65% de las muestras. Así mismo el contenido de humedad se incrementó en el 53,94% de las muestras. El contenido de grava y el contenido de arena se incrementaron en casi el 52% de muestras y se redujo

en el 53,47% con respecto al contenido de finos. Las propiedades mecánicas en este tipo de suelo mostraron mayor alteración. Por otro lado, los valores registrados con menor porcentaje de muestras alteradas corresponden a los suelos que inicialmente clasificaron como CH. Para todos los casos, el índice de alteración promedio se presenta en la Tabla 33 y Tabla 34.

Tabla 33

Índice de alteración promedio de las propiedades físicas según clases de suelo. Zona ladrillera Santa Bárbara.

Clases de suelo comparados	Peso específico de sólidos		Contenido de humedad		Límite líquido		Límite plástico		Índice plástico		Contenido grava		Contenido arena		Contenido finos	
	DA	IAP (%)	DA	IAP (%)	DA	IAP (%)	DA	IAP (%)	DA	IAP (%)	DA	IAP (%)	DA	IAP (%)	DA	IAP (%)
SC - SC	0,70	2,87	8,14	120,84	0,40	1,37	4,51	32,80	-4,11	26,87	0,34	5,18	1,94	3,57	-2,87	7,35
SC - CL	-0,80	3,16	11,85	175,97	-0,63	2,15	5,36	39,04	-5,99	39,17	-6,40	98,01	-10,16	18,66	16,55	42,40
CL - SC	1,20	4,55	9,78	191,97	-3,63	10,98	2,92	19,08	-6,55	36,96	6,14	842,84	17,61	45,43	-24,33	40,21
CL - CL	-0,40	1,58	13,49	264,86	-4,65	14,08	3,78	24,67	-8,43	47,56	-0,60	82,15	5,51	14,22	-4,91	8,11
CH - SC	2,00	7,96	5,99	67,50	-29,18	49,79	-5,61	23,53	-23,56	67,82	6,86	685,82	36,71	186,58	-44,15	54,96
CH - CL	0,40	1,63	9,70	109,31	-30,20	51,54	-4,76	19,94	-25,44	73,23	0,12	120,0	24,61	125,08	-24,73	30,78

DA: Diferencia absoluta. IAP: Índice de alteración promedio. (+): Incremento de valor. (-): Reducción de valor

Tabla 34

Índice de alteración promedio de las propiedades mecánicas según clases de suelo. Zona ladrillera Santa Bárbara.

Clases de suelo comparados	Ángulo de fricción		Coeficiente de cohesión		Capacidad portante		Esfuerzo admisible	
	DA	IAP (%)	DA	IAP (%)	DA	IAP (%)	DA	IAP (%)
SC - SC	10,32	103,53	-19,06	98,21	-134,59	39,75	-134,59	39,75
SC - CL	11,83	118,66	-19,41	100,00	-205,65	60,73	-205,65	60,73
CL - SC	9,90	95,35	-18,24	98,43	-131,60	39,21	-131,60	39,21
CL - CL	11,41	107,87	-18,59	100,00	-202,66	60,38	-202,66	60,38
CH - SC	11,14	121,77	-21,72	98,43	-145,91	41,70	-145,91	41,70
CH - CL	12,65	138,25	-22,07	100,00	-216,97	62,01	-216,97	62,01

DA: Diferencia absoluta. IAP: Índice de alteración promedio. (+): Incremento de valor. (-): Reducción de valor

Tabla 35

Porcentaje de muestras según niveles del índice de alteración de propiedades físicas de suelo intervenido respecto a suelos no intervenidos SC.

Propiedades Físicas	% de muestras alteradas SC – SC					% Total	% mts sin alteración	SC -CL					Total (%)	% mts sin alteración	
	A	B	C	D	E			A	B	C	D	E			
INCREMENTO	Peso específico de sólidos	0,00	0,00	0,00	8,33	46,53	54,86	2,78	0,00	0,00	0,00	0,00	1,39	1,39	0,00
	Contenido de humedad	59,72	5,56	4,17	13,89	6,94	90,28	0,00	4,17	0,00	1,39	0,00	0,00	5,56	0,00
	Límite líquido	0,00	0,00	5,56	16,67	30,56	52,78	1,39	0,00	0,00	0,00	0,69	2,08	2,78	0,00
	Límite plástico	9,03	11,81	17,36	16,67	22,22	77,08	0,00	0,00	0,69	2,08	0,69	1,39	4,86	0,00
	Índice de plasticidad	0,69	0,69	1,39	6,25	11,81	20,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Contenido de Grava	65,28	3,47	2,08	2,08	0,69	73,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Contenido de Arena	0,00	0,00	6,94	5,56	44,44	56,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	0,69	0,00
	Contenido de Finos	0,00	3,47	1,39	11,81	24,31	40,97	0,00	0,69	0,69	0,69	2,08	1,39	5,56	0,00
REDUCCION	Peso específico de sólidos	0,00	0,00	0,00	1,39	35,42	36,81		0,00	0,00	0,00	0,00	4,17	4,17	
	Contenido de humedad	0,00	0,00	0,00	0,00	4,17	4,17		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Límite líquido	0,00	0,00	0,00	11,11	29,17	40,28		0,00	0,00	0,00	0,69	2,08	2,78	
	Límite plástico	0,00	0,00	0,00	4,17	13,19	17,36		0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	0,69	
	Índice de plasticidad	0,00	0,00	17,36	36,81	19,44	73,61		0,00	0,00	0,69	4,17	0,69	5,56	
	Contenido de Grava	0,00	9,72	4,86	2,78	3,47	20,83		0,00	4,17	1,39	0,00	0,00	5,56	
	Contenido de Arena	0,00	0,00	0,00	6,94	30,56	37,50		0,00	0,00	0,00	0,69	4,17	4,86	
	Contenido de Finos	0,00	0,00	0,00	22,92	30,56	53,47		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Tabla 36

Porcentaje de muestras según niveles del índice de alteración de propiedades físicas de suelo intervenido respecto a suelos no intervenidos CL

Propiedades Físicas	% de muestras alteradas CL - SC					Total (%)	% mtas sin alteración	% de muestras alteradas CL -CL					Total (%)	% mtas sin alteración	
	A	B	C	D	E			A	B	C	D	E			
INCREMENTO	Peso específico de sólidos	0,00	0,00	0,00	14,10	48,29	62,39	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00	3,42	3,42	0,43
	Contenido de humedad	76,49	5,13	5,56	2,14	1,71	94,02	0,00	4,70	0,43	0,43	0,00	0,00	5,56	0,00
	Límite líquido	0,00	0,00	0,00	1,71	29,49	31,20	1,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43	0,43	0,00
	Límite plástico	2,99	5,13	11,54	21,37	26,07	67,09	0,00	0,00	0,00	0,85	2,14	2,14	5,13	0,00
	Índice de plasticidad	0,00	0,00	0,85	3,42	9,40	13,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Contenido de Grava	94,44	0,00	0,00	0,00	0,00	94,44	0,00	0,43	0,00	0,43	0,00	0,00	0,85	0,00
	Contenido de Arena	9,83	3,42	22,22	38,46	17,52	91,45	0,00	0,43	0,00	0,00	0,43	3,42	4,27	0,00
	Contenido de Finos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,28	1,28	0,00
REDUCCION	Peso específico de sólidos	0,00	0,00	0,00	0,85	30,77	31,62		0,00	0,00	0,00	0,00	1,71	1,71	
	Contenido de humedad	0,00	0,43	0,00	0,00	0,00	0,43		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Límite líquido	0,00	0,00	0,43	17,95	43,16	61,54		0,00	0,00	0,00	1,28	3,85	5,13	
	Límite plástico	0,00	0,00	0,00	7,69	19,66	27,35		0,00	0,00	0,00	0,00	0,43	0,43	
	Índice de plasticidad	0,00	1,28	25,64	36,75	17,09	80,77		0,00	0,00	1,71	3,85	0,00	5,56	
	Contenido de Grava	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	2,99	0,85	0,85	0,00	4,70	
	Contenido de Arena	0,00	0,00	0,00	0,00	2,99	2,99		0,00	0,00	0,00	0,00	1,28	1,28	
	Contenido de Finos	0,00	0,00	23,50	51,71	19,23	94,44		0,00	0,00	0,00	0,43	3,85	4,27	

Tabla 37

Porcentaje de muestras según niveles del índice de alteración de propiedades físicas de suelo intervenido respecto a suelos no intervenidos CH

Propiedades Físicas	% de muestras alteradas CH - SC					Total (%)	% mts sin alteración	% de muestras alteradas CH -CL					Total (%)	% mts sin alteración		
	A	B	C	D	E			A	B	C	D	E				
INCREMENTO	Peso específico de sólidos	0,00	0,00	0,00	18,52	55,56	74,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,56	5,56	0,00
	Contenido de humedad	11,11	27,78	24,07	22,22	9,26	94,44	0,00	5,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,56	0,00
	Límite líquido	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Límite plástico	0,00	0,00	0,00	3,70	9,26	12,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Índice de plasticidad	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Contenido de Grava	94,44	0,00	0,00	0,00	0,00	94,44	0,00	5,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,56	0,00
	Contenido de Arena	55,56	22,22	11,11	3,70	1,85	94,44	0,00	1,85	1,85	0,00	1,85	0,00	5,56	0,00	
	Contenido de Finos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
REDUCCION	Peso específico de sólidos	0,00	0,00	0,00	0,00	20,37	20,37		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Contenido de humedad	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Límite líquido	0,00	0,00	44,44	50,00	0,00	94,44		0,00	0,00	3,70	1,85	0,00	5,56		
	Límite plástico	0,00	0,00	7,41	35,19	8,97	51,57		0,00	0,00	0,00	1,85	3,70	5,56		
	Índice de plasticidad	0,00	29,63	55,56	9,26	0,00	94,44		0,00	1,85	3,70	0,00	0,00	5,56		
	Contenido de Grava	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Contenido de Arena	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Contenido de Finos	0,00	0,00	68,52	25,93	0,00	94,44		0,00	0,00	0,00	3,70	1,85	5,56		

Tabla 38

Porcentaje de muestras según propiedades físicas y alteración de clases de suelo en la zona ladrillera de Santa Bárbara.

Propiedades Físicas	SC			CL			Total (%)			
	SC	CL	CH	SC	CL	CH	SC	CL	CH	
INCREMENTO	Peso específico de sólidos	18,29	33,80	9,26	0,46	1,85	0,69	18,75	35,65	9,95
	Contenido de humedad	30,09	50,93	11,81	1,85	3,01	0,69	31,94	53,94	12,50
	Límite líquido	17,59	16,90	0,00	0,93	0,23	0,00	18,52	17,13	0,00
	Límite plástico	25,69	36,34	1,62	1,62	2,78	0,00	27,31	39,12	1,62
	Índice de plasticidad	6,94	7,41	0,00	0,00	0,00	0,00	6,94	7,41	0,00
	Contenido de Grava	24,54	51,16	11,81	0,00	0,46	0,69	24,54	51,62	12,5
	Contenido de Arena	18,98	49,54	11,81	0,23	2,31	0,69	19,21	51,85	12,5
	Contenido de Finos	13,66	0,00	0,00	1,85	0,69	0,00	15,51	0,69	0,00
REDUCCION	Peso específico de sólidos	13,19	17,36	2,55	1,39	1,16	0,00	14,58	18,52	2,55
	Contenido de humedad	1,39	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	1,39	0,23	0,00
	Límite líquido	13,89	34,26	11,81	0,93	2,78	0,69	14,82	37,04	12,50
	Límite plástico	5,79	14,81	10,19	0,23	0,23	0,69	6,02	15,04	10,88
	Índice de plasticidad	24,54	43,75	11,81	1,85	3,01	0,69	26,39	46,76	12,50
	Contenido de Grava	6,94	0,00	0,00	1,85	2,55	0,00	8,79	2,55	0,00
	Contenido de Arena	12,5	1,62	0,00	1,62	0,69	0,00	14,12	2,31	0,00
	Contenido de Finos	17,82	51,16	11,81	0,00	2,31	0,69	17,82	53,47	12,50

Tabla 39

Porcentaje de muestras según niveles del índice de alteración de propiedades mecánicas de suelo intervenido respecto a suelos SC.

	Propiedades Mecánicas	SC - SC					Total (%)	SC - CL					Total (%)
		A	B	C	D	E		A	B	C	D	E	
INCREMENT	Ángulo de fricción	47,22	11,11	25,00	11,11	0,00	94,44	2,78	0,00	2,78	0,00	0,00	5,56
	Coefficiente de cohesión	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Capacidad portante	0,00	0,00	0,00	0,00	2,78	2,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Esfuerzo admisible	0,00	0,00	0,00	0,00	2,78	2,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
REDUCION	Ángulo de fricción	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coefficiente de cohesión	0,00	94,44	0,00	0,00	0,00	94,44	0,00	5,56	0,00	0,00	0,00	5,56
	Capacidad portante	0,00	0,00	27,48	47,22	16,67	91,67	0,00	0,00	5,56	0,00	0,00	5,56
	Esfuerzo admisible	0,00	0,00	27,48	47,22	16,67	91,67	0,00	0,00	5,56	0,00	0,00	5,56

Tabla 40

Porcentaje de muestras según niveles del índice de alteración de propiedades mecánicas de suelo intervenido respecto a suelos CL.

	Propiedades Mecánicas	CL - SC					Total (%)	CL - CL					Total (%)
		A	B	C	D	E		A	B	C	D	E	
INCREMENT	Ángulo de fricción	44,44	9,72	22,22	16,66	1,39	94,44	2,78	1,39	1,39	0,00	0,00	5,56
	Coefficiente de cohesión	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Capacidad portante	0,00	0,00	0,00	0,00	1,39	1,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Esfuerzo admisible	0,00	0,00	0,00	0,00	1,39	1,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
REDUCION	Ángulo de fricción	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coefficiente de cohesión	0,00	94,44	0,00	0,00	0,00	94,44	0,00	5,56	0,00	0,00	0,00	5,56
	Capacidad portante	0,00	0,00	20,83	56,94	15,28	93,06	0,00	0,00	5,56	0,00	0,00	5,56
	Esfuerzo admisible	0,00	0,00	20,83	56,94	15,28	93,06	0,00	0,00	5,56	0,00	0,00	5,56

Tabla 41

Porcentaje de muestras según niveles del índice de alteración de propiedades mecánicas de suelo intervenido respecto a suelos CH

	Propiedades Mecánicas	CH - SC					Total (%)	CH - CL					Total (%)
		A	B	C	D	E		A	B	C	D	E	
INCREMENT	Ángulo de fricción	72,22	16,67	5,56	0,00	0,00	94,44	5,56	0,00	0,00	0,00	0,00	5,56
	Coefficiente de cohesión	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Capacidad portante	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Esfuerzo admisible	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
REDUCION	Ángulo de fricción	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coefficiente de cohesión	0,00	94,44	0,00	0,00	0,00	94,44	0,00	5,56	0,00	0,00	0,00	5,56
	Capacidad portante	0,00	0,00	22,22	63,89	8,83	94,44	0,00	0,00	5,56	0,00	0,00	5,56
	Esfuerzo admisible	0,00	0,00	22,22	63,89	8,83	94,44	0,00	0,00	5,56	0,00	0,00	5,56

Tabla 42

Porcentaje de muestras según propiedades mecánicas y alteración de clases de suelo en la zona ladrillera de Santa Bárbara.

	Propiedades Mecánicas	SC			CL			Total (%)		
		SC	CL	CH	SC	CL	CH	SC	CL	CH
INCREMENT	Ángulo de fricción	23,61	47,22	23,61	1,39	2,78	1,39	25,00	50,00	25,00
	Coefficiente de cohesión	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Capacidad portante	0,69	0,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	0,69	0,00
	Esfuerzo admisible	0,69	0,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	0,69	0,00
REDUCION	Ángulo de fricción	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coefficiente de cohesión	23,61	47,22	23,61	1,39	2,78	1,39	25,00	50,00	25,00
	Capacidad portante	22,92	46,53	23,61	1,39	2,78	1,39	24,31	49,31	25,00
	Esfuerzo admisible	22,92	46,53	23,61	1,39	2,78	1,39	24,31	49,31	25,00

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

La totalidad de los suelos intervenidos por la actividad extractiva de arcilla en la zona ladrillera de Santa Bárbara, se encuentran alterados en sus propiedades físico mecánicas, incrementándose: el peso específico en 5,6%; contenido de humedad 199,3%; límite plástico 22,7%; contenido de grava 355%; contenido de arena 34,7%; el ángulo de fricción 104,3% y reduciéndose el límite líquido en 9,4%; índice plástico 34,3%; contenido de finos 32,7%; coeficiente de cohesión 98,3%; capacidad portante y esfuerzo admisible 41,1%.

Las propiedades físico mecánicas de los suelos de la zona ladrillera de Santa Bárbara que se alteran significativamente como consecuencia de la actividad extractiva de arcilla son el contenido de humedad, límite líquido, índice de plasticidad, contenido de grava, contenido de arena, contenido de finos, ángulo de fricción, coeficiente de cohesión capacidad portante y esfuerzo admisible. No se alteran significativamente el peso específico y el límite plástico.

Los suelos no intervenidos por la actividad extractiva de arcilla en Santa Bárbara, presentan cuatro estratos bien definidos con distinta potencia. El primer estrato clasifica como suelo orgánico (Pt), no apto para fines estructurales. El segundo está constituido por arenas arcillosas, es decir mezcla de arena y arcilla mal graduada (SC), y arcillas mal graduadas (CL), con peso específico de sólidos de $24,33 \text{ KN/m}^3$, contenido de humedad 4,38%, límite líquido 30,14%, límite plástico 15,03%, índice de plasticidad 15,35%, contenido de grava 1,08%, contenido de arena 48,50% y contenido de finos 50,43%. El tercer estrato de suelo está constituido por arcillas mal graduadas arenosas con grava (CL)

y arcillas gruesas arenosas (CH); cuyo peso específico de sólidos es $25,41 \text{ KN/m}^3$, contenido de humedad $6,43\%$, límite líquido $33,10\%$, límite plástico $14,90\%$, índice de plasticidad $18,21\%$, contenido de grava $0,73\%$, contenido de arena $42,78\%$ y contenido de finos $55,62\%$. Finalmente, el estrato 4 está constituido por arcilla gruesa arenosa (CH), arcillas mal graduadas arenosas con grava (CL) y arenas arcillosas (SC) su peso específico de sólidos es $24,82 \text{ KN/m}^3$, el contenido de humedad $6,82\%$, el límite líquido $29,98\%$, el límite plástico $15,90\%$, el índice de plasticidad $14,07\%$. El contenido de grava es de $0,90\%$, el contenido de arena $40,66\%$ y el contenido de finos $58,57\%$. En este estrato se determinaron además las propiedades mecánicas del suelo cuyo coeficiente de cohesión entre partículas es de $20,91 \text{ KN/m}^2$, ángulo de fricción interna $9,97^\circ$; capacidad portante $339,93 \text{ KN/m}^2$ y esfuerzo admisible $113,31 \text{ KN/m}^2$.

En los suelos intervenidos por la actividad extractiva de arcilla de la zona de Santa Bárbara, hasta una profundidad de 3m , se distingue un solo estrato que clasifica como arena media a fina con grava arenosa (SC) y suelo cohesivo blando (CL) con peso específico de sólidos de $26,19 \text{ KN/m}^3$, contenido de humedad $15,07\%$, límite líquido $29,37\%$, límite plástico $18,29\%$, índice de plasticidad $11,08\%$. El contenido de grava es de $6,59\%$, el contenido de arena $55,71\%$ y el contenido de finos $37,26\%$. Las propiedades mecánicas del suelo son coeficiente de cohesión entre partículas $0,33 \text{ KN/m}^2$, ángulo de fricción interna $20,38^\circ$, capacidad portante $200,10 \text{ KN/m}^2$ y esfuerzo admisible $66,69 \text{ KN/m}^2$.

La diferencia de las propiedades físicas del suelo intervenido y el estrato 2 del suelo no intervenido por la actividad extractiva de arcilla desarrollada en la zona, es significativa en el peso específico de sólidos, contenido de humedad, límite plástico, índice de plasticidad, contenido de grava y contenido de finos. Con respecto al estrato 3,

las diferencias son significativas para el contenido de humedad, el límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, contenido de grava y contenido de finos. Las diferencias de las propiedades con el estrato 4 son significativas en el peso específico de sólidos, contenido de humedad, índice de plasticidad, contenido de grava y contenido de finos. La alteración del ángulo de fricción también es significativa, así como del coeficiente de cohesión, la capacidad portante y el esfuerzo admisible.

Las propiedades físico mecánicas de los suelos no intervenidos SC que se alteran significativamente como consecuencia de la actividad extractiva son el contenido de humedad, límite plástico, índice de plasticidad y coeficiente de cohesión. Las propiedades físico mecánicas de los suelos no intervenidos CL que se alteran significativamente son contenido de humedad, índice de plasticidad, contenido de grava, contenido de finos y coeficiente de cohesión. Las propiedades físico mecánicas de los suelos no intervenidos CH que se alteran significativamente son contenido de humedad, límite líquido, índice de plasticidad y coeficiente de cohesión.

Como consecuencia de la actividad extractiva de arcilla en la zona de Santa Bárbara, el 64,35% de los suelos incrementaron su peso específico de sólidos mientras que el 35,65% redujeron este valor. El contenido de humedad se incrementó en el 98,61% de los suelos, el límite líquido se redujo en el 64,35%; el límite plástico se incrementó en el 68,06% mientras que el índice de plasticidad se redujo en el 85,65. El contenido de grava se incrementó en el 88,66% de los suelos, el contenido de arena se incrementó en el 83,56% y el contenido de finos se redujo en el 83,80% de los suelos. El ángulo de fricción se incrementó en el 100% de los suelos intervenidos, el coeficiente de cohesión se redujo en el 100% y la capacidad portante junto al esfuerzo admisible se redujo en 98,61% de los mismos.

PROPUESTA

La actividad extractiva de arcilla en la zona ladrillera de Santa Bárbara en primer lugar necesita formalizarse, a fin de que no sólo se monitoreen los impactos extractivos y en general los que genera la actividad ladrillera en todas sus fases sobre el medio ambiente, sino también se implementen actividades de recuperación que impliquen el restablecimiento del suelo y si fuera el caso la revegetación del área perturbada recuperándose la geomorfología y el paisaje de la zona a fin de garantizar la estabilidad de los suelos y taludes y evitar la degradación de los mismos.

Teniendo en cuenta que la implicancia de este estudio es el diseño y construcción de cimentaciones superficiales en la zona ladrillera de Santa Bárbara de acuerdo a las propiedades físico mecánicas de los suelos, se propone que para el caso de suelos no intervenidos por la actividad extractiva en la zona, los cuales están constituidos por material arcilloso de alta y baja plasticidad presentando por tanto un comportamiento expansivo ante la presencia de agua, lo cual no es favorable para la cimentación, es necesario mejorar estas condiciones del suelo con el uso de pozos de cimentación, para cuya ejecución se excavará hasta una cota resistente y se rellenará el pozo con concreto pobre hasta la cota conveniente en donde se apoyará la zapata. Pueden emplearse también solados en la cimentación; la primera capa será un enrocado y la siguiente capa hormigón compactado, sobre el cual se construirá la cimentación más adecuada de acuerdo al diseño estructural de la edificación.

En el caso de suelos intervenidos por la actividad extractiva de arcilla destinada a la industria ladrillera los cuales están constituidos por rellenos artificiales cuya profundidad sobre pasa los 3 metros con las características descritas en este estudio, al ser rellenos no controlados desde el punto de vista de la ingeniería estructural, se propone

que, para ser utilizado como terreno de fundación con los estándares que se exigen para tal fin, primeramente, el material de relleno del que están constituidos y que viene siendo utilizado para elevar y nivelar la superficie del terreno excavado, debe ser removido en su totalidad de manera que sea reemplazado por material seleccionado, bien graduado exento de desechos, basura, desmonte y todo material ajeno a un suelo estructural cuya inclusión se ha observado en gran número de ladrilleras de la zona. El material de relleno se seleccionará a través de la graduación de sus componentes y su control se hará mediante la determinación de sus propiedades físicas. Será un material bien graduado cuya curva granulométrica debe asemejarse en lo posible a una recta inclinada.

Una vez elegido el material de relleno conociéndose sus propiedades físicas, se compactará debidamente realizándose previamente los ensayos de compactación Proctor Modificado del material para determinar su óptimo contenido de humedad. En campo se compactará el material con la humedad encontrada en el laboratorio, teniendo en cuenta que, si el material posee más del 12% de finos, deberá compactarse a una densidad mayor o igual del 90% de la máxima densidad seca del método de ensayo Proctor Modificado en todo su espesor. Si tiene igual o menos de 12% de finos, deberá compactarse a una densidad no menor del 95% de la máxima densidad seca del método de ensayo Proctor Modificado en todo su espesor. En todos los casos deberán realizarse controles de compactación en todas las capas compactadas, a razón necesariamente, de un control por cada 250 m² con un mínimo de tres controles por capa. En áreas pequeñas iguales o menores a 25 m² se hará un ensayo como mínimo. En cualquier caso, el espesor máximo a controlar será de 0,30 m de espesor. Cada capa se compactará antes de colocar la siguiente.

Finalmente se determinarán las propiedades mecánicas del suelo de relleno a fin de que se diseñe la cimentación superficial más adecuada a la estructura proyectada.

La cimentación sobre rellenos no solamente requiere del conocimiento cabal de la calidad del material de relleno y sus condiciones de compactación, sino también de otros parámetros externos a éste, por lo que se propone también realizar un estudio de las características geotécnicas del suelo de apoyo del relleno y las condiciones particulares a las que estará sometido como las climáticas, pluviales, hidrográficas y de movimientos sísmicos.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcántara, G. (2010a). *Geomorfología de Cajamarca*. Gobierno Regional de Cajamarca.
- Alcántara, G. (2010b). *La Desertificación en la Región Cajamarca*. Gobierno Regional Cajamarca.
- Alva, J. (2011). *Diseño de cimentaciones*: Fondo Editorial ICG, Ed. Retrieved from http://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/prepa3/quimica_organica_intro.pdf
- Aristizabal, E., Valencia, Y., Guerra, A., Vélez, M., y Echeverri, O. (2011). *Caracterización geotécnica de perfiles de meteorización desarrollados sobre rocas ígneas en ambientes tropicales*. Boletín de Ciencias de la Tierra, 47–60.
- Berry, P. y Reid, D. (2000). *Mecánica de suelos*. Primera Ed: M. GrawHill, Ed.
- Cruzado, G. y Crisólogo, M. (2009). *Estudio de Geología*. Gobierno Regional de Cajamarca. Retrieved from <http://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/GEOLOGIA.pdf>
- Das, B. M. (2015). *Fundamentos de la Ingeniería Geotécnica*. 4th ed.: CENGAGE Learnig, Ed.
- Espinoza, M. y Andrade, E. (2011). *Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México*. Papeles de Geografía, 53–54, 77–88. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/407/40721572006.pdf>
- FAO. (2016). *Estado Mundial del Recurso Suelo*. Resumen Técnico. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>
- Fernández, R. (2015). *Capacidad portante con fines de cimentación mediante los ensayos SPT y Corte Directo en el distrito de Aguas Verdes- Tumbes*. Universidad Nacional de Cajamarca. Retrieved from http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1640/TESIS_RFG_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Fernández, Y. (2009). *Estudio de la influencia del tipo de arcilla en las características técnicas del ladrillo. Santa Bárbara - Cajamarca*. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Garzón, N. (2013). *Análisis preliminar de los impactos ambientales y sociales generados por la minería de arcillas a cielo abierto en La Vereda, El Mochuelo Bajo, Ciudad Bolívar Bogotá*. GEGEMA.
- Gómez, C. (2008). *Análisis del efecto de la cohesión aparente en la capacidad soportante de cimentaciones*. Escuela de Ingeniería de la Construcción Costa Rica.
- Grieve, I. (2001). *Human impacts on soil properties and their implications for the sensitivity of soil systems in Scotland*. Editorial Catena, 42(2–4), 361–374.
[https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(00\)00147-8](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00147-8)
- Guerra, J. (2010). *Evaluación de la degradación de los suelos naturales de la isla de Tenerife Secuencias edáficas evolutivas y regresivas*. Universidad de La Laguna. España
- ITINCI. (2003). *Diagnóstico situacional de las ladrilleras en el distrito de Baños del Inca. Centros poblados de: Cerrillo, Huacataz, Otuzco y Santa Bárbara. Cajamarca*. Informe Técnico.
- Juárez, E. y Rico, A. (2005). *Fundamentos de la mecánica de suelos* (Segunda Ed). México: Editorial LIMUSA.
- Llique, R. (2015). *Influencia de la humedad de compactación en el comportamiento volumétrico de los suelos arcillosos*. Universidad Nacional de Trujillo.
- López, R. (2002). *Degradación del suelo: Causas, procesos, evaluación e investigación*. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela, 280.
- Mataix, J. (2000). *Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales: contribución a su conservación y regeneración*. Universidad de Alicante. España.

- Melani, E. (2012). *Alteración de las propiedades mecánicas de suelos irrigados con agua con altas concentraciones de sodio*. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2018). *Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma E 030. Diseño Sismo Resistente*. Perú
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2018). *Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma E 050. Suelos y Cimentaciones*. Perú.
- Mora, R. (1998). *Propiedades físicas, hidráulicas y mecánicas de suelos de origen volcánico en sitios seleccionados del Valle Central, Costa Rica*. Revista Geológica de América Central, 19, 81–98. Retrieved from <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/viewFile/8605/8128>
- Olaya, R., y Vaca, L. (2018). *Uso de la teoría de Mohr-Coulomb para explicar el mejoramiento de suelos mediante el proceso de compactación*. Revista de Arquitectura e Ingeniería. 2018, Vol.12 No.1, 12(1), 1–11.
- Palomino, Y. E. (2016). *Influencia de la adición de cloruro de sodio en el Índice de California Bearing Ratio (CBR) de un Suelo Arcilloso, Cajamarca 2016*.
- Reverté, P. (2001). *La Industria Ladrillera*. Primera Ed. Gustavo Hill, Ed. Barcelona.
- Ruíz, D. M. (2015). *Influencia de la adición de vidrio triturado en la resistencia a la compresión axial de un ladrillo de arcilla artesanal de Cajamarca*.
- Sánchez, A. y Vásquez, C. (2010). *Mapa Climático - Departamento de Cajamarca*. Gobierno Regional de Cajamarca. Retrieved from <http://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/MapaClimatico.pdf>
- Sandoval, E., Ramírez, A., y Cuarán, D. (2015). *Resistencia al esfuerzo cortante en rellenos sanitarios*. DINA, 82(193). <https://doi.org/https://doi.org/10.15446/dyna.v82n193.46046>
- Santos, J., Malagón, P., y Córdoba, E. (2011). *Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barichara, Santander*. DINA, 78(3), 50–58. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2015.12.050>

- Seguel, O. y Orellana, I. (2008). *Relación entre las propiedades mecánicas de suelos y los procesos de génesis e intensidad de uso*. *Agro Sur*, 36(2), 82–92.
<https://doi.org/10.4206/agrosur.2008.v36n2-04>
- Valverde, M., Bances, E., Rojas, A., y Rodríguez, B. (2004). *Impacto ambiental producido por la fabricación de ladrillos en el valle de Altomayo-San Martín*.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevA.76.032109>
- Zea, N. L. (2005). *Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales*. Universidad San Carlos de Guatemala.

APÉNDICE 1

Mapas

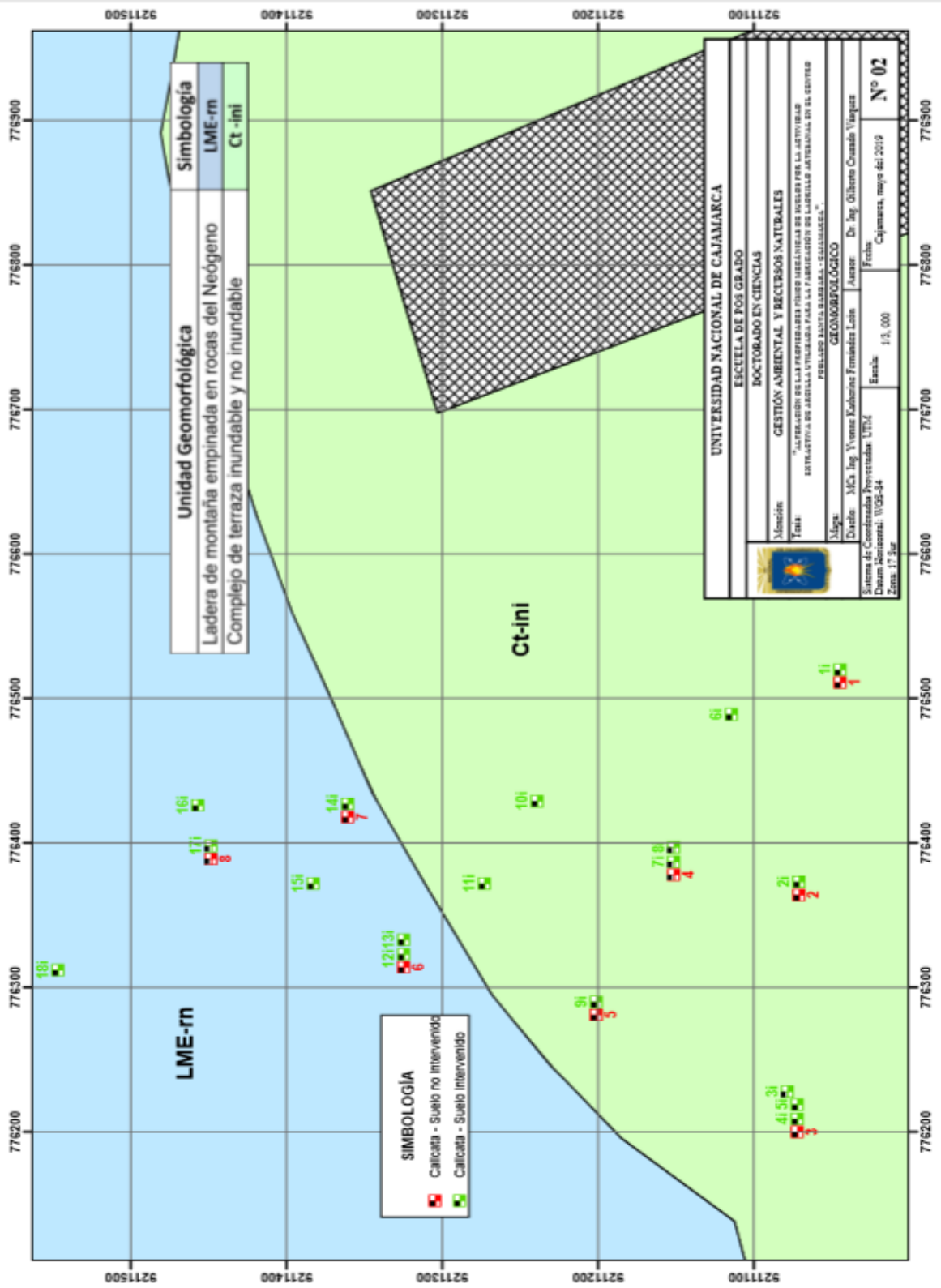


Figura 29. Mapa geomorfológico de zona de estudio.

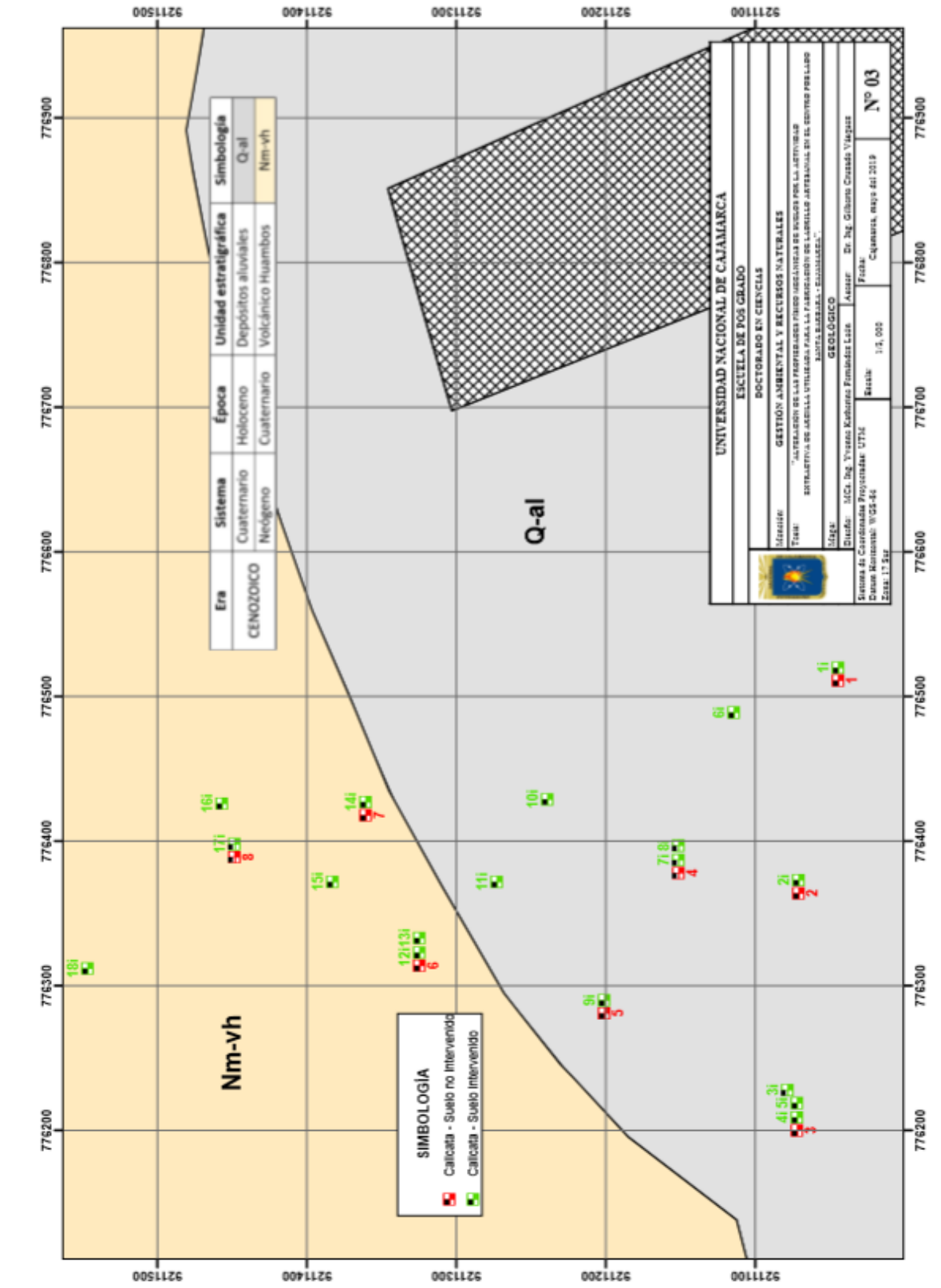









Figura 30. Mapa geológico de zona de estudio.

APÉNDICE 2

Registro de excavación de calicatas

TESIS		ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS SUELOS POR LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DE ARCILLA UTILIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL EN EL CENTRO POBLADO SANTA BÁRBARA-CAJAMARCA	
LUGAR		: CP Santa Bárbara. Baños del Inca. Cajamarca	
CANTERA		: 1	
ALTITUD	: 2706 msnm	UBICACIÓN	: 9211045N 776511E
CALICATA	: C1	PROFUNDIDAD	: 0 – 3,00m
FECHA	: Octubre 2018	TESISTA	: Yvonne Katherine Fernández León


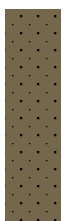

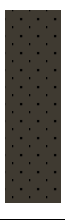
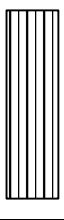

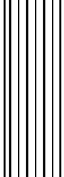
PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	CALICATA		SIMBOLOGIA		CLASIFICACION		LIMITES DE CONSISTENCIA			% Pasa malla N° 200	
		MUESTRA	DESCRIPCION	GEOLOGICA	GEOTECNICA	SUCS	AASH TO	LL	LP	IP		
0.20	0,60	-	Capa materia orgánica		-	-	-	-	-	-	-	
0.40												
0.60												
0.80	0,35	M1	Material areno arcilloso bloque angular, plasticidad alta, contracción media. Color marrón grisáceo amarillento 10YR4/2, con manchas de ematita. Su permeabilidad es lenta y su drenaje imperfecto			SC	A-2-6 (0)	33,50	15,87	17,63	25,36	
1.00												
1.20	0,35	M2	Material areno arcilloso gravoso de bloque angular, plasticidad alta, contracción media, color marrón grisáceo 5YR3/2. Contiene ematita, limonita y cuarzo, plasticidad moderadamente lenta y drenaje imperfecto			SC	A-2-7 (2)	42,30	20,79	21,51	34,52	
1.40												
1.60	1,70	M3	Material arcillo arenoso de bloque angular. Plasticidad alta, contracción alta. Color marrón oscuro 5YR2/2 con presencia de limonita. Permeabilidad lenta y drenaje imperfecto			CH	A-7-6 (18)	51,40	22,34	29,06	67,10	
1.80												
2.00												
2.20												
2.40												
2.60												
2.80												
3.00												

SC	Arena arcillosa, mezcla de arena y arcilla mal graduada	A-2-6 (0)	Arenas limosas y arcillosas
		A-2-7 (2)	Arenas limosas y arcillosas
CH	Arcilla inorgánica de alta plasticidad	A-7-6 (18)	Suelos arcillosos

LL: Límite líquido; LP: Límite Plástico; IP: Índice de Plasticidad.

Figura 31. Registro de excavación de calicata 1 en suelo no intervenido.

TESIS		ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS SUELOS POR LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DE ARCILLA UTILIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL EN EL CENTRO POBLADO SANTA BÁRBARA-CAJAMARCA.	
LUGAR	: CP Santa Bárbara. Baños del Inca. Cajamarca		
CANTERA	: 2		
ALTITUD	: 2708 msnm	UBICACIÓN	: 92110711N 776364E
CALICATA	: C2	PROFUNDIDAD	: 0,00 - 3,00 m.
FECHA	: Octubre 2018	TESISTA	: Yvonne Katherine Fernández León



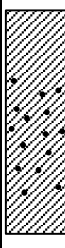




PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	CALICATA		SIMBOLOGIA		CLASIFICACION		LIMITES DE CONSISTENCIA			% Pasa malla N° 200
		MUESTRA	DESCRIPCION	GEO TECNICA	GEOLOGICA	SUCS	AASH TO	LL	LP	IP	
0.20	0,30	-	Capa materia orgánica		-	-	-	-	-	-	-
0.40											
0.60	1,10	M5	Material arcilla limosa bloque sub angular, plasticidad media, contracción media. Color marrón pálido amarillento 10YR6/2, con presencia de moscovita, feldespatos, ematita y limonita. Su permeabilidad es moderadamente lenta y su drenaje bueno.			CL	A-7-6 (20)	45,70	21,57	24,13	80,96
0.80											
1.00											
1.20											
1.40											
1.60	1,30	M6	Material arcilla inorgánica de bloque angular, plasticidad alta, contracción alta, color marrón amarillento polvoriento 10YR4/2. Contiene feldespatos y manchas de limonita, permeabilidad muy lenta y drenaje imperfecto			CH	A-7-6(20)	62,80	27,54	35,26	99,02
1.80											
2.00											
2.20											
2.40											
2.60	0,30	M7	Material arcilla inorgánica de bloque angular. Plasticidad alta, contracción alta. Color marrón oscuro 10YR2/2 con presencia de ematita. Permeabilidad extremadamente lenta y drenaje imperfecto			CH	A-7-6 (41)	61,60	21,69	39,91	74,86
2.80											
3.00											

CL	Arcilla inorgánica de baja plasticidad	A-7-6 (20)	Suelos arcillosos
CH	Arcilla inorgánica de alta plasticidad	A-7-6 (41)	Suelos arcillosos

LL: Límite líquido; LP: Límite Plástico; IP: Índice de Plasticidad.

Figura 32. Registro de excavación de calicata 2 en suelo no intervenido.

TESIS		ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS SUELOS POR LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DE ARCILLA UTILIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL EN EL CENTRO POBLADO SANTA BÁRBARA-CAJAMARCA.	
LUGAR		: CPM Santa Bárbara. Baños del Inca. Cajamarca	
CANTERA		: 4	
ALTITUD		: 2711 msnm	UBICACIÓN : 9211072N 776200E
CALICATA		: C3	PROFUNDIDAD : 0,00 - 3,00 m.
FECHA		: Octubre 2018	TESISTA : Yvonne Katherine Fernández León








PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	CALICATA		SIMBOLOGIA		CLASIFICACION		LIMITES DE CONSISTENCIA			% Pasa malla N° 200
		MUESTRA	DESCRIPCION	GEO TECNICA	GEOLOGICA	SUCS	AASH TO	LL	LP	IP	
0.20	0,30	-	Capa materia orgánica		-	-	-	-	-	-	-
0.40		M9		Material areno arcilloso bloque sub angular, plasticidad media, contracción media. Color marrón pálido amarillento 10YR6/2, con presencia de moscovita, feldespatos,ematita y limonita. Su permeabilidad es moderadamente lenta y su drenaje bueno.			SC	A-2-6(0)	25,10	11,22	13,88
0.60											
0.80											
1.00											
1.20											
1.40	0,40	M10	Material arcilla inorgánica de bloque angular, plasticidad alta, contracción alta, color marrón amarillento polvoriento 10YR2/2. Contiene feldespatos y manchas de limonita, permeabilidad muy lenta y drenaje imperfecto			CL	A-6(7)	30,10	13,57	16,53	62,60
1.60											
1.80	1,20	M11	Material arcilla inorgánica de bloque angular. Plasticidad alta, contracción alta. Color marrón oscuro 10YR2/2 con presencia de ematita. Permeabilidad extremadamente lenta y drenaje imperfecto			CL	A-6 (7)	28,70	15,28	13,42	68,40
2.00											
2.20											
2.40											
2.60											
2.80											
3.00											

SC	Arena arcillosa, mezcla de arena y arcilla mal graduada	A-2-6 (0)	Arenas limosas y arcillosas
CL	Arcilla inorgánica de baja plasticidad	A-6 (7)	Suelos arcillosos

LL: Límite líquido; LP: Límite Plástico; IP: Índice de Plasticidad.

Figura 33. Registro de excavación de calicata 3 en suelo no intervenido.

TESIS		ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS SUELOS POR LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DE ARCILLA UTILIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL EN EL CENTRO POBLADO SANTA BÁRBARA-CAJAMARCA.	
LUGAR	: CPM Santa Bárbara. Baños del Inca. Cajamarca		
CANTERA	: 6		
ALTITUD	: 2712 msnm	UBICACIÓN	: 9211152N 776378E
CALICATA	: C4	PROFUNDIDAD	: 0,00 - 3,00 m.
FECHA	: Octubre 2018	TESISTA	: Yvonne Katherine Fernández León








PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	CALICATA		SIMBOLOGIA		CLASIFICACION		LIMITES DE CONSISTENCIA			% Pasa malla N° 200
		MUESTRA	DESCRIPCION	GEOLOGICA	GEOTECNICA	SUCS	AASH TO	LL	LP	IP	
0.20	0,30	-	Capa materia orgánica		-	-	-	-	-	-	-
0.40											
0.60	1,10	M13	Material arcilla arenosa bloque sub angular, plasticidad media, contracción media. Color marrón oscuro amarillento 10YR2/2, con micas y feldespatos. Su permeabilidad es moderadamente lenta y su drenaje bueno.			CL	A-6-(6)	31,80	17,70	14,10	62,50
0.80											
1.00											
1.20											
1.40											
1.60	1,10	M14	Material arcilla limosa de bloque angular. Plasticidad alta, contracción media. Color marrón amarillento moderado 10YR5/4 con presencia de hematita, limonita, micas y feldespato. Permeabilidad moderadamente lenta y drenaje imperfecto.			CL	A-6-(8)	34,70	15,60	19,10	57,46
1.80											
2.00											
2.20											
2.40											
2.60	0,50	M15	Material arcilla inorgánica de bloque angular. Plasticidad alta, contracción alta. Color marrón amarillento moderado 10YR5/4 con presencia de limonita, pirolusita, micas y feldespato. Permeabilidad lenta y drenaje imperfecto.			CL	A-6-(5)	30,80	14,90	15,90	53,48
2.80											
3.00											

CL	Arcilla inorgánica de baja plasticidad	A-6 (6)	Suelos arcillosos
		A-6-(8)	Suelos arcillosos
		A-6-(5)	Suelos arcillosos

LL: Límite líquido; LP: Límite Plástico; IP: Índice de Plasticidad.

Figura 34. Registro de excavación de calicata 4 en suelo no intervenido.

TESIS	ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS SUELOS POR LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DE ARCILLA UTILIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL EN EL CENTRO POBLADO SANTA BÁRBARA-CAJAMARCA.		
LUGAR	: CPM Santa Bárbara. Baños del Inca. Cajamarca		
CANTERA	: 7		
ALTITUD	: 2710 msnm	UBICACIÓN	: 9211201N 776281E
CALICATA	: C5	PROFUNDIDAD	: 0,00 - 3,00 m.
FECHA	: Octubre 2018	TESISTA	: Yvonne Katherine Fernández León







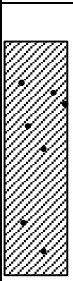
PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	CALICATA		SIMBOLOGIA		CLASIFICACION		LIMITES DE CONSISTENCIA			% Pasa malla N° 200
		MUESTRA	DESCRIPCION	GEO TECNICA	GEOLOGICA	SUCS	AASH TO	LL	LP	IP	
0.20	0,40	-	Capa materia orgánica		-	-	-	-	-	-	-
0.40											
0.60	1,10	M17	Material arcillo arenoso bloque sub angular, plasticidad media, contracción media. Color marrón oscuro amarillento 10YR2/2, con micas y feldespatos. Su permeabilidad es moderadamente lenta y su drenaje bueno.			CL	A-6-(5)	30,70	17,82	12,88	61,00
0.80											
1.00											
1.20											
1.40											
1.60	1,20	M18	Material arcillo limoso de bloque angular. Plasticidad alta, contracción media. Color marrón amarillento moderado 10YR5/4 con presencia de ematita, limonita, micas y feldespato. Permeabilidad moderadamente lenta y drenaje imperfecto.			CL	A-6-(7)	33,10	15,63	17,48	56,14
1.80											
2.00											
2.20											
2.40											
2.60	0,30	M19	Material arcilla inorgánica de bloque angular. Plasticidad alta, contracción alta. Color marrón amarillento moderado 10YR5/4 con presencia de limonita, pirolusita, micas y feldespato. Permeabilidad lenta y drenaje imperfecto.			CL	A-6-(4)	30,20	16,67	13,53	53,42
2.80											
3.00											

CL	Arcilla inorgánica de baja plasticidad	A-6 (5)	Suelos arcillosos
		A-6-(7)	Suelos arcillosos
		A-6-(4)	Suelos arcillosos

LL: Límite líquido; LP: Límite Plástico; IP: Índice de Plasticidad.

Figura 35. Registro de excavación de calicata 5 en suelo no intervenido.

TESIS		ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS SUELOS POR LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DE ARCILLA UTILIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL EN EL CENTRO POBLADO SANTA BÁRBARA-CAJAMARCA.	
LUGAR : CPM Santa Bárbara. Baños del Inca. Cajamarca			
CANTERA : 10			
ALTITUD : 2712 msnm		UBICACIÓN : 9211325N 776314E	
CALICATA : C6		PROFUNDIDAD : 0,00 - 3,00 m.	
FECHA : Octubre 2018		TESISTA : Yvonne Katherine Fernández León	



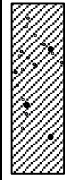

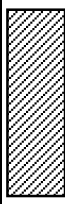


PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	CALICATA		SIMBOLOGIA		CLASIFICACION		LIMITES DE CONSISTENCIA			% Pasa malla N° 200
		MUESTRA	DESCRIPCION	GEO TECNICA	GEOLOGICA	SUCS	AASH TO	LL	LP	IP	
0.20	0,40	-	Capa materia orgánica		-	-	-	-	-	-	-
0.40											
0.60	0,80	M21	Material areno arcilloso bloque angular, plasticidad alta, contracción media. Color marrón amarillento polvoriento 10YR2/2, con manchas de hematita. Su permeabilidad es lenta y su drenaje imperfecto			SC	A-4 (1)	21,10	11,46	9,64	42,48
0.80											
1.00											
1.20											
1.40	0,40	M22	Material arcillo arenoso gravoso de bloque angular, plasticidad alta, contracción media, color marrón grisáceo 5YR3/2. Contiene hematita, limonita y cuarzo, plasticidad moderadamente lenta y drenaje imperfecto			CL	A-6 (5)	26,70	13,83	12,87	61,52
1.60											
1.80	1,40	M23	Material arcilla inorgánica de bloque angular. Plasticidad alta, contracción alta. Color marrón oscuro 5YR2/2 con presencia de limonita. Permeabilidad lenta y drenaje imperfecto			SC	A-6 (3)	28,50	15,52	12,98	46,34
2.00											
2.20											
2.40											
2.60											
2.80											
3.00											

SC	Arena arcillosa, mezcla de arena y arcilla mal graduada	A-4 (1)	Suelos limosos
CL	Arcilla inorgánica de baja plasticidad	A-6 (5)	Suelos arcillosos
		A-6 (3)	Suelos arcillosos

LL: Límite líquido; LP: Límite Plástico; IP: Índice de Plasticidad.

Figura 36. Registro de excavación de calicata 6 en suelo no intervenido.

TESIS		ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS SUELOS POR LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DE ARCILLA UTILIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL EN EL CENTRO POBLADO SANTA BÁRBARA-CAJAMARCA.	
LUGAR : CPM Santa Bárbara. Baños del Inca. Cajamarca			
CANTERA : 11			
ALTITUD : 2709 msnm		UBICACIÓN : 9211361N 776418E	
CALICATA : C7		PROFUNDIDAD : 0,00 - 3,00 m.	
FECHA : Octubre 2018		TESISTA : Yvonne Katherine Fernández León	


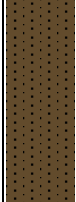
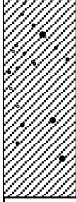
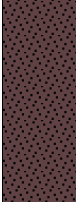


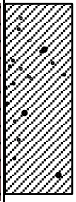
PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	CALICATA		SIMBOLOGIA		CLASIFICACION		LIMITES DE CONSISTENCIA			% Pasa malla N° 200
		MUESTRA	DESCRIPCION	GEO TECNICA	GEOLOGICA	SUCS	AASH TO	LL	LP	IP	
0.20	0,40	-	Capa materia orgánica		-	-	-	-	-	-	-
0.40											
0.60	0,80	M25	Material arena arcilloso bloque angular, plasticidad media, contracción alta. Color gris amarillento marrón 10YR4/2, con feldespatos, cuarzo y ematita. Su permeabilidad es lenta y su drenaje imperfecto			SC	A-6(4)	31,40	13,10	18,30	43,26
0.80											
1.00											
1.20											
1.40	0,40	M26	Material arcillo arenoso bloque angular, plasticidad media, contracción alta. Color marrón amarillento opaco 10YR4/3, con feldespatos, cuarzo y ematita. Su permeabilidad es lenta y su drenaje imperfecto			CL	A-6(11)	38,20	12,80	25,40	57,54
1.60											
1.80	1,40	M27	Material arcillo arenoso de bloque angular. Plasticidad media, contracción alta. Color marrón oscuro 5YR2/2 con presencia de limonita. Permeabilidad lenta y drenaje imperfecto			CL	A-6 (12)	40,10	11,40	28,70	57,38
2.00											
2.20											
2.40											
2.60											
2.80											
3.00											

SC	Arena arcillosa, mezcla de arena y arcilla mal graduada	A-6 (4)	Suelos arcillosos
CL	Arcilla inorgánica de baja plasticidad	A-6-(11)	Suelos arcillosos
		A-6-(12)	Suelos arcillosos

LL: Límite líquido; LP: Límite Plástico; IP: Índice de Plasticidad.

Figura 37. Registro de excavación de calicata 7 en suelo no intervenido.

TESIS	ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS SUELOS POR LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DE ARCILLA UTILIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL EN EL CENTRO POBLADO SANTA BÁRBARA-CAJAMARCA.		
LUGAR	: CPM Santa Bárbara. Baños del Inca. Cajamarca		
CANTERA	: 14		
ALTITUD	: 2708 msnm	UBICACIÓN	: 9211449N 776389E
CALICATA	: C8	PROFUNDIDAD	: 0,00 - 3,00 m.
FECHA	: Octubre 2018	TESISTA	: Yvonne Katherine Fernández León



PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	CALICATA		SIMBOLOGIA		CLASIFICACION		LIMITES DE CONSISTENCIA			% Pasa malla N° 200
		MUESTRA	DESCRIPCION	GEO TECNICA	GEOLOGICA	SUCS	AASH TO	LL	LP	IP	
0.20	0,60	-	Capa materia orgánica		-	-	-	-	-	-	-
0.40											
0.60											
0.80	1,20	M29	Material areno arcilloso bloque angular, plasticidad media, contracción alta. Color marrón amarillento opaco 10YR5/4, con feldspatos, y cuarzo. Su permeabilidad es lenta y su drenaje imperfecto			SC	A-6 (2)	23,80	10,52	13,28	42,60
1.00											
1.20											
1.40											
1.60											
1.80											
2.00	0,20	M30	Material arcillo arenoso bloque angular, plasticidad media, contracción alta. Color amarillo grisáceo oscuro 2.5YR5/2, con feldspatos, cuarzo y ematita. Su permeabilidad es lenta y su drenaje imperfecto			CL	A-6 (5)	28,90	12,40	16,50	54,18
2.20											
2.40	1,00	M31	Material areno arcilloso de bloque angular. Plasticidad media, contracción alta. Color marrón grisáceo 5YR5/2 con presencia de limonita. Permeabilidad lenta y drenaje imperfecto			SC	A-6 (3)	26,50	11,42	15,08	46,56
2.60											
2.80											
3.00											

SC	Arena arcillosa, mezcla de arena y arcilla mal graduada	A-6-(5)	Suelos arcillosos
CL	Arcilla inorgánica de baja plasticidad	A-6-(3)	Suelos arcillosos

LL: Límite líquido; LP: Límite Plástico; IP: Índice de Plasticidad.

Figura 38. Registro de excavación de calicata 8 en suelo no intervenido.

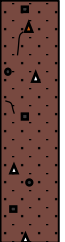

TESIS		ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS SUELOS POR LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DE ARCILLA UTILIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL EN EL CENTRO POBLADO SANTA BÁRBARA-CAJAMARCA	
LUGAR		: CPM Santa Bárbara. Baños del Inca. Cajamarca	
CANTERA		: 1	
ALTITUD		: 2706 msnm	UBICACIÓN
CALICATA		: C1i	PROFUNDIDAD
FECHA		: Octubre 2018	TESISTA
			: Yvonne Katherine Fernández León

PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	CALICATA		SIMBOLOGIA		CLASIFICACION		LIMITES DE CONSISTENCIA			% Pasa malla N° 200	
		MUESTRA	DESCRIPCION	GEOLOG	GEO TEC	SUCS	AASHTO	LL	LP	IP		
0.20		1,30	MI1	Material areno arcilloso de estructura alterada con presencia de piedra, grava y fracción de desechos. Plasticidad baja, contracción media. Color marrón oscuro amarillento 5YR4/2 con presencia de cuarzo, limonita, carbón y feldespatos. Permeabilidad lenta y drenaje bueno.			SC	A-2-4(0)	33,90	28,50	5,40	34,88
0.40												
0.60												
0.80												
1.00												
1.20												
1.40		Napa Freática										
SC		Arena arcillosa, mezcla de arena y arcilla mal graduada				A-2-4(0)		Gravas y arenas limosas y arcillosas				

LL: Límite líquido; LP: Límite Plástico; IP: Índice de Plasticidad.

Figura 39. Registro de excavación de calicata 1i en suelo intervenido.

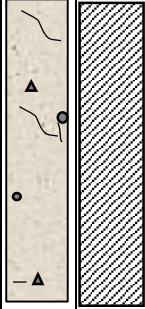
TESIS		ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS SUELOS POR LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DE ARCILLA UTILIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL EN EL CENTRO POBLADO SANTA BÁRBARA-CAJAMARCA	
LUGAR		: CPM Santa Bárbara. Baños del Inca. Cajamarca	
CANTERA		: 2	
ALTITUD		: 2707 msnm	UBICACIÓN
CALICATA		: C2i	PROFUNDIDAD
FECHA		: Octubre 2018	TESISTA
			: Yvonne Katherine Fernández León

PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	CALICATA		SIMBOLOGIA		CLASIFICACION		LIMITES DE CONSISTENCIA			% Pasa malla N° 200	
		MUESTRA	DESCRIPCION	GEOLOG	GEO TEC	SUCS	AASHTO	LL	LP	IP		
0.20		3,00	MI3	Material franco areno limoso de estructura granular simple con presencia de piedra y grava. Plasticidad nula, contracción nula. Color marrón pálido 5YR5/2 con presencia de cuarzo y feldespatos. Permeabilidad rápida y drenaje excesivo			SC	A-4(2)	32,50	22,87	9,63	46,64
0.40												
0.60												
0.80												
1.00												
1.20												
1.40												
1.60												
1.80												
2.00												
2.20												
2.40												
2.60												
2.80												
3.00		Napa Freática										
SC		Arena arcillosa, mezcla de arena y arcilla mal graduada				A-4(2)		Suelos limosos				

LL: Límite líquido; LP: Límite Plástico; IP: Índice de Plasticidad.

Figura 40. Registro de excavación de calicata 2i en suelo intervenido.

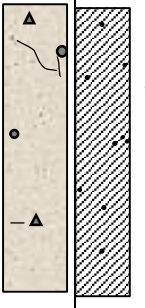
TESIS		ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS SUELOS POR LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DE ARCILLA UTILIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL EN EL CENTRO POBLADO SANTA BÁRBARA-CAJAMARCA			
LUGAR		: CPM Santa Bárbara. Baños del Inca. Cajamarca			
CANTERA		: 3			
ALTITUD		: 2709 msnm		UBICACIÓN	
CALICATA		: C3i		: 9211079N 776228E	
FECHA		: Octubre 2018		PROFUNDIDAD	
				: 0,00 – 3,00 m.	
				TESISTA	
				: Yvonne Katherine Fernández León	

PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	CALICATA		SIMBOLOGIA		CLASIFICACION		LIM. CONSISTENCIA			% Pasa malla N° 200
		MUESTRA	DESCRIPCION	GEOLOG	GEOTEC	SUCS	AASHTO	LL	LP	IP	
0.20		3,00	MI5	Roca traquita intemperizada de estructura granular, plasticidad nula, contracción nula. Color olivo grisáceo claro 5YR6/1, con micas, feldespatos y piroxenos. Su permeabilidad es alta y su drenaje excesivo.		CL	A-4 (3)	28,40	19,10	9,30	55,60
0.40											
0.60											
0.80											
1.00											
1.20											
1.40											
1.60											
1.80											
2.00											
2.20											
2.40											
2.60											
2.80											
3.00											
CL Arcilla inorgánica de baja plasticidad A-4 (3) Suelos limosos											

LL: Límite líquido; LP: Límite Plástico; IP: Índice de Plasticidad.

Figura 41. Registro de excavación de calicata 3i en suelo intervenido.

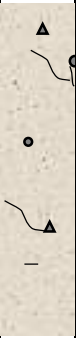
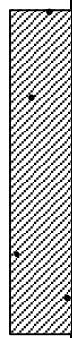
TESIS		ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS SUELOS POR LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DE ARCILLA UTILIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL EN EL CENTRO POBLADO SANTA BÁRBARA-CAJAMARCA			
LUGAR		: CPM Santa Bárbara. Baños del Inca. Cajamarca			
CANTERA		: 4			
ALTITUD		: 2711 msnm		UBICACIÓN	
CALICATA		: C4i		: 9211072N 776200E	
FECHA		: Octubre 2018		PROFUNDIDAD	
				: 0,00 – 3,00 m.	
				TESISTA	
				: Yvonne Katherine Fernández León	

PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	CALICATA		SIMBOLOGIA		CLASIFICACION		LIM. CONSISTENCIA			% Pasa malla N° 200
		MUESTRA	DESCRIPCION	GEOLOG	GEOTEC	SUCS	AASHTO	LL	LP	IP	
0.20		3,00	MI7	Roca traquita intemperizada de estructura granular, plasticidad nula, contracción nula. Color olivo grisáceo claro 5YR6/1, con micas, feldespatos y piroxenos. Su permeabilidad es alta y su drenaje excesivo. Se distingue fracción de desechos.		SC	A-4 (1)	24,60	16,33	8,27	44,84
0.40											
0.60											
0.80											
1.00											
1.20											
1.40											
1.60											
1.80											
2.00											
2.20											
2.40											
2.60											
2.80											
3.00											
SC Arena arcillosa, mezcla de arena y arcilla mal graduada A-4 (1) Suelos limosos											

LL: Límite líquido; LP: Límite Plástico; IP: Índice de Plasticidad.

Figura 42. Registro de excavación de calicata 4i en suelo intervenido.

TESIS		ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS SUELOS POR LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DE ARCILLA UTILIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL EN EL CENTRO POBLADO SANTA BÁRBARA-CAJAMARCA			
LUGAR		: CPM Santa Bárbara. Baños del Inca. Cajamarca			
CANTERA		: 4			
ALTITUD		: 2711 msnm		UBICACIÓN	
CALICATA		: C5i		: 9211072N 776200E	
FECHA		: Octubre 2017		PROFUNDIDAD	
				: 0,00 – 3,00 m.	
				TESISTA	
				: Yvonne Katherine Fernández León	

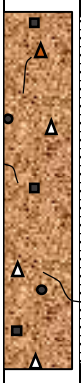

PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	CALICATA		SIMBOLOGIA		CLASIFICACION		LIM CONSISTENCIA			% Pasa malla N° 200	
		MUESTRA	DESCRIPCION	GEO LOG	GEO TEC	SUCS	AASHTO	LL	LP	IP		
0.20		3,00	MI9	Roca traquita intemperizada de estructura granular, plasticidad nula, contracción nula. Color olivo grisáceo claro 5YR6/1, con micas, feldspatos y piroxenos. Su permeabilidad es alta y su drenaje excesivo. Se distingue fracción de deshechos.			SC	A-4 (1)	25,10	17,16	7,94	47,78
0.40												
0.60												
0.80												
1.00												
1.20												
1.40												
1.60												
1.80												
2.00												
2.20												
2.40												
2.60												
2.80												
3.00												

SC Arena arcillosa, mezcla de arena y arcilla mal graduada A-4 (1) Suelos limosos

LL: Límite líquido; LP: Límite Plástico; IP: Índice de Plasticidad.

Figura 43. Registro de excavación de calicata 5i en suelo intervenido.

TESIS		ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS SUELOS POR LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DE ARCILLA UTILIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL EN EL CENTRO POBLADO SANTA BÁRBARA-CAJAMARCA			
LUGAR		: CPM Santa Bárbara. Baños del Inca. Cajamarca			
CANTERA		: 5			
ALTITUD		: 2715 msnm		UBICACIÓN	
CALICATA		: C6i		: 9211114N 776489E	
FECHA		: Octubre 2018		PROFUNDIDAD	
				: 0,00 – 3,00 m.	
				TESISTA	
				: Yvonne Katherine Fernández León	



PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	CALICATA		SIMBOLOGIA		CLASIFICACION		LIM. CONSISTENCIA			% Pasa malla N° 200	
		MUESTRA	DESCRIPCION	GEO LOG	GEO TEC	SUCS	AASHTO	LL	LP	IP		
0.20		3,00	MI11	Material areno arcilloso de estructura alterada con presencia de piedra, grava y fracción de deshechos. Plasticidad media, contracción media. Color marrón oscuro amarillento 5YR4/2 con presencia de cuarzo, limonita y feldspatos. Permeabilidad lenta y drenaje bueno.			SC	A-2-4(0)	31,80	24,04	7,76	32,24
0.40												
0.60												
0.80												
1.00												
1.20												
1.40												
1.60												
1.80												
2.00												
2.20												
2.40												
2.60												
2.80												
3.00												

SC Arena arcillosa, mezcla de arena y arcilla mal graduada A-2-4(0) Arena arcillosa o limosa

LL: Límite líquido; LP: Límite Plástico; IP: Índice de Plasticidad.

Figura 44. Registro de excavación de calicata 6i en suelo intervenido.


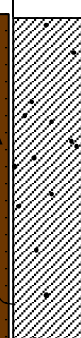
TESIS		ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS SUELOS POR LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DE ARCILLA UTILIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL EN EL CENTRO POBLADO SANTA BÁRBARA-CAJAMARCA			
LUGAR		: CPM Santa Bárbara. Baños del Inca. Cajamarca			
CANTERA		: 6			
ALTITUD		: 2717 msnm		UBICACIÓN	
CALICATA		: C7i		: 9211152N 776378E	
FECHA		: Octubre 2018		PROFUNDIDAD	
				: 0,00 – 3,00 m.	
				TESISTA	
				: Yvonne Katherine Fernández León	

PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	CALICATA		SIMBOLOGIA		CLASIFICACION		LIM. CONSISTENCIA			% Pasa malla N° 200	
		MUESTRA	DESCRIPCION	GEO LOG	GEO TEC	SUCS	AASHTO	LL	LP	IP		
0.20		3,00	MI13	Material areno arcilloso de estructura alterada con presencia de piedra, grava y fracción de desechos Platicidad media, contracción media. Color marrón grisáceo 5YR4/2 con presencia de cuarzo, limonita y feldespatos. Permeabilidad lenta y drenaje bueno.			SC	A-2-4(0)	26,40	18,10	8,30	33,40
0.40												
0.60												
0.80												
1.00												
1.20												
1.40												
1.60												
1.80												
2.00												
2.20												
2.40												
2.60												
2.80												
3.00												

SC Arena arcillosa, arena y arcilla mal graduada A-2-4(0) Arena arcillosa o limosa
 LL: Límite líquido; LP: Límite Plástico; IP: Índice de Plasticidad.

Figura 45. Registro de excavación de calicata 7i en suelo intervenido.



TESIS		ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS SUELOS POR LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DE ARCILLA UTILIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL EN EL CENTRO POBLADO SANTA BÁRBARA-CAJAMARCA			
LUGAR		: CPM Santa Bárbara. Baños del Inca. Cajamarca			
CANTERA		: 6			
ALTITUD		: 2717 msnm		UBICACIÓN	
CALICATA		: C8i		: 9211152N 776378E	
FECHA		: Octubre 2018		PROFUNDIDAD	
				: 0,00 – 3,00 m.	
				TESISTA	
				: Yvonne Katherine Fernández León	

PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	CALICATA		SIMBOLOGIA		CLASIFICACION		LIM. CONSISTENCIA			% Pasa malla N° 200	
		MUESTRA	DESCRIPCION	GEO LOG	GEO TEC	SUCS	AASHTO	LL	LP	IP		
0.20		3,00	MI15	Material areno arcilloso de estructura alterada con presencia de piedra y grava. Platicidad alta, contracción media. Color marrón grisáceo 5YR4/2 con presencia de cuarzo, limonita y feldespatos. Permeabilidad lenta y drenaje bueno.			SC	A-2-4(0)	25,10	16,60	8,50	32,94
0.40												
0.60												
0.80												
1.00												
1.20												
1.40												
1.60												
1.80												
2.00												
2.20												
2.40												
2.60												
2.80												
3.00												

SC Arena arcillosa, arena y arcilla mal graduada A-2-6(0) Arena arcillosa o limosa
 LL: Límite líquido; LP: Límite Plástico; IP: Índice de Plasticidad.

Figura 46. Registro de excavación de calicata 8i en suelo intervenido.



TESIS		ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS SUELOS POR LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DE ARCILLA UTILIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL EN EL CENTRO POBLADO SANTA BÁRBARA-CAJAMARCA	
LUGAR		: CPM Santa Bárbara. Baños del Inca. Cajamarca	
CANTERA		: 7	
ALTITUD		: 2716 msnm	UBICACIÓN
CALICATA		: C9i	PROFUNDIDAD
FECHA		: Octubre 2018	TESISTA
			: Yvonne Katherine Fernández León

PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	CALICATA		SIMBOLOGIA		CLASIFICACION		LIM. CONSISTENCIA			% Pasa malla N° 200
		MUESTRA	DESCRIPCION	GEO LOG	GEO TEC	SUCS	AASHTO	LL	LP	IP	
0.20	3,00	MI17	Material areno arcilloso de estructura alterada con presencia de piedra, grava y fracción de desechos. Plasticidad alta, contracción media. Color marrón rojizo mate 5YR5/4 con presencia de cuarzo, limonita y feldespatos. Permeabilidad lenta y drenaje bueno.			SC	A-4(2)	30,10	20,40	9,70	47,78
0.40											
0.60											
0.80											
1.00											
1.20											
1.40											
1.60											
1.80											
2.00											
2.20											
2.40											
2.60											
2.80											
3.00											
SC Arena arcillosa, mezcla de arena y arcilla mal graduada						A-4(2)		Suelos limosos			

LL: Límite líquido; LP: Límite Plástico; IP: Índice de Plasticidad.

Figura 47. Registro de excavación de calicata 9i en suelo intervenido.



TESIS		ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS SUELOS POR LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DE ARCILLA UTILIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL EN EL CENTRO POBLADO SANTA BÁRBARA-CAJAMARCA	
LUGAR		: CPM Santa Bárbara. Baños del Inca. Cajamarca	
CANTERA		: 8	
ALTITUD		: 2713 msnm	UBICACIÓN
CALICATA		: C10i	PROFUNDIDAD
FECHA		: Octubre 2018	TESISTA
			: Yvonne Katherine Fernández León

PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	CALICATA		SIMBOLOGIA		CLASIFICACION		LIM. CONSISTENCIA			% Pasa malla N° 200
		MUESTRA	DESCRIPCION	GEO LOG	GEO TEC	SUCS	AASHTO	LL	LP	IP	
0.20	3,00	MI19	Material areno arcilloso de estructura alterada con presencia de piedra, grava y fracción de desechos. Plasticidad media, contracción media. Color marrón oscuro amarillento 5YR3/2 con presencia de cuarzo, limonita y feldespatos. Permeabilidad lenta y drenaje bueno.			SC	A-2-6(0)	32,60	20,10	12,50	32,72
0.40											
0.60											
0.80											
1.00											
1.20											
1.40											
1.60											
1.80											
2.00											
2.20											
2.40											
2.60											
2.80											
3.00											
SC Arena arcillosa, mezcla de arena y arcilla mal graduada						A-2-6(0)		Suelos arcillosos			

LL: Límite líquido; LP: Límite Plástico; IP: Índice de Plasticidad.

Figura 48. Registro de excavación de calicata 10i en suelo intervenido.


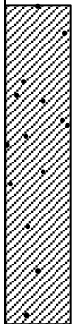
TESIS		ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS SUELOS POR LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DE ARCILLA UTILIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL EN EL CENTRO POBLADO SANTA BÁRBARA-CAJAMARCA	
LUGAR		: CPM Santa Bárbara. Baños del Inca. Cajamarca	
CANTERA		: 9	
ALTITUD		: 2715 msnm	
CALICATA		: C11i	
FECHA		: Octubre 2018	
UBICACIÓN		: 9211273N 776372E	
PROFUNDIDAD		: 0,00 – 3,00 m.	
TESISTA		: Yvonne Katherine Fernández León	

PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	CALICATA		SIMBOLOGIA		CLASIFICACION		LIM. CONSISTENCIA			% Pasa malla N° 200	
		MUESTRA	DESCRIPCION	GEO LOG	GEO TEC	SUCS	AASHTO	LL	LP	IP		
0.20		3,00	MI21	Material areno arcilloso de estructura alterada con presencia de piedra y grava. Plasticidad media, contracción media. Color marrón grisáceo 5YR5/2 con presencia de cuarzo, limonita y feldespatos. Permeabilidad lenta y drenaje bueno.			SC	A-2-6(0)	33,10	19,50	13,60	31,92
0.40												
0.60												
0.80												
1.00												
1.20												
1.40												
1.60												
1.80												
2.00												
2.20												
2.40												
2.60												
2.80												
3.00												
SC		Arena arcillosa, mezcla de arena y arcilla mal graduada		A-2-6(0)		Grava y arena arcillosa o limosa						

LL: Límite líquido; LP: Límite Plástico; IP: Índice de Plasticidad.

Figura 49. Registro de excavación de calicata 11i en suelo intervenido.

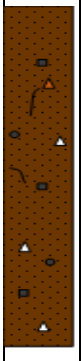
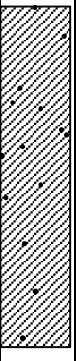
TESIS		ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS SUELOS POR LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DE ARCILLA UTILIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL EN EL CENTRO POBLADO SANTA BÁRBARA-CAJAMARCA	
LUGAR		: CPM Santa Bárbara. Baños del Inca. Cajamarca	
CANTERA		: 10	
ALTITUD		: 2716 msnm	
CALICATA		: C12i	
FECHA		: Octubre 2018	
UBICACIÓN		: 9211325N 776314E	
PROFUNDIDAD		: 0,00 – 3,00 m.	
TESISTA		: Yvonne Katherine Fernández León	

PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	CALICATA		SIMBOLOGIA		CLASIFICACION		LIM. CONSISTENCIA			% Pasa malla N° 200	
		MUESTRA	DESCRIPCION	GEO LOG	GEO TEC	SUCS	AASHTO	LL	LP	IP		
0.20		3,00	MI23	Material areno arcilloso de estructura alterada con presencia de piedra, grava y fracción de desechos. Plasticidad media, contracción media. Color marrón oscuro amarillento 5YR3/2 con presencia de cuarzo, limonita y feldespatos. Permeabilidad lenta y drenaje bueno.			SC	A-2-6(0)	36,40	21,30	15,10	32,24
0.40												
0.60												
0.80												
1.00												
1.20												
1.40												
1.60												
1.80												
2.00												
2.20												
2.40												
2.60												
2.80												
3.00												
SC		Arena arcillosa, arena y arcilla mal graduada		A-2-6(0)		Arena arcillosa o limosa						

LL: Límite líquido; LP: Límite Plástico; IP: Índice de Plasticidad.

Figura 50. Registro de excavación de calicata 12i en suelo intervenido.

TESIS		ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS SUELOS POR LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DE ARCILLA UTILIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL EN EL CENTRO POBLADO SANTA BÁRBARA-CAJAMARCA	
LUGAR		: CPM Santa Bárbara. Baños del Inca. Cajamarca	
CANTERA		: 10	
ALTITUD		: 2716 msnm	
UBICACIÓN		: 9211325N 776314E	
CALICATA		: C13i	
PROFUNDIDAD		: 0,00 – 3,00 m.	
FECHA		: Octubre 2018	
TESISTA		: Yvonne Katherine Fernández León	


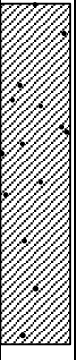
PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	CALICATA		SIMBOLOGIA		CLASIFICACION		LIM. CONSISTENCIA			% Pasa malla N° 200	
		MUESTRA	DESCRIPCION	GEO LOG	GEO TEC	SUCS	AASHTO	LL	LP	IP		
0.20		3,00	MI25	Material areno arcilloso de estructura alterada con presencia de piedra y grava. Plasticidad media, contracción media. Color marrón oscuro rojizo 5YR3/3 con presencia de cuarzo, limonita y feldspatos. Permeabilidad lenta y drenaje bueno.			SC	A-2-6(0)	32,40	18,50	13,90	32,24
0.40												
0.60												
0.80												
1.00												
1.20												
1.40												
1.60												
1.80												
2.00												
2.20												
2.40												
2.60												
2.80												
3.00												

SC Arena arcillosa, arena y arcilla mal graduada A-2-6(0) Arena arcillosa o limosa

LL: Límite líquido; LP: Límite Plástico; IP: Índice de Plasticidad.

Figura 51. Registro de excavación de calicata 13i en suelo intervenido.

TESIS		ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS SUELOS POR LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DE ARCILLA UTILIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL EN EL CENTRO POBLADO SANTA BÁRBARA-CAJAMARCA	
LUGAR		: CPM Santa Bárbara. Baños del Inca. Cajamarca	
CANTERA		: 11	
ALTITUD		: 2715 msnm	
UBICACIÓN		: 9211361N 776418E	
CALICATA		: C14i	
PROFUNDIDAD		: 0,00 – 3,00 m.	
FECHA		: Octubre 2018	
TESISTA		: Yvonne Katherine Fernández León	


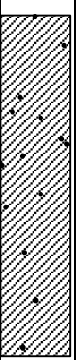
PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	CALICATA		SIMBOLOGIA		CLASIFICACION		LIM. CONSISTENCIA			% Pasa malla N° 200	
		MUESTRA	DESCRIPCION	GEO LOG	GEO TEC	SUCS	AASHTO	LL	LP	IP		
0.20		3,00	MI27	Material areno arcilloso de estructura alterada con presencia de piedra y grava. Plasticidad media, contracción media. Color marrón oscuro gris 5YR7/2 con presencia de cuarzo, limonita y feldspatos. Permeabilidad lenta y drenaje bueno.			SC	A-2-6(0)	24,20	13,20	11,00	26,22
0.40												
0.60												
0.80												
1.00												
1.20												
1.40												
1.60												
1.80												
2.00												
2.20												
2.40												
2.60												
2.80												
3.00												

SC Arena arcillosa, arena y arcilla mal graduada A-2-6(0) Arena arcillosa o limosa

LL: Límite líquido; LP: Límite Plástico; IP: Índice de Plasticidad.

Figura 52. Registro de excavación de calicata 14i en suelo intervenido.


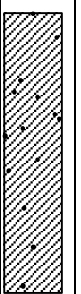
TESIS		ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS SUELOS POR LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DE ARCILLA UTILIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL EN EL CENTRO POBLADO SANTA BÁRBARA-CAJAMARCA	
LUGAR		: CPM Santa Bárbara. Baños del Inca. Cajamarca	
CANTERA		: 12	
ALTITUD		: 2714 msnm	
CALICATA		: C15i	
FECHA		: Octubre 2018	
UBICACIÓN		: 9211383N 776372E	
PROFUNDIDAD		: 0,00 – 3,00 m.	
TESISTA		: Yvonne Katherine Fernández León	

PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	CALICATA		SIMBOLOGIA		CLASIFICACION		LIM. CONSISTENCIA			% Pasa malla N° 200	
		MUESTRA	DESCRIPCION	GEO LOG	GEO TEC	SUCS	AASHTO	LL	LP	IP		
0.20		3,00	MI29	Material areno arcilloso de estructura alterada con presencia de piedra y grava. Plasticidad media, contracción media. Color marrón oscuro gris 5YR7/2 con presencia de cuarzo, limonita y feldespatos. Permeabilidad lenta y drenaje bueno.			SC	A-2-6(0)	28,60	17,24	11,36	25,96
0.40												
0.60												
0.80												
1.00												
1.20												
1.40												
1.60												
1.80												
2.00												
2.20												
2.40												
2.60												
2.80												
3.00												

SC Arena arcillosa, arena y arcilla mal graduada A-2-6(0) Arena arcillosa o limosa
 LL: Límite líquido; LP: Límite Plástico; IP: Índice de Plasticidad.

Figura 53. Registro de excavación de calicata 15i en suelo intervenido.

TESIS		ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS SUELOS POR LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DE ARCILLA UTILIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL EN EL CENTRO POBLADO SANTA BÁRBARA-CAJAMARCA	
LUGAR		: CPM Santa Bárbara. Baños del Inca. Cajamarca	
CANTERA		: 13	
ALTITUD		: 2717 msnm	
CALICATA		: C16i	
FECHA		: Octubre 2018	
UBICACIÓN		: 9211457N 776417E	
PROFUNDIDAD		: 0,00 – 3,00 m.	
TESISTA		: Yvonne Katherine Fernández León	

PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	CALICATA		SIMBOLOGIA		CLASIFICACION		LIMITES DE CONSISTENCIA			% Pasa malla N° 200	
		MUESTRA	DESCRIPCION	GEO LOGICA	GEO TEC	SUCS	AASHTO	LL	LP	IP		
0.20		3,00	MI31	Material areno arcilloso de estructura alterada con presencia de piedra y grava. Plasticidad media, contracción media. Color marrón oscuro rojizo 5YR3/3 con presencia de cuarzo, limonita y feldespatos. Permeabilidad lenta y drenaje bueno.			SC	A-2-4(0)	22,10	12,41	9,69	26,04
0.40												
0.60												
0.80												
1.00												
1.20												
1.40												
1.60												
1.80												
2.00												
2.20												
2.40												
2.60												
2.80												
3.00												

SC Arena arcillosa, arena y arcilla mal graduada A-2-4(0) Arena arcillosa o limosa
 LL: Límite líquido; LP: Límite Plástico; IP: Índice de Plasticidad.

Figura 54. Registro de excavación de calicata 16i en suelo intervenido.

TESIS		ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS SUELOS POR LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DE ARCILLA UTILIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL EN EL CENTRO POBLADO SANTA BÁRBARA-CAJAMARCA			
LUGAR		: CPM Santa Bárbara. Baños del Inca. Cajamarca			
CANTERA		: 14			
ALTITUD		: 2719 msnm		UBICACIÓN	
CALICATA		: C17i		: 9211449N 776389E	
FECHA		: Octubre 2018		PROFUNDIDAD	
				: 0,00 – 3,00 m.	
				TESISTA	
				: Yvonne Katherine Fernández León	

PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	CALICATA		SIMBOLOGIA		CLASIFICACION		LIM. CONSISTENCIA			% Pasa malla N° 200
		MUESTRA	DESCRIPCION	GEO LOG	GEO TEC	SUCS	AASHTO	LL	LP	IP	
0.20		3,00	MI33	Material areno arcilloso de estructura alterada con presencia de piedra y grava. Plasticidad media, contracción media. Color marrón grisáceo 5YR6/2 con presencia de cuarzo, limonita y feldespatos. Permeabilidad lenta y drenaje bueno.		SC	A-2-6(1)	30,20	12,45	17,75	34,14
0.40											
0.60											
0.80											
1.00											
1.20											
1.40											
1.60											
1.80											
2.00											
2.20											
2.40											
2.60											
2.80											
3.00											

SC Arena arcillosa, arena y arcilla mal graduada A-2-6(1) Arena arcillosa o limosa
 LL: Límite líquido; LP: Límite Plástico; IP: Índice de Plasticidad.

Figura 55. Registro de excavación de calicata 17i en suelo intervenido.

TESIS		ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS SUELOS POR LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DE ARCILLA UTILIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL EN EL CENTRO POBLADO SANTA BÁRBARA-CAJAMARCA			
LUGAR		: CPM Santa Bárbara. Baños del Inca. Cajamarca			
CANTERA		: 15			
ALTITUD		: 2723 msnm		UBICACIÓN	
CALICATA		: C18i		: 9211549N 776312E	
FECHA		: Octubre 2018		PROFUNDIDAD	
				: 0,00 – 3,00 m.	
				TESISTA	
				: Yvonne Katherine Fernández León	

PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	CALICATA		SIMBOLOGIA		CLASIFICACION		LIM. CONSISTENCIA			% Pasa malla N° 200
		MUESTRA	DESCRIPCION	GEO LOG	GEO TEC	SUCS	AASHTO	LL	LP	IP	
0.20		3,00	MI35	Material areno arcilloso de estructura alterada con presencia de piedra y grava. Plasticidad media, contracción media. Color marrón grisáceo 5YR6/2 con presencia de cuarzo, limonita y feldespatos. Permeabilidad lenta y drenaje bueno.		SC	A-2-6(2)	31,10	11,44	19,66	33,82
0.40											
0.60											
0.80											
1.00											
1.20											
1.40											
1.60											
1.80											
2.00											
2.20											
2.40											
2.60											
2.80											
3.00											

SC Arena arcillosa, arena y arcilla mal graduada A-2-6(2) Grava y arena arcillosa o limosa

LL: Límite líquido; LP: Límite Plástico; IP: Índice de Plasticidad.

Figura 56. Registro de excavación de calicata 18i en suelo intervenido.

APÉNDICE 3

Formatos de registro de laboratorio de suelos

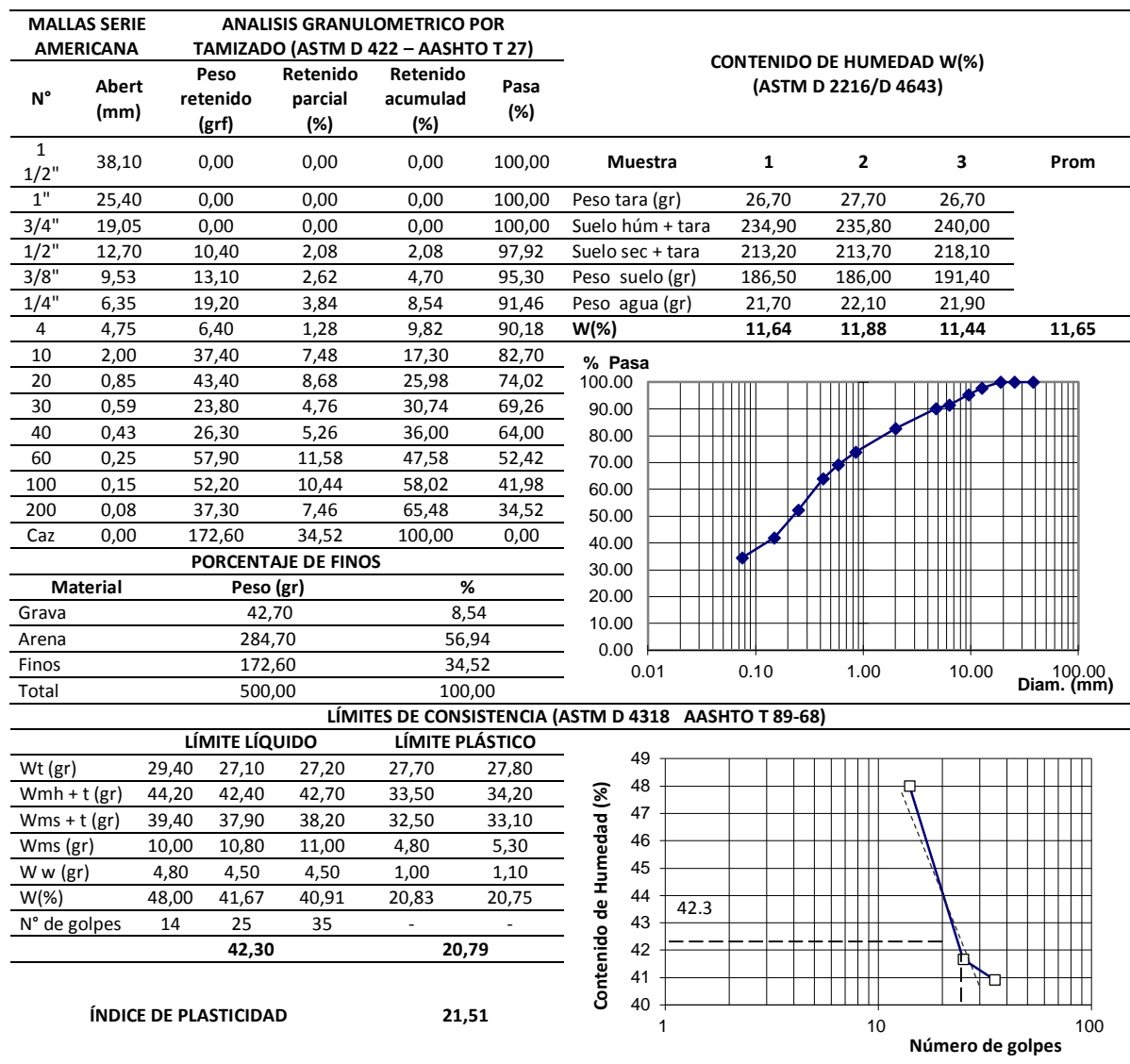


Figura 57. Registro típico de ensayo granulométrico, contenido de humedad e índices de plasticidad de muestra de suelo no intervenido.

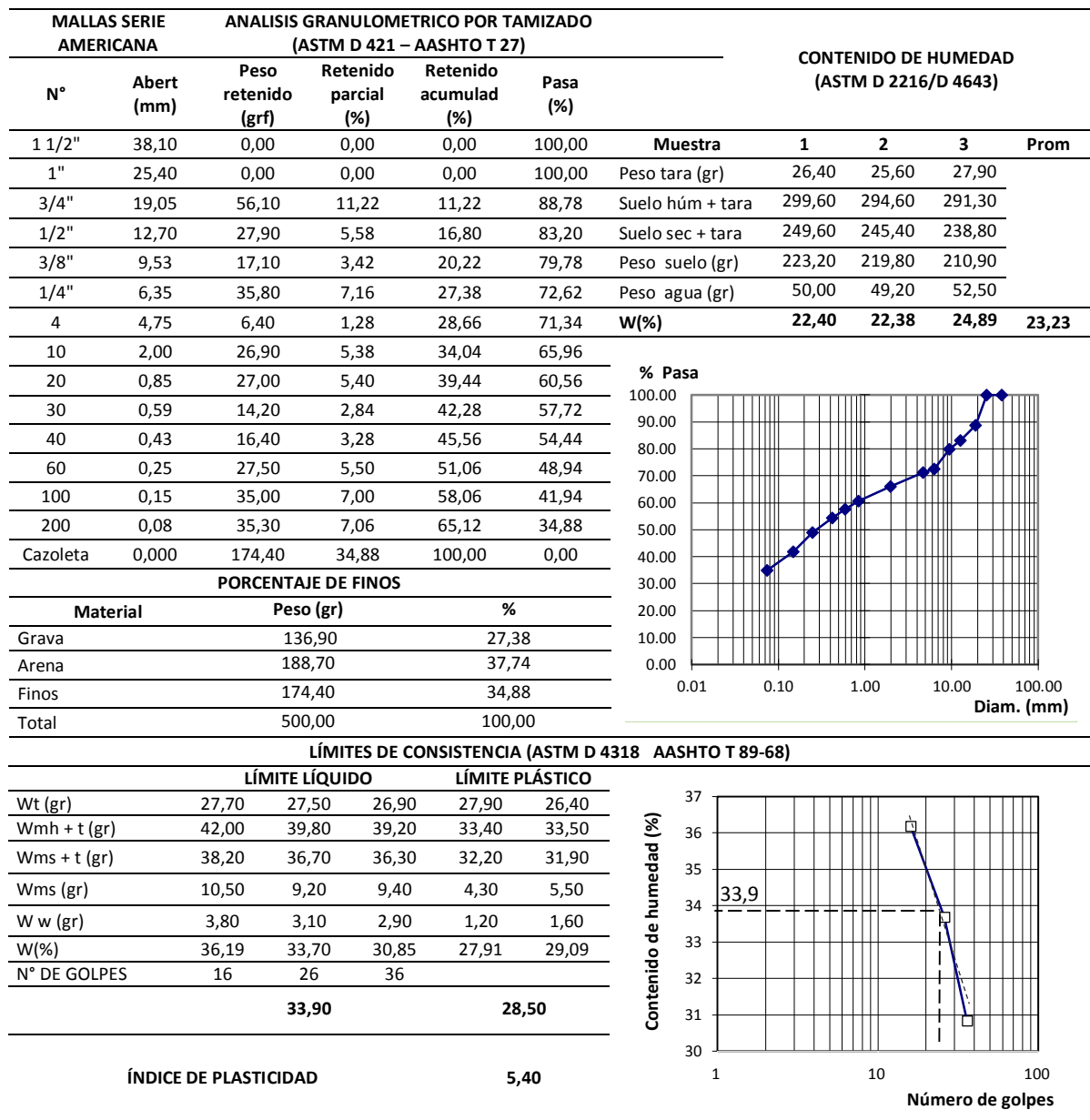


Figura 58. Registro típico de ensayo granulométrico, contenido de humedad e índices de plasticidad de muestra de suelo intervenido.

CORTE DIRECTO (ASTM D 3080)									
Lado o diámetro (cm)	6.0		Humedad (%)		11,27				
Altura (cm)	2.0		Densidad seca (gr/cm ³)		1,86				
Área (cm ²)	36.0		Volumen (cm ³)		72,0				
Vel.carga (mm/min)	0.70		Const.anillo carga (kgf/Nº div.)		0,446379				
	1 Kgf			2 Kgf			4 Kg f		
Carga (Kgf)	Área Correg cm ²	Esf Cortan Kgf/cm ²	Carga (Kgf)	Área Correg cm ²	Esf Cortan Kgf/cm ²	Carga (Kgf)	Área Correg cm ²	Esf Cortan Kgf/cm ²	
0,00	36,000	0,000	0,00	36,000	0,000	0,00	36,000	0,000	
0,00	36,030	0,000	0,000	36,030	0,000	0,000	36,000	0,000	
0,00	36,060	0,000	0,000	36,060	0,000	1,339	36,000	0,037	
0,44	36,090	0,012	0,893	36,090	0,024	3,125	36,015	0,087	
1,071	36,120	0,030	1,696	36,120	0,047	4,330	36,028	0,120	
1,607	36,151	0,045	3,348	36,151	0,093	5,044	36,056	0,140	
2,232	36,181	0,062	4,285	36,181	0,118	6,339	36,071	0,176	
3,259	36,211	0,090	4,999	36,211	0,138	7,410	36,083	0,205	
4,196	36,242	0,116	5,624	36,242	0,155	7,946	36,093	0,220	
4,999	36,272	0,138	6,205	36,272	0,171	8,570	36,103	0,237	
6,472	36,306	0,179	6,919	36,303	0,191	9,508	36,115	0,263	
10,445	36,610	0,285	15,088	36,610	0,412	17,944	36,249	0,495	
12,944	36,923	0,351	19,328	36,923	0,523	24,952	36,317	0,687	
12,944	37,018	0,350	21,515	37,018	0,581	25,666	36,352	0,706	
12,944	37,241	0,348	21,515	37,241	0,578	29,952	36,350	0,824	
12,944	37,565	0,345	20,980	37,565	0,558	31,469	36,338	0,866	
12,944	37,861	0,342	20,980	37,862	0,554	31,469	36,336	0,866	
12,944	37,895	0,342	20,980	37,895	0,554	31,469	36,335	0,866	

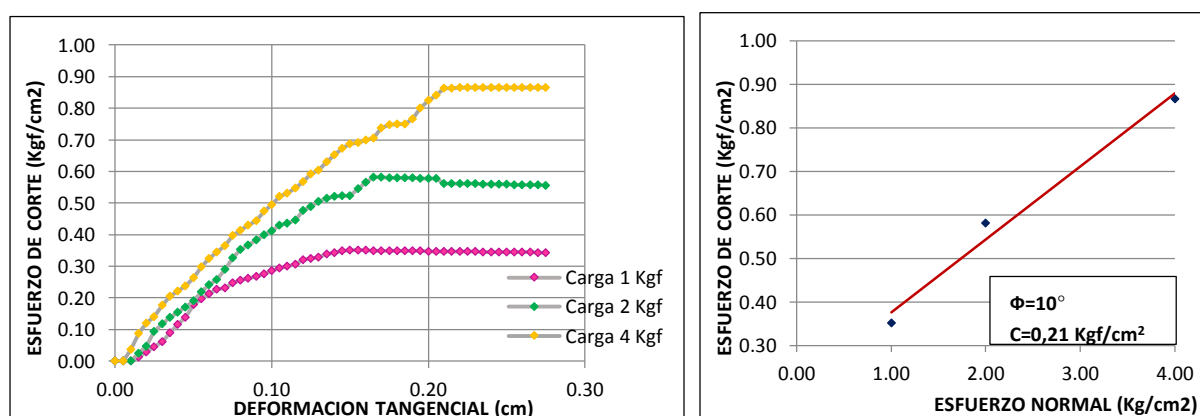


Figura 59. Registro típico de ensayo de corte directo no consolidado no drenado de muestra de suelo no intervenido.

CORTE DIRECTO (ASTM D 3080)								
Lado o diámetro (cm)	6.0	Humedad (%)		26,25				
Altura (cm)	2.0	Densidad seca (gr/cm ³)		0,81				
Área (cm ²)	36.0	Volumen (cm ³)		72,0				
Vel.carga (mm/min)	0.70	Const.anillo carga (kgf/N° div.)		0,446379				
1 Kgf			2 Kgf			4 Kg f		
Carga (Kgf)	Área Correg cm ²	Esf Cort Kgf/cm ²	Carga (Kgf)	Área Correg cm ²	Esf Cort Kgf/cm ²	Carga (Kgf)	Área Correg cm ²	Esf Cort Kgf/cm ²
0,000	36,000	0,000	0,000	36,000	0,000	0,000	36,000	0,000
0,803	36,030	0,022	1,339	36,030	0,037	4,508	36,022	0,125
1,562	36,060	0,043	1,607	36,060	0,045	5,937	36,027	0,165
1,786	36,090	0,049	2,901	36,090	0,080	7,365	36,048	0,204
2,589	36,120	0,072	3,526	36,120	0,098	9,061	36,059	0,251
2,723	36,150	0,075	4,419	36,151	0,122	11,918	36,074	0,330
5,357	36,303	0,148	9,508	36,303	0,262	19,284	36,158	0,533
12,008	36,610	0,328	24,640	36,610	0,661	35,621	36,408	0,978
16,828	36,766	0,378	29,997	36,766	0,657	43,120	36,496	1,182
17,811	36,797	0,377	30,934	36,797	0,765	44,816	36,512	1,227
18,837	36,829	0,377	32,139	36,829	0,770	48,298	36,531	1,322
19,998	36,860	0,377	33,032	36,860	0,769	50,976	36,546	1,349
20,132	36,892	0,376	34,014	36,892	0,768	57,494	36,562	1,451
20,087	36,923	0,376	34,684	36,923	0,768	61,779	36,573	1,522

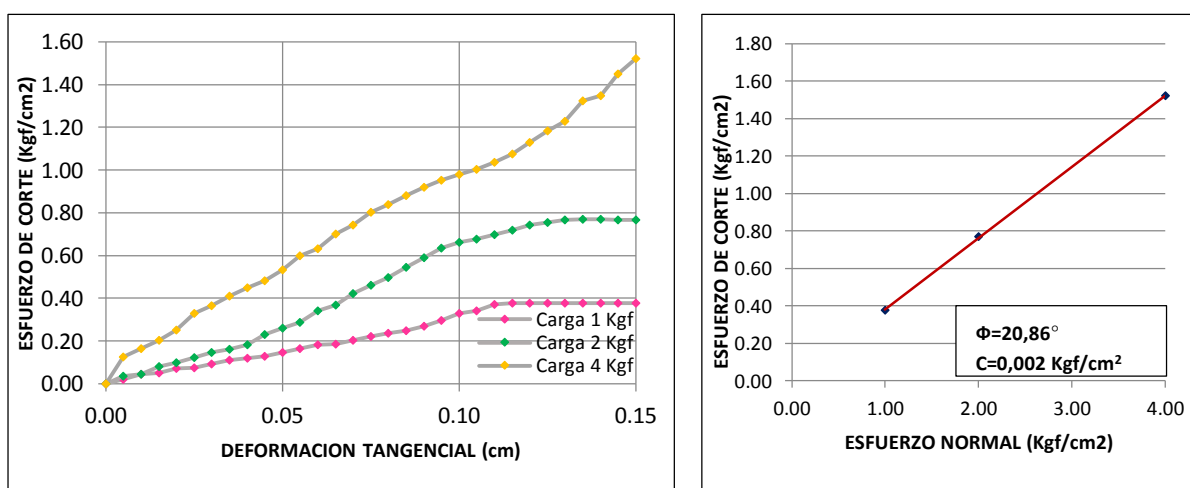


Figura 60. Registro típico de ensayo de corte directo no consolidado no drenado de muestra de suelo intervenido.

Tabla 43

Registro típico de capacidad portante y esfuerzo admisible de suelo calculados según método de Meyerhof de muestra de suelo no intervenido.

Ancho de cimentación b	2,00	m	Ángulo de fricción interna ϕ	10,00	°
Largo de cimentación l	2,00	m	Ángulo de inclinación del terreno δ	0,00	°
Profundidad de cimentación d	1,50	m	Ángulo de inclinación de carga β	0,00	°
Excentricidad b	0,00	m	Ángulo de inclinación de cimentación η	0,00	°
Excentricidad l	0,00	m	Componente vertical de carga q_v	0,00	KN/m ²
Adhesión a la base de fundación ca	0,00	-	Componente horizontal de carga q_h	0,00	KN/m ²
Peso específico suelo γ	18,24	KN/m ³	Factor de seguridad fs	3,00	-
Coeficiente de cohesión c	20,59	KN/m ²			
<i>Factores de capacidad de carga</i>			<i>Factores de forma</i>		
Nq	2,471435625		Fcs	1,28406	
Nc	8,344926109		Fqs = Fgs	1,14203	
Ng	0,366870106		Kp	1,42028	
<i>Factores de profundidad</i>			<i>Factores de inclinación</i>		
Fcd	1,17876		Fci = Fqi	1	
Fqd = Fgd	1,08938		Fgi	1	
	352,52	KN/m ²		117,51	KN/m ²
Q última	35,95	T/m ²	Q admisible	1,20	T/m ²
	3,59	Kgf/cm ²		1,20	Kgf/cm ²

Tabla 44

Registro típico de capacidad portante y esfuerzo admisible de suelo calculados según método de Meyerhof de muestra de suelo intervenido.

Ancho de cimentación B	2,00	m	Ángulo de fricción interna ϕ	25,00	°
Largo de cimentación L	2,00	m	Ángulo de inclinación del terreno δ	0,00	°
Profundidad de cimentación D	1,50	m	Ángulo de inclinación de carga β	0,00	°
Excentricidad B	0,00	m	Ángulo de inclinación de cimentación η	0,00	°
Excentricidad L	0,00	m	Componente vertical de carga q_v	0,00	KN/m ²
Adhesión a la base de fundación ca	0,00	-	Componente horizontal de carga q_h	0,00	KN/m ²
Peso específico suelo γ	6,28	KN/m ³	Factor de seguridad FS	3,00	-
Coeficiente de cohesión c	0,10	KN/m ²			
<i>Factores de capacidad de carga</i>			<i>Factores de forma</i>		
Nq	10,66214239		Fcs	1,4927825	
Nc	20,72053122		Fqs = Fgs	1,2463912	
Ng	6,765504936		Kp	2,4639128	
<i>Factores de profundidad</i>			<i>Factores de inclinación</i>		
Fcd	1,2354528		Fci = Fqi	1	
Fqd = Fgd	1,1177264		Fgi	1	
	202,93	KN/m ²		67,64	KN/m ²
q última	20,69	T/m ²	Q admisible	0,69	T/m ²
	2,07	Kgf/cm ²		0,69	Kgf/cm ²

APÉNDICE 4

Análisis estadístico de resultados

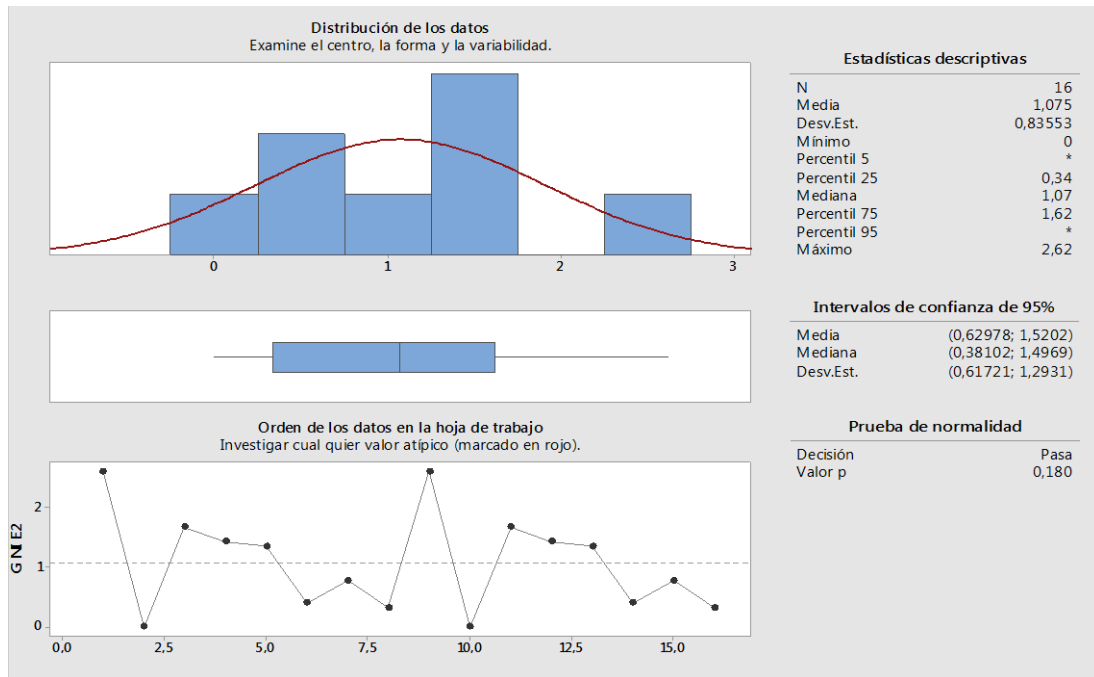


Figura 61. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de grava en el estrato 2, suelo no intervenido.

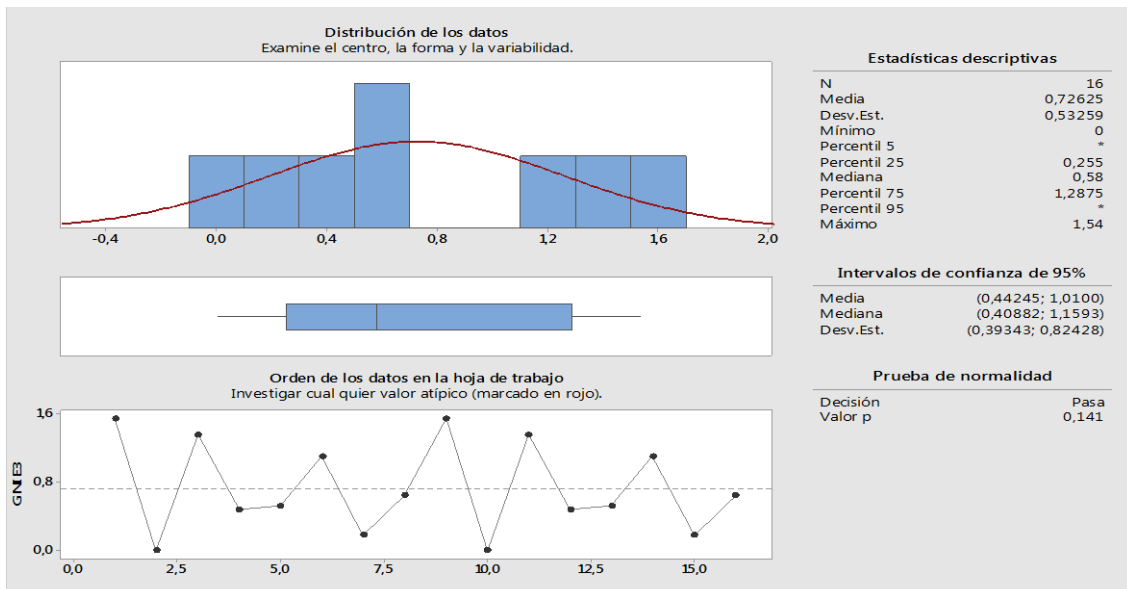


Figura 62. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de grava en el estrato 3, suelo no intervenido.

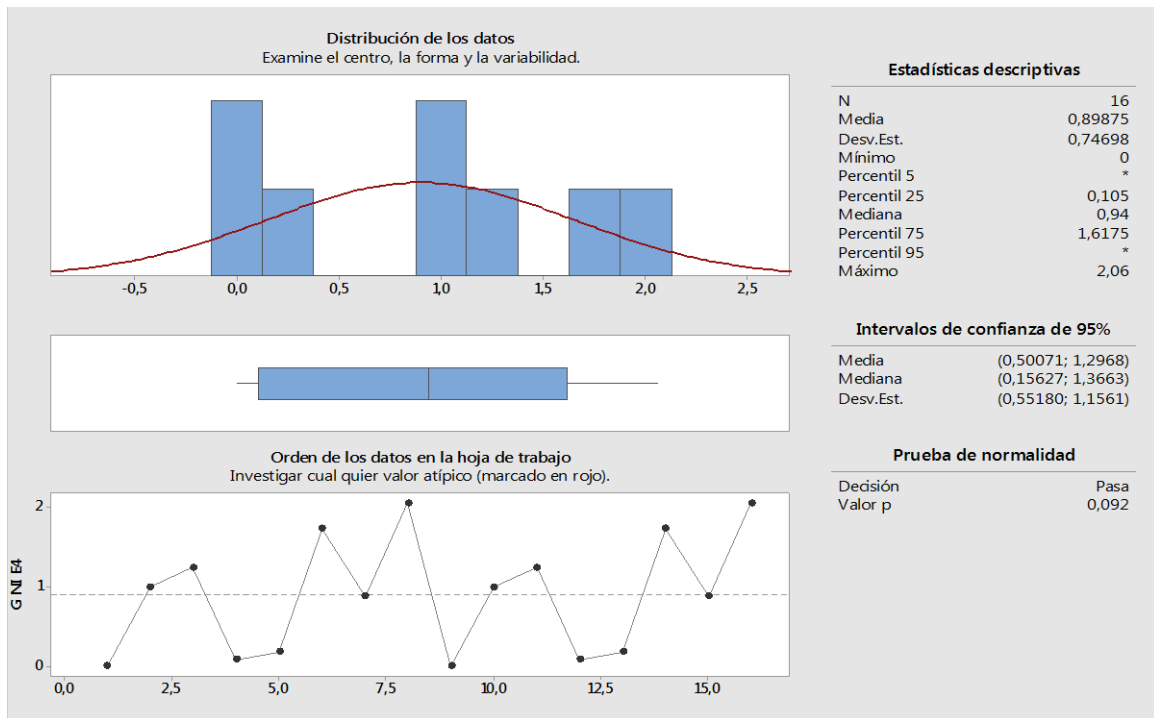


Figura 63. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de grava en el estrato 4, suelo no intervenido.

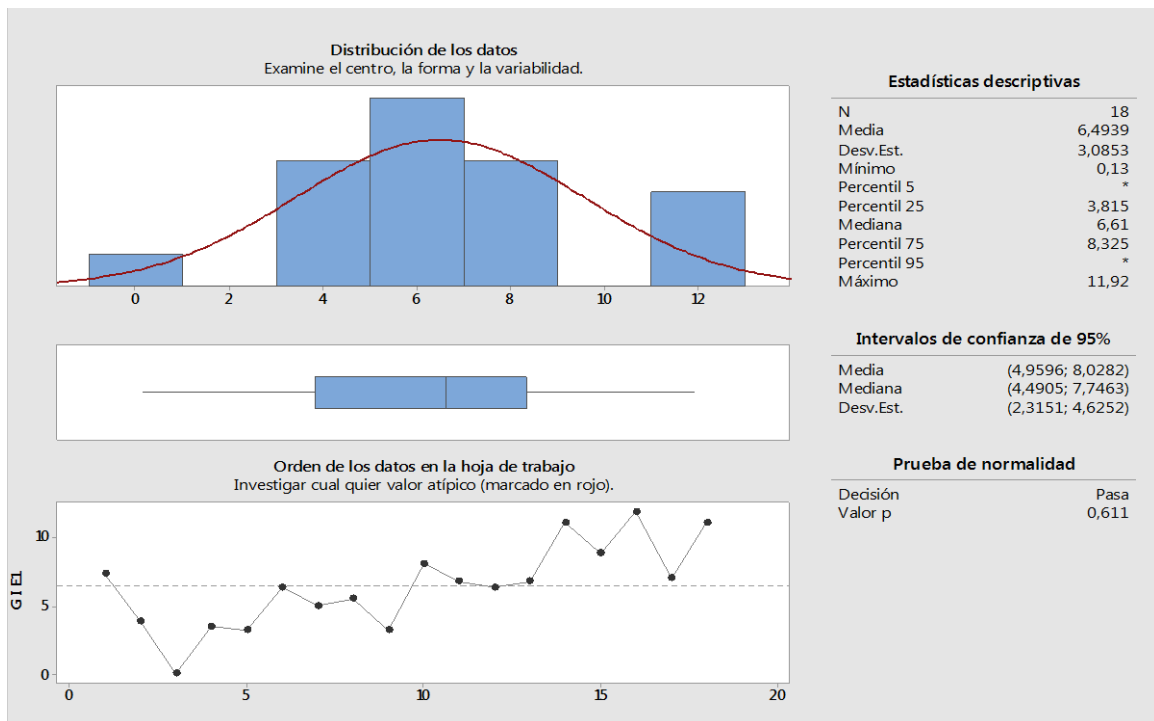


Figura 64. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de grava en el estrato 1, suelo intervenido.

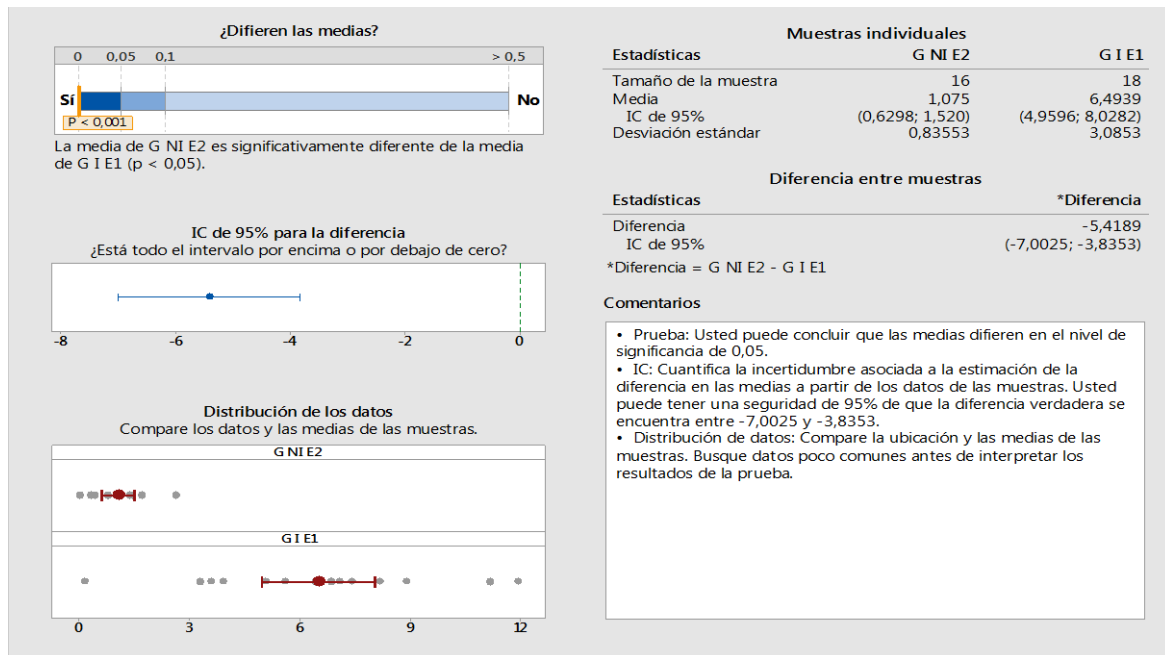


Figura 65. Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del contenido de grava en las muestras de suelo no intervenido estrato 2 y suelo intervenido estrato 1 en el nivel de significancia de 0,05.

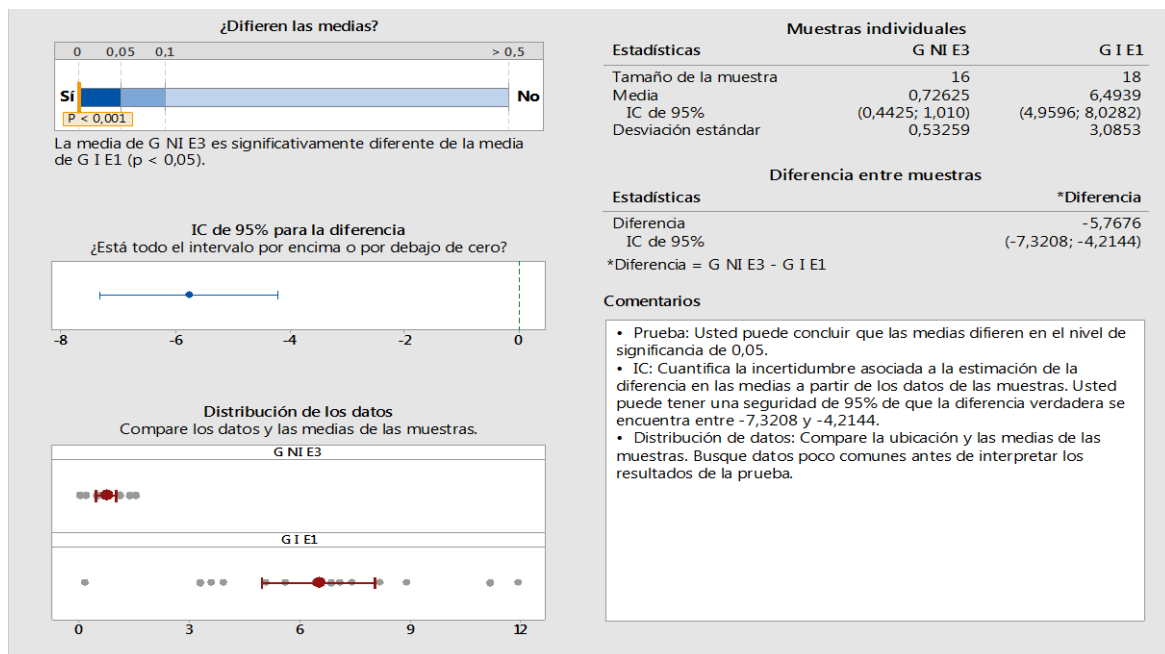


Figura 66. Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del contenido de grava en las muestras de suelo no intervenido estrato 3 y suelo intervenido estrato 1 en el nivel de significancia de 0,05.

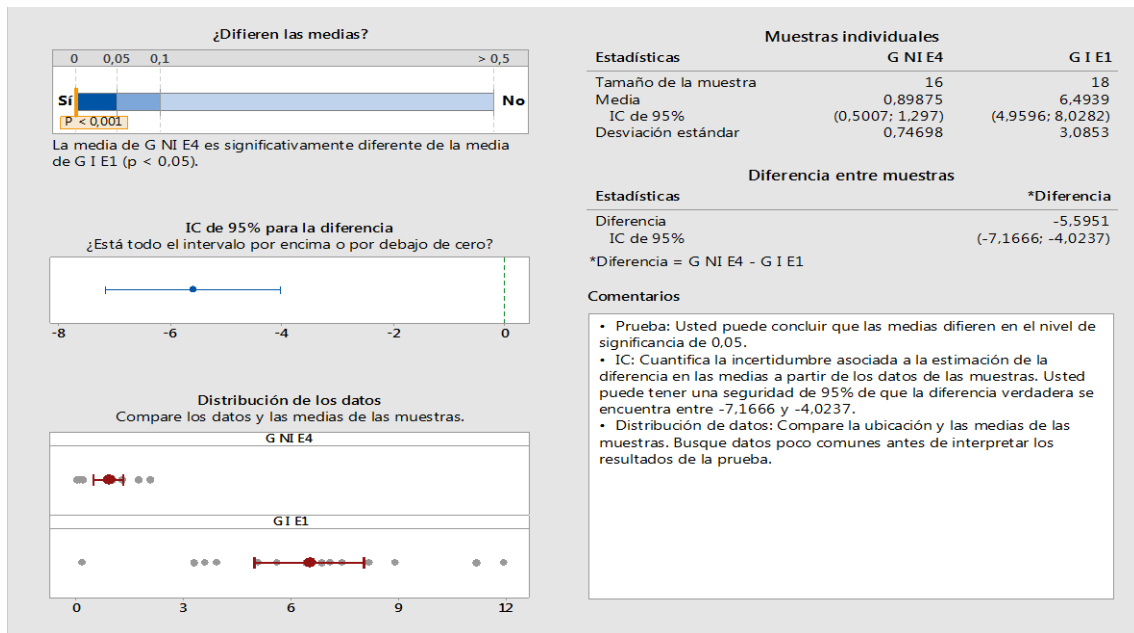


Figura 67. Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del contenido de grava en las muestras de suelo no intervenido estrato 4 y suelo intervenido estrato 1 en el nivel de significancia de 0,05.

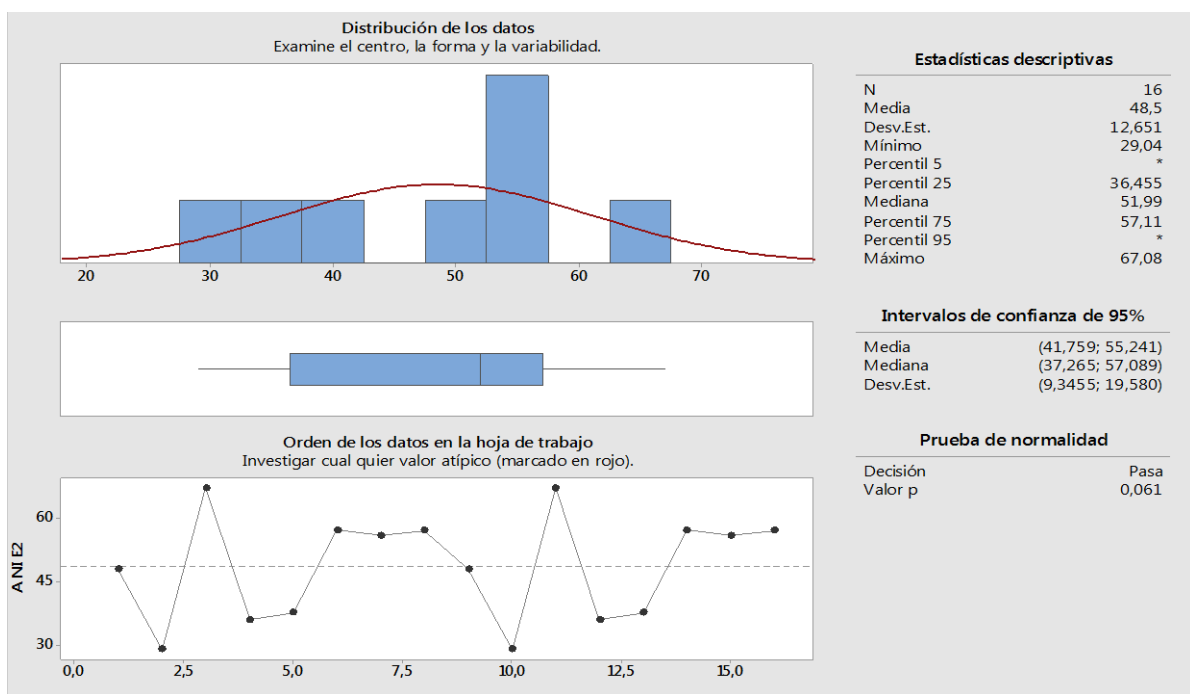


Figura 68. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de arena en el estrato 2, suelo no intervenido.

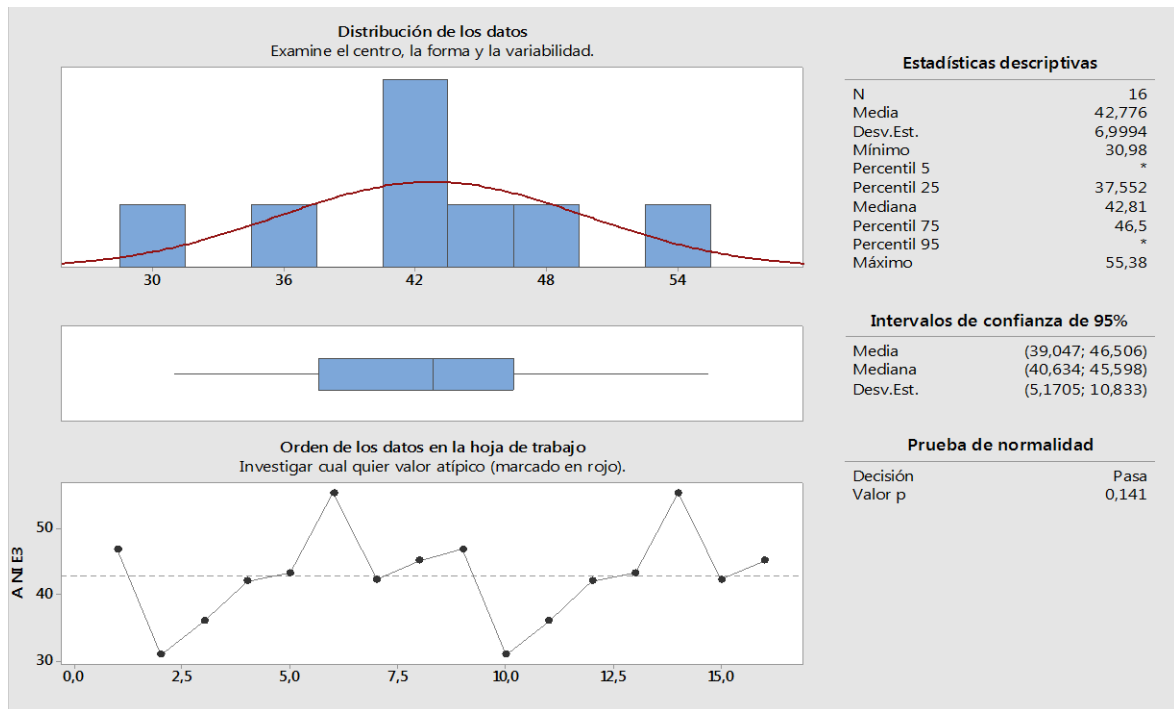


Figura 69. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de arena en el estrato 3, suelo no intervenido.

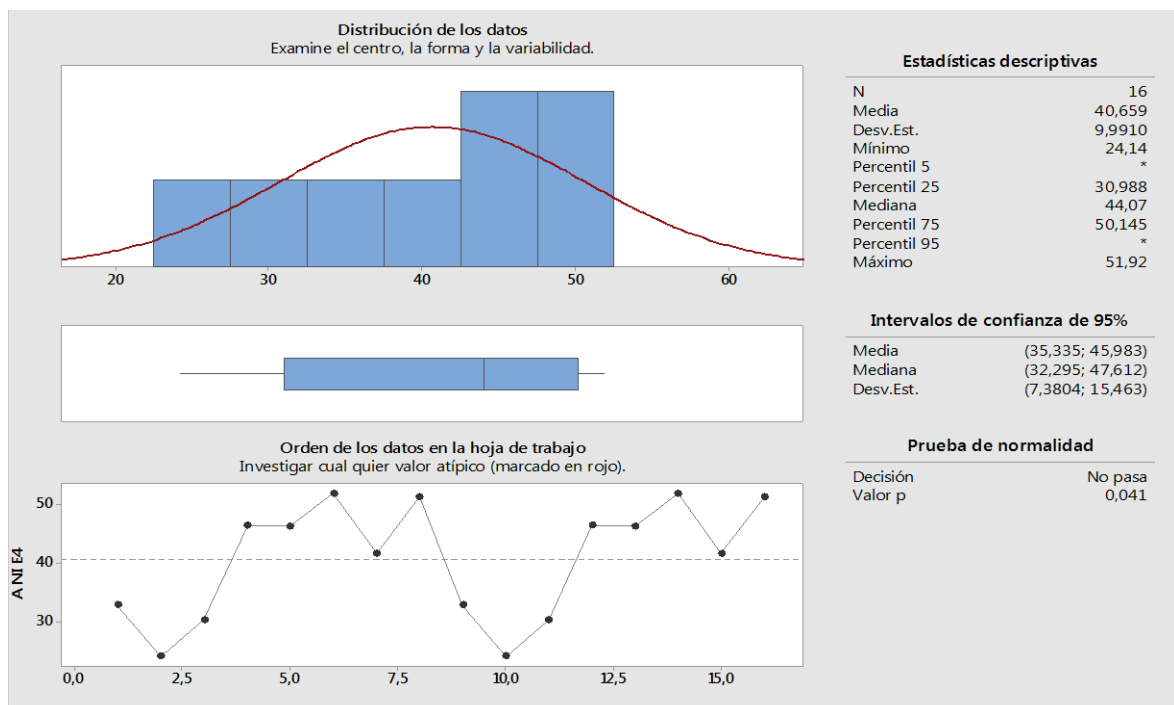


Figura 70. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de arena en el estrato 4, suelo no intervenido.

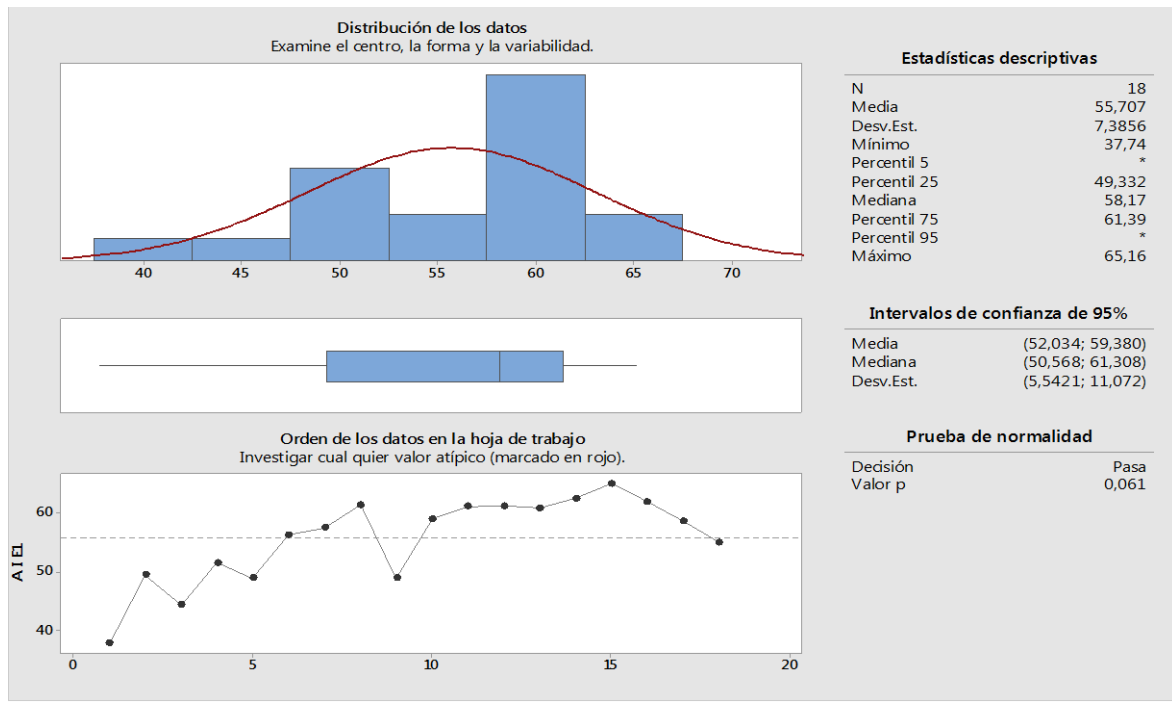


Figura 71. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de arena en el estrato 1, suelo intervenido.

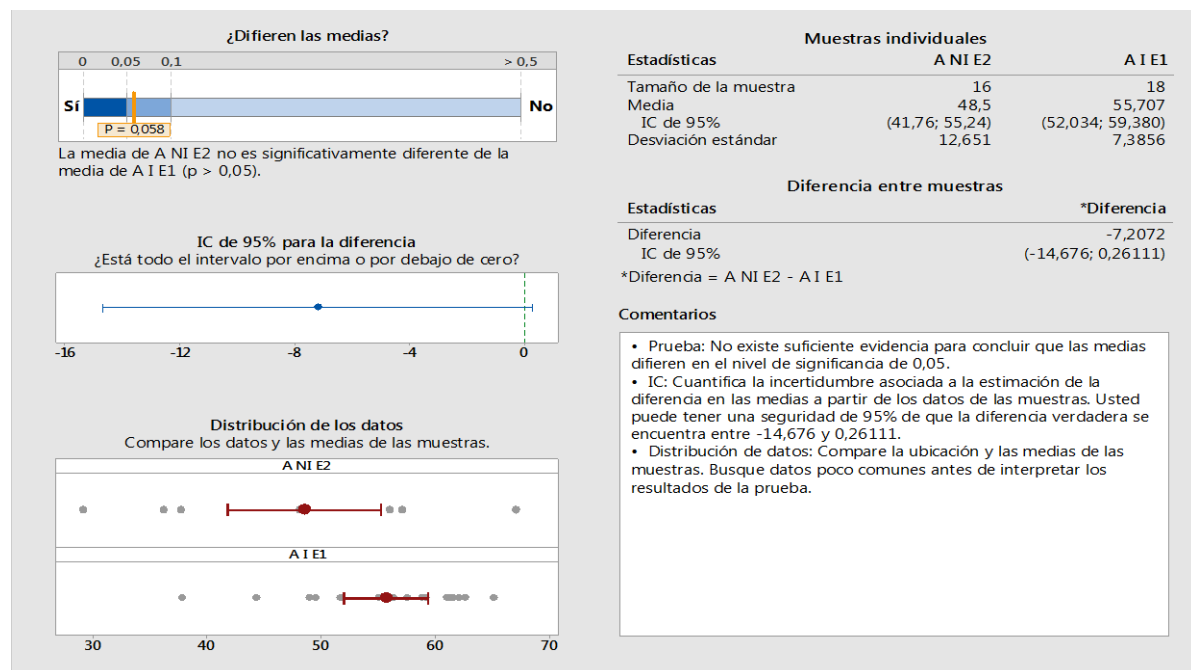


Figura 72. Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del contenido de arena en las muestras de suelo no intervenido estrato 2 y suelo intervenido estrato 1 en el nivel de significancia de 0,05.

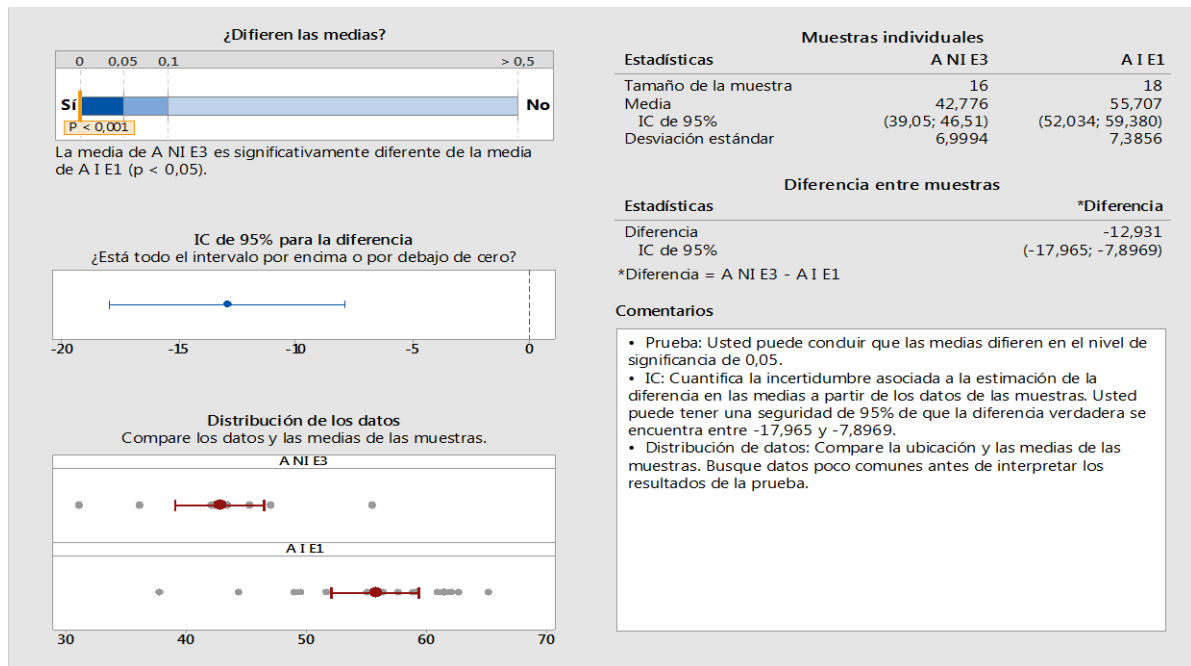


Figura 73. Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del contenido de arena en las muestras de suelo no intervenido estrato 3 y suelo intervenido estrato 1 en el nivel de significancia de 0,05.

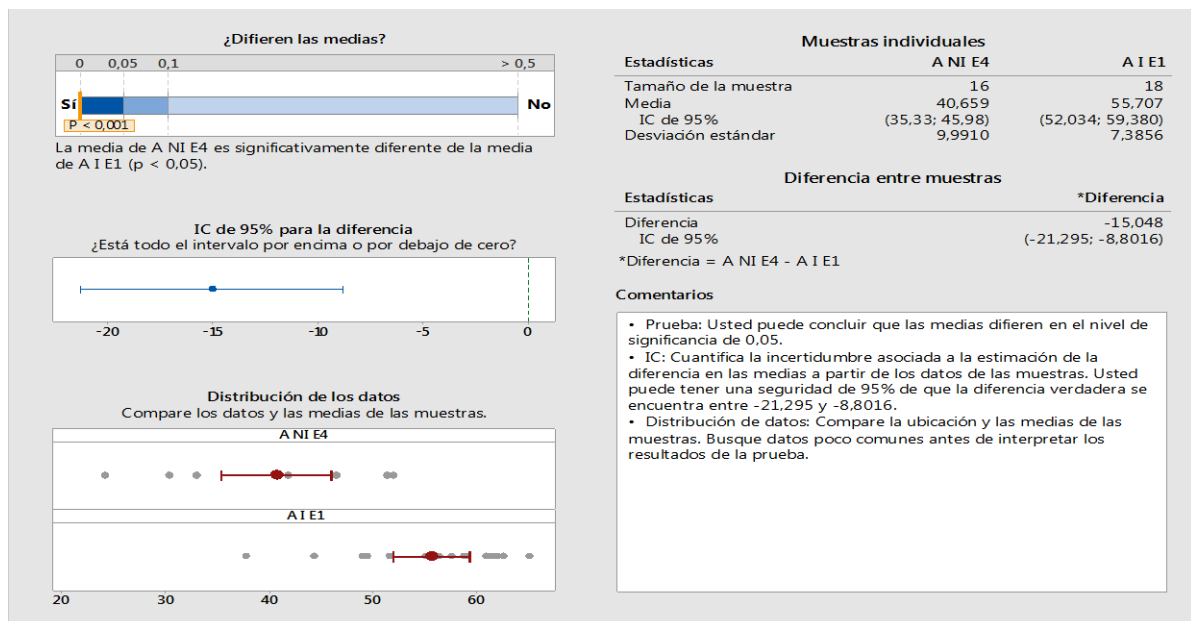


Figura 74. Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del contenido de arena en las muestras de suelo no intervenido estrato 4 y suelo intervenido estrato 1 en el nivel de significancia de 0,05.

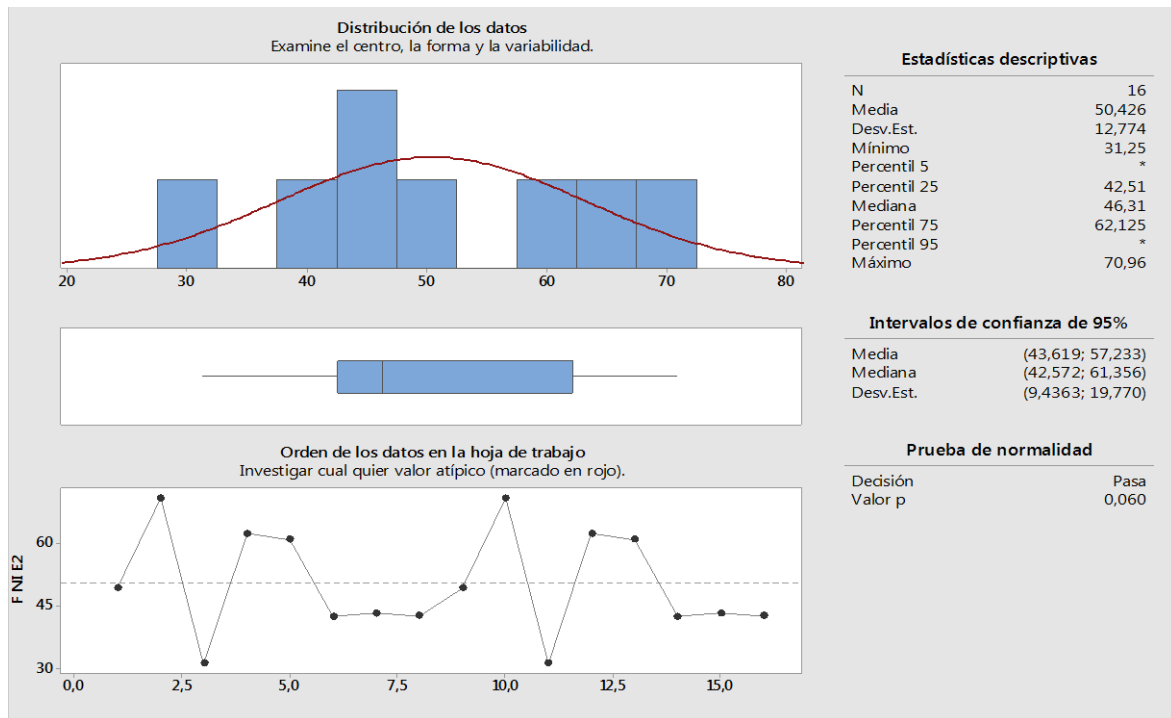


Figura 75. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de finos en el estrato 2, suelo no intervenido.

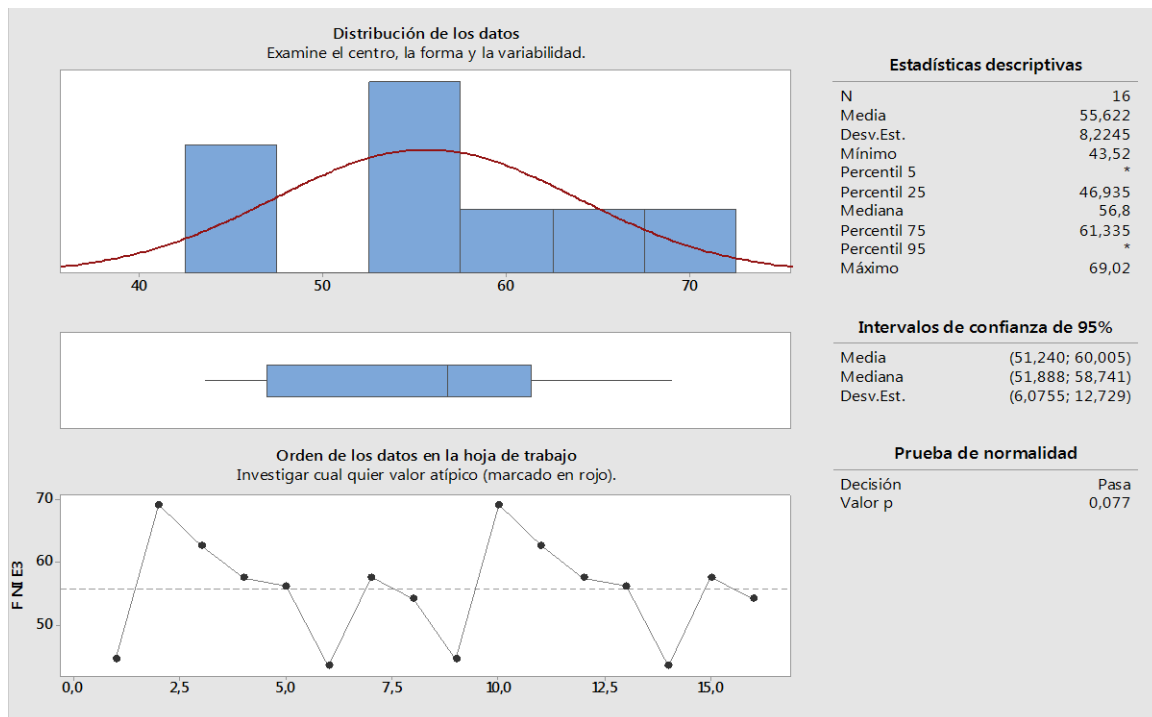


Figura 76. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de finos en el estrato 3, suelo no intervenido.

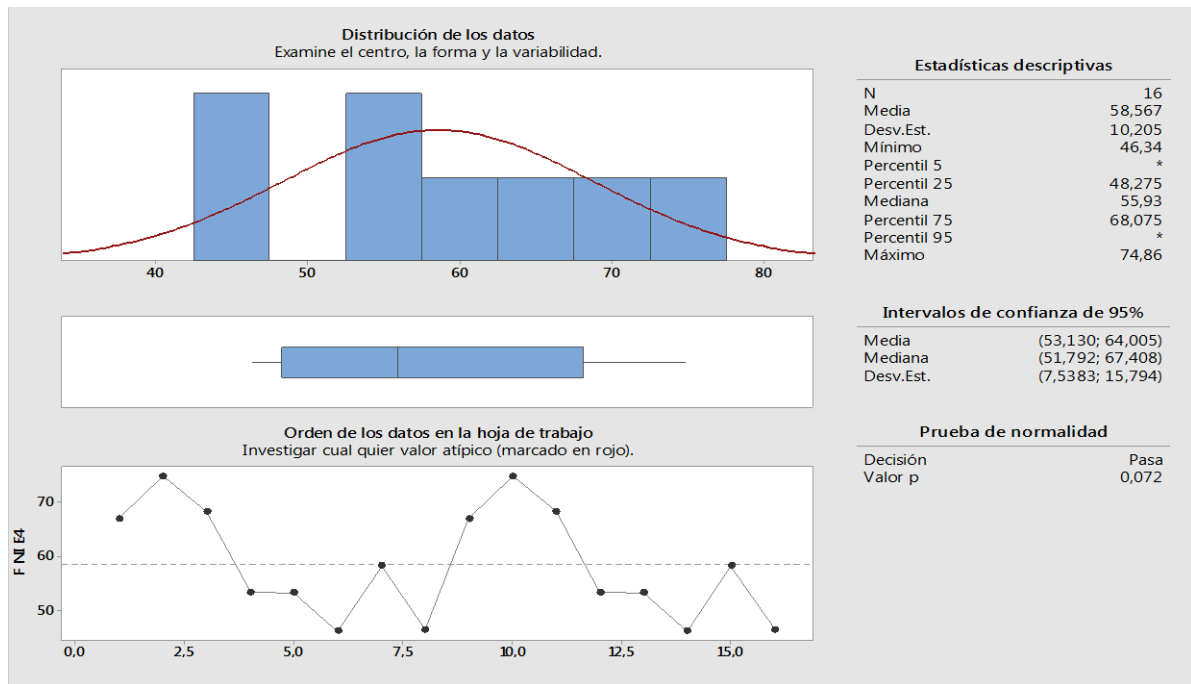


Figura 77. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de finos en el estrato 4, suelo no intervenido.

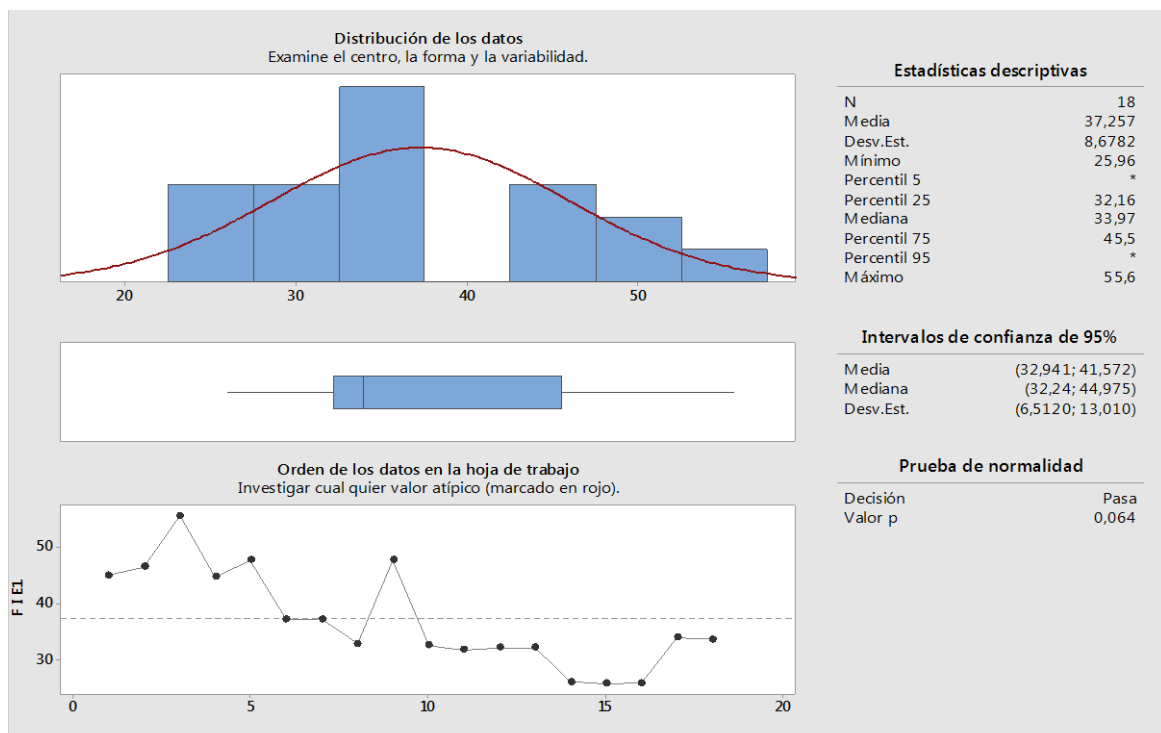


Figura 78. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de finos en el estrato 1, suelo intervenido.

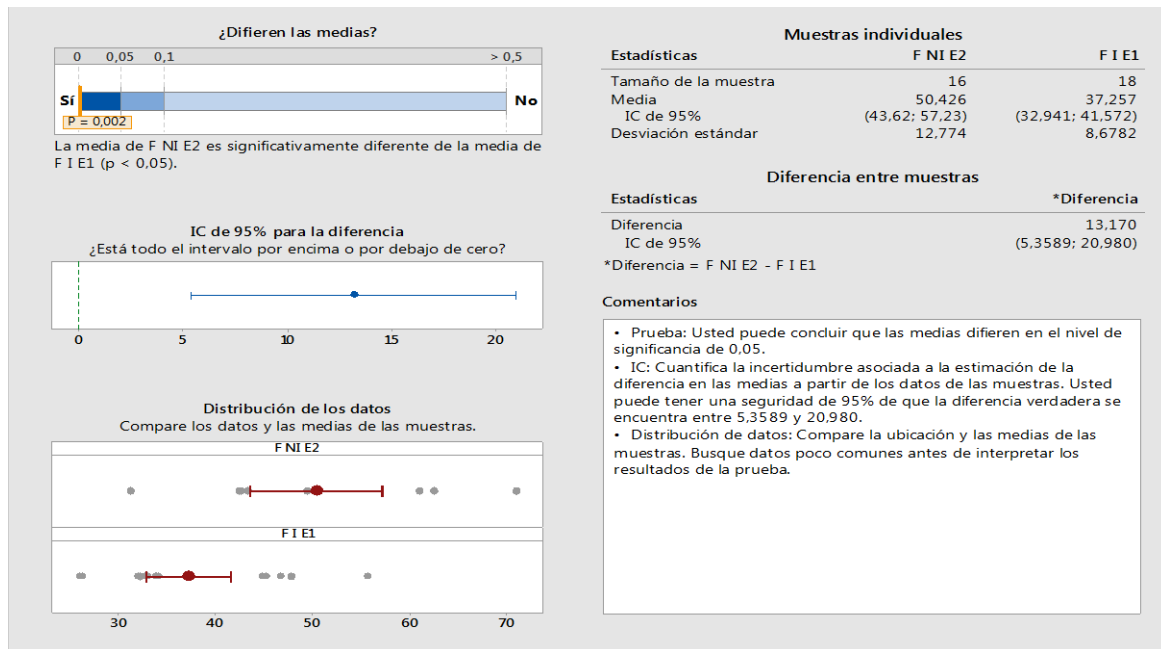


Figura 79. Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del contenido de finos en las muestras de suelo no intervenido estrato 2 y suelo intervenido estrato 1 en el nivel de significancia de 0,05.

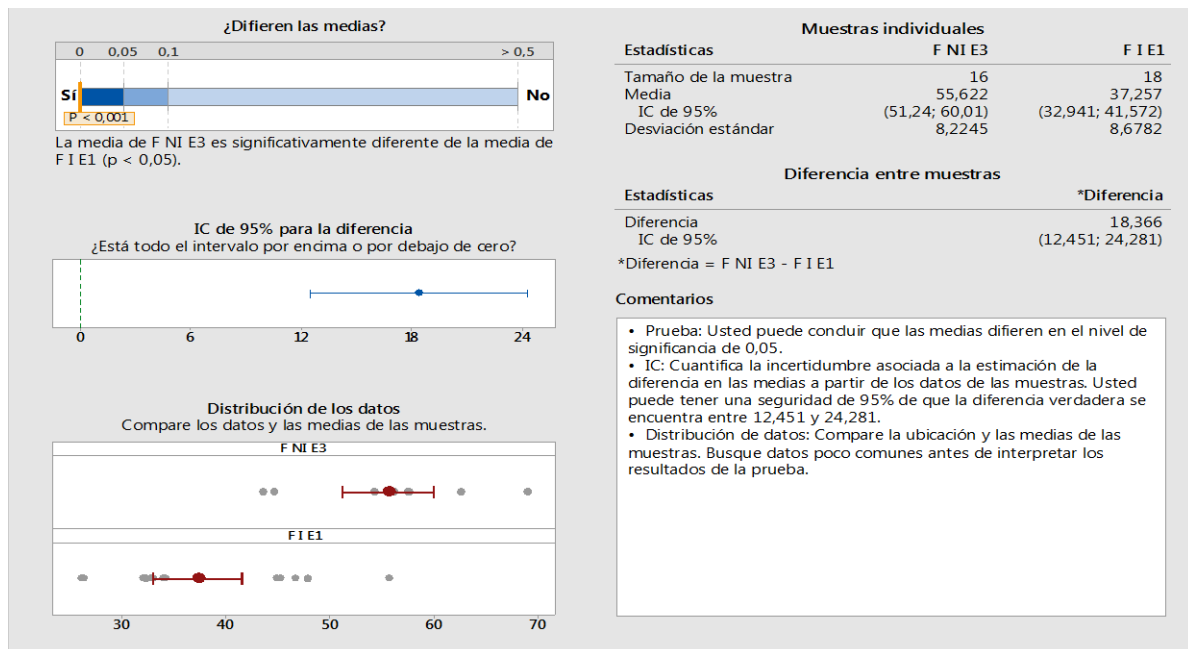


Figura 80. Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del contenido de finos en las muestras de suelo no intervenido estrato 3 y suelo intervenido estrato 1 en el nivel de significancia de 0,05.

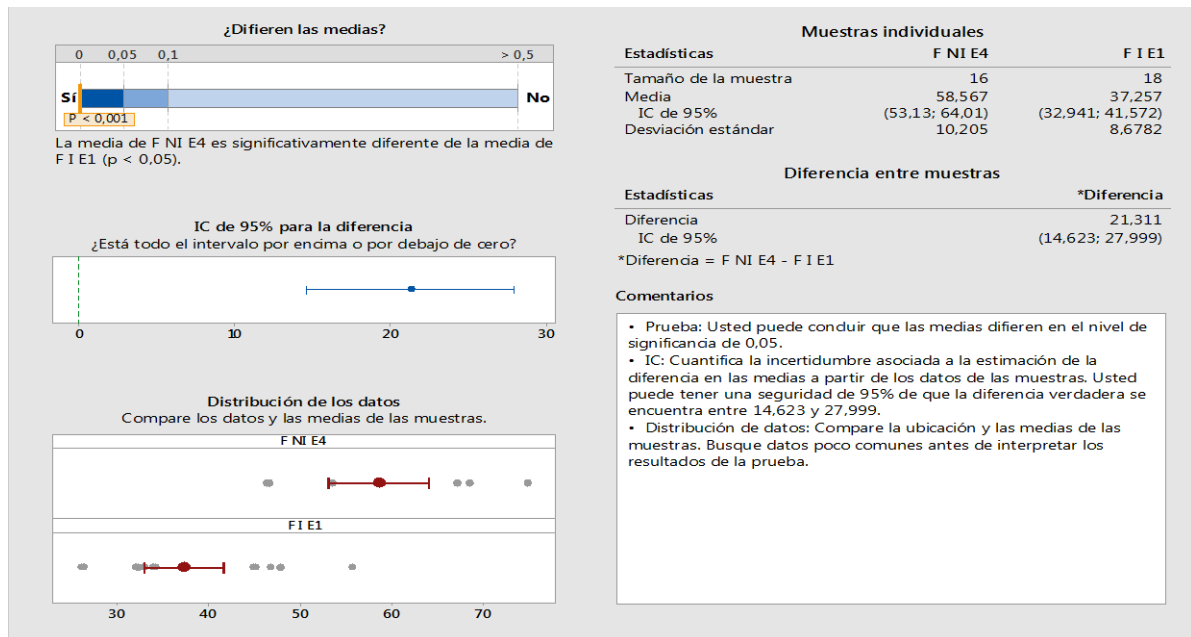


Figura 81. Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del contenido de finos en las muestras de suelo no intervenido estrato 4 y suelo intervenido estrato 1 en el nivel de significancia de 0,05.

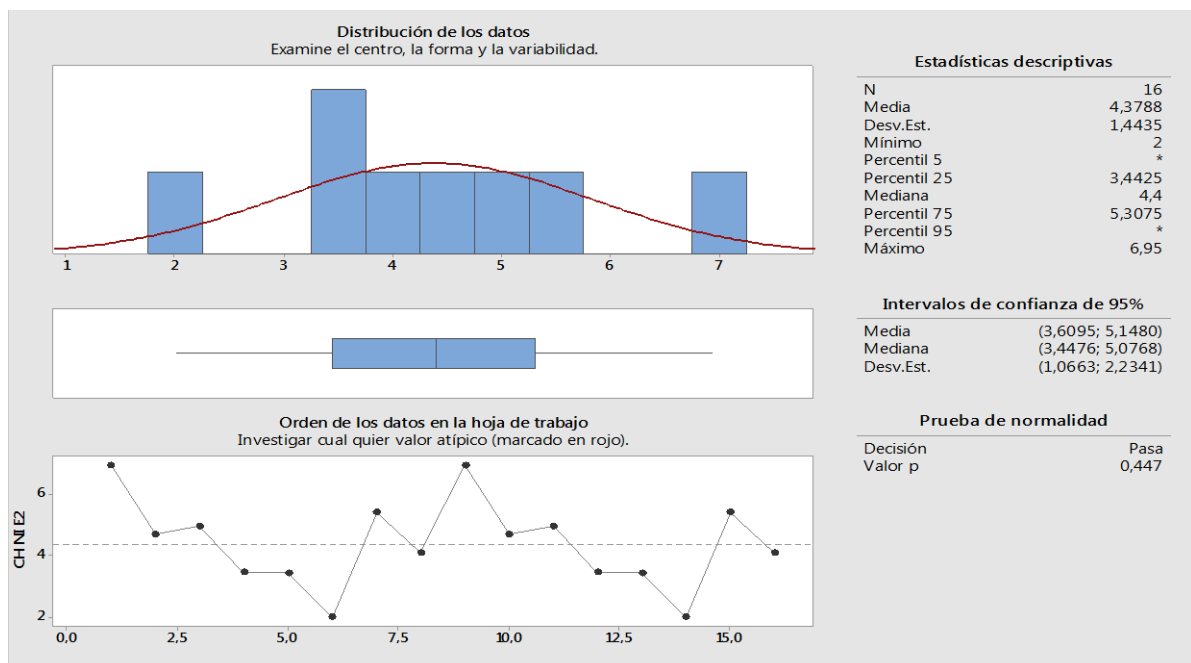


Figura 82. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de humedad en el estrato 2, suelo no intervenido.

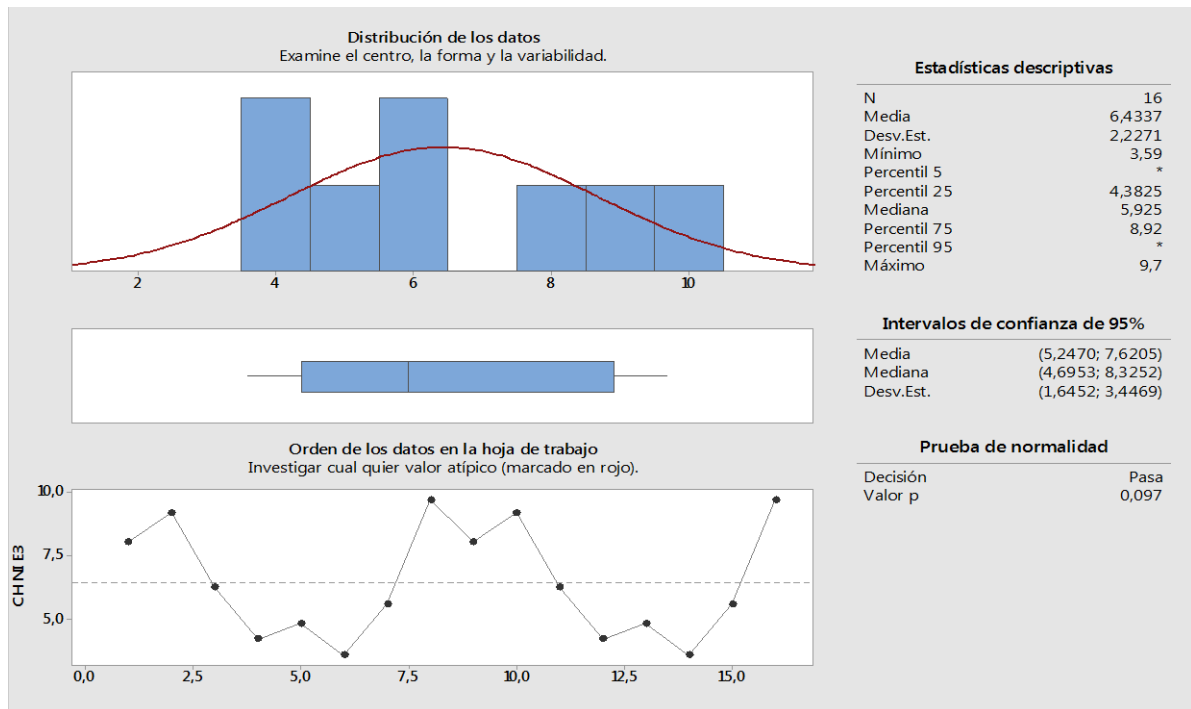


Figura 83. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de humedad en el estrato 3, suelo no intervenido.

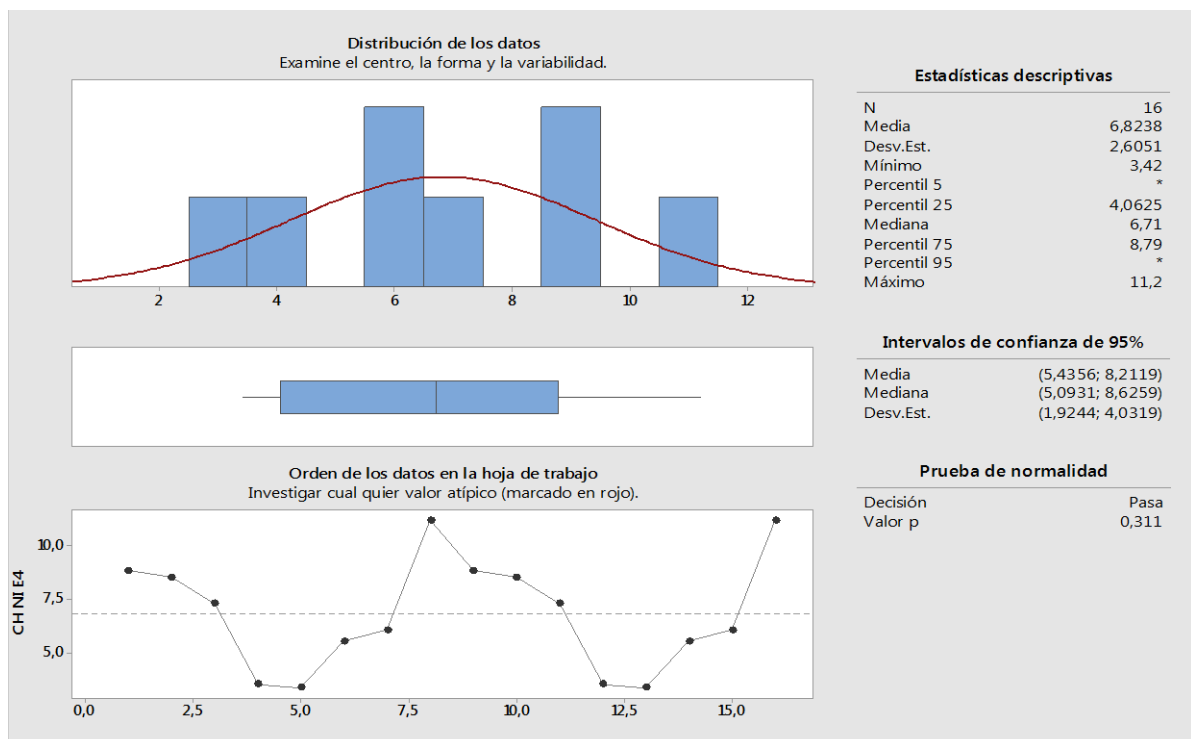


Figura 84. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de humedad en el estrato 4, suelo no intervenido.

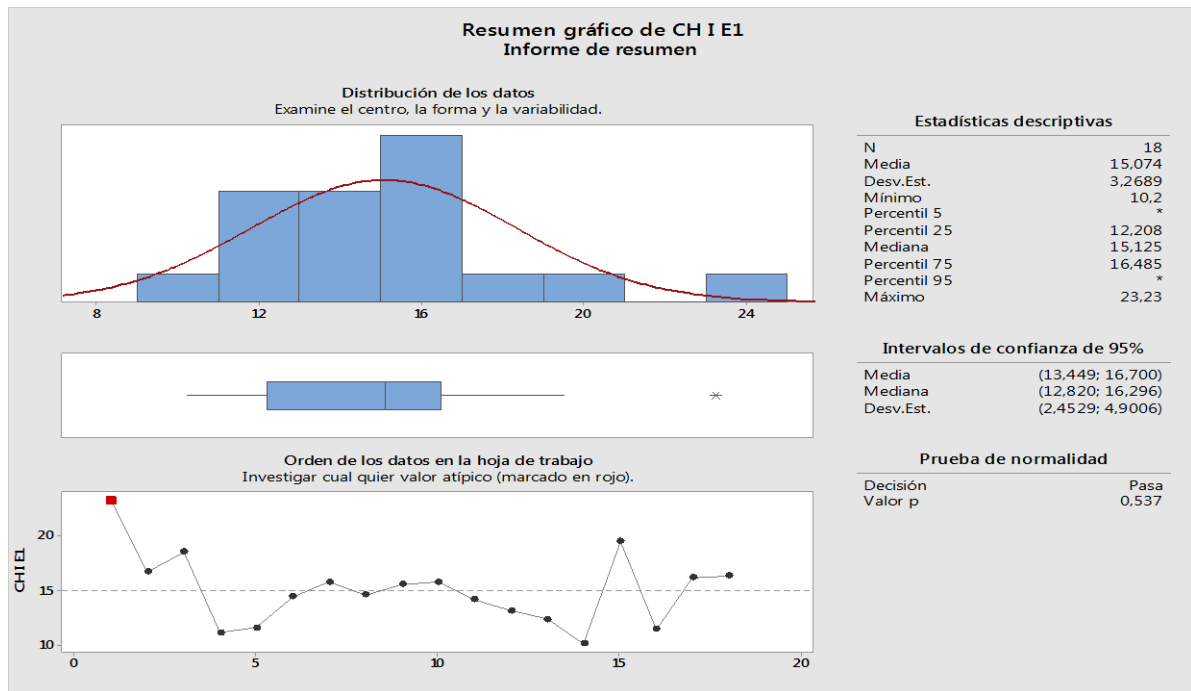


Figura 85. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de contenido de humedad en el estrato 1, suelo intervenido.

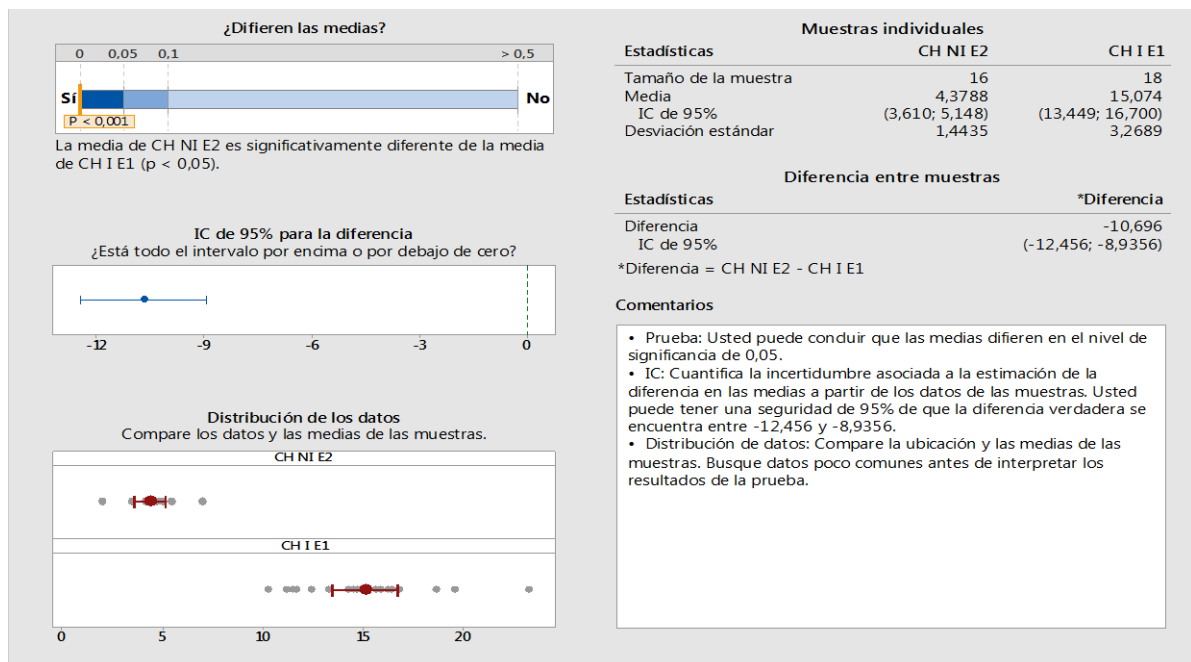


Figura 86. Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del contenido de humedad en las muestras de suelo no intervenido estrato 4 y suelo intervenido estrato 1 en el nivel de significancia de 0,05.

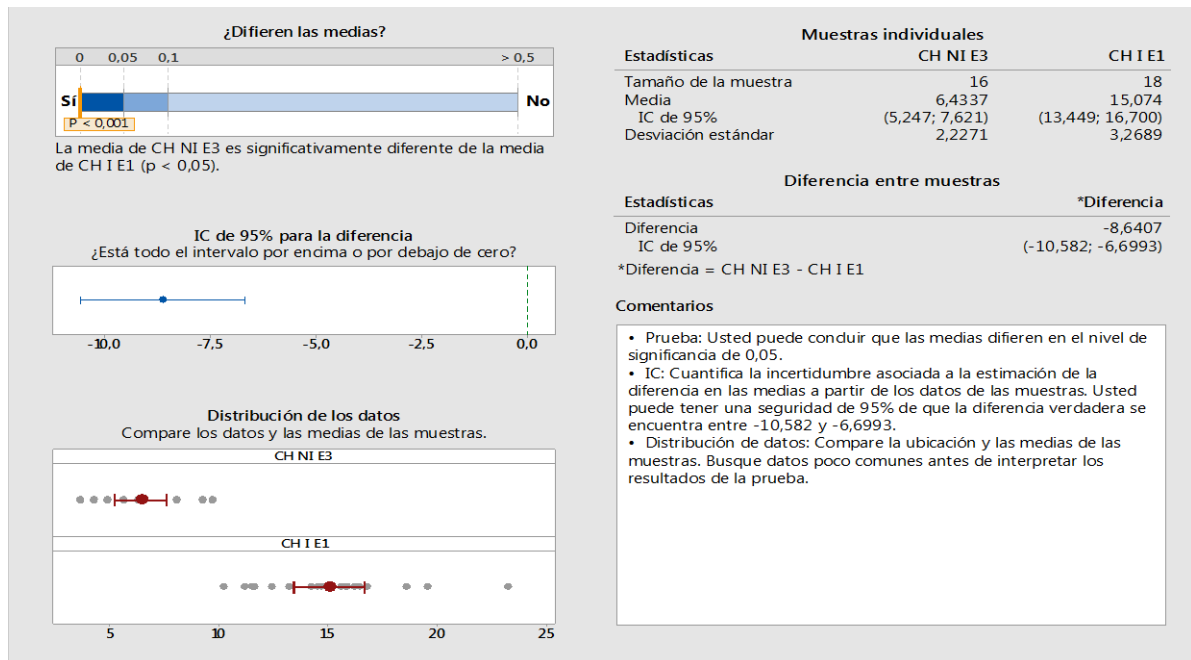


Figura 87. Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del contenido de humedad en las muestras de suelo no intervenido estrato 3 y suelo intervenido estrato 1 en el nivel de significancia de 0,05.

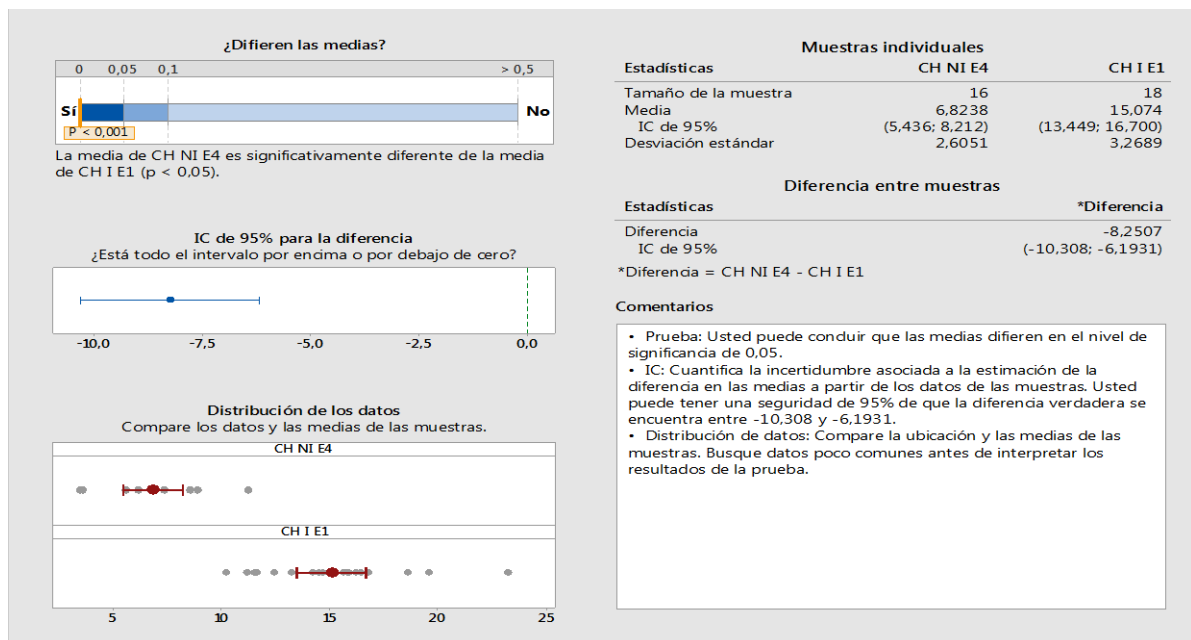


Figura 88. Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del contenido de humedad en las muestras de suelo no intervenido estrato 4 y suelo intervenido estrato 1 en el nivel de significancia de 0,05.

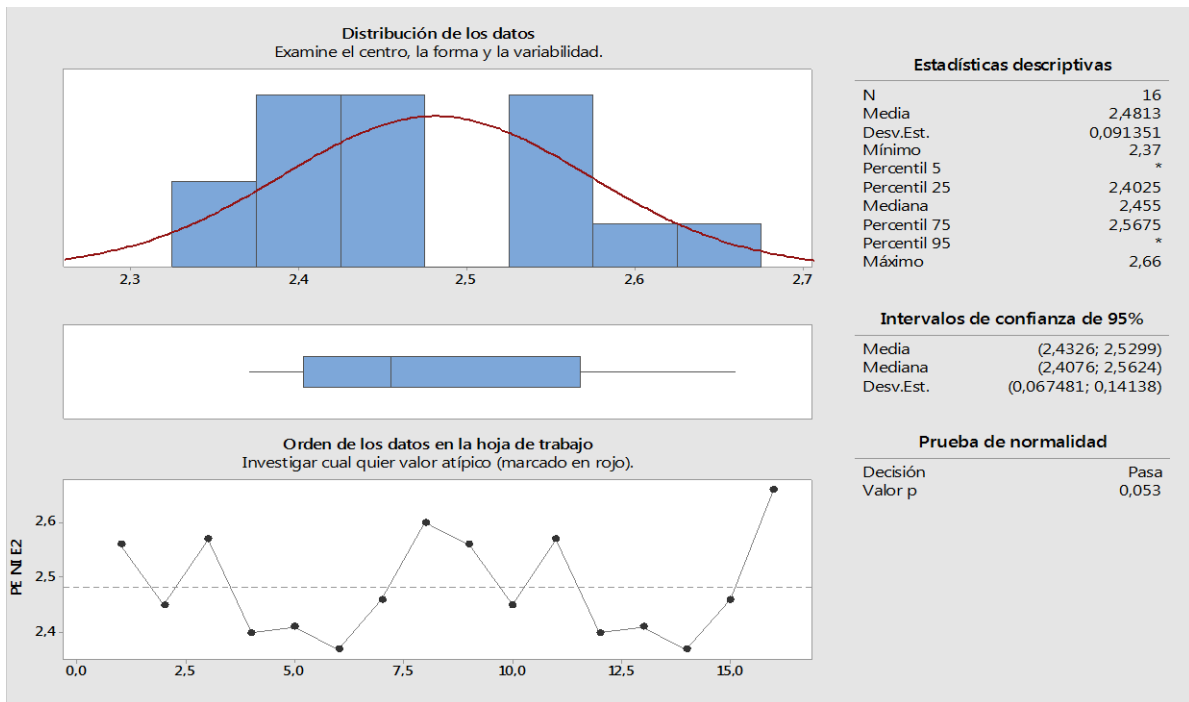


Figura 89. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de peso específico de sólidos en el estrato 2, suelo no intervenido.

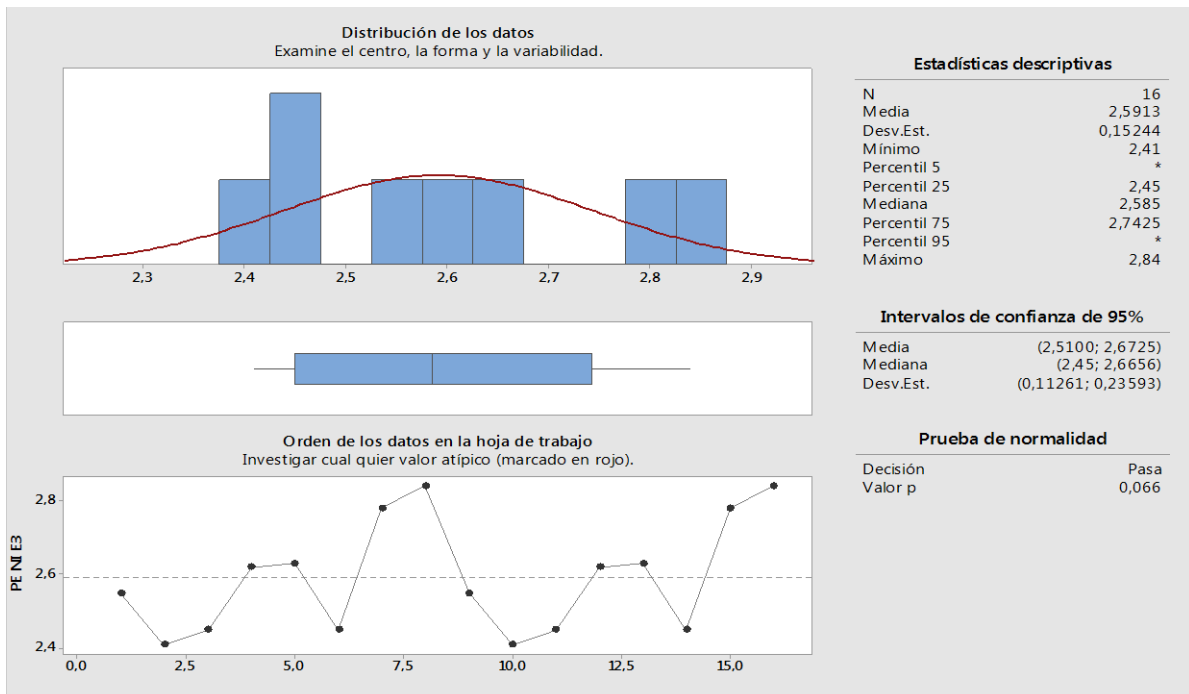


Figura 90. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de peso específico de sólidos en el estrato 3, suelo no intervenido.

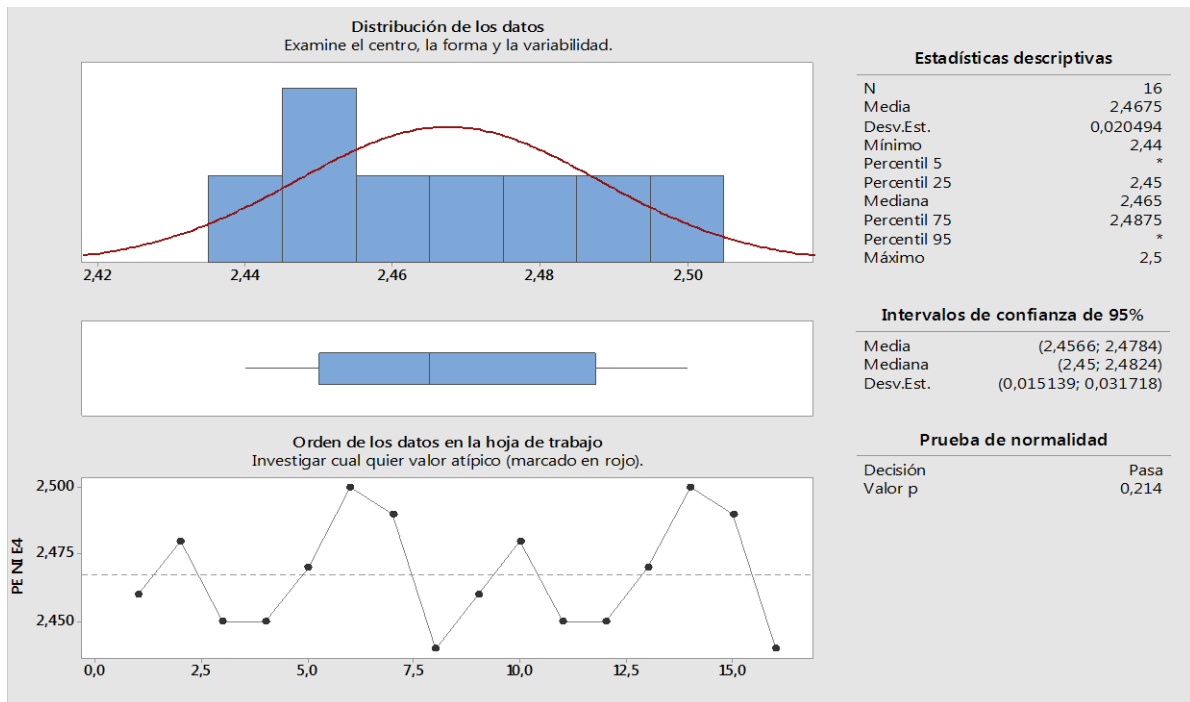


Figura 91. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de peso específico de sólidos en el estrato 4, suelo no intervenido.

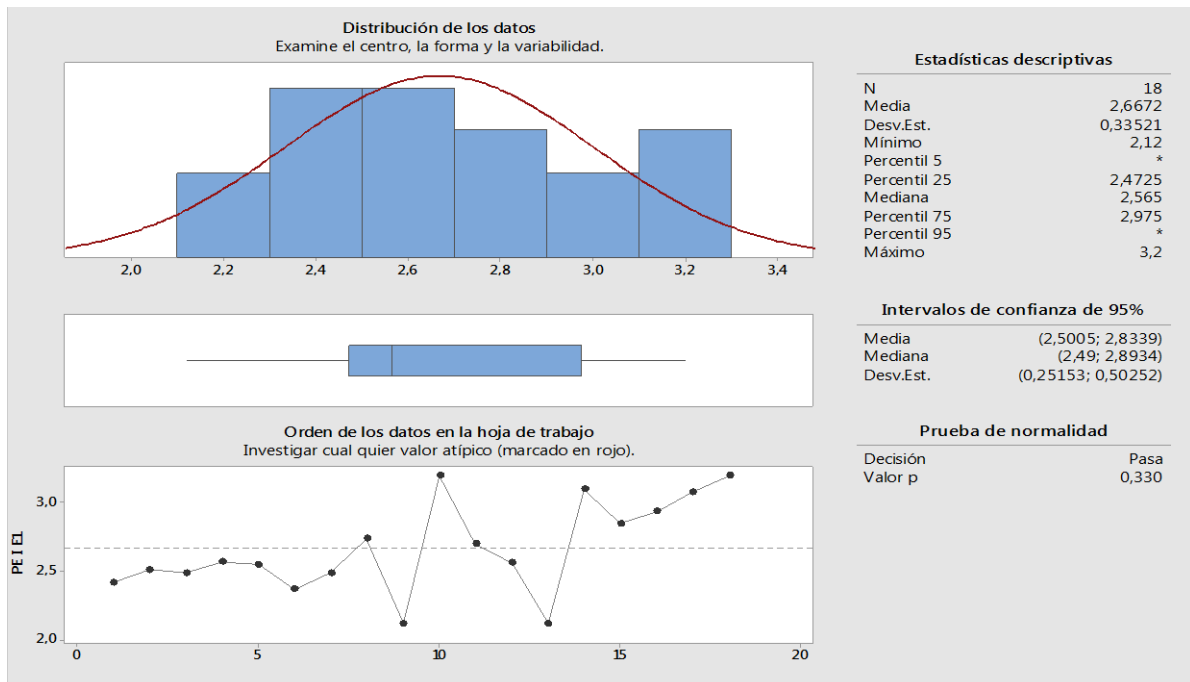


Figura 92. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de peso específico de sólidos en el estrato 1, suelo intervenido.

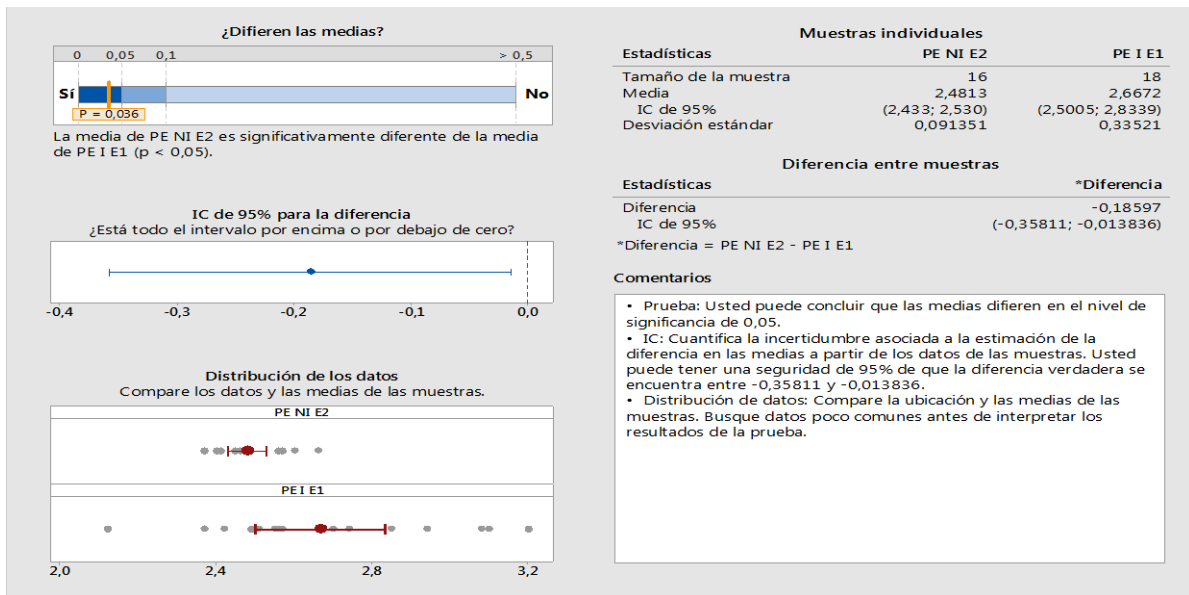


Figura 93. Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del peso específico de sólidos en las muestras de suelo no intervenido estrato 2 y suelo intervenido estrato 1 en el nivel de significancia de 0,05.

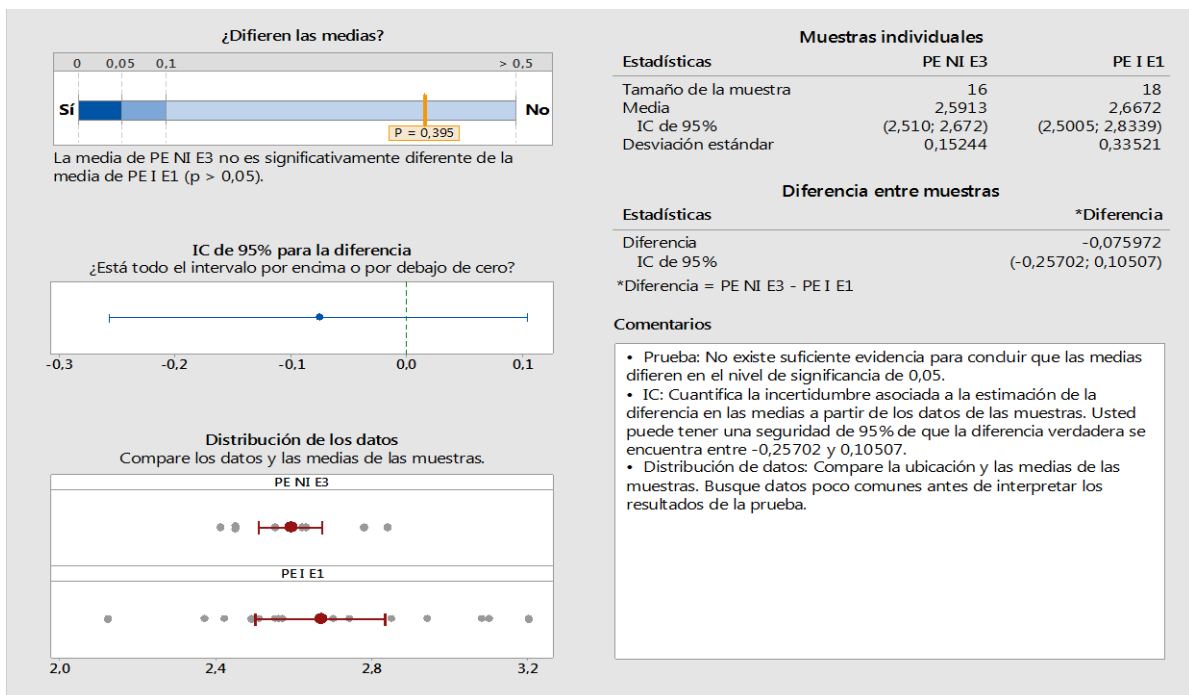


Figura 94. Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del peso específico de sólidos en las muestras de suelo no intervenido estrato 3 y suelo intervenido estrato 1 en el nivel de significancia de 0,05.

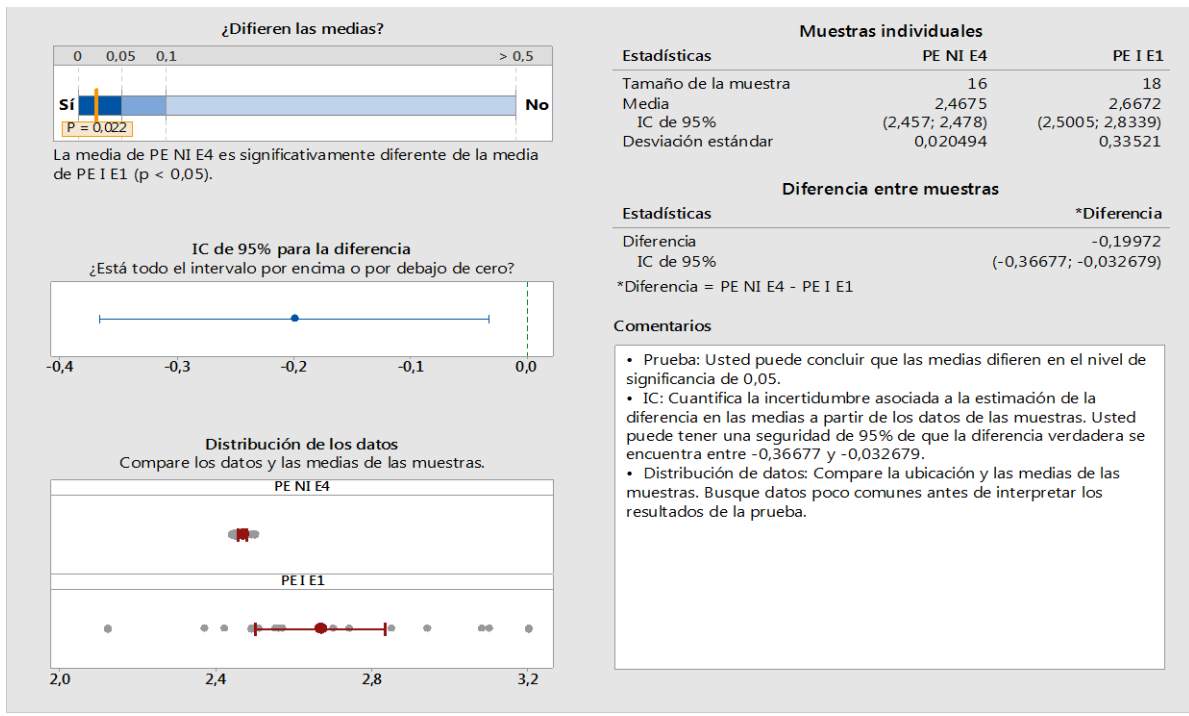


Figura 95. Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del peso específico de sólidos en las muestras de suelo no intervenido estrato 4 y suelo intervenido estrato 1 en el nivel de significancia de 0,05.

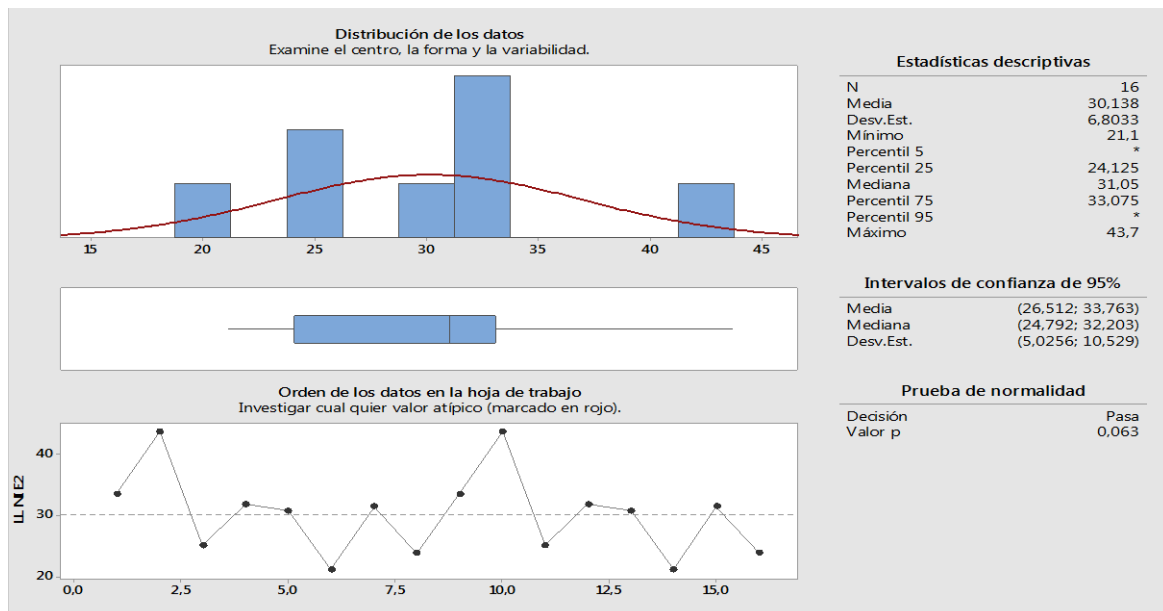


Figura 96. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de límite líquido en el estrato 2, suelo no intervenido.

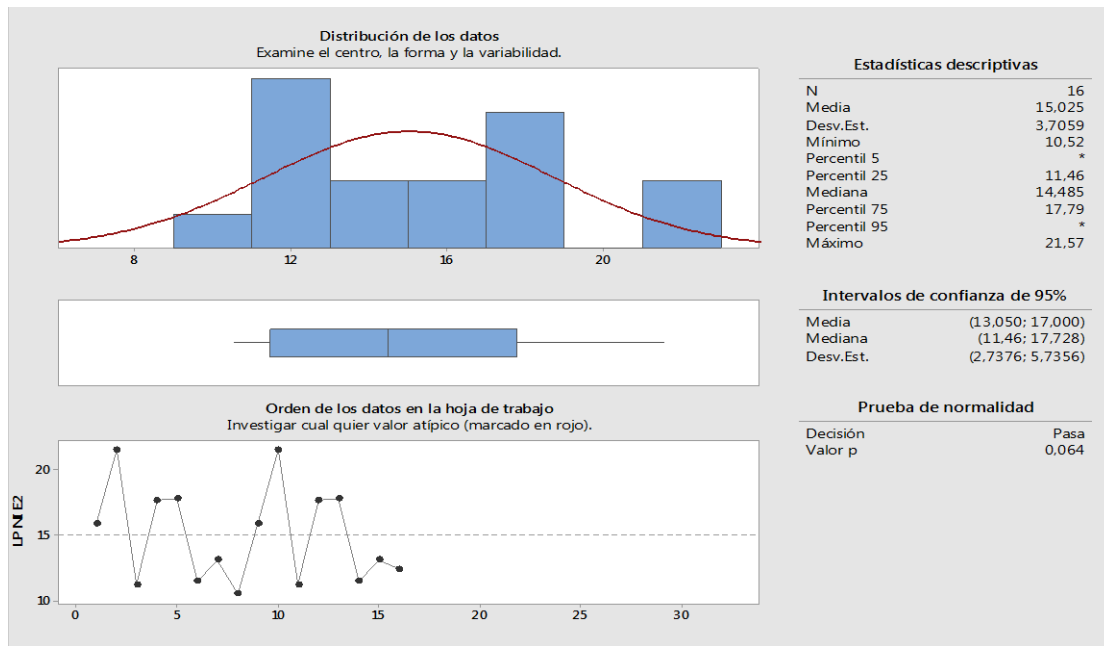


Figura 97. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de índice de plasticidad en el estrato 2, suelo no intervenido.

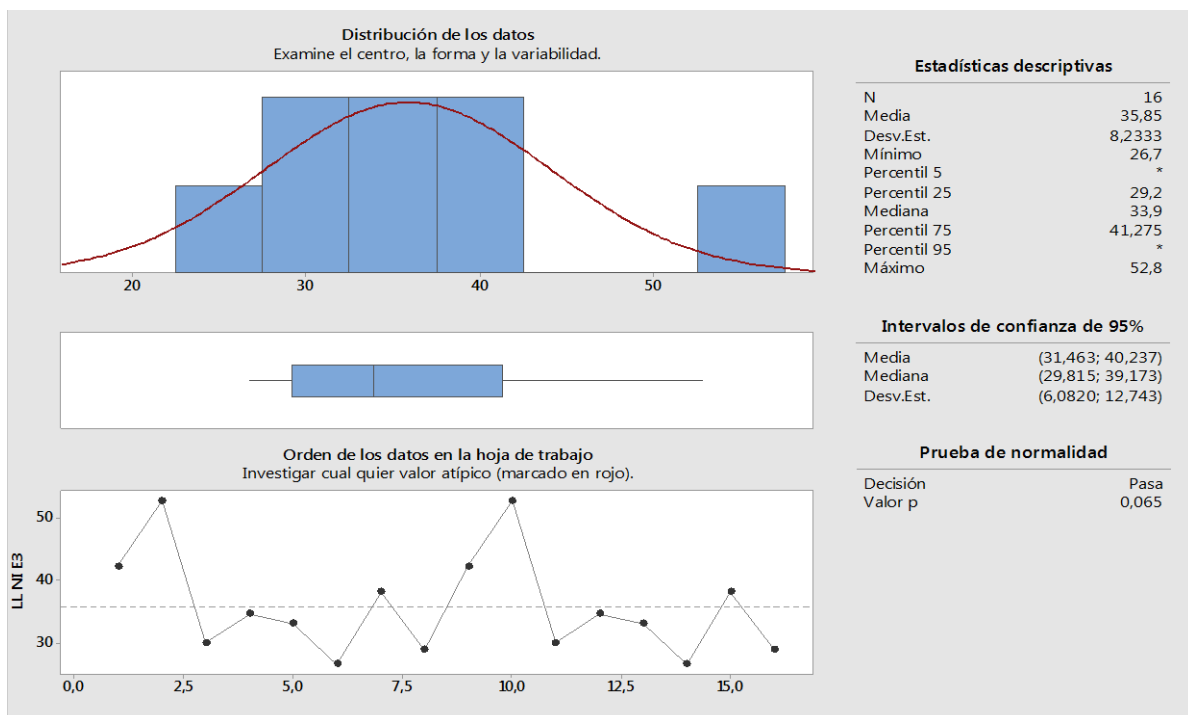


Figura 98. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de límite líquido en el estrato 3, suelo no intervenido.

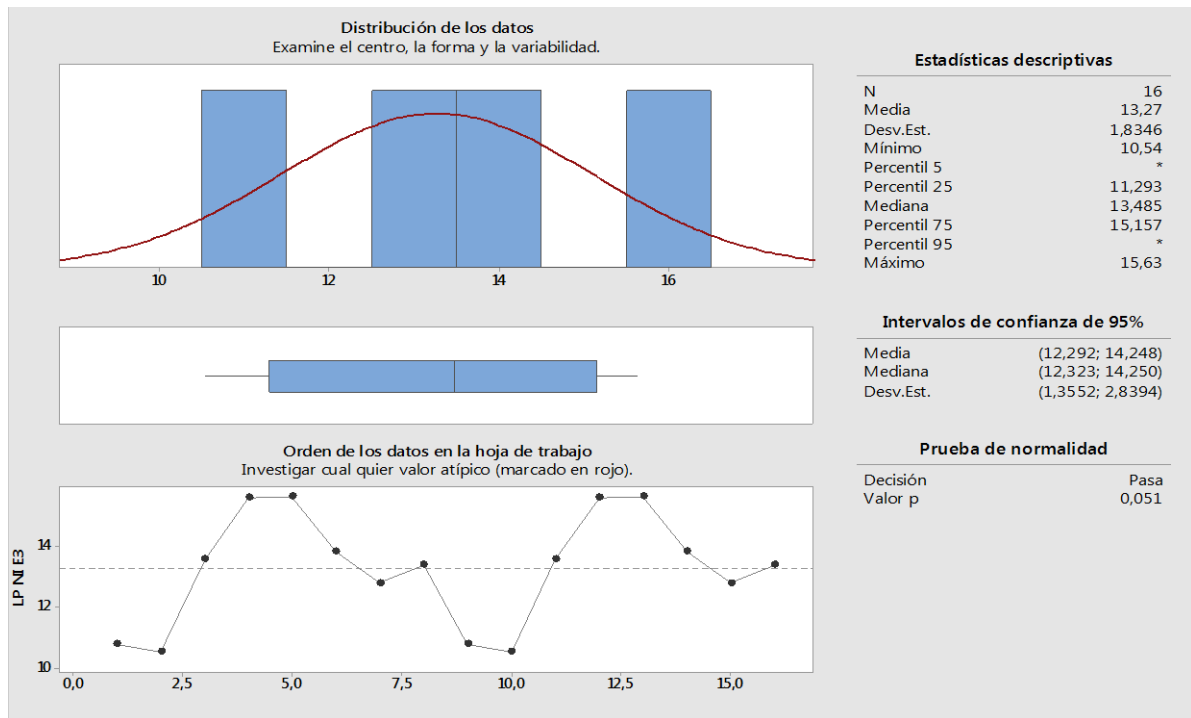


Figura 99. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de límite plástico en el estrato 3, suelo no intervenido.

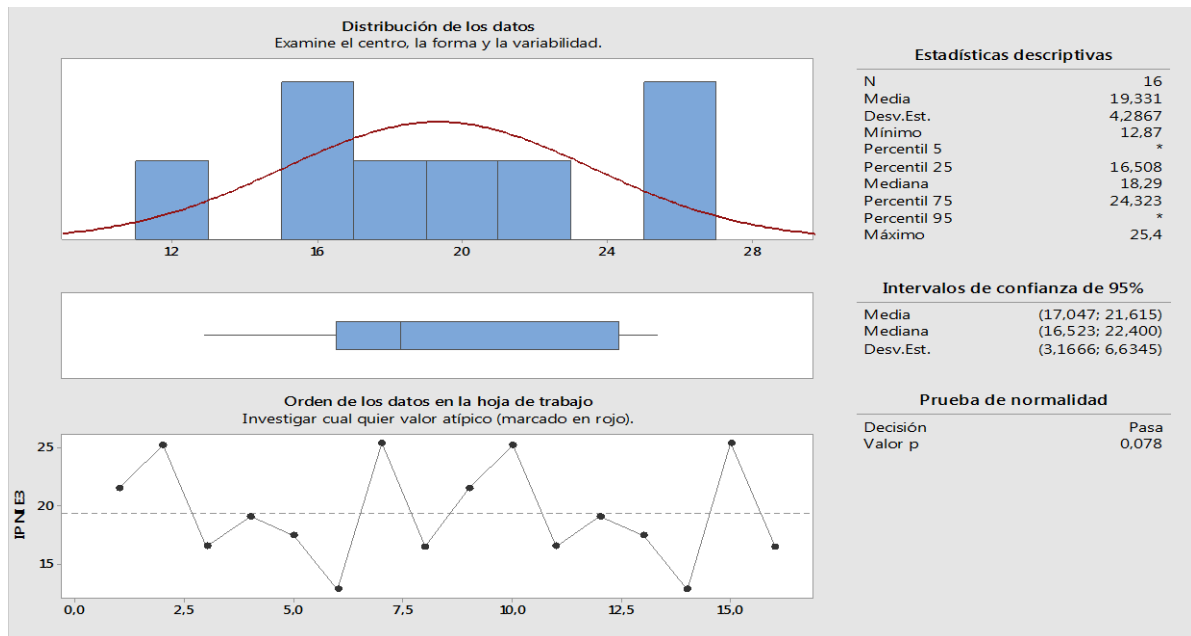


Figura 100. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de índice de plasticidad en el estrato 3, suelo no intervenido.

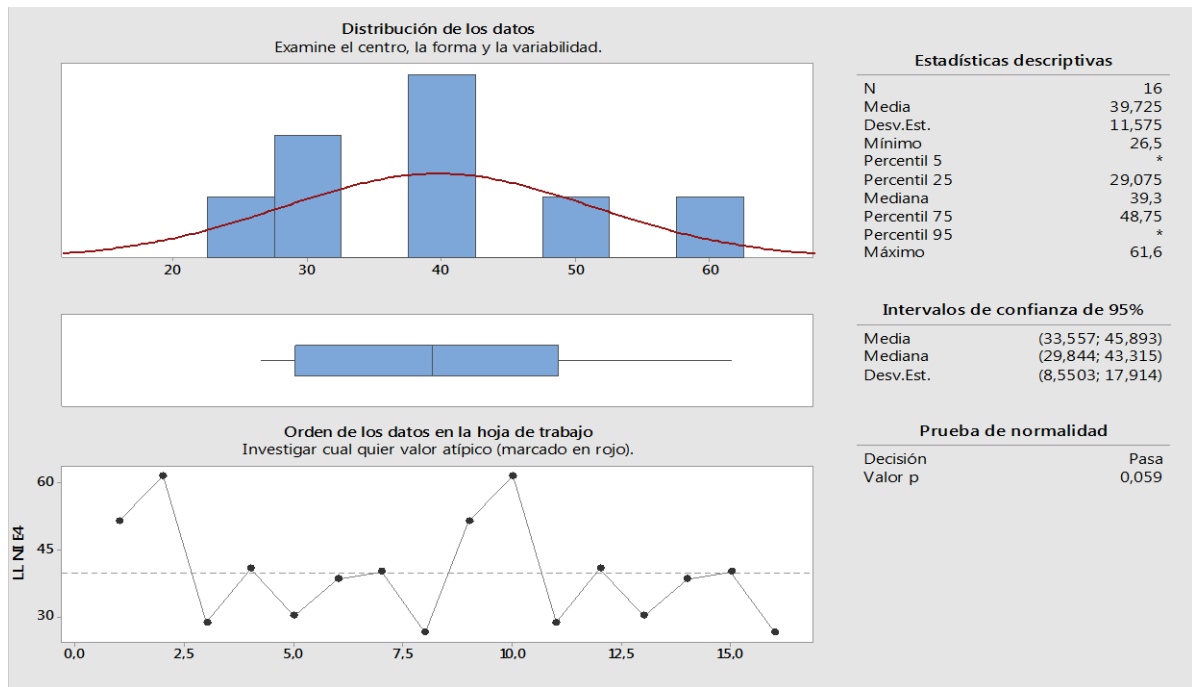


Figura 101. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de límite líquido en el estrato 4, suelo no intervenido.

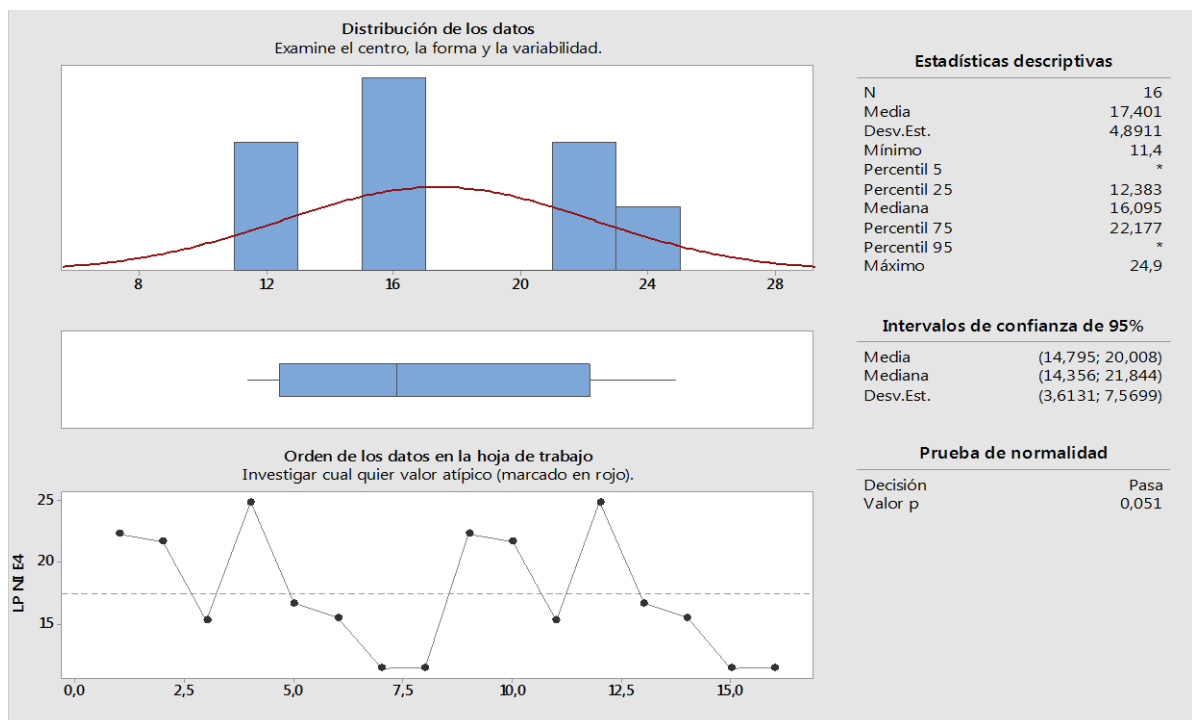


Figura 102. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de límite plástico en el estrato 4, suelo no intervenido.

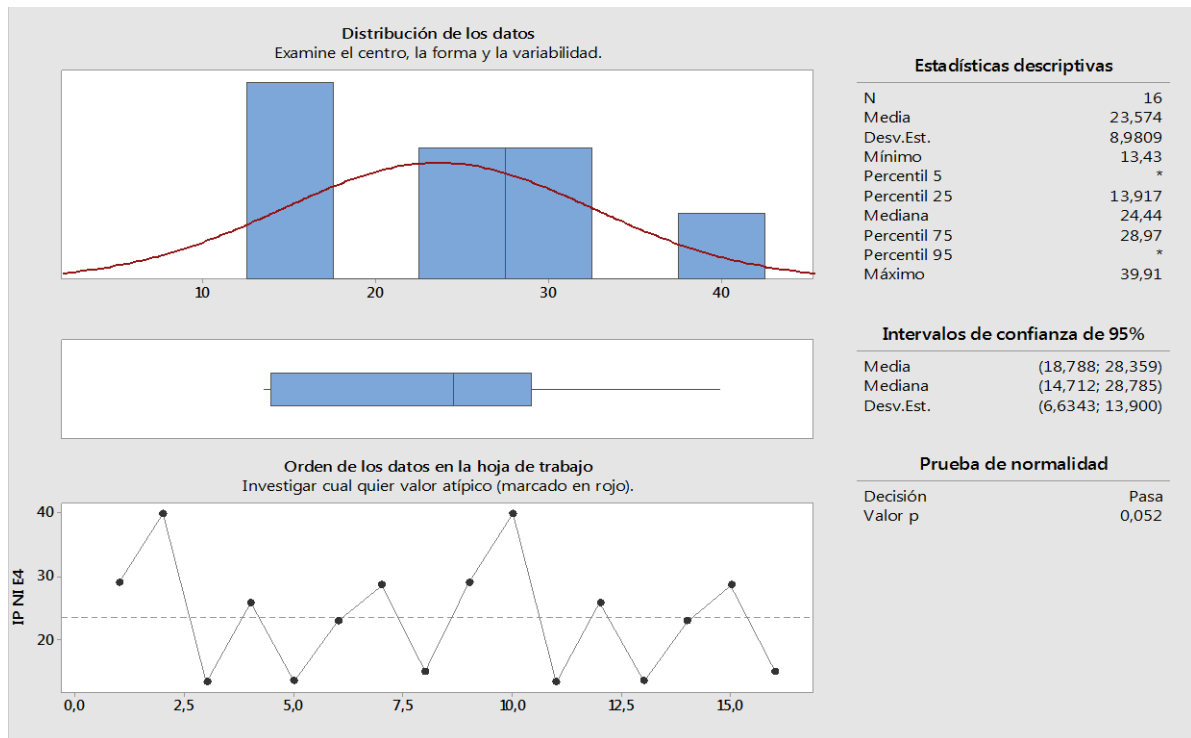


Figura 103. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de índice de plasticidad en el estrato 4, suelo no intervenido.

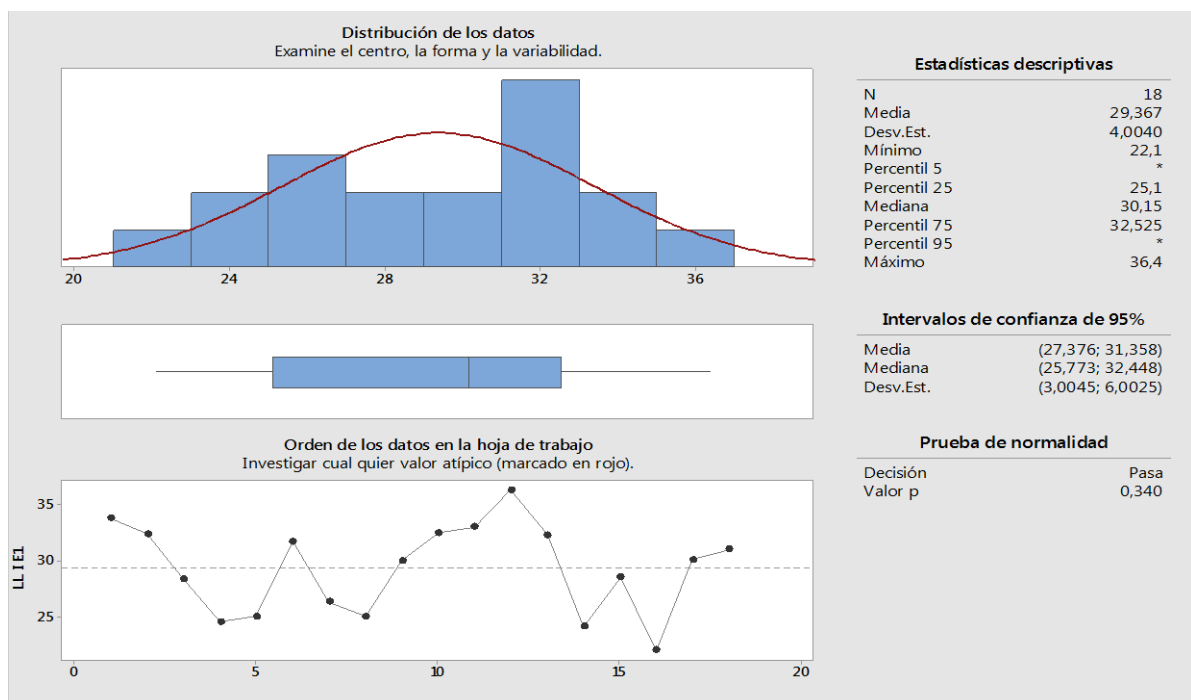


Figura 104. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de límite líquido en el estrato 1, suelo intervenido.

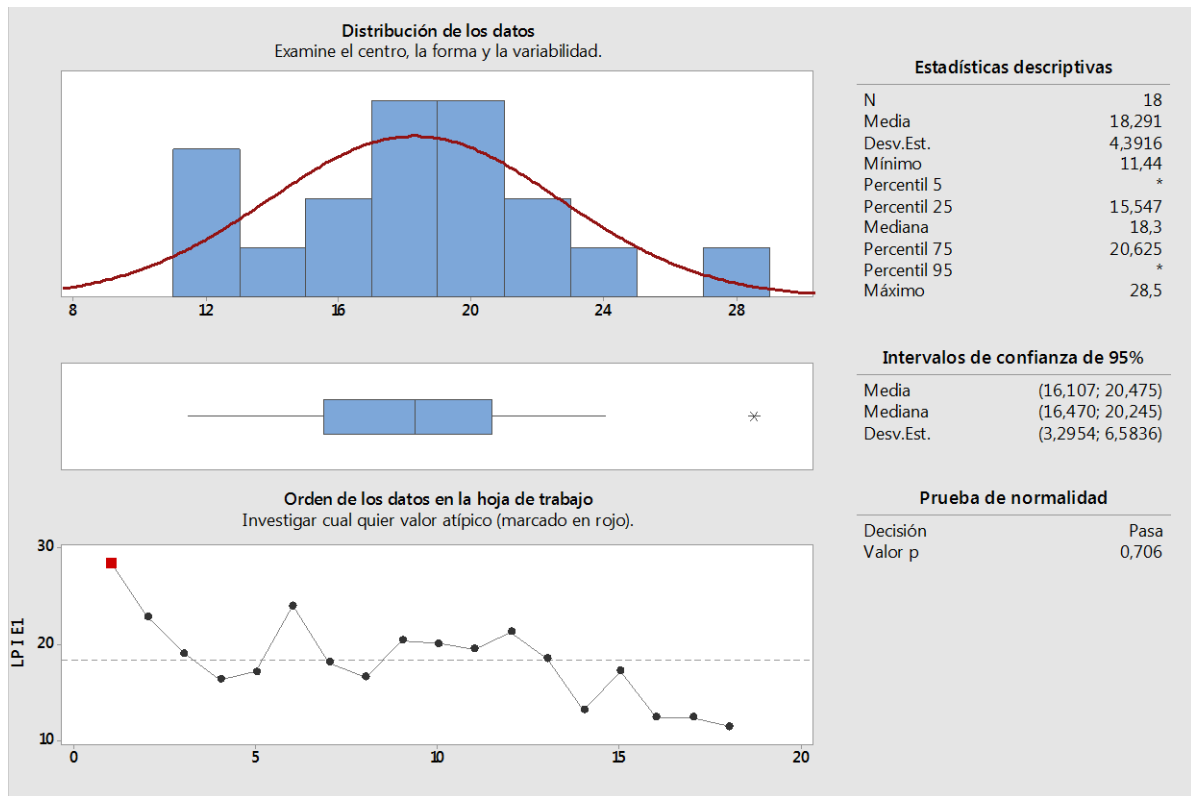


Figura 105. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de límite plástico en el estrato 1, suelo intervenido.

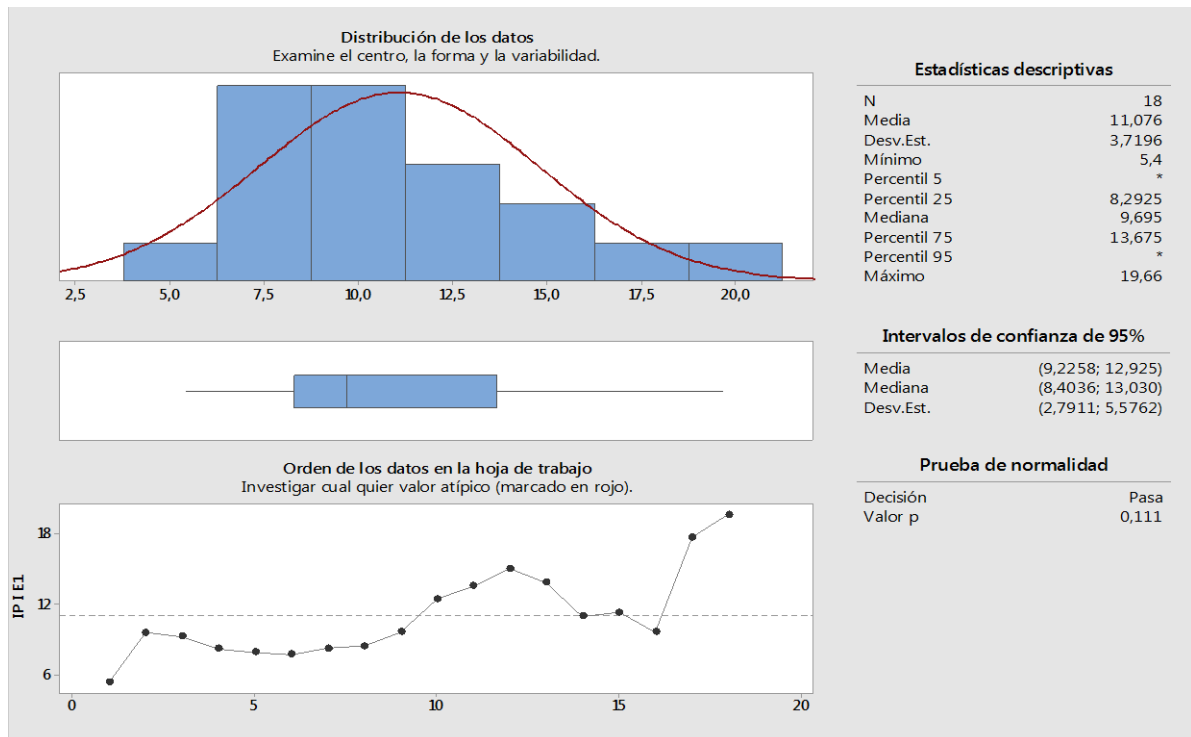


Figura 106. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de índice de plasticidad en el estrato 1, suelo intervenido.

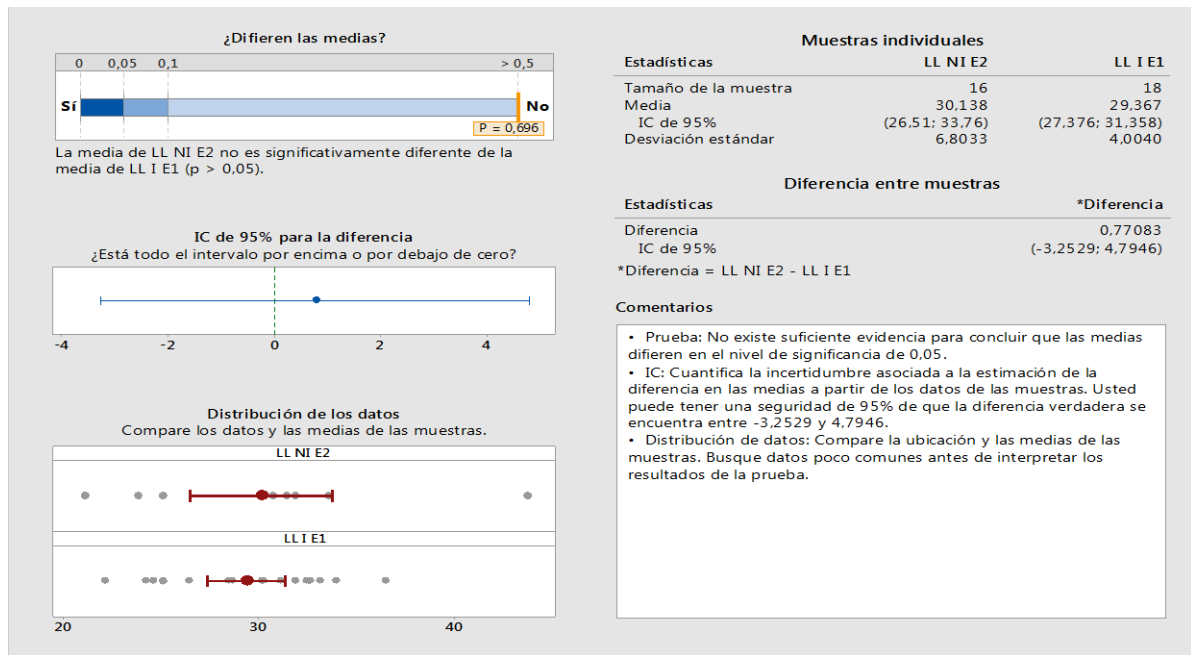


Figura 107. Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del límite líquido en las muestras de suelo no intervenido estrato 2 y suelo intervenido estrato 1 en el nivel de significancia de 0,05.

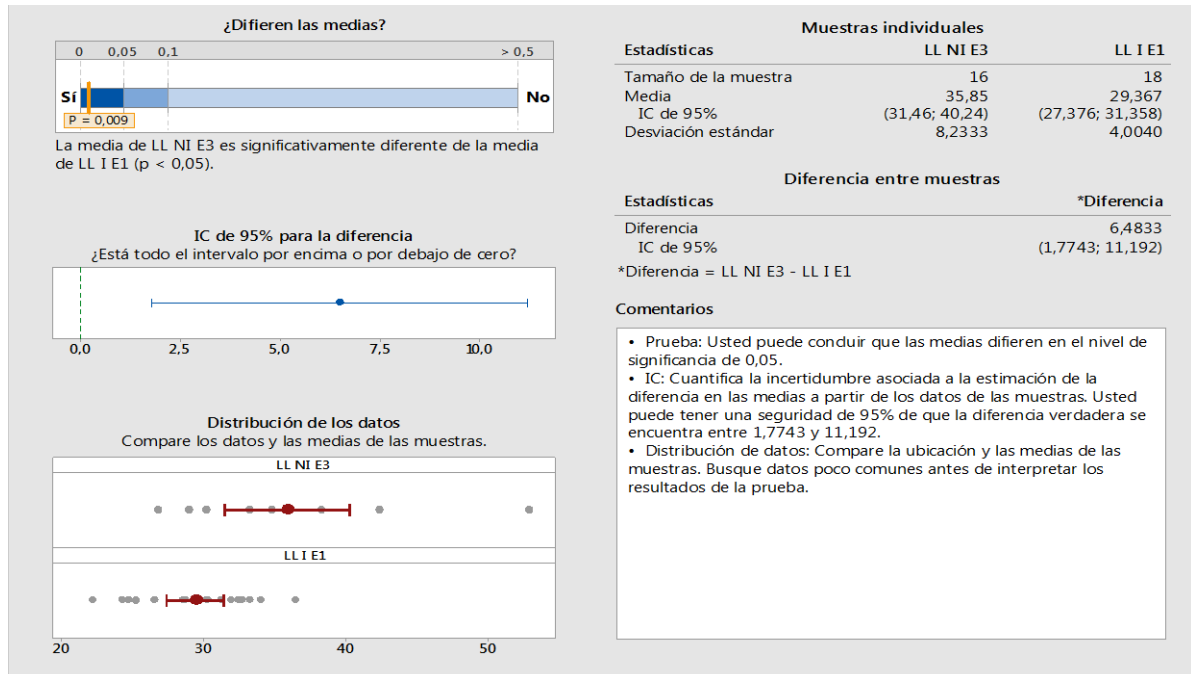


Figura 108. Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del límite líquido en las muestras de suelo no intervenido estrato 3 y suelo intervenido estrato 1 en el nivel de significancia de 0,05.

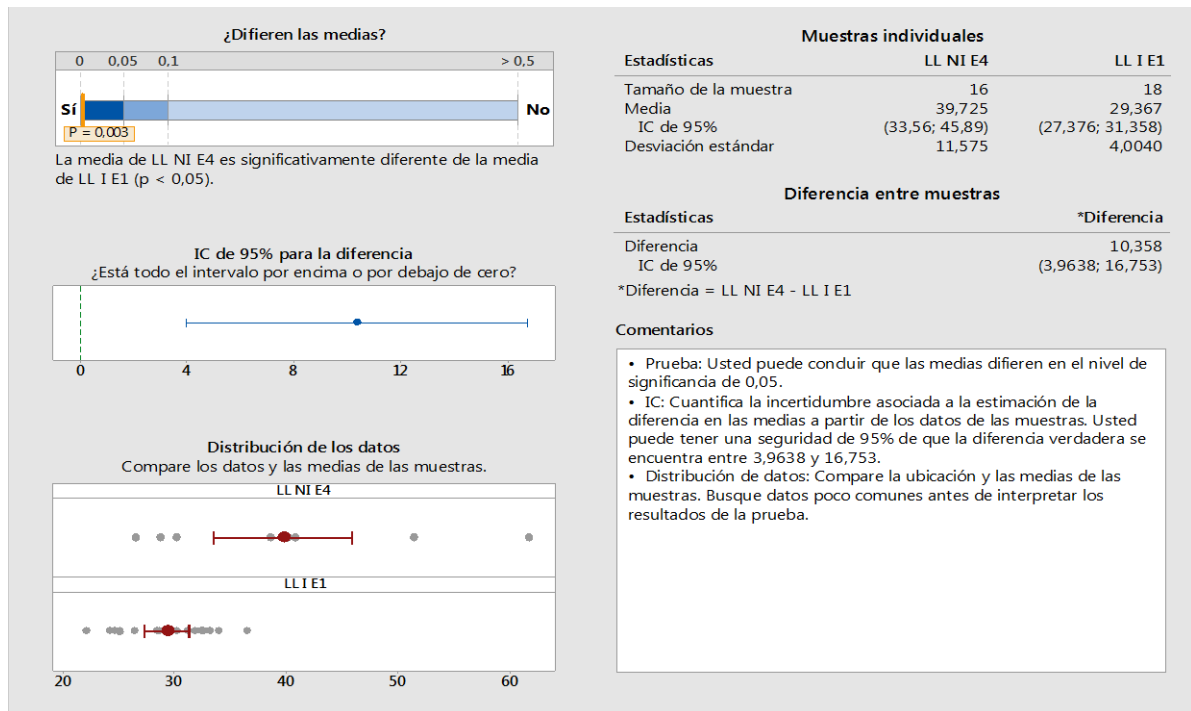


Figura 109. Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del límite líquido en las muestras de suelo no intervenido estrato 4 y suelo intervenido estrato 1 en el nivel de significancia de 0,05.

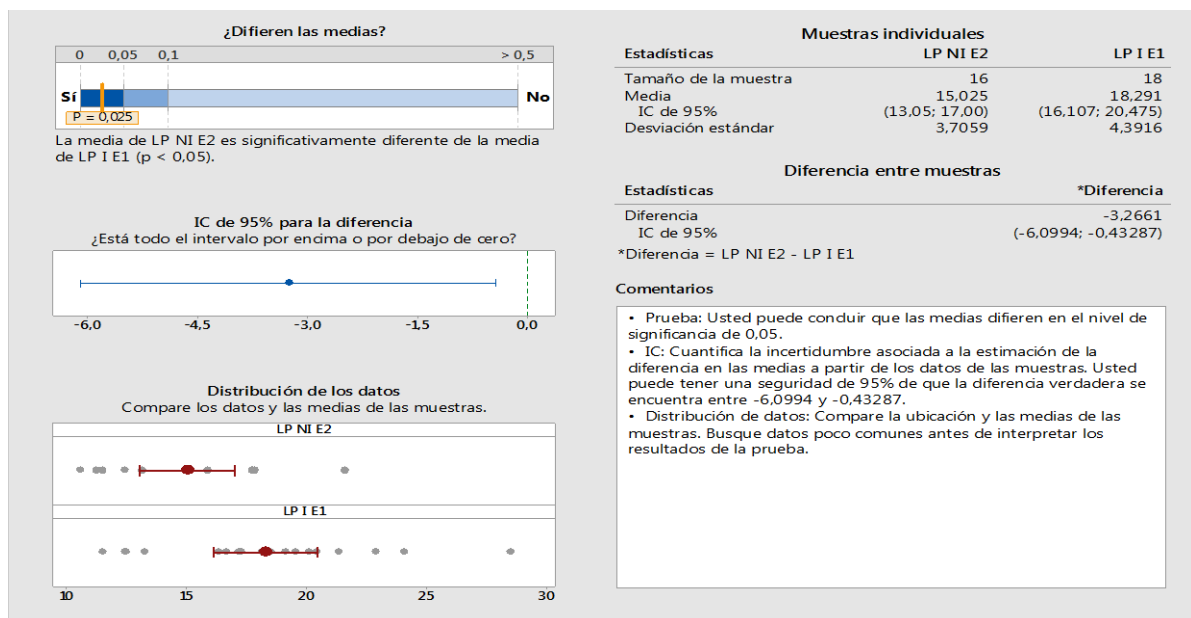


Figura 110. Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del límite plástico en las muestras de suelo no intervenido estrato 2 y suelo intervenido estrato 1 en el nivel de significancia de 0,05.

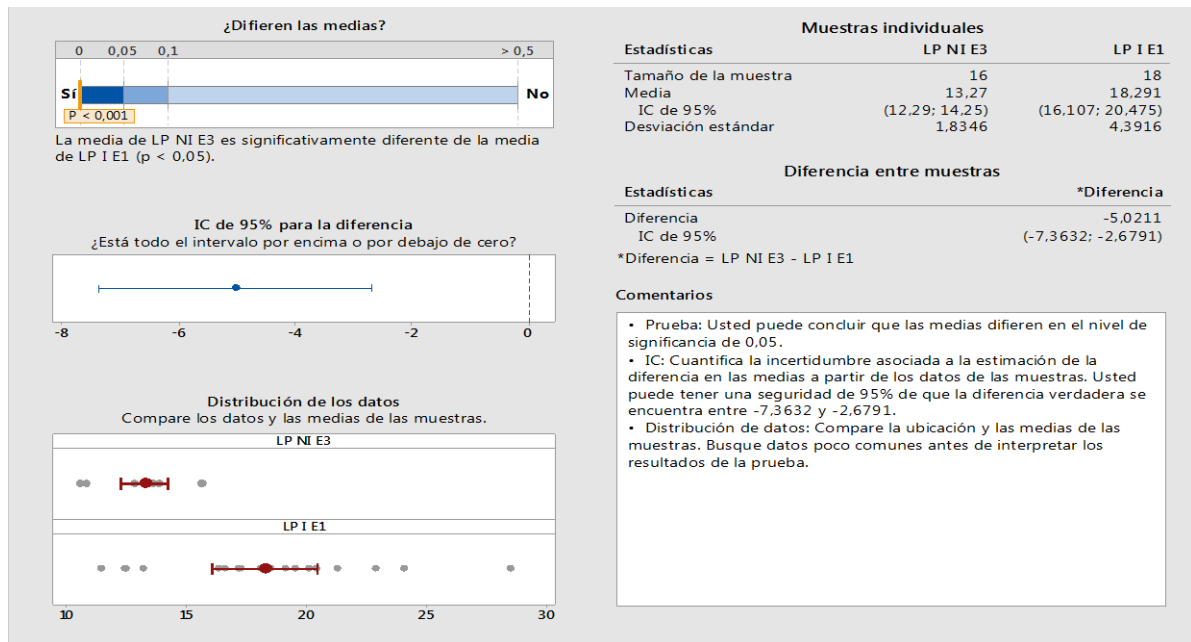


Figura 111. Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del límite plástico en las muestras de suelo no intervenido estrato 3 y suelo intervenido estrato 1 en el nivel de significancia de 0,05.

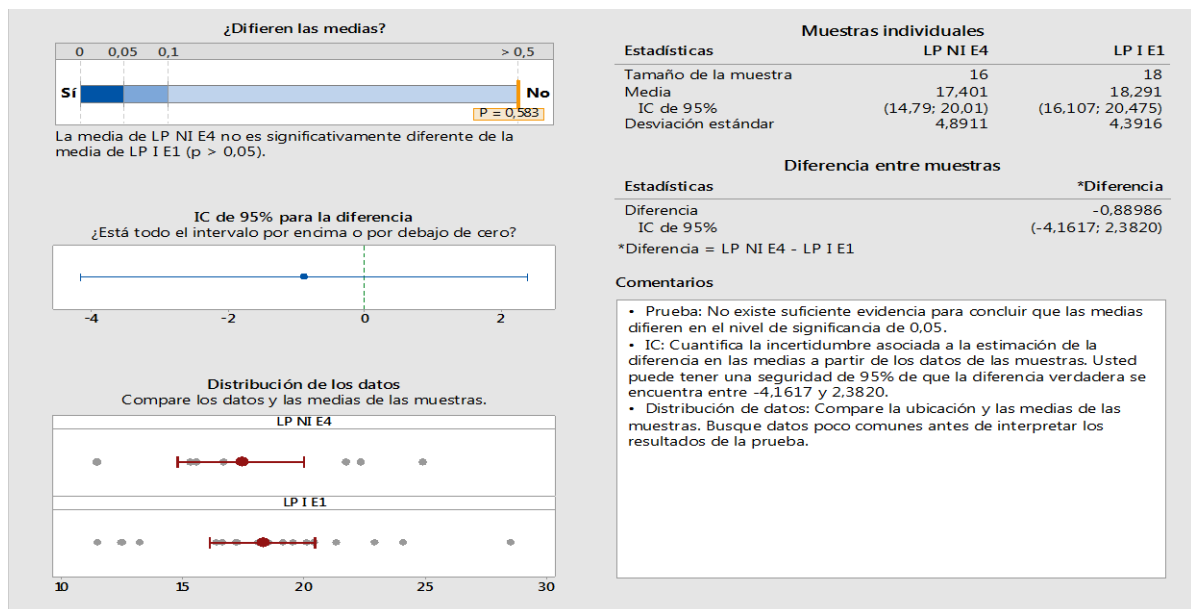


Figura 112. Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del límite plástico en las muestras de suelo no intervenido estrato 4 y suelo intervenido estrato 1 en el nivel de significancia de 0,05.

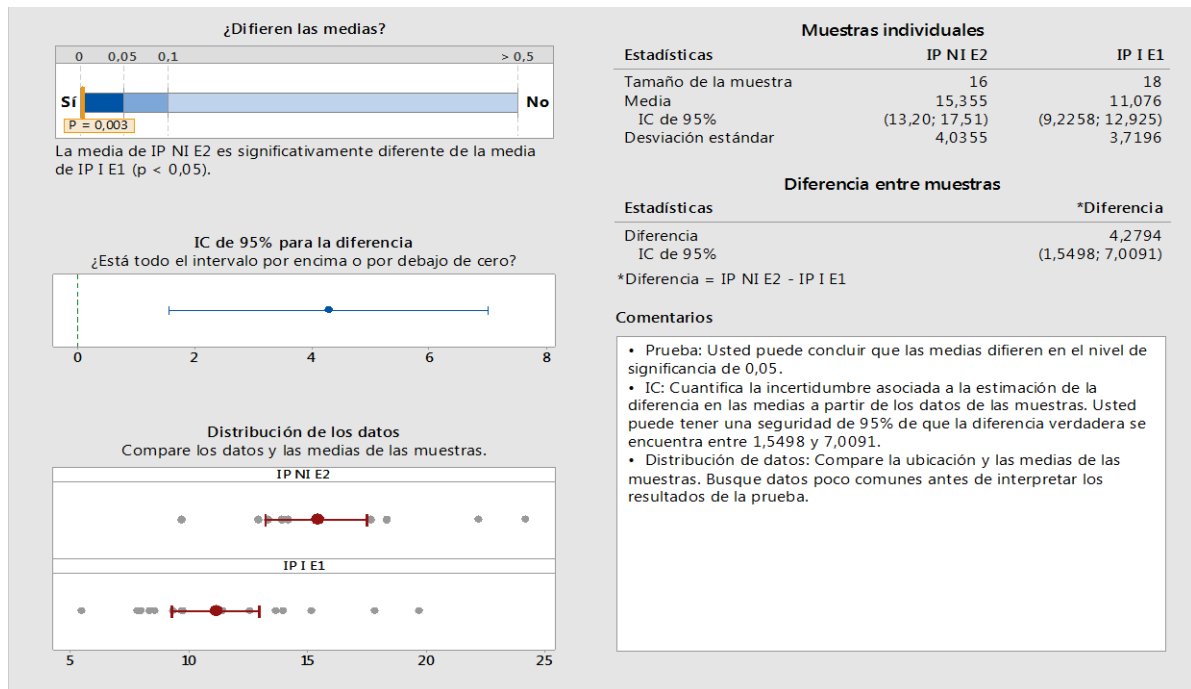


Figura 113. Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del índice de plasticidad en las muestras de suelo no intervenido estrato 2 y suelo intervenido estrato 1 en el nivel de significancia de 0,05.

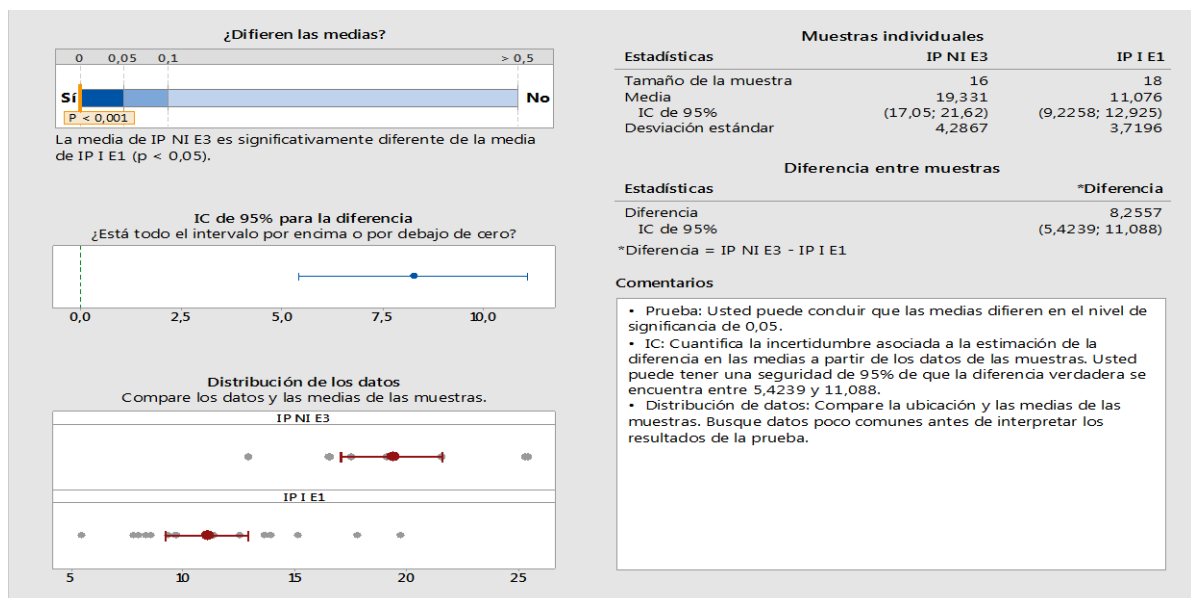


Figura 114. Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del índice de plasticidad en las muestras de suelo no intervenido estrato 3 y suelo intervenido estrato 1 en el nivel de significancia de 0,05.

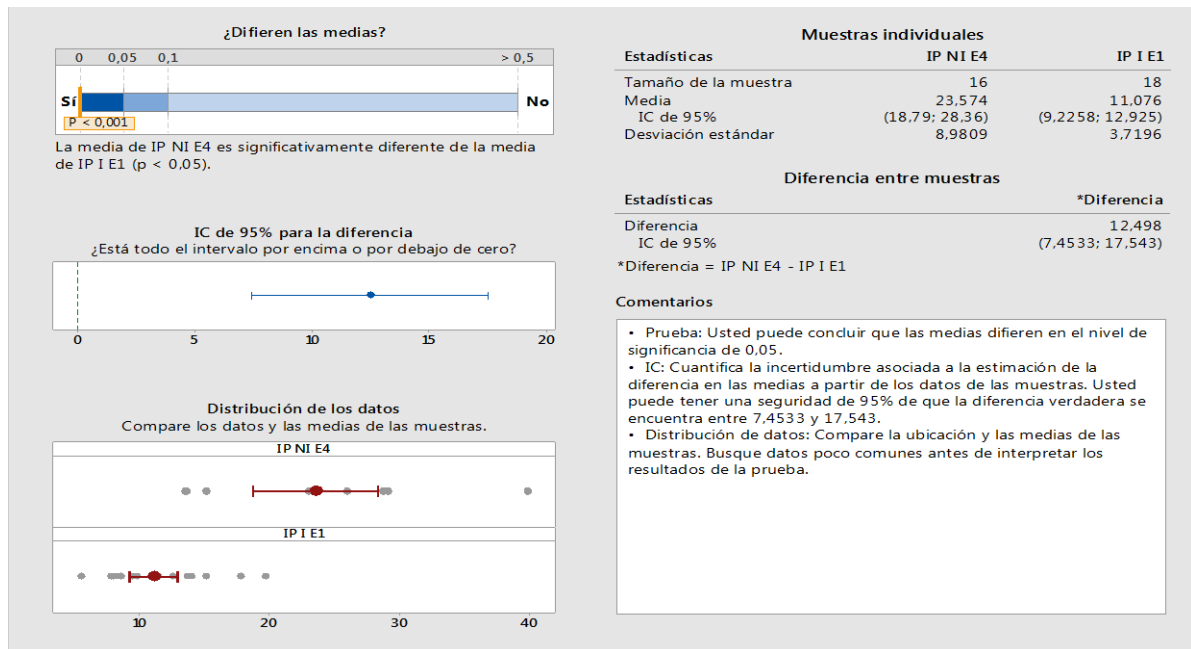


Figura 115. Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del índice de plasticidad en las muestras de suelo no intervenido estrato 4 y suelo intervenido estrato 1 en el nivel de significancia de 0,05.

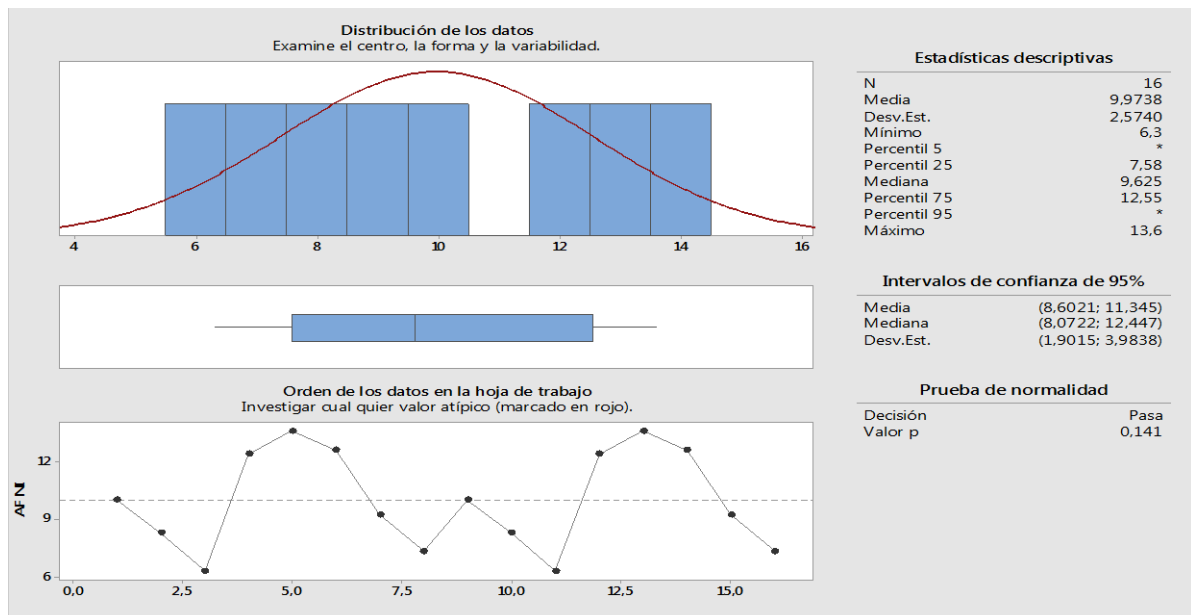


Figura 116. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de ángulo de fricción en el estrato 4, suelo no intervenido.

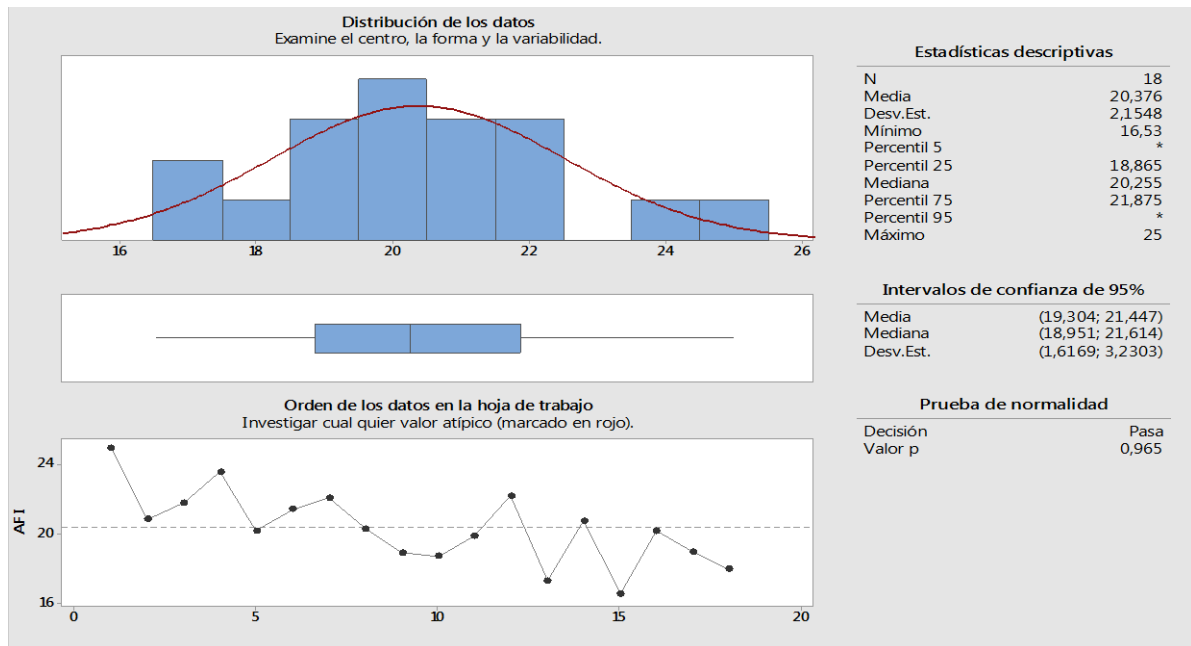


Figura 117. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de ángulo de fricción en el estrato 1, suelo intervenido.

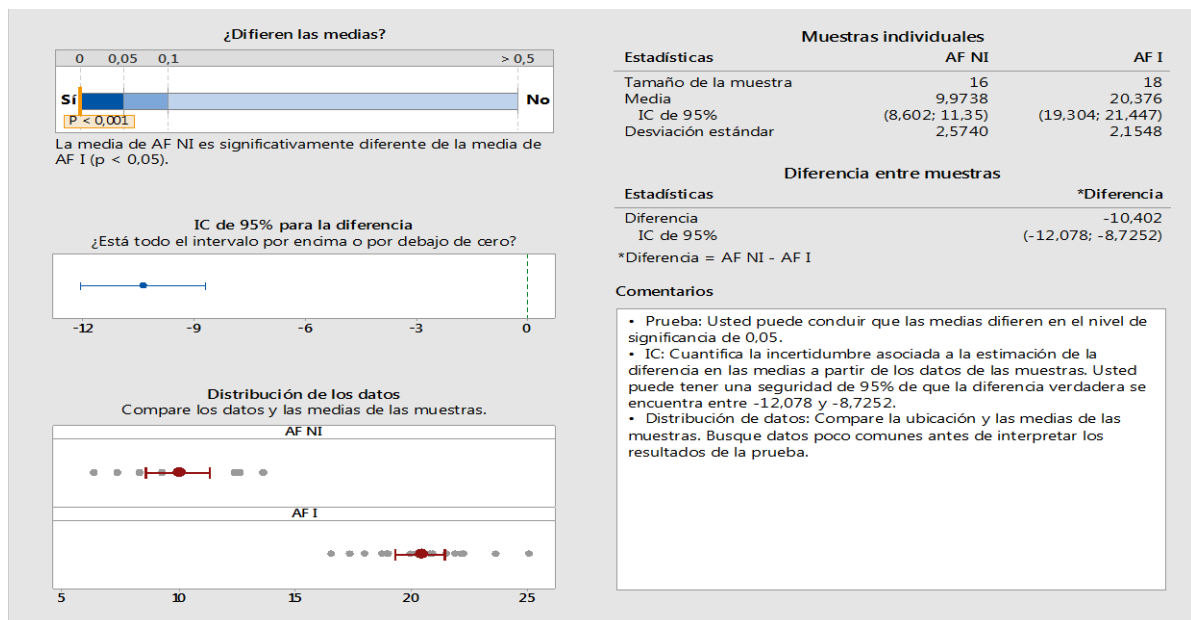


Figura 118. Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del ángulo de fricción en las muestras de suelo no intervenido estrato 4 y suelo intervenido estrato 1 en el nivel de significancia de 0,05.

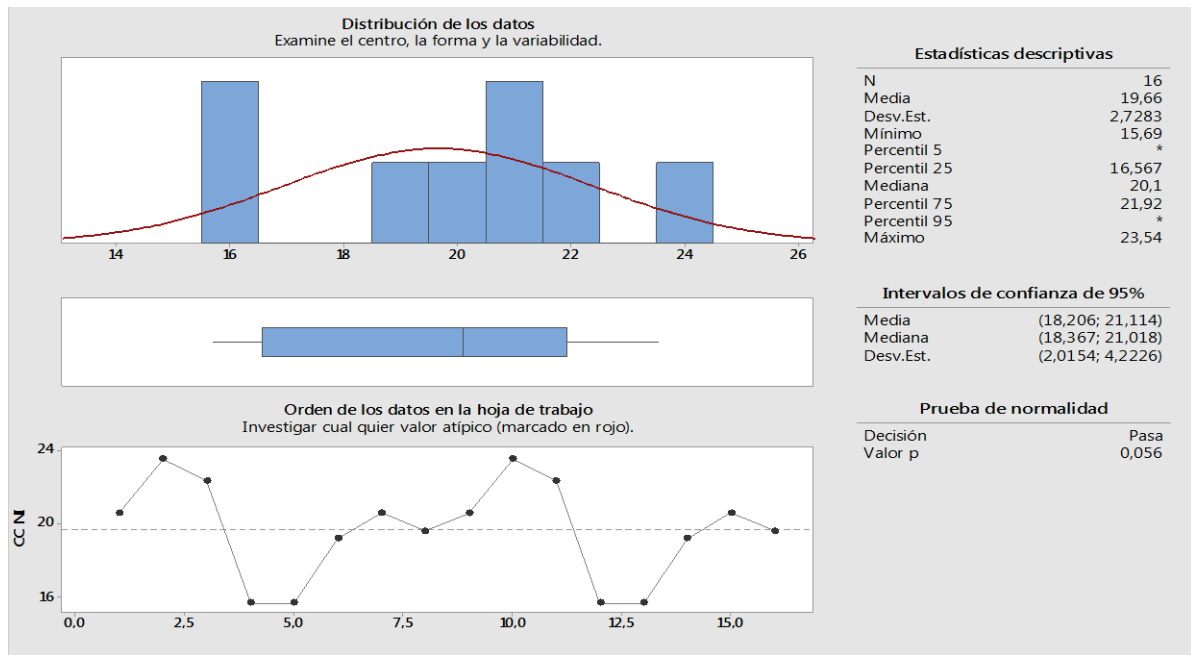


Figura 119. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de coeficiente de cohesión en el estrato 4, suelo no intervenido.

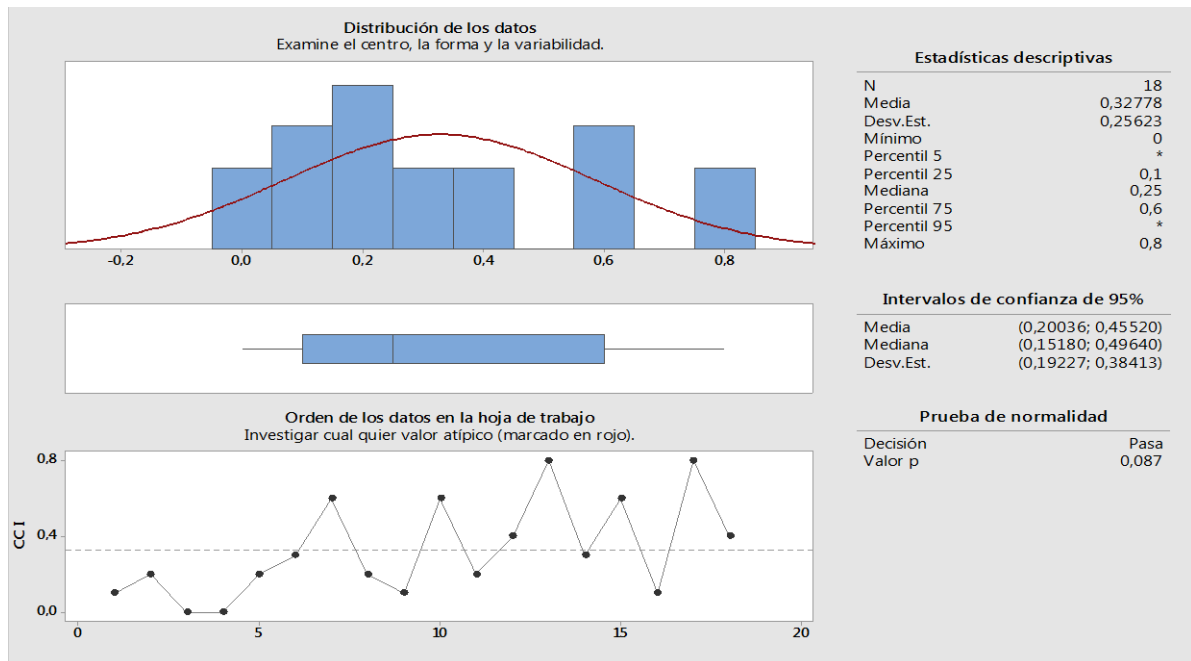


Figura 120. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de coeficiente de cohesión en el estrato 1, suelo intervenido.

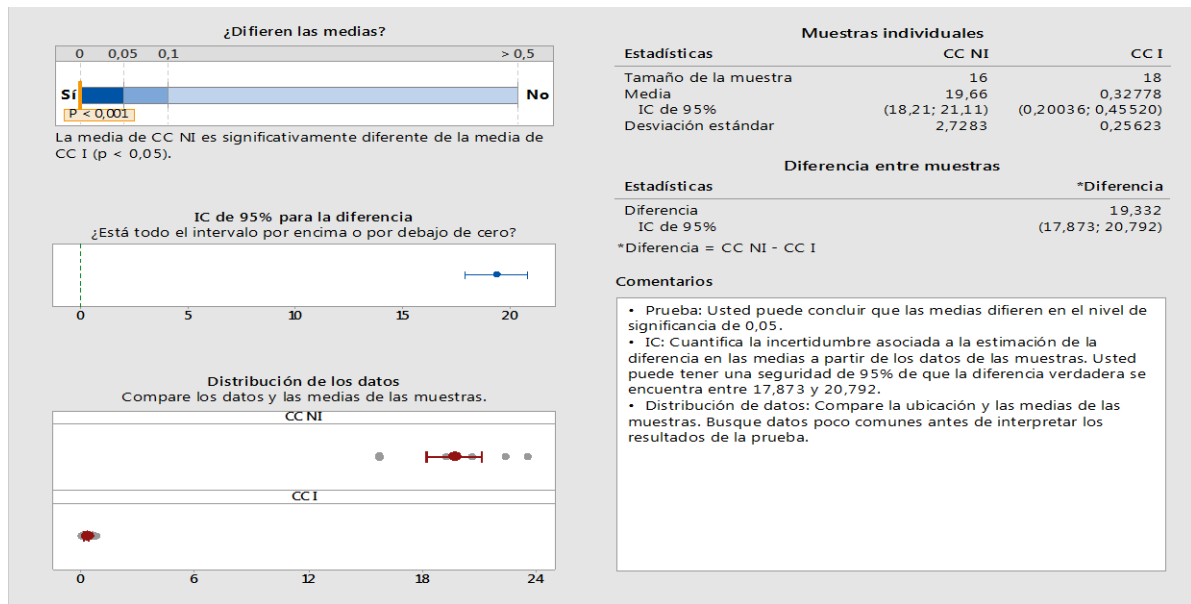


Figura 121. Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del coeficiente de cohesión en las muestras de suelo no intervenido estrato 4 y suelo intervenido estrato 1 en el nivel de significancia de 0,05.

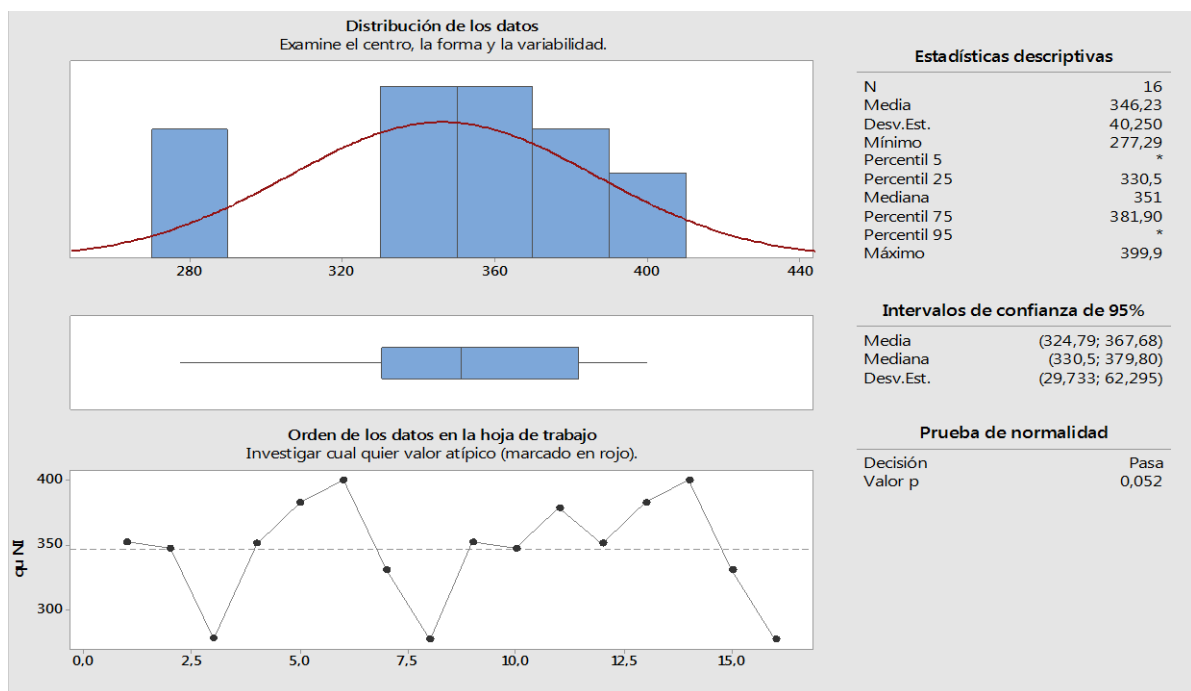


Figura 122. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de capacidad portante en el estrato 4, suelo no intervenido.

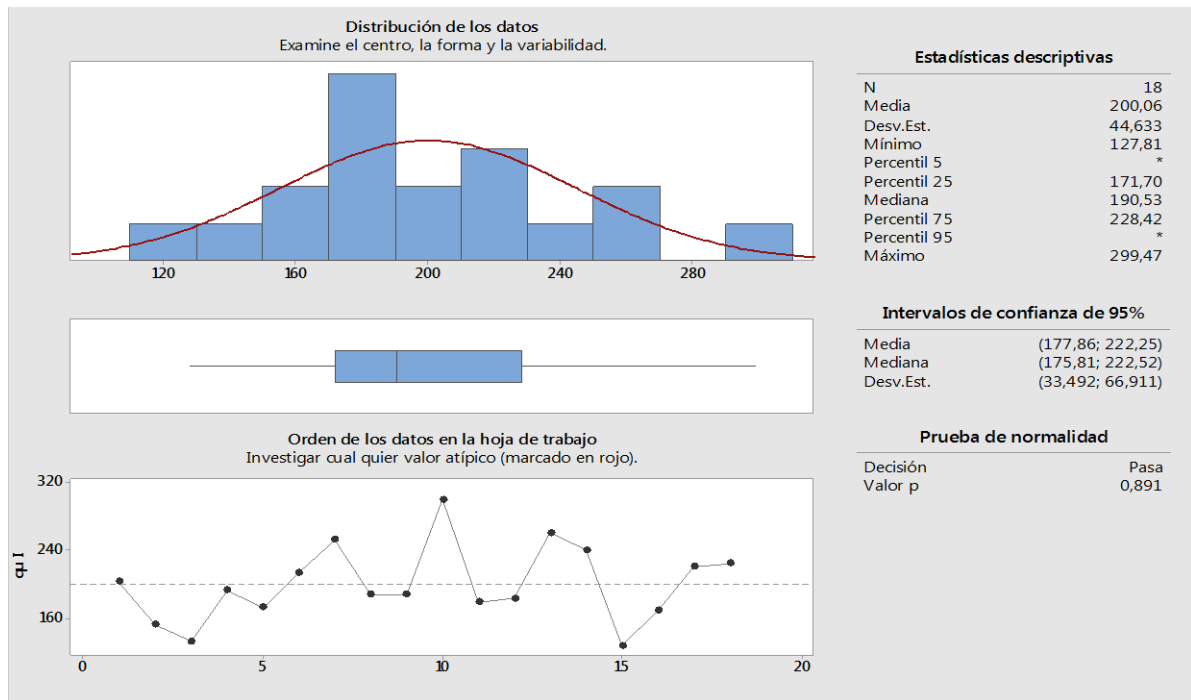


Figura 123. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de capacidad portante en el estrato 1, suelo intervenido.

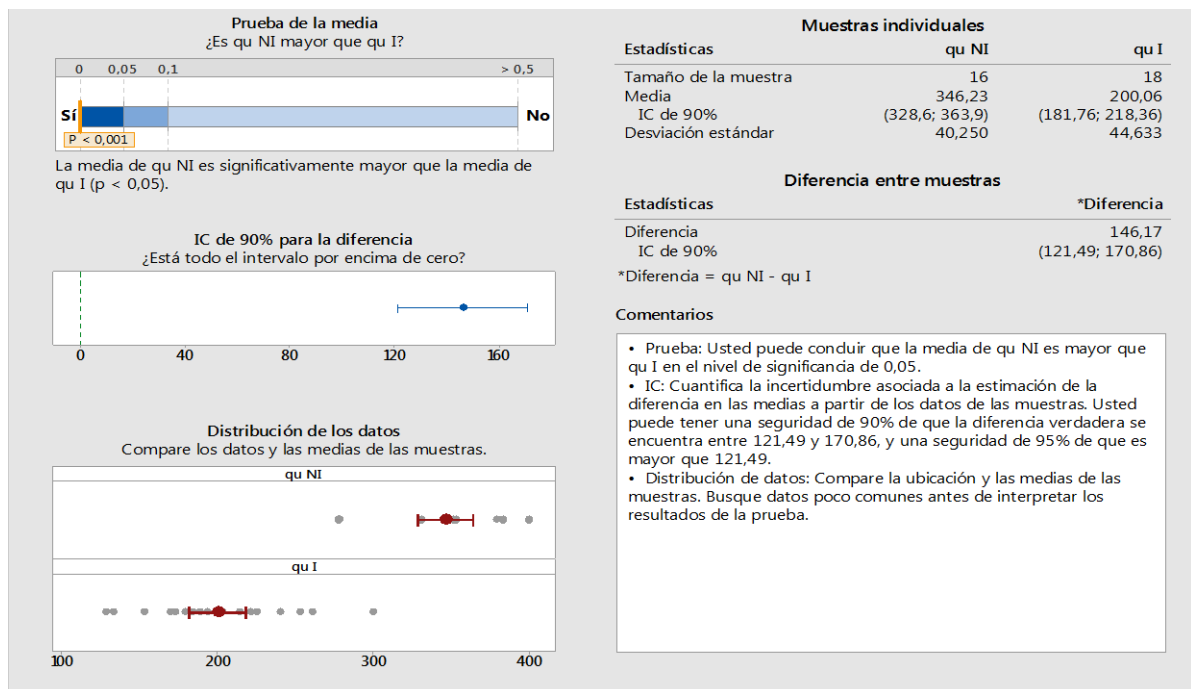


Figura 124. Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media de la capacidad portante en las muestras de suelo no intervenido estrato 4 y suelo intervenido estrato 1 en el nivel de significancia de 0,05.

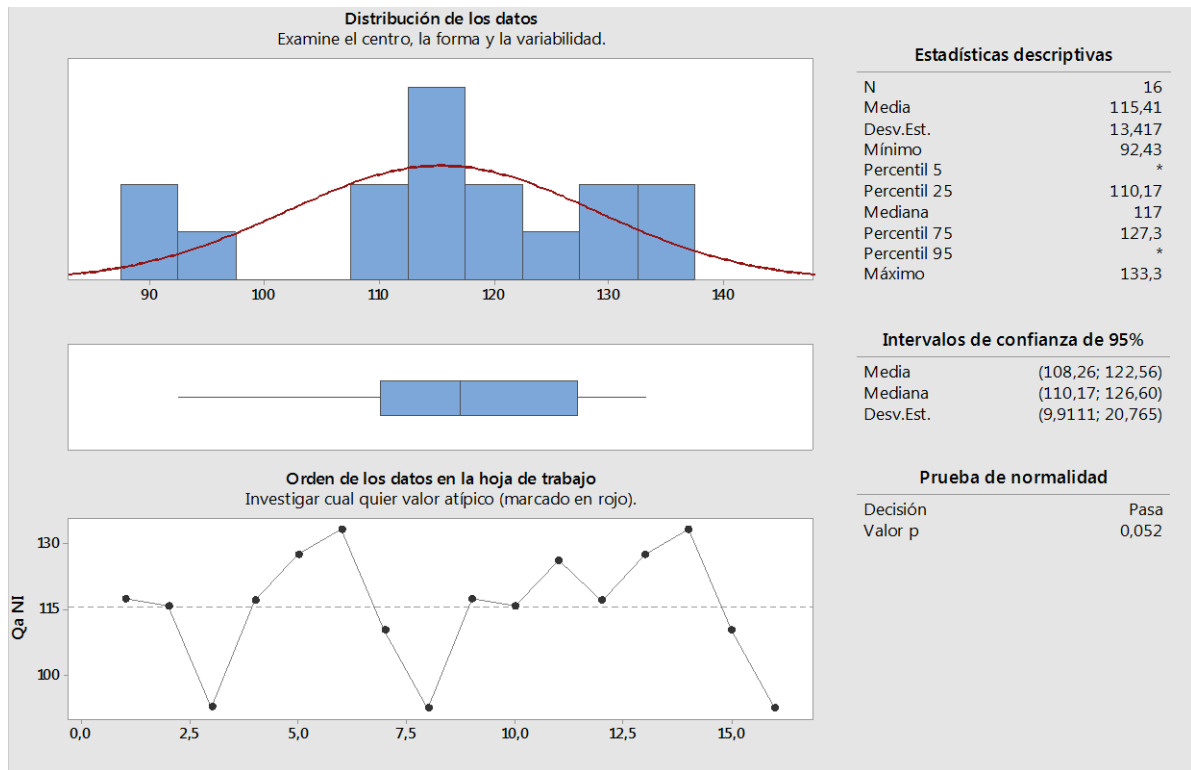


Figura 125. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de esfuerzo admisible en el estrato 4, suelo no intervenido.

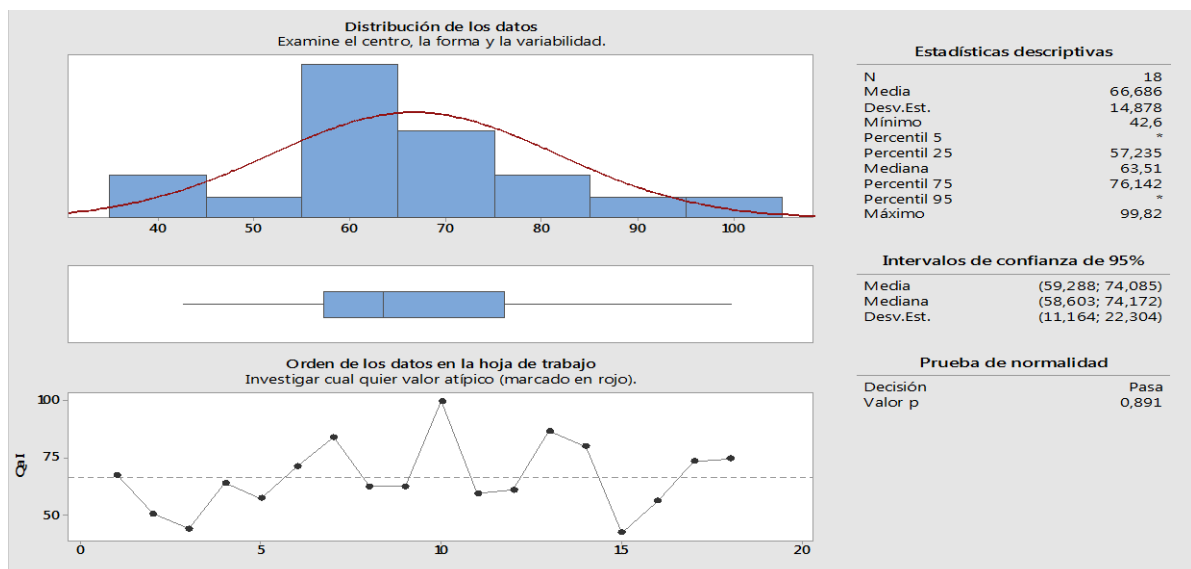


Figura 126. Prueba de normalidad y estadísticos descriptivos de datos de esfuerzo admisible en el estrato 1, suelo intervenido.

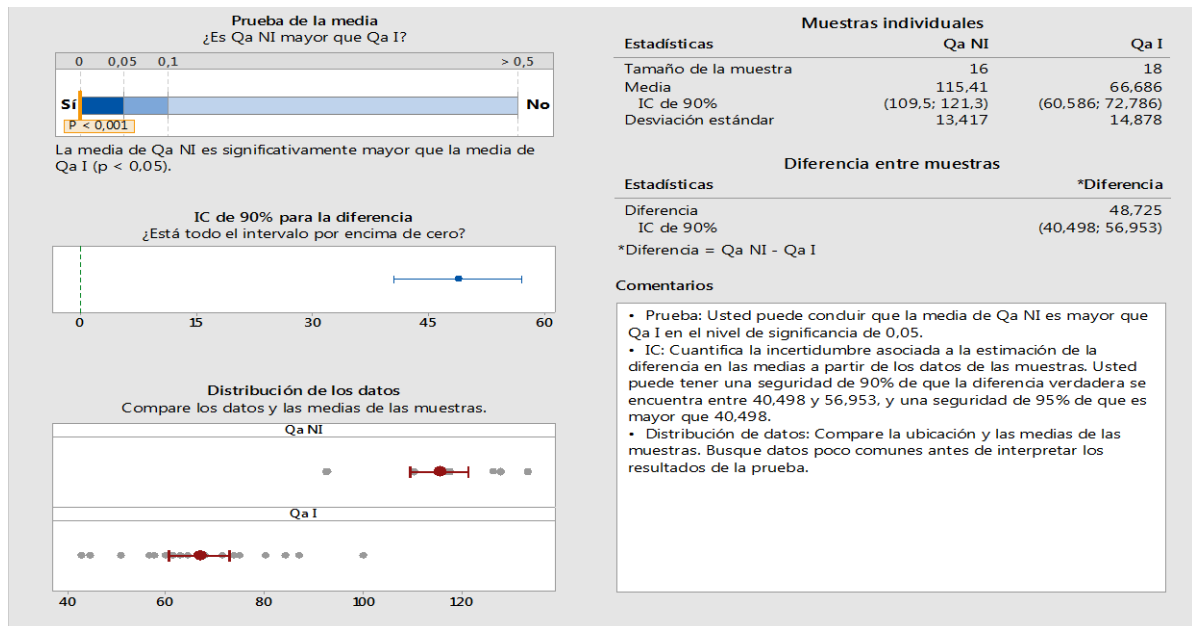


Figura 127. Prueba t-student para determinar si existe diferencia significativa entre la media del esfuerzo admisible en las muestras de suelo no intervenido estrato 4 y suelo intervenido estrato 1 en el nivel de significancia de 0,05.

APÉNDICE 5

Registro fotográfico



Figura 128. Cantera de arcilla 1. CP Santa Bárbara. Cajamarca



Figura 129. Cantera de arcilla 2. CP Santa Bárbara. Cajamarca



Figura 130. Cantera de arcilla 3. CP Santa Bárbara. Cajamarca



Figura 131. Cantera de arcilla 4. CP Santa Bárbara. Cajamarca



Figura 132. Cantera de arcilla 5. CP Santa Bárbara. Cajamarca



Figura 133. Cantera de arcilla 6. CP Santa Bárbara. Cajamarca



Figura 134. Cantera de arcilla 7. CP Santa Bárbara. Cajamarca



Figura 135. Cantera de arcilla 8. CP Santa Bárbara. Cajamarca



Figura 136. Calicata C1. Suelo no intervenido. CP Santa Bárbara. Cajamarca



Figura 137. Calicata C1I. Suelo intervenido. CP Santa Bárbara. Cajamarca



Figura 138. Muestra inalterada de suelo intervenido. CP Santa Bárbara.



Figura 139. Calicata C2. Suelo no intervenido. CP Santa Bárbara. Cajamarca



Figura 140. Calicata C2I. Suelo intervenido. CP Santa Bárbara. Cajamarca.



Figura 141. Calicata C4I. Suelo intervenido. CP Santa Bárbara. Cajamarca



Figura 142. Calicata C5. Suelo no intervenido. CP Santa Bárbara. Cajamarca



Figura 143. Calicata C6. Suelo no intervenido. CP Santa Bárbara. Cajamarca



Figura 144. Calicata C6. Suelo no intervenido. CP Santa Bárbara. Cajamarca



Figura 145. Calicata C7I. Suelo intervenido. CP Santa Bárbara. Cajamarca



Figura 146. Ensayo de contenido de humedad.



Figura 147. Ensayo de granulometría

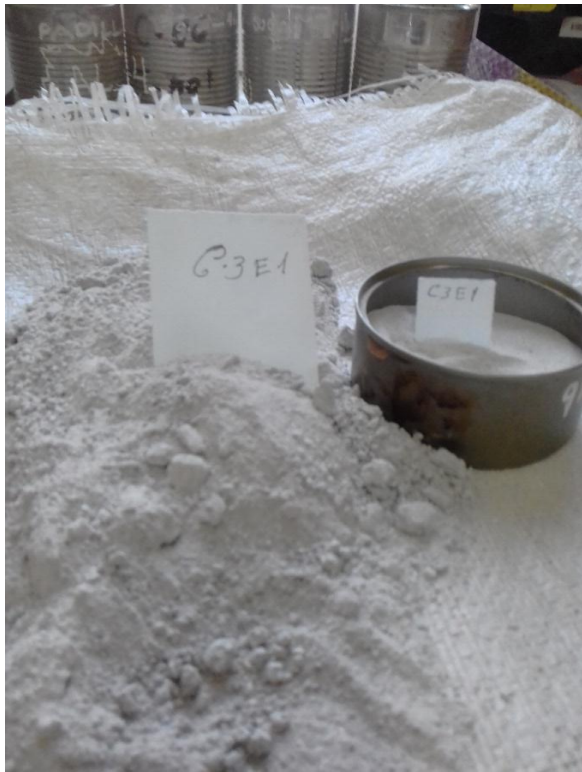


Figura 148. Muestra de suelo intervenido a ensayar.



Figura 149. Muestras de suelo para ensayo de corte directo.



Figura 150. Ensayo de corte directo. Suelo CP Santa Bárbara. Cajamarca

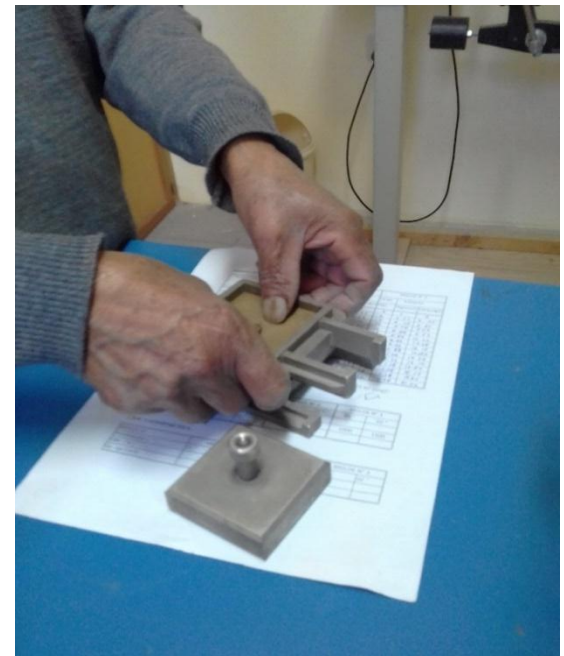


Figura 151. Ensayo de corte directo. Suelo CP Santa Bárbara. Cajamarca