



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**Universidad  
Andina  
del Cusco**

TESIS:

---

**“Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un  
suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores  
Químicos MTC E 1109-2004”**

---

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Materiales de construcción

Presentado por:  
Judith Olivera Granada

Tesis para optar el título de  
Ingeniero civil

ASESOR:  
Dr. Ing. Víctor Chacón Sánchez

CUSCO – PERÚ  
2021



## DEDICATORIA

Dedico esta investigación a Dios por ser mi fortaleza en tiempos difíciles, por darme la fuerza y la determinación para concluir este trabajo, que representa para mí muchos días y años de arduo trabajo y mi deseo es que sea un aporte para mi país y para todo aquel que pueda leer los alcances encontrados durante todo su desarrollo, gracias papito Dios, por caminar junto a mí, tú siempre eres bueno y tu amor por mí es inexplicable.

A mi familia Olivera Granada que siempre están ahí apoyándome en cada momento de mi vida y esta no ha sido la excepción, los amo y les dedico este trabajo porque gracias a ustedes y a su ejemplo aprendí que todo es posible con esfuerzo, determinación, dedicación y trabajo duro.

A cada estudiante de mi país, siéntete orgulloso del lugar donde nacimos, tenemos tanta riqueza, tanta biodiversidad y es nuestro encargo proponer soluciones, dar grandes aportes al mundo a raíz de los estudios que realicemos, tenemos mucho por hacer, tenemos un gran legado histórico, tenemos un gran conocimiento heredado por nuestros antepasados, es nuestro deber proponer nuevas soluciones utilizando esos conocimientos, mejorar técnicas, generar innovaciones, para el desarrollo y beneficio de nuestra sociedad y nuestros país.

Dedico este trabajo a cada soñador que hay dentro de cada uno, que a veces se siente solo en sus proyectos, nunca se den por vencidos, sueñen y luchen por sus metas personales porque nadie lo hará por ustedes. Nadie soñara por ustedes y nadie podrá hacer esos sueños realidad si no son ustedes quienes trabajan por ello, brillen a través de hacer realidad sus sueños, creo firmemente en que la libertad del hombre está en luchar por sus anhelos más profundos de su corazón, y si no lo hace está muerto por dentro.

Dedico este trabajo al niño soñador que hay dentro de cada persona.

Judith Olivera Granada



## AGRADECIMIENTOS

Doy gracias principalmente a Dios quien puso el deseo en mi corazón de realizar este tema de investigación, recuerdo como si fuera ayer el momento en que este camino empezó, los desafíos y temores que enfrente, durante todo el proceso siempre has estado ahí, cuidando de mí, sustentándome, abriéndome puertas, colocando personas buenas en mi camino y apartándome de las que no eran buenas para mí, sé que todo tiene un propósito y permitiste que estuvieran ahí para formar mi carácter y a pesar de todo ser perseverante con lo que deseaba alcanzar. No dejes que mi corazón olvide ninguna de tus bendiciones.

Igualmente estoy eternamente agradecida con cada una de las personas que con sus consejos y su apoyo fue posible la realización de este trabajo de investigación.

A mi familia que pase lo que pase siempre están conmigo, los amo, son la más grande bendición de Dios en mi vida, son fuente de mi admiración por su correcto accionar y son fuente de mi inspiración, mi papá Juan de Dios Olivera Mamani quien me acompañó en muchas ocasiones en los trabajos que realice durante esta investigación, mi mamá Segundina Granada Huamán quien siempre está pendiente y al cuidado de mí, a mi mejor amiga y la persona a quien tengo gran admiración mi hermana mayor, Mirian Olivera Granada en quien siempre encuentro consejo y ayuda sincera.

Al químico Katia Carmona y a todo el personal del laboratorio físico químico del ministerio de cultura Cusco, a la bióloga Violeta Eugenia Zamalloa Acurio por sus consejos en los estudios químicos y biológico del aditivo y apoyo incondicional, a la bióloga Gloria Calatayud Hermosa por ayudarme en la adecuada caracterización de la especie utilizada en el estudio, a la directora del Herbario Vargas CUZ.

A la bióloga Isela Del Carmen Arce Castañeda por su guía y ayuda en los permisos solicitados al Servicio Nacional de Flora y Fauna Silvestre, es una gran persona, muchísimas gracias.

Agradezco al Ing. Abelardo Abarca Ancori por permitirme el uso de su laboratorio en su empresa GEOTEST PERÚ S.A.C., por sus consejos, recomendaciones y en quien encontré una persona dispuesta a absolver mis dudas e inquietudes, gracias por su tiempo.



Mis agradecimientos a mi asesor el Dr. Ing. Víctor Chacón Sánchez, por sus consejos y orientación para el adecuado desarrollo de la investigación, a mis dictaminantes Ing. Julio Benjamín Deza Cavero e Mgt. Ing. José Alberto Montesinos Cervantes, por su tiempo y predisposición en la revisión del documento y observaciones, mi sincero y total agradecimiento por hacer que el presente trabajo de investigación sea presentado en óptimas condiciones.

Al Ing. Igor Serrano y al Mgt. Ing. Víctor Manuel Arangoitia Valdivia, gracias por sus consejos y sus sabias palabras, considero la amistad de ustedes como un tesoro invaluable, a mis docentes el Msc. Ing. Ronald Vera Gallegos, Ing. Edson Julio Salas Fortón, Ing. Milton Merino Yépez, Ing. Karim Sovero, Ing. Carlos Luna Loayza, por sus consejos y apoyo.

A la dirección de Investigación de la Universidad Andina del Cusco quien me apoyo con el financiamiento de una parte de esta investigación, gracias por su disposición a ayudarme con cualquier trámite que necesité, me entendieron cuando pasé por momentos difíciles y me dieron el plazo necesario para poder culminar satisfactoriamente este trabajo de investigación.

A la Ing. Luz Marlene Nieto Palomino, jefa de Laboratorio, por su disposición en responder favorablemente a mi solicitud de autorización en el uso de los equipos del laboratorio de suelos y materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, que fueron necesarios para terminar satisfactoriamente mi investigación y también un agradecimiento a todo el personal que trabaja con ella, muchas gracias.

Al Ing. Américo Montañez Tupayachi, por sus consejos y su apoyo, sobre todo recordarme que Dios siempre está conmigo en cada momento, y que él hace milagros en el momento que menos lo espero. Gracias.

Doy un agradecimiento especial a todas mis amistades, quienes me dieron palabras de aliento y me ayudaron en todo cuanto pudieron cuando más lo necesitaba, Dios me bendijo en sobremanera con su amistad, gracias chicos.

A cada persona que fue para mí, una fuente de inspiración, esta tesis es el resultado de pequeños aportes, porque detrás de un logro siempre hay un grupo de gente maravillosa, gracias a todos y todas quienes han colocado un granito de arena para el logro de este trabajo de investigación, a cada uno de ustedes gracias por regalarme instantes de su tiempo y compartir conmigo su



conocimientos, agradezco sinceramente su preciosa colaboración, soy muy afortunada de haberlos tenido como mi guía y apoyo durante mi investigación. Gracias.

Un agradecimiento especial a mi persona por el trabajo realizado, creo que nadie podría entender totalmente todo el esfuerzo dedicado en este trabajo de investigación, las horas sin dormir, los momentos solitarios, las lágrimas derramadas, la desilusión y decepción en diferentes momentos, el hecho persistir a pesar de todo, por enfrentar temores internos como el qué dirán y otros, por prevalecer a pesar de las circunstancias, por buscar ayuda y no permitirte quedarte estancada, sino seguir hasta el final.

Animo a cada persona que lea estas líneas ser un ejemplo para otros, para que no se den por vencidos en medio de las dificultades y que todos somos capaces de soñar y lograr lo que queremos conseguir y más aún cuando caminamos de las manos de Dios, ahí nada es imposible.

Judith Olivera Granada



## RESUMEN

La presente investigación titulada “Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004” nace del anhelo de recuperar y revalorar los conocimientos ancestrales del Perú, es por ello que evalúa el uso de un aditivo natural, inspirado en la utilización de cactáceas por nuestros ancestros, para mejorar las propiedades de comportamiento en el suelo fino.

La investigación inició con el sustento teórico, estudiando en primer lugar los estabilizadores químicos ancestrales y la estabilización de suelos cohesivos para luego realizar ensayos y elegir el aditivo a utilizar y el tipo de suelo fino a estabilizar. Realizados estos pasos previos, se estudiaron las características físicas, químicas y biológicas del aditivo elegido para finalmente realizar los ensayos geotécnicos utilizando las probetas y muestras sin y con aditivo natural, caracterizándolas y evaluando las propiedades de comportamiento del suelo mejorado mediante la propiedad de desempeño de trabajabilidad y capacidad de soporte bajo los lineamientos de la norma técnica de estabilizadores químicos en dosificación indicada por la patente indicada para el uso del aditivo.

Siendo uno de los principales indicadores de mejora de las propiedades de comportamiento en el suelo fino, se obtuvo que el incremento de la resistencia de un suelo estabilizado en comparación a un suelo sin estabilizar es del 20%.

Durante el estudio se han tomado consideraciones importantes en cuanto a la humedad empleada durante cada uno de los ensayos de caracterización, siendo esta la metodología, la más adecuada para la obtención de resultados, ya que permitió resolver todas las dificultades que se fueron presentando durante la investigación realizada teniendo presente que un estudio en suelos finos con porciones significativas entre limos y arcilla, presenta muchas variables al momento de realizar los ensayos.

“Quien sólo conoce la teoría de mecánica de suelos y carece de experiencia práctica puede ser un peligro público”.

Terzaghi

Palabras Clave: Suelo fino, estabilización, aditivo, incremento de resistencia.



## ABSTRACT

The research entitled "Evaluation of a natural additive in the stabilization of fine-grained soil, under the Technical Standard of Chemical Stabilizers MTC E 1109-2004" started as an initiative to recover and revalue Peru's ancestral knowledge. It evaluates the use of a natural additive, based on the use of cacti by our ancestors, to improve the behavioral properties in fine soil.

A literature review was initially carried out about the ancestral chemical stabilizers and stabilization of cohesive soils. Different tests were performed to select the optimum additive and the type of fine soil to stabilize. Additionally, the physical, chemical, and biological characteristics of the chosen additive were studied before moving forward to the geotechnical tests. Samples with and without natural additives were characterized and further evaluated the properties of improved soil behavior through the performance property of workability and support capacity. All experiments were carried out following guidelines of the technical standard for chemical stabilizers in terms of the specific dosage, it was carried out as the patent indicates.

The results showed that the increase in resistance of stabilized soil compared to non-stabilized soil is 20%. This is an important indicator that the performance properties in fine soil were improved.

Throughout the study, important considerations were considered regarding the humidity used during each of the characterization tests. This methodology was established as the most appropriate because it allowed for solving all the difficulties that arose during the experimental evaluations. It is important to highlight that this was a study in fine soils with significant portions between silt and clay and it presented many variables at the time of the tests.

"Anyone who knows only the theory of soil mechanics and lacks practical experience can be a public danger."

Terzaghi

Key Words: Fine soil, stabilization, additive, increased resistance.



## INTRODUCCIÓN

La tecnología ancestral es el producto del legado de muchas generaciones, que tras varios ensayos de prueba y error, posee una gran riqueza de conocimiento y sabiduría en la utilización de insumos y materiales que deben ser estudiados y mejorados para su utilización en innumerables soluciones a diferentes problemas ingenieriles que se presentan hoy en día.

Nuestros antepasados tuvieron la capacidad de generar soluciones creativas frente a diferentes problemas que se les presentaron en la construcción de sus obras ingenieriles, obras que hasta el día de hoy siguen en pie para el asombro de todo aquel que las observe o las estudie.

La propuesta de un nuevo aditivo en la mejora las condiciones de infraestructura de los principales medios de comunicación como vías terrestres mejorando de las propiedades de desempeño de suelos, tomando en cuenta los conocimientos heredados por nuestros antepasados demuestra, que con el aporte brindado se puede contribuir de forma significativa en que nuestra población tenga una mejor calidad de vida.

La investigación titulada: “Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004”, tiene como principal objetivo evaluar el mejoramiento de las propiedades de comportamiento de un suelo fino al añadirle un aditivo natural para el mejoramiento de infraestructuras en obras civiles. Esta investigación incluye la caracterización de la materia prima y del aditivo utilizado en todo el estudio.

Durante todo el desarrollo de la investigación se muestra la correcta obtención de datos que validen la investigación, así como una adecuada metodología que se va desarrollando mediante el uso de otros laboratorios externos a los de la Universidad Andina del Cusco como laboratorio de Cromatografía Líquida para el estudio del aditivo, laboratorio Químico para el análisis del suelo en el que se puso a prueba el aditivo, el laboratorio de suelos y materiales de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, el laboratorio de la empresa Geotest Perú S.A.C para los ensayos de suelo y geotecnia, entre otros, para la adecuada toma de datos y obtención de resultados óptimos.

Además, se realizaron entrevistas y se obtuvieron los permisos correspondientes del Servicio Nacional de Flora y Fauna Silvestre SERFOR.





## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS .....	II
RESUMEN.....	V
ABSTRACT .....	VI
INTRODUCCIÓN .....	VII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.1. Identificación del problema.....	1
1.1.1. Descripción del problema.....	1
1.1.2. Formulación interrogativa del problema .....	3
1.2. Justificación e importancia de la investigación.....	4
1.2.1. Justificación técnica .....	4
1.2.2. Justificación social .....	4
1.2.3. Justificación por viabilidad .....	4
1.2.4. Justificación por relevancia.....	4
1.3. Limitaciones de la investigación.....	5
1.4. Objetivo de la investigación.....	6
1.4.1. Objetivo general .....	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	7
2.1. Antecedentes de la tesis .....	7
2.1.1. Antecedentes a nivel nacional .....	7
2.1.2. Antecedentes a nivel internacional.....	10
2.2. Bases teórico científicas.....	13
2.2.1. Estabilizantes de suelos a base de cactus en las culturas del antiguo Perú y en el mundo	13
2.2.2. El mucilago .....	25
2.2.2.1. Mucílagos vegetales .....	25
2.2.2.2. Propiedades del mucílago en el suelo.....	26
2.2.2.3. Materia prima del aditivo: CACTÁCEA AUSTROCYLINDROPUNTIA SUBULATA. (PATAQUISCA) .....	28



2.2.2.4.	Aditivo a base de mucilago de Pataquisca (AUSTROCYLINDROPUNTIA SUBULATA).....	33
2.2.3.	Suelo fino .....	33
2.2.4.	Estabilización de suelos .....	34
2.2.4.1.	Estabilización química de suelos .....	36
2.2.5.	Propiedades de comportamiento o desempeño .....	37
2.2.6.	Ensayos de laboratorio .....	38
2.3.	Hipótesis.....	50
2.4.	Hipótesis general.....	50
2.5.	Sub Hipótesis .....	50
2.6.	Definición de variables .....	50
2.6.1.	Variable independiente.....	50
2.6.2.	Variables dependientes.....	51
2.6.3.	Cuadro de operacionalización de variables .....	52
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....		53
3.1.	Metodología de la investigación .....	53
3.1.1.	Enfoque de la investigación .....	53
3.1.2.	Nivel o alcance de la investigación .....	53
3.1.3.	Método de investigación .....	54
3.2.	Diseño de la investigación .....	54
3.2.1.	Diseño metodológico.....	54
3.2.2.	Diseño de ingeniería.....	55
3.3.	Población y muestra .....	55
3.3.1.	Población.....	55
3.3.2.	Descripción de la población .....	55
3.3.3.	Muestra.....	56
3.3.4.	Criterios de inclusión .....	58
3.4.	Instrumentos.....	58
3.4.1.	Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos .....	58
3.4.2.	Características del suelo .....	58
3.4.3.	Instrumentos de ingeniería .....	58
3.5.	Procedimientos de recolección de datos .....	59
3.5.1.	Determinación del contenido de humedad .....	59
3.5.2.	Características del suelo .....	62
3.5.3.	Tamaño de partículas.....	62



3.5.4.	Análisis granulométrico por medio del hidrómetro .....	65
3.5.5.	Límites de consistencia .....	71
3.5.6.	Límite líquido.....	71
3.5.7.	Limite plástico.....	73
3.5.8.	Límites de contracción .....	77
3.5.9.	Propiedades de desempeño.....	80
3.5.9.1.	Trabajabilidad.....	80
3.5.9.2.	Capacidad de soporte.....	105
3.6.	Procedimientos de análisis de datos.....	127
3.6.1.	Contenido de humedad.....	127
3.6.2.	Contenido de humedad (MTC E 108 - ASTM D2216).....	127
3.6.3.	Características del suelo .....	127
3.6.4.	Propiedades de desempeño.....	142
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....</b>		<b>202</b>
4.1.	Características del suelo.....	202
4.1.1.	Tamaño de partículas.....	202
4.1.1.2.	Límites de consistencia.....	204
4.2.	Propiedades de desempeño .....	205
4.2.1.	Trabajabilidad.....	205
4.2.1.1.	Proctor modificado .....	206
4.2.2.	Capacidad de soporte.....	209
4.2.2.1.	Resistencia a la compresión no confinada.....	209
<b>CAPÍTULO V: DISCUSIÓN .....</b>		<b>211</b>
<b>GLOSARIO.....</b>		<b>216</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>		<b>218</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>		<b>220</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>		<b>222</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>228</b>
4.3.	Anexo 1. Artículo científico.....	229
4.4.	Anexo 2. Informe de análisis .....	241
4.5.	Anexo 3. Autorización SERFOR .....	245
4.6.	Anexo 4. Certificado de determinación taxonómica.....	246
4.7.	Anexo 5. Requerimiento de equipos e instrumentos.....	251
4.8.	Anexo 6. Panel Fotográfico.....	259



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Cuadro de análisis de restos de Plantas encontradas en el complejo Arqueológico de Churajon (Polobaya) y Tambo de León (Chiguata) .....	20
<b>Tabla 2.</b> Cuadro de operacionalización de variables .....	52
<b>Tabla 3</b> Resumen de la cuantificación de muestra .....	57
<b>Tabla 4</b> Instrumento metodológico, Ensayo de Gravedad específica de los sólidos - Parte I	59
<b>Tabla 5</b> Ensayo de Gravedad específica de los sólidos - Parte II.....	60
<b>Tabla 6</b> Análisis Granulométrico por medio del Hidrómetro – Parte I.....	61
<b>Tabla 7</b> Análisis Granulométrico por medio del Hidrómetro – Parte II.....	62
<b>Tabla 8</b> Límites de consistencia (límite líquido y límite plástico).....	63
<b>Tabla 9</b> Límite de contracción – Parte I.....	64
<b>Tabla 10</b> Límite de contracción – Parte II .....	65
<b>Tabla 11</b> Clasificación de suelos.....	66
<b>Tabla 12</b> Instrumento metodológico, ensayo compactación Proctor Modificado – Parte I... 51	
<b>Tabla 13</b> Instrumento metodológico, ensayo compactación Proctor Modificado – Parte II.. 52	
<b>Tabla 14</b> Instrumento metodológico, ensayo compactación Proctor Modificado – Parte III 53	
<b>Tabla 15</b> Instrumento metodológico, ensayo compactación Proctor Modificado – Parte IV. 54	
<b>Tabla 16</b> Instrumento metodológico, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Parte I.....	55
<b>Tabla 17</b> Instrumento metodológico, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Parte II .....	56
<b>Tabla 18</b> Instrumento metodológico, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Parte II .....	57
<b>Tabla 19</b> Recolección de datos del ensayo de Gravedad específica de los sólidos .....	64
<b>Tabla 20</b> Recolección de datos del ensayo análisis Granulométrico por medio del Hidrómetro – Parte I.....	69
<b>Tabla 21</b> Recolección de datos del ensayo análisis Granulométrico por medio del Hidrómetro – Parte II .....	70
<b>Tabla 22</b> Recolección de datos del ensayo, límites de consistencia (Líquido y plástico)- 1a. 74	
<b>Tabla 23</b> Recolección de datos del ensayo de límites de consistencia (Líquido y plástico)- 2b .....	75
<b>Tabla 24</b> Recolección de datos del ensayo de límites de consistencia (Líquido y plástico)- 3c .....	76
<b>Tabla 25</b> Datos, ensayo límite de contracción .....	80
<b>Tabla 26</b> Recolección de datos del ensayo, Proctor sin aditivo prueba 1 – Parte I.....	87
<b>Tabla 27</b> Recolección de datos del ensayo, Proctor sin aditivo prueba 1 – Parte II.....	88
<b>Tabla 28</b> Recolección de datos del ensayo, Proctor sin aditivo prueba 1 – Parte III .....	89
<b>Tabla 29</b> Recolección de datos del ensayo, análisis de Proctor sin aditivo prueba 2 – Parte I .....	90
<b>Tabla 30</b> Recolección de datos del ensayo, análisis de Proctor sin aditivo prueba 2 – Parte II .....	91
<b>Tabla 31</b> Recolección de datos del ensayo, análisis de Proctor sin aditivo prueba 2 – Parte III .....	92
<b>Tabla 32</b> Recolección de datos del ensayo, análisis de Proctor sin aditivo prueba 3 – Parte I .....	93



<b>Tabla 33</b> <i>Recolección de datos del ensayo, análisis de Proctor sin aditivo prueba 3 – Parte II</i>	94
<b>Tabla 34</b> <i>Recolección de datos del ensayo, análisis de Proctor sin aditivo prueba 3 – Parte II</i>	95
<b>Tabla 35</b> <i>Recolección de datos del ensayo, análisis de Proctor con aditivo prueba 1 – Parte I</i>	96
<b>Tabla 36</b> <i>Recolección de datos del ensayo, análisis de Proctor con aditivo prueba 1 – Parte II</i>	97
<b>Tabla 37</b> <i>Recolección de datos del ensayo, análisis de Proctor con aditivo prueba 1 – Parte III</i>	98
<b>Tabla 38</b> <i>Recolección de datos del ensayo, análisis de Proctor con aditivo prueba 2 – Parte I</i>	99
<b>Tabla 39</b> <i>Recolección de datos del ensayo, análisis de Proctor con aditivo prueba 2 – Parte II</i>	100
<b>Tabla 40</b> <i>Recolección de datos del ensayo, análisis de Proctor con aditivo prueba 2 – Parte III</i>	101
<b>Tabla 41</b> <i>Recolección de datos del ensayo, Proctor con aditivo prueba 3 – Parte I</i>	102
<b>Tabla 42</b> <i>Recolección de datos del ensayo, Proctor con aditivo prueba 3 – Parte II</i>	103
<b>Tabla 43</b> <i>Recolección de datos del ensayo, Proctor con aditivo prueba 3 – Parte III</i>	104
<b>Tabla 44</b> <i>Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 1-a)</i>	109
<b>Tabla 45</b> <i>Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 2-a)</i>	110
<b>Tabla 46</b> <i>Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 3-a)</i>	111
<b>Tabla 47</b> <i>Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 1-b)</i>	112
<b>Tabla 48</b> <i>Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 2-b)</i>	113
<b>Tabla 49</b> <i>Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 3-b)</i>	114
<b>Tabla 50</b> <i>Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 1-c)</i>	115
<b>Tabla 51</b> <i>Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 2-c)</i>	116
<b>Tabla 52</b> <i>Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 3-c)</i>	117
<b>Tabla 53</b> <i>Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 1-a)</i>	118
<b>Tabla 54</b> <i>Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 2-a)</i>	119
<b>Tabla 55</b> <i>Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 3-a)</i>	120
<b>Tabla 56</b> <i>Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 1-b)</i>	121
<b>Tabla 57</b> <i>Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 2-b)</i>	122



<b>Tabla 58</b> <i>Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 3-b).....</i>	123
<b>Tabla 59</b> <i>Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 1-c).....</i>	124
<b>Tabla 60</b> <i>Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 2-c).....</i>	125
<b>Tabla 61</b> <i>Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 3-c).....</i>	126
<b>Tabla 62</b> <i>Análisis de datos del ensayo, Gravedad específica de los sólidos.....</i>	129
<b>Tabla 63</b> <i>Factores de corrección por temperatura CT.....</i>	130
<b>Tabla 64</b> <i>Factores de corrección <math>\alpha</math> para el peso unitario de sólidos.....</i>	130
<b>Tabla 65</b> <i>Propiedades del agua destilada.....</i>	131
<b>Tabla 66</b> <i>Valores de L (profundidad efectiva) para usar en la fórmula de Stokes en la determinación de diámetros de partículas con el hidrómetro ASTM 152H.....</i>	132
<b>Tabla 67</b> <i>Valores del K de la ecuación para varias combinaciones de pesos unitarios y temperaturas.....</i>	133
<b>Tabla 68</b> <i>Análisis de datos del ensayo, granulometría por Hidrómetro – Parte I.....</i>	134
<b>Tabla 69</b> <i>Análisis de datos del ensayo, granulometría por Hidrómetro – Parte II.....</i>	135
<b>Tabla 70</b> <i>Factor para limite liquido.....</i>	136
<b>Tabla 71</b> <i>Análisis de datos del ensayo, límites de consistencia (Liquido y plástico)- 1a.....</i>	138
<b>Tabla 72</b> <i>Análisis de datos del ensayo, límites de consistencia (Liquido y plástico)- 2b.....</i>	139
<b>Tabla 73</b> <i>Análisis de datos del ensayo, límites de consistencia (Liquido y plástico)- 3c.....</i>	140
<b>Tabla 74</b> <i>Análisis de datos del ensayo, límite de contracción.....</i>	141
<b>Tabla 75</b> <i>Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado sin aditivo prueba 1-Parte I... 144</i>	144
<b>Tabla 76</b> <i>Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado sin aditivo prueba 1-Parte II.. 145</i>	145
<b>Tabla 77</b> <i>Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado sin aditivo prueba 1-Parte III. 146</i>	146
<b>Tabla 78</b> <i>Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado sin aditivo prueba 2 – Parte I. 147</i>	147
<b>Tabla 79</b> <i>Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado sin aditivo prueba 2 – Parte II 148</i>	148
<b>Tabla 80</b> <i>Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado sin aditivo prueba 2–Parte III 149</i>	149
<b>Tabla 81</b> <i>Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado sin aditivo prueba 3 – Parte I. 150</i>	150
<b>Tabla 82</b> <i>Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado sin aditivo prueba 3 – Parte II 151</i>	151
<b>Tabla 83</b> <i>Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado sin aditivo prueba 3 – Parte III.....</i>	152
<b>Tabla 84</b> <i>Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado sin aditivo prueba 3 – Parte IV.....</i>	153
<b>Tabla 85</b> <i>Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado con aditivo prueba 1 – Parte I 154</i>	154
<b>Tabla 86</b> <i>Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado con aditivo prueba 1 – Parte II.....</i>	155
<b>Tabla 87</b> <i>Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado con aditivo prueba 1 – Parte III.....</i>	156
<b>Tabla 88</b> <i>Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado con aditivo prueba 2 – Parte I 157</i>	157
<b>Tabla 89</b> <i>Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado con aditivo prueba 2 – Parte II.....</i>	158
<b>Tabla 90</b> <i>Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado con aditivo prueba 2 – Parte III.....</i>	159
<b>Tabla 91</b> <i>Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado con aditivo prueba 3 – Parte I 160</i>	160
<b>Tabla 92</b> <i>Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado con aditivo prueba 3–Parte II 161</i>	161



<b>Tabla 93</b> <i>Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado con aditivo prueba 3–Parte III</i>	162
<b>Tabla 94</b> <i>Análisis de datos del ensayo, del método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 1-a)</i> .....	165
<b>Tabla 95</b> <i>Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 2-a)</i> .....	167
<b>Tabla 96</b> <i>Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 3-a)</i> .....	169
<b>Tabla 97</b> <i>Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 1-b)</i> .....	171
<b>Tabla 98</b> <i>Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 2-b)</i> .....	173
<b>Tabla 99</b> <i>Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 3-b)</i> .....	175
<b>Tabla 100</b> <i>Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 1-c)</i> .....	177
<b>Tabla 101</b> <i>Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 2-c)</i> .....	179
<b>Tabla 102</b> <i>Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 3)</i> .....	181
<b>Tabla 103</b> <i>Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 1-a)</i> .....	183
<b>Tabla 104</b> <i>Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 2-a)</i> .....	185
<b>Tabla 105</b> <i>Análisis de datos del ensayo, Método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 3-a)</i> .....	187
<b>Tabla 106</b> <i>Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 1-b)</i> .....	189
<b>Tabla 107</b> <i>Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 2-b)</i> .....	191
<b>Tabla 108</b> <i>Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 3-b)</i> .....	193
<b>Tabla 109</b> <i>Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 1-c)</i> .....	195
<b>Tabla 110</b> <i>Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 2-c)</i> .....	197
<b>Tabla 111</b> <i>Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 3-c)</i> .....	199
<b>Tabla 112</b> <i>Consistencia del suelo en función a valores de Resistencia a la comprensión no confinada</i> .....	201
<b>Tabla 113</b> <i>Resultado de réplicas del ensayo de Gravedad específica de los sólidos</i> .....	202
<b>Tabla 114</b> <i>Resultado del ensayo de granulometría del suelo por hidrómetro</i> .....	203
<b>Tabla 115</b> <i>Resumen de resultados de los límites de Atterberg</i> .....	204
<b>Tabla 116</b> <i>Resultados de las réplicas del ensayo de Límite de Contracción</i> .....	205
<b>Tabla 117</b> <i>Resultados del ensayo de Proctor modificado – Muestra sin aditivo</i> .....	206
<b>Tabla 118</b> <i>Resultados del ensayo de Proctor modificado – Muestra con aditivo</i> .....	207
<b>Tabla 119</b> <i>Resultados del ensayo de comprensión no confinada</i> .....	209



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> <i>Presencia de suelo fino (arcilla y limo) en el territorio peruano.....</i>	3
<b>Figura 2.</b> <i>Qhapaq Ñan o gran Camino Inca .....</i>	15
<b>Figura 3.</b> <i>Muro de adobe de 12 metros de alto, Templo de Wiracocha .....</i>	16
<b>Figura 4.</b> <i>Cactus Echinopsis cuzcoensis, var. Cuzcoensis, Huachac, Cuzco, diversos usos de cactus en el antiguo Perú .....</i>	16
<b>Figura 5.</b> <i>Echinopsis cuzcoensis en fragmento de ceramio Inca.....</i>	17
<b>Figura 6.</b> <i>Recolección de caracoles y frutos de cactus columnares en ceramios Moche y flor de Echinopsis cuzcoensis .....</i>	17
<b>Figura 7.</b> <i>Muro de vivienda de la Cultura Churajon, se percibe diversas cactáceas en su interior.....</i>	21
<b>Figura 8.</b> <i>Cactus San Pedro (T. Pachanoi) en ceramios Cupisnique, tela pintada Paracas, urna Nazca y detalle de urna .....</i>	22
<b>Figura 9.</b> <i>Uso de mucílago de cactus en enlucido de barro .....</i>	24
<b>Figura 10.</b> <i>Gráficos de cactus en cerámica, cultura Moche, Opuntia macbridei, con venado y en una loma. Tunilla soehrensii en fragmento de huaco Inca .....</i>	25
<b>Figura 11.</b> <i>Cactus Austrocyllindropuntia Subulata de frutos alargados, espinas blancas, hojas largas subuladas, flor rojo-rosado.....</i>	28
<b>Figura 12.</b> <i>Cactus Austrocyllindropuntia Subulata subsp. Exaltata de espina marrón, flor rojo naranja .....</i>	29
<b>Figura 13.</b> <i>Cactus Opuntia Subulata salvaje y en cultivo .....</i>	31
<b>Figura 14.</b> <i>Fotografía de cactácea Pataquisca en Cusco (Austrocyllindropuntia Subulata) ..</i>	32
<b>Figura 15.</b> <i>Distribución de las especies de cactus del género Austrocyllindropuntia a nivel Nacional .....</i>	32
<b>Figura 16.</b> <i>Imagen de la muestra antes y después de ser colocada en el horno de secado ....</i>	55
<b>Figura 17.</b> <i>Registro del peso de la muestra de suelo húmedo .....</i>	60
<b>Figura 18.</b> <i>Muestras de suelo secadas al horno a temperatura constante .....</i>	60
<b>Figura 19.</b> <i>Muestras secas de suelo fino para la determinación del contenido de humedad..</i>	61
<b>Figura 20.</b> <i>Registro del valor de peso de muestras de suelo seco .....</i>	61
<b>Figura 21.</b> <i>Uso de la bomba de vacíos para desairado del agua de ensayo.....</i>	62
<b>Figura 22.</b> <i>Ensayo de gravedad específica, desairado de la muestra y registro de peso .....</i>	63
<b>Figura 23.</b> <i>Preparación de equipos y materiales, ensayo granulometría por hidrómetro .....</i>	65
<b>Figura 24.</b> <i>Transferencia de la mezcla en la maquina batidora .....</i>	66
<b>Figura 25.</b> <i>Procedimiento de preparación del cilindro de sedimentación y de control.....</i>	66
<b>Figura 26.</b> <i>Procedimiento del registro de datos en el cilindro de sedimentación y el cilindro de control. ....</i>	67
<b>Figura 27.</b> <i>Imágenes del registro de datos de sedimentación de las partículas de suelo y control de temperatura .....</i>	67
<b>Figura 28.</b> <i>Imagen de la muestra antes y después de ser colocada en el horno de secado ....</i>	68
<b>Figura 29.</b> <i>Ensayo límite líquido, graduación de equipo casa grande y colocación de suelo húmedo en la copa.....</i>	71
<b>Figura 30.</b> <i>Procedimiento del ensayo Límite líquido, preparación del suelo húmedo, acanalado, conteo del número de golpes para la obtención de la muestra.....</i>	72
<b>Figura 31.</b> <i>Muestra obtenida en el ensayo de límite líquido y determinación de contenido de humedad .....</i>	72
<b>Figura 32.</b> <i>Preparación del cilindro de suelo de 1/8" de diámetro, ensayo de límite plástico</i>	73





<b>Figura 33.</b> Equipos y materiales, ensayo límite de contracción.....	77
<b>Figura 34.</b> Preparación de la muestra de suelo húmeda, ensayo límite de contracción .....	78
<b>Figura 35.</b> Muestras de suelo seco, ensayo límite de contracción .....	78
<b>Figura 36.</b> Muestras de suelo recubiertas con una capa impermeable de parafina .....	78
<b>Figura 37.</b> Registro del peso del volumen desplazado por la galleta de suelo .....	79
<b>Figura 38.</b> Calibración de instrumentos, ensayo Proctor Modificado.....	81
<b>Figura 39.</b> Recolección y preparación del suelo fino para el estudio.....	82
<b>Figura 40.</b> Obtención del contenido de humedad del suelo fino, ensayo Proctor modificado	82
<b>Figura 41.</b> Preparación de 2.3 Kg de suelo para la adición de agua en los porcentajes establecidos .....	83
<b>Figura 42.</b> Preparación de la muestra de suelo a la humedad requerida .....	84
<b>Figura 43.</b> División del suelo en 5 partes iguales considerando las capas de compactación	85
<b>Figura 44.</b> Registro del peso del suelo compactado más molde Proctor sin anillo .....	86
<b>Figura 45.</b> Registro del peso de suelo seco posterior a la compactación .....	86
<b>Figura 46.</b> Equipos, materiales e insumos utilizados en el ensayo de compresión no confinada .....	105
<b>Figura 47.</b> Preparación de muestras de suelo al contenido de humedad óptimo, ensayo compresión no confinada .....	105
<b>Figura 48.</b> Preparación de la muestra de suelo fino para someterla a compactación, ensayo compresión no confinada .....	106
<b>Figura 49.</b> Compactación de suelo fino y registro de peso de suelo compactado más molde sin base.....	107
<b>Figura 50.</b> Extracción del suelo del molde de compactación y colocación de membrana ...	107
<b>Figura 51.</b> Probeta de suelo compactado en prensa de deformación, ensayo compresión no confinada.....	107
<b>Figura 52.</b> Registro del contenido de humedad del suelo fino, después del ensayo de compresión no confinada .....	108
<b>Figura 53</b> Esfuerzo versus deformación (Muestra 1-a).....	166
<b>Figura 54</b> Esfuerzo versus deformación (Muestra 2-a).....	168
<b>Figura 55</b> Esfuerzo versus deformación (Muestra 3-a).....	170
<b>Figura 56</b> Esfuerzo versus deformación (Muestra 1-b).....	172
<b>Figura 57</b> Esfuerzo versus deformación (Muestra 2-b).....	174
<b>Figura 58</b> Esfuerzo versus deformación (Muestra 3-b).....	176
<b>Figura 59</b> Esfuerzo versus deformación (Muestra 1-c).....	178
<b>Figura 60</b> Esfuerzo versus deformación (Muestra 2-c).....	180
<b>Figura 61</b> Esfuerzo versus deformación (Muestra 3-c).....	182
<b>Figura 62</b> Esfuerzo versus deformación (Muestra 1-a con aditivo).....	184
<b>Figura 63</b> Esfuerzo versus deformación (Muestra 2-a con aditivo).....	186
<b>Figura 64</b> Esfuerzo versus deformación (Muestra 3-a con aditivo).....	188
<b>Figura 65</b> Esfuerzo versus deformación (Muestra 1-b con aditivo).....	190
<b>Figura 66</b> Esfuerzo versus deformación (Muestra 2-b con aditivo).....	192
<b>Figura 67</b> Esfuerzo versus deformación (Muestra 3-b con aditivo).....	194
<b>Figura 68</b> Esfuerzo versus deformación (Muestra 1-c con aditivo).....	196
<b>Figura 69</b> Esfuerzo versus deformación (Muestra 2-c con aditivo).....	198
<b>Figura 70</b> Esfuerzo versus deformación (Muestra 3-c con aditivo).....	200



## CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Identificación del problema

#### 1.1.1. Descripción del problema

Actualmente el Perú cuenta con una gran brecha de infraestructura civil a lo largo de todo su territorio, la cual no ofrece una calidad de vida a sus ciudadanos.

Haciendo énfasis en el Plan Nacional de Infraestructura para la Competitividad, en el cual indica que “La competitividad de un país depende en gran medida del acceso a la infraestructura y la calidad de esta.”, se requieren materiales resistentes que aseguren la vida útil de estas obras ingenieriles.

El Plan Nacional de Infraestructura para la Competitividad indica que una infraestructura sólida permite, por ejemplo, reducir los costos de transacción, incrementar los flujos de información y reducir los tiempos de transporte de carga, con lo cual se pueden desarrollar actividades económicas en los sectores productivos que impacten directamente en la competitividad. Además, conecta a los ciudadanos con sus centros de trabajo y garantiza el acceso a servicios públicos, como postas médicas y colegios.

Innegablemente que los países más productivos presentan una mejor calidad de infraestructura. El Foro Económico Mundial indica que existe una relación positiva entre el PBI per cápita y la calificación de la calidad de infraestructura. Por lo que es de suma importancia que el Perú invierta en infraestructura de calidad que sea en beneficio para toda su población.

Uno de los problemas comunes de las ciudades es el deterioro de la infraestructura.

Por otra parte, nos encontramos frente a un cambio de época donde es inviable continuar con los mismos patrones que constituyan una limitación para alcanzar nuestro real potencial como productores a raíz de nuestras materias primas y con la innovación de nuevos productos aplicables a la mejora de las características mecánicas de nuestros materiales de construcción.

Según la agenda 2030 al ser ambiciosa y visionaria requiere la participación de todos los sectores de la sociedad, sus objetivos noveno y decimoprimeros indican respectivamente:

En cuanto a la Industria, innovación e infraestructura fomenta la construcción de infraestructuras resilientes, promueve la industrialización inclusiva y sostenible y fomenta la innovación.

En cuanto a ciudades y comunidades sostenibles fomenta lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.

De estos dos ítems se resaltan los siguientes puntos: Construcciones resilientes, innovación y sostenible.



Por lo que, se presenta un aditivo alternativo que no represente un impacto ambiental negativo para el medio ambiente, asimismo sirva como alternativa de otros que existan en el mercado, con la peculiaridad que el aditivo propuesto se fundamenta en el conocimiento ancestral, revalora nuestra riqueza biológica, siendo posteriormente sometido a la evaluación de sus propiedades de desempeño bajo los lineamientos de la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004, para su evaluación en el mejoramiento de las propiedades de desempeño de diversos materiales de construcción.

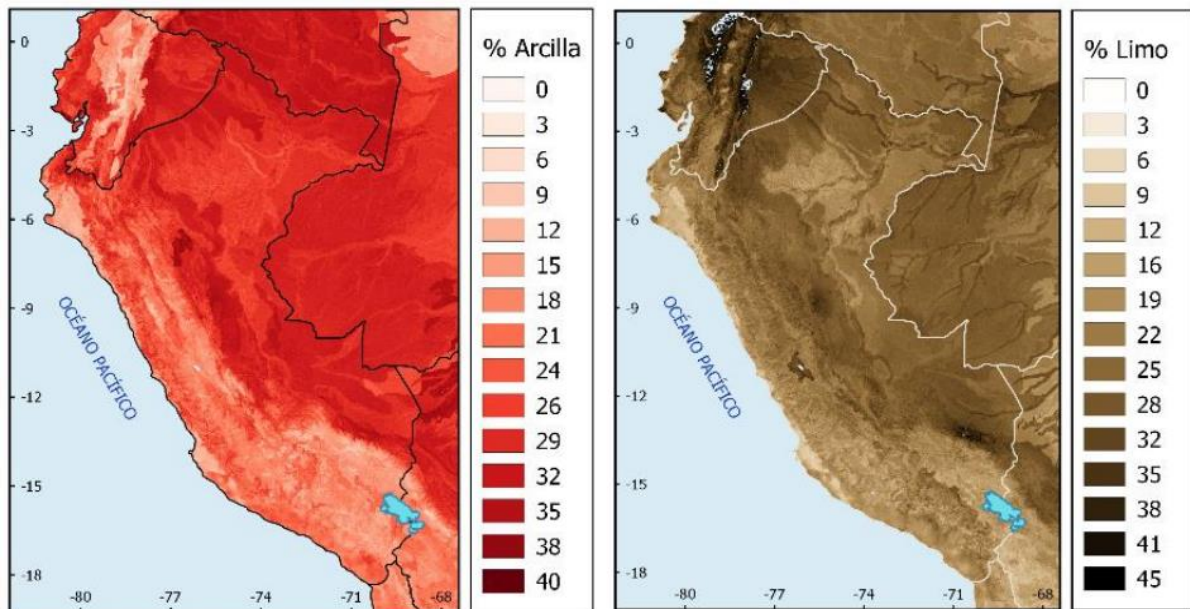
Para la evaluación se va ha visto conveniente el uso de un material que de acuerdo a sus características físico-mecánicas es considerado un material inadecuado como material de construcción al cual lo denominamos un suelo fino limoso de baja plasticidad.

El aditivo bajo los criterios teóricos se estima que podría mejorar dos propiedades de desempeño importantes dentro de las propiedades de desempeño del material sobre el cual es aplicado.

Estos resultados analizados bajo la norma técnica permitirían la aplicación del aditivo propuesto en la práctica de elaboración de otros materiales de construcción para el mejoramiento de sus características mecánicas.

Es importante mencionar que en el Perú hay un gran porcentaje de suelo fino presente con mayor grado en la sierra y la selva, por lo que el planteamiento de un aditivo natural bajo los lineamientos que establece la norma técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109 – 2004 optimiza el uso de suelo fino de tipo ML – limo de baja plasticidad, para que pueda ser tratado y usado como material de construcción.

**Figura 1.** Presencia de suelo fino (arcilla y limo) en el territorio peruano.



**Fuente:** Recuperado de “Atlas de erosión de suelos por regiones hidrológicas del Perú, SENAMHI-DHI-2017”

### 1.1.2. Formulación interrogativa del problema

#### 1.1.2.1.1. Formulación interrogativa del problema general

¿Cómo influye un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004?

#### 1.1.2.1.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos

❖ **Problema específico N° 01:**

¿Cómo influye un aditivo natural en la propiedad de desempeño - trabajabilidad de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004?

❖ **Problema específico N° 02:**

¿Cómo influye un aditivo natural en la propiedad de desempeño - capacidad de soporte de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004?



## **1.2. Justificación e importancia de la investigación**

### **1.2.1. Justificación técnica**

Esta investigación se desenvuelve en el contexto de la Ingeniería Civil en la especialidad de materiales de construcción, siendo el foco principal de estudio la estabilización de suelos.

Los aportes que brinda el tema de investigación a la ingeniería es la evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo los alcances que brinda la norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004, con el objetivo de verificar la efectividad del aditivo mediante las propiedades de comportamiento de trabajabilidad y la capacidad de soporte, en un determinado suelo fino de tipo ML, para su uso como material de construcción.

### **1.2.2. Justificación social**

Según el Plan Nacional de Infraestructura para la Competitividad, especifica que para que el objetivo de que el Perú se convierta en un país desarrollado, competitivo y sostenible, se debe potenciar nuestras capacidades productivas y avanzar en el cierre de brechas de infraestructura. Para ello hace mención que es clave imprescindible la inversión, la innovación, el emprendimiento y la productividad.

El trabajo realizado representa una innovación en el área de materiales de construcción, su estudio y el procedimiento empleado aligera el camino a nuevas innovaciones ya que servirá como una hoja de ruta y/o ejemplo demostrativo de como proponer un material y someterlo a pruebas específicas que permitan la autorización de su aplicación en obras de infraestructura civil, donde se indicaran las pautas que involucra el estudio mediante recursos locales y nacionales.

### **1.2.3. Justificación por viabilidad**

La investigadora cuenta con el tiempo necesario para culminar satisfactoriamente la investigación, hasta llegar a la culminación de la misma, así como los recursos económicos y demás recursos necesarios para la culminación del presente estudio.

En cuanto al estabilizante, su aplicación se hace sin ningún riesgo ya que es un producto natural, incoloro e inodoro, no tiene impacto ambiental, no es contaminante, ni tóxico.

### **1.2.4. Justificación por relevancia**

El presente estudio proporcionará el sustento necesario para la utilización del estabilizante natural en el mejoramiento de la calidad de diversos materiales de construcción con el fin de asegurar el tiempo de vida útil de una determinada infraestructura.



Aprovechando las oportunidades que brindan, los conocimientos ancestrales y nuestra biodiversidad, se propone un aditivo alternativo para el mejoramiento de las propiedades de desempeño de diversos materiales de construcción que no represente un impacto ambiental negativo para el medio ambiente, obteniéndose materiales mejorados que se usen en la construcción de infraestructura, que se vinculen a las características propias del Perú, enfocándose a la adaptación y mitigación de los riesgos asociados a su geografía y clima.

### **1.3.Limitaciones de la investigación**

La investigación presenta como antecedente principal un estudio realizado por mi persona, este estudio pretende ampliar los conocimientos en la evaluación el mejoramiento de las propiedades de comportamiento de un suelo fino al añadirle la propuesta de un aditivo natural para el mejoramiento de infraestructuras en obras civiles, siendo analizado mediante algunos de los aspectos citados en la norma técnica de estabilizadores químicos MTC E 1109-2004 cuyo fin es el de tratar la problemática sobre estabilizadores químicos tratándolo en dos aspectos fundamentales, desde la caracterización del estabilizador y la evaluación de las propiedades de comportamiento.

- ✓ La investigación se limita a la evaluación de un solo tipo de suelo fino sin estabilizar y estabilizado con un con la propuesta de un aditivo natural.
- ✓ En la presente investigación el estudio se delimita a proporcionar los alcances necesarios sobre la caracterización del estabilizador.
- ✓ La investigación se limita al estudio de un solo tipo de suelo fino, suelo extraído del distrito de San Jerónimo, sector denominado Pillao Matao, cercano a la subestación Rep. Perú.
- ✓ El estudio se limita a la evaluación de las variaciones que presenta el suelo fino en estudio al ser estabilizado a una dosificación indicada según los antecedentes realizados por mi persona y dosificaciones propias del producto (aditivo natural) para este tipo de suelo.
- ✓ Este estudio se limita asimismo al estudio de algunas de las propiedades de comportamiento del suelo sin estabilizar y estabilizado que son la trabajabilidad y capacidad de soporte, además que toma suma importancia en el control de humedad (humedad óptima) del suelo fino en estudio.
- ✓ El presente estudio se limita a la utilización de agua potable a temperatura ambiente.



- ✓ La presente investigación se limita a la preparación y dosificación del estabilizante citados en la Patente de la señorita Judith Olivera Granada, autora asimismo de la presente Tesis de investigación, por lo tanto, a una dosificación de 40% de agua y 60% de estabilizante del contenido óptimo de agua que necesita un suelo para llegar a su máxima densidad seca y pueda ser compactado, consideraciones que son tomadas como referencia de la patente de invención de Nro. De expediente 002838-2017/DIN, registrada en Indecopi, cuya autoría pertenece a la señorita Judith Olivera Granada, autora asimismo de la presente investigación.
- ✓ La elaboración del aditivo se restringe a la patente del mismo y algunas características de este, se mencionan en la presente investigación.
- ✓ Esta investigación se limita a la evaluación de la propiedad de comportamiento de trabajabilidad y capacidad de soporte evaluado mediante el ensayo de compresión no confinada (compresión simple) como indicador de la mejora de la capacidad de soporte del suelo.

#### **1.4. Objetivo de la investigación**

##### **1.4.1. Objetivo general**

Evaluar la influencia de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

###### **❖ Objetivo específico N° 01:**

Evaluar la influencia de un aditivo natural en la propiedad de desempeño - trabajabilidad de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004.

###### **❖ Objetivo específico N° 02:**

Evaluar la influencia de un aditivo natural en la propiedad de desempeño - capacidad de soporte de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004.



## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la tesis

#### 2.1.1. Antecedentes a nivel nacional

- **PRIMER ANTECEDENTE A NIVEL NACIONAL**

**TÍTULO:** “Construcción en adobe Mucílago de la penca de tuna”

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Materiales de construcción

**AUTORES:** Nieto Palomino, Lucero Antuhane  
Tello Pérez, Edna Florencia

**LUGAR:** Lima – Perú

**UNIVERSIDAD:** Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

**AÑO:** 2019

#### **Resumen de la investigación:**

La investigación aborda la estabilización del adobe a través de la utilización de mucílago de penca de tuna con el fin de mejorar sus propiedades físicas como material de construcción, en la investigación se explica que en la actualidad, el adobe es uno de los materiales más usados en la elaboración de viviendas en la Sierra del Perú por ser económico y de fácil adquisición; no obstante, este material al entrar en contacto con el agua pierde resistencia y durabilidad. Por tal motivo, la tesis tiene como objetivo diseñar una unidad de albañilería de adobe estabilizado con mucílago de penca de tuna con el fin de prolongar la vida útil de las viviendas populares. Para validar esta investigación se realizaron diversos ensayos, para el suelo ensayos preliminares, de campo y laboratorio, para el mucilago ensayos de densidad y viscosidad; las unidades de adobes estabilizados y convencionales se analizaron a través de ensayos mecánicos y físicos con la finalidad de comparar sus resultados.

#### **RESULTADOS:**

Los resultados obtenidos reflejaron que la unidad estabilizada presenta mejores resultados que el adobe convencional, se identificó que las dos mejores dosificaciones D: 20.5% y D: 18.0 % obtuvieron en compresión 23.3 kg/cm<sup>2</sup> y 25.2 kg/cm<sup>2</sup>, en flexión 17.62 kg/cm<sup>2</sup> y 17.61 kg/cm<sup>2</sup>, en absorción 10.99% y 11.43%, en inmersión se clasificó con daños leves y en la prueba de chorro de agua con 4.89 mm y 5.31 mm de profundidad de penetración respectivamente.





## **CONCLUSIONES:**

La investigación concluyo que la diferencia entre los resultados de compresión es mínima, ya que la dosis de 18% de mucílago de penca de tuna incrementa la resistencia a la compresión en 33.81% y la dosis de 20.5% de mucílago de penca de tuna incrementa la compresión en 23.72% con respecto al adobe convencional.

En los ensayos de compresión tanto en la unidad como la pila, la dosis de 18% de mucílago de penca de tuna obtiene mejores resultados, la resistencia de compresión en la unidad de adobe es 25.20 kg/cm<sup>2</sup> y la resistencia de compresión en la pila de adobe es 16.74 kg/cm<sup>2</sup>. Mientras que, en la dosis de 20.5% de mucílago de penca de tuna, la resistencia de compresión en la unidad de adobe es 23.30 kg/cm<sup>2</sup> y la resistencia de compresión en la pila de adobe es 14.77 kg/cm<sup>2</sup>.

En el ensayo de flexión, el incremento de las resistencias en comparación al adobe convencional es mínimo, la dosis de 18% de mucílago de penca de tuna incrementa la resistencia en 0.17% y la dosis de 20.5% de mucílago de penca de tuna incrementa la resistencia en 0.23%.

Luego de realizar el ensayo de absorción, los adobes convencionales se desmoronan por completo y no resisten a estar sumergidos en agua por 24 horas. En cambio, los adobes estabilizados con 18% de mucílago de penca de tuna de mucílago de penca de tuna absorben 11.43% de agua y los adobes estabilizados con 20.5% de mucílago de penca de tuna de mucílago de penca de tuna absorben 10.99% de agua.

Según las pruebas recomendadas por otros autores, ambas dosis resistirán a las grandes inundaciones y fuertes lluvias, la diferencia entre los resultados es mínima.

En el ensayo de inmersión ambas dosis presentan daños leves - moderados. En el ensayo de chorro de agua la dosis de 18% de mucílago de penca de tuna penetra 27.36% y la dosis de 20.5% de mucílago de penca de tuna penetra 33.5 % menos que el adobe convencional.

## **IMPORTANCIA DEL ANTECEDENTE PARA LA PRESENTE INVESTIGACIÓN:**

El antecedente presentado, muestra la utilización de un aditivo natural (mucilago de penca de tuna) con el fin de mejorar las propiedades físicas del adobe como material de construcción, realizando para ello la comparación de unidades estabilizadas con el aditivo con unidades no estabilizadas.

Es por ello que del antecedente presentado se utilizara como guía la metodología utilizada en el desarrollo de las pruebas de la presente investigación.



• **SEGUNDO ANTECEDENTE A NIVEL NACIONAL**

<b>TÍTULO:</b>	“Efecto del aditivo TERRAZYME en la estabilización de suelos arcillosos en subrasantes en la zona de expansión de la ciudad de Cajamarca”
<b>LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:</b>	Materiales de construcción
<b>AUTORES:</b>	Fernández Galvez Hernan Wilbert
<b>LUGAR:</b>	Cajamarca - Perú
<b>UNIVERSIDAD:</b>	Universidad Nacional de Cajamarca
<b>AÑO:</b>	2017

**RESUMEN DE LA INVESTIGACIÓN:**

La tesis consistió en determinar el efecto del aditivo TERRAZYME en la estabilización de suelos arcillosos de la subrasante en la zona de expansión sur este de la ciudad de Cajamarca – Huacariz. Se realizaron siete excavaciones geotécnicas, por cada muestra se realizó cinco ensayos colocando una proporción de terrazyme de 10, 20, 30 40 y 60 ml/m<sup>3</sup> para encontrar el porcentaje óptimo de terrazyme para el mejoramiento de la subrasante además se realizó 35 CBR con aditivo y siete de la muestra patrón.

**RESULTADOS:**

La utilización del aditivo Terrazyme en la estabilización de suelos arcillosos de la subrasante incrementó 19% de la capacidad de soporte del terreno. Con la adición del aditivo Terrazyme en sus diferentes porcentajes en las calicatas se concluyó que el aumento de la capacidad de soporte de terreno en 30 ml/m<sup>3</sup>, incrementó su resistencia, en la calicata 1: 113 %; calicata 2: 90%; calicata 4: 98%; calicata 5: 112%; calicata 6: 115%; calicata 7: 119%; calicata 3: 98%; Calicata 5:112%; calicata 6: 115%; calicata 7: 119%

**CONCLUSIONES:**

La investigación, concluyo que el aditivo TERRAZYME tiene efecto en el aumento de la capacidad de soporte de la subrasante en un 19%, en los suelos estudiados en Cajamarca.

Dentro de las características físicas y mecánicas evidenciadas en las calicatas muestra 1 presentan arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas arenosas, arcillas limosas arcillas magras de color marrón claro amarillento de clasificación SUCS (CL) con un equivalente a la clasificación AASHTO A-6(13), A-6(10), A-7-6(7), A-7-6(14), A-6(9) con profundidad de 1.50, estos suelos son impermeables, con resistencia a la tubificación alta,



resistencia al cortante media, susceptibilidad al agrietamiento de mediano a alta, susceptibilidad a la licuación de media a alta si mal compactados, manejabilidad de pobre a muy pobre. Sin nivel freático encontrado.

En el diseño patrón se encontró la variación al 95% de un CBR entre 3.54% a 4.30%, al 100% un CBR entre 5.60 % y 6.70%, un límite líquido que varía entre 35.37% a 45.33%, un límite plástico entre 18.46% a 26.83%, un índice de plasticidad entre 15.25% a 18.50%, un contenido óptimo de humedad entre 18.07% a 21.37% y una clasificación AASTHO entre un A-6 (10) a A-7-6 (14), respectivamente, que son arcillas de mediana alta plasticidad.

Con la adición del aditivo Terrazyme en sus diferentes porcentajes en las calicatas se observó que el aumento de la capacidad de soporte de terreno en 30 ml/m<sup>3</sup>, incrementó su resistencia, en la calicata 1: 13 %; calicata 5: 12%; calicata 6: 15%; calicata 7: 19%;

### **IMPORTANCIA DEL ANTECEDENTE PARA LA PRESENTE INVESTIGACIÓN:**

Este antecedente nos presenta resultados obtenidos mediante el uso de un aditivo específico, el aditivo TERRAZYME, y por lo tanto estos resultados sirven como referencia para la formulación de las hipótesis en la presente investigación.

#### **2.1.2. Antecedentes a nivel internacional**

- **PRIMER ANTECEDENTE A NIVEL INTERNACIONAL**

**TÍTULO:** “The effect of local waste aluminium material on the geotechnical properties of soft soil”

“El efecto del material de aluminio de desecho local sobre las propiedades geotécnicas de suelos blandos.”

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Materiales de construcción

**AUTORES:** Hassnen Mosa Jafer  
Basil Obaid Mahdia  
Zaid Hameed Majeeda  
Ibtehaj Taha Jawada

**LUGAR:** Babylon – Iraq

**UNIVERSIDAD:** University of Babylon – Iraq.

**AÑO:** 2021



### **RESUMEN DE LA INVESTIGACIÓN:**

La tesis explica que, debido al crecimiento de los sectores industriales en el mundo, la producción de materiales de desecho se incrementa significativamente a diario. Esto aumentaría el costo del relleno sanitario y el transporte de los materiales de desecho. La reutilización de materiales de desecho en el campo de la construcción representa una solución prometedora. Esta investigación representa los resultados de los trabajos experimentales del suelo blando tratado con aluminio de desecho local (WA) producido a partir de la fabricación de muebles de aluminio. Se utilizaron diferentes porcentajes de WA (0, 5, 10 y 15%) y se investigó el efecto de WA en diferentes propiedades geotécnicas de un suelo blando en términos de límites de Atterberg, parámetros de compactación y resistencia a la compresión no confinada.

### **RESULTADOS:**

El resultado indicó una modificación significativa en el índice de plasticidad del suelo después de usar WA, mientras que la densidad y la resistencia a la compresión disminuyeron con el aumento del porcentaje de WA.

### **CONCLUSIONES:**

El aluminio residual producido en la fabricación de muebles se puede utilizar eficazmente como estabilizador del suelo, particularmente en términos de mejorar la resistividad del agua del suelo. Los resultados de las pruebas de límites de Atterberg mostraron que el índice de plasticidad disminuyó notablemente con el aumento del porcentaje de WA, lo que indica una reducción en la propiedad de hinchamiento del suelo. Sin embargo, el uso de WA llevó a disminuir la MDD y aumentar la OMC. Debido a la reducción ocurrida en MDD después del uso de WA, la resistencia del suelo disminuyó significativamente.

### **IMPORTANCIA DEL ANTECEDENTE PARA LA PRESENTE INVESTIGACIÓN:**

Este antecedente nos presenta resultados obtenidos mediante el uso de un aditivo específico, con aluminio de desecho local (WA), mostrando estos, la reducción y el aumento en los valores de sus propiedades, por lo tanto, estos resultados sirven como referencia para la formulación de las hipótesis en la presente investigación.



• **SEGUNDO ANTECEDENTE A NIVEL INTERNACIONAL**

<b>TÍTULO:</b>	“Geotechnical characteristics of soil stabilised with Waste steel dust for soil improvement works”  “Características geotécnicas del suelo estabilizado con Residuos de polvo de acero para obras de mejora de suelos”
<b>LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:</b>	Materiales de construcción
<b>AUTORES:</b>	N H Hanis Abdullah N Najihah Hashim B Nizam Ismail R Keria R Ramli
<b>LUGAR:</b>	Pulau Pinang - Malasia
<b>UNIVERSIDAD:</b>	MARA University of Technology
<b>AÑO:</b>	2021

**RESUMEN DE LA INVESTIGACIÓN:**

Esta investigación realiza un estudio sobre una especie de material de desecho de la industria de suministro de medicamentos a saber, el polvo de acero de desecho, se centra en el potencial de residuos de polvo de acero como agente estabilizador del suelo basado en la mejora de la resistencia. La estabilización del suelo es llevada a cabo para mejorar las características geotécnicas del suelo problemático, como el suelo arcilloso marino. Se han determinado las propiedades de ingeniería del suelo arcilloso marino, como partículas de distribución de tamaño, densidad de partículas y plasticidad del suelo. La muestra de suelo se mezcló y compacto con diferentes cantidades de polvo de acero residual, es decir, 5%, 10% y 15% para compactación y prueba de fuerza. Se utilizó la técnica de peso seco para preparar estas muestras. Se realizó la Prueba de Proctor estándar para determinar el contenido óptimo de humedad (OMC) y la máxima densidad seca (MDD) de la muestra de suelo estabilizada. Mientras tanto se realizó una prueba triaxial no drenado no consolidado (UUT) para obtener la cohesión no drenada, CU del suelo estabilizado.



## CONCLUSIONES:

Recomendaciones de este estudio muestra que el polvo adicional de acero de desecho en el suelo arcilloso marino no es beneficioso, porque a medida que aumentaba el contenido del polvo de acero de desecho, el valor de OMC aumentaba y en los valores de MDD y CU disminuyó. Por lo tanto, el polvo de desecho de acero por sí solo es incapaz de convertirse en un agente estabilizador del suelo.

Sin embargo, en base a la comparación con un estudio anterior, se encuentra que la presencia de agente activado podría aumentar potencialmente el rendimiento del polvo de acero residual como suelo estabilizador. Los hallazgos significativos de este estudio contribuirían al conocimiento adicional de la literatura relacionados con obras de mejora de suelos con material de desecho.

## IMPORTANCIA DEL ANTECEDENTE PARA LA PRESENTE INVESTIGACIÓN:

Este antecedente nos presenta resultados obtenidos mediante el uso de un aditivo estabilizador a base de un material residual, polvo de acero residual y por lo tanto estos resultados sirven como referencia para la formulación de las hipótesis en la presente investigación.

### 2.2. Bases teórico científicas

#### 2.2.1. Estabilizantes de suelos a base de cactus en las culturas del antiguo Perú y en el mundo

Los opuntias han sido documentadas como elementos importantes de las culturas Paracas, Nazca, Moche, e Inca. Yacovleff & Herrera, 1934; Blasco & Ramos, 1980; Ostolaza, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000)

##### 2.2.1.1.1. Los Incas, Ciudad del Cusco

Materiales y pintura mural Inca (1470-1533 d.C.) E Ychma (900-1470 d.C.).

... proponen también el uso de un aglutinante de origen vegetal como savia de cactus Gigantón (*Trichocereus pachanoi*) —citando a Betanzos— y haciendo comparaciones etnológicas con “los indios en toda la Sierra” ... (Pozzi, 2014).

Para los trabajos de reemplazo y fijación de piedras en un determinado tramo del Qhapaq Ñan que llega al Machu Picchu se prepara mortero según la receta de los Incas que consiste en tierra, arcilla y cactus. (Parra Craviotto, 2015)



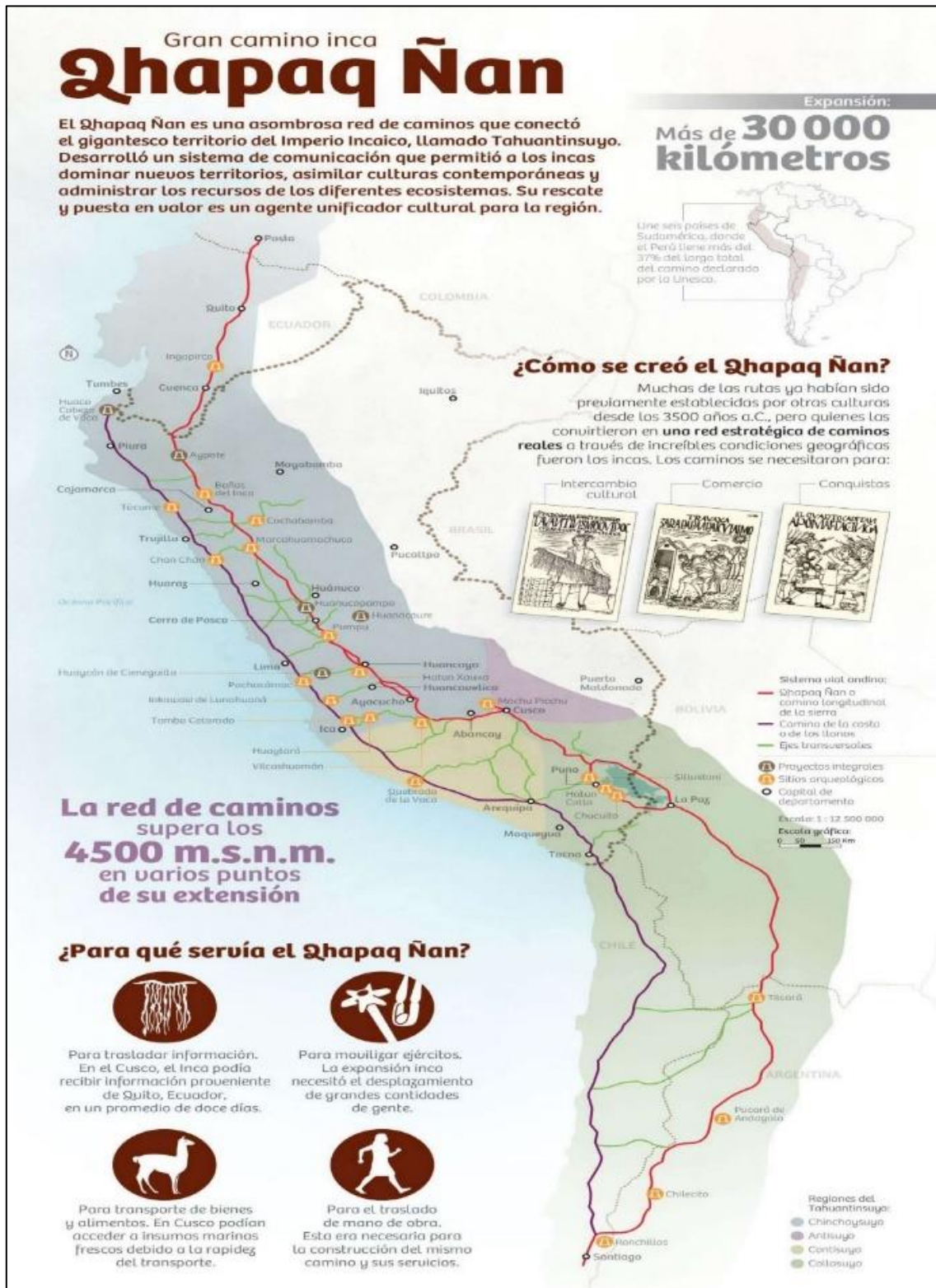
El personal indica que en los estudios realizados se han encontrado muestras de mucilago de en diferentes construcciones Incas y pre-Incas. (Cusco, 2016)

Información que es corroborada en la revisión de revistas locales que mencionan resultados de investigaciones realizadas y comentarios del conocimiento local transmitido de generación en generación sobre el Santuario de Wiracocha en la localidad de Raqchi indica:

Un muro que mide 12 m de alto, que posee una base lítica de construcción en piedra andesita de 3.00 m de altura, y encima, una construcción de adobe de 9.00 m de altura, en el cual se evidencia arqueológicamente, que está elaborado con cabello de humano, pelo de animales, bastante paja, y el jugo de cactus que es una especie de goma, que al mezclarse con el barro se encola fuertemente. El templo de Wiracocha es considerado el sector más importante del complejo Arqueológico de Raqchi, midiendo 92.00 m de largo, por 28.00 m de ancho y 12.00 m de alto. (Quispe, y otros, 2019)

Figura 2. *Qhapaq Ñan* o gran Camino Inca

Posee una gran extensión a lo largo de América del Sur, existen kilómetros de caminos incas casi intactos, donde se pueden apreciar aun las técnicas constructivas y de diseño”



Fuente: Extraído de <https://www.peru.travel/es-pe/sobre-peru/infografia/gran-camino-inca-qhapaq-nan.aspx>.





**Figura 3.** *Muro de adobe de 12 metros de alto, Templo de Wiracocha*

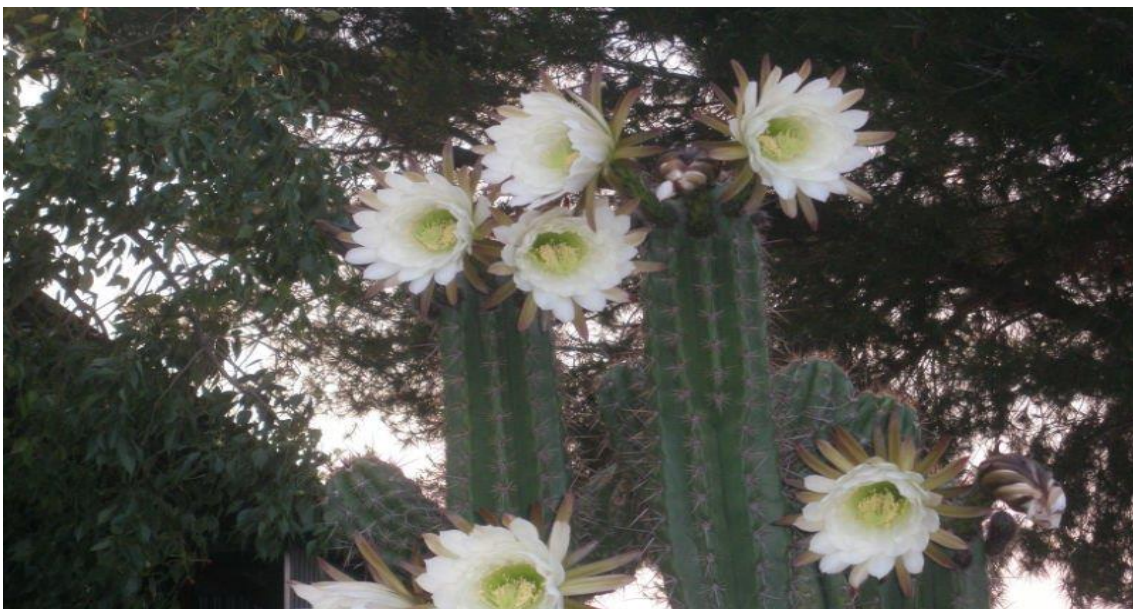
El más importante del complejo Arqueológico de Raqchi de 12.00 m de alto”



**Fuente:** Recuperado de <https://www.explorandes.com/es/conoce-ruinas-raqchi/>

#### 2.2.1.1.2. ECHINOPSIS CUZCOENSIS (AVACOLLAY)

**Figura 4.** *Cactus Echinopsis cuzcoensis, var. Cuzcoensis, Huachac, Cuzco, diversos usos de cactus en el antiguo Perú*



**Fuente:** <https://www.cactuseros.com/images/Imagenes/cactususuarios/Rosy/6817.jpg>

Ostoloza Nano, (2014) recoge un comentario del jesuita Bernabé Cobo que afirmaba que los Incas “...consumían las flores cocidas del “avacollay...” El avacollay es, para nosotros, la flor



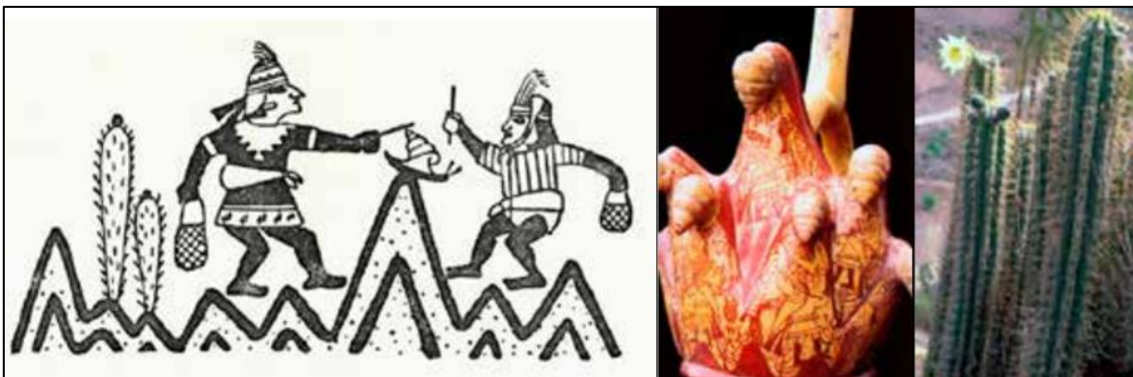
del *Echinopsis cuzcoensis*, que hasta ahora se añade a algunas sopas, en Cuzco. El fragmento de cerámica muestra este cactus columnar de flor blanca.

**Figura 5.** *Echinopsis cuzcoensis* en fragmento de cerámico Inca



**Fuente:** <http://www.minam.gob.pe/diversidadbiologica/wp-content/uploads/sites/21/2014/02/document.pdf>

**Figura 6.** *Recolección de caracoles y frutos de cactus columnares en ceramios Moche y flor de Echinopsis cuzcoensis*



**Fuente:** Recopilado de <http://www.minam.gob.pe/diversidadbiologica/wp-content/uploads/sites/21/2014/02/document.pdf>

Ostolaza Nano, (2014) menciona que aún en la actualidad es un producto de mucha demanda como colorante biológico para las industrias de los cosméticos y de los embutidos. Para terminar con este uso de los cactus como material útil, tenemos que Juan de Betanzos, quien en “Suma y Narración de los Incas” de 1551 se refiere al empleo del mucílago del aguacolla quisca, cactus columnar que hemos identificado como el *Trichocereus cuzcoensis*, como sucedáneo de la cola, como mordiente, para fijar la pintura a los muros incaicos. Dice: “...para que la mezcla pegase bien, (Inca Yupanqui) mandó que trujesen (sic) cantidad de unos cardones que ellos llaman “aguacolla quisca”, con el zumo de los cuales fueron untadas las paredes...”. Cobo en “Historia del Nuevo Mundo”, también se refiere a este uso y dice” ...se hace cola para blanquear



las paredes, echando a cocer trozos tiernos y el agua en que se cocieron queda glutinosa y a propósito para dicho efecto...”.

*Trichocereus cuzcoensis* Britton & Rose, en *The Cactaceae*, 2, 136 (1922). Sinónimo: *Echinopsis cuzcoensis* (Britton & Rose) Friedrich & Rowley, *IOS Bull.* 3(3): 95, 1974. Planta erecta, hasta 6 m de alto, muy ramificada de la base, costillas 7 a 8, redondeadas, espinas numerosas, hasta 12, muy fuertes, 7 cm. De largo, subuladas, amarillas, flor 15 cm. De largo, blancas. Distribución: Río Pampas, Ayacucho; Apurímac; valle del Vilcanota, Cuzco, 3000 m, frutos verdirrojos, comestibles. Herbarios: ZSS, SGO.

### **2.2.1.1.3. Cultura Churajon, ciudad de Arequipa**

Utilización de Penca de tuna y otras cactáceas identificadas para diferentes actividades como el cactus de nombre Pataquisca fueron utilizadas como material de construcción.

Posteriormente se encontraron restos de opuntia y otras cactáceas, formando parte de ofrendas con las que se enterraban a los muertos como anzuelos, alfileres o peines hechos con espinas de *Austrocylindropuntia exaltata* y *Neoraimondia arequipensis*. (Towle, 1961; Oztolaza, 1994; Piacenza & Ostolaza, 2002)

También se han encontrado restos de opuntia formando parte del material de construcción en algunas edificaciones prehispánicas. (Álvarez & Cáceres, Usos e importancia de las cactáceas en la cultura Churajón, 2003)

Álvarez, (1999) indica los usos e importancia de las cactáceas en la cultura Churajón. La cultura Churajon tiene sus orígenes en el Dpto. De Arequipa, cuyas áreas de influencia son la provincia de Arequipa y la provincia de General Sánchez Cerro (Dpto. De Moquegua), no llegando a establecer en las costas del Océano Pacífico. Su centro nuclear fue el Complejo Arqueológico de Churajon ubicado a 40 Km de la ciudad de Arequipa a 3060 m.s.n.m, 252 -256 latitud sur y 8160 -8156 longitud Oeste, (Hoja 34 -T 1: 100,000) coordenadas UTM, en dirección del santuario de Chapi y que está formado por núcleos urbanos administrativos, redes de canales, reservorios, cementerios, caminos y terrazas agrícolas con un total de 3,000 hectáreas, constituyendo un centro de desarrollo en el Sur del Perú, el núcleo principal de este Complejo Arqueológico es el Centro Administrativo Religioso de Churajon, estando conformado por otras áreas sub -urbanas como: Parasca, Cerro Torre Ccasa, Santuario de la Luna (cerro Choquellampa) y Gentilar, todos relacionados al núcleo principal. En la región Arequipa existían antiguos poblados dispersos en las cercanías de las riberas del río Chili y la campiña Arequipeña como: S´onkonata, Pillo, Yumina, Kasapatac, Pampa la estrella y Tambo de León



(Chiguata). Todo el grupo Churajon en general tenía un mismo idioma “el Puquina”, compartiendo una determinada forma de vasijas e iconografía, así como una arquitectura, y patrón urbano típico.

Una de las razones que se tiene referencia, es la utilización de plantas en la arquitectura de los muros, específicamente en la composición del mortero, siendo algunas variedades de cactáceas típicas de la región Arequipa, utilizadas en dicha elaboración, como: *Opuntia exaltata* u *Opuntia Subulata* conocida como “Pataquisca” o “Cacahuara”, *Corryocactus brevistylus* (Schumann ex Vaupel Britton & Rose) conocido como “Cure” o “Sancayo”. En el análisis del mortero (argamasa) se encontraron restos de cactaceas (espinas), herbáceas y árboles típicos de la zona y también otro tipo de elementos orgánicos como huesos, pelos de camélidos, marlos de maíz, fragmentos de cerámica, guijarros y carbón vegetal. Todos estos elementos analizados eran utilizados como mordientes, dándole cierta elasticidad y consistencia en la preparación de la masa (mortero) que por lo general era de consistencia arcillosa.

La característica de los muros en la arquitectura de Churajón se presenta por una mampostería ordinaria, cuyo tipo de piedras utilizadas fueron piedras de cantos rodados, cortadas y canteadas, estas dos últimas fueron utilizadas en la confección de Jambas y dinteles al igual que en las esquinas de la unión de los muros (parte exterior), siendo el mortero como unión entre las piedras. Para el análisis del mortero, las muestras fueron tomadas del Complejo Arqueológico de Churajón específicamente de la ciudadela de Parasca y del Centro Administrativo, en ambos sitios se sacó porciones de mortero de los muros de estas ruinas, como el único caso de muro de cajón ubicado en el poblado prehispánico de Parasca, donde los muros a ambos lados del relleno se han caído quedando expuesto el relleno, de donde se obtuvo una muestra.

De la Campaña Arequipeña se realizó igualmente un muestreo de la ciudadela de Tambo de León Ubicado en la localidad de Chiguata, (2850 m.s.n.m) donde se tomó una muestra dando similares resultados a los ubicados en el Complejo Arqueológico de Churajón.



**Tabla 1.** Cuadro de análisis de restos de Plantas encontradas en el complejo Arqueológico de Churajon (Polobaya) y Tambo de León (Chiguata)

N° de Muestra	CACTACEAS	OTRAS PLANTAS			OTROS ELEMENTOS
		Herbáceas	Arbustivas	Arbóreos	
1	<i>Corryocactus brevistylus</i> "cure" <i>Opuntia exaltata</i> "pataquisca"	<i>Stipa ichu</i> "ichu"	<i>Babesia weberbaueri</i> "capo colorado"	<i>Schinus molle</i> "molle"	Pelos de camélidos
2		<i>Cortaderia jubata</i> "cortadera"	<i>Baccharis</i> sp "chilco"		
3	<i>Opuntia exaltata</i> "Pataquisca"	<i>Stipa ichu</i> "ichu"		<i>Kageneckia lanceolata</i> "lloque"	Huesos de camélidos
4		Marlo de maíz		<i>Alnus jorullensis</i> "aliso"	Huesos quemados
5	<i>Opuntia exaltata</i> "Pataquisca"	<i>Viguiera peruviana</i> "Tire o Teja"			Fragmentos de Cerámica. Guijarros.

**Fuente:** Recuperado de <http://docplayer.es/40567992-Usos-e-importancia-de-las-cactaceas-en-la-cultura-churajon-dpto-arequipa.html>

Posiblemente también se usaron algunas especies columnares como *Neoraymondia arequipensis*, *Armatocereus ghiesbregtii* y otras especies como *Opuntia* spp, que fueron utilizadas por ser muy abundantes en éstas dos áreas y por tener la misma consistencia y compuestos químicos.

Cabe señalar que las espinas de las cactáceas eran utilizadas como prendedores, agujas de costura, entre otros usos en épocas prehispánicas. En la localidad de Chiguata se sostuvo conversaciones con los lugareños, quienes hacían referencia de la utilización de cactáceas en la elaboración del mortero con la finalidad de reparar y construir terrazas agrícolas, dándole según ellos impermeabilidad y resistencia ante los fenómenos atmosféricos (lluvia y viento); el tipo de cactácea utilizada es la *Opuntia ficus indica* "Tuna" específicamente los cladodios o pencas. El Comercio, (1995) menciona que se han realizado estudios para preparar un estabilizante para mezclas de tierras que sirvan como protección de muros contra la humedad y la lluvia, empleando cladodios o pencas de tuna y agua. Este estabilizante se obtiene al remojar en agua de 2 a 5 días rebanadas de pencas a las que previamente se les ha quitado la superficie espinosa. La mezcla de pencas y agua es una proporción en peso de 1 a 1. Dando buenos resultados en bloques de adobe, abaratando los costos de 3 a 5 veces, al reemplazar al asfalto, cemento o la cal. Este dato coincide con las encuestas realizadas en la localidad de Chiguata donde los lugareños utilizan los mismos métodos en la construcción de sus viviendas.

Además, las Cactáceas fueron utilizadas por los pobladores locales como leña, por tener un buen grado de combustión; es también de suponer que este tipo de cactáceas fueron utilizadas



como combustible en épocas prehispánicas e hispánicas, al igual que otras variedades de plantas de la región. En la actualidad los pobladores utilizan las cactáceas del lugar según las costumbres adquiridas y enseñadas por sus antepasados. Álvarez Zeballos (2016), indica que una de las razones que se tiene referencia, es la utilización de plantas en la arquitectura de los muros, específicamente en la composición del mortero, siendo algunas variedades de cactáceas típicas de la región Arequipa, utilizadas en dicha elaboración, como: *Opuntia exaltata* u *Opuntia Subulata* conocida como “Pataquisca” o “Cacahuara”, *Corryocactus brevistylus* (Schumann ex Vaupel Britton & Rose) conocido como “Cure” o “Sancayo”.

En el análisis del mortero (argamasa) se encontraron restos de cactáceas (espinas), herbáceas y árboles típicos de la zona y también otro tipo de elementos orgánicos como huesos, pelos de camélidos, marlos de maíz, fragmentos de cerámica, guijarros y carbón vegetal. Todos estos elementos analizados eran utilizados como mordientes, dándole cierta elasticidad y consistencia en la preparación de la masa (mortero) que por lo general era de consistencia arcillosa. Los cactus por su consistencia gelatinosa y adherente en sus compuestos químicos (mucílagos), por lo que se cree que eran los preferidos en la elaboración del mortero como mordiente.

**Figura 7.** *Muro de vivienda de la Cultura Churajon, se percibe diversas cactáceas en su interior*



**Fuente:** Recuperado de <https://docplayer.es/40567992-Usos-e-importancia-de-las-cactaceas-en-la-cultura-churajon-dpto-arequipa.html>

#### 2.2.1.1.4. Cultura chavín de Huántar, ciudad de Áncash

El Wachuma, Huachuma, Tsunaq, Wankay, Waytuq, San Pedro, Gigantón, Antorcha Peruana, Cardón, Cimorra, Tsunaq, (estudios arqueológicos han hallado evidencias de su uso que se remontan hasta hace diez mil años, en la Cueva de Guitarrero en Áncash, Perú) y Penca de Tuna, ambas cactáceas utilizadas en trabajos de restauración, emboquillado de muros y tratamiento de suelos. Los trabajos realizados durante las prácticas pre-profesionales pudieron corroborar los diferentes usos del mucilago de cactus en trabajos de conservación y mantenimiento de estructuras en el monumento Chavín de Huántar y otros monumentos arqueológicos, sus aplicaciones son variadas, el conocimiento sigue vivo en los pobladores que trabajan en el monumento.

El estudio de las manifestaciones artísticas de las culturas preincas ha permitido identificar otras especies de gran importancia, siendo el cactus “San Pedro” (*Echinopsis pachanoi* (Britton & Rose) Friedrich & Rowley o E. Peruviana (Britton & Rose) H. Friedrich & GD Rowley) el de mayor relevancia en el Perú prehispánico. (Ostolaza, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000; Reyna & Flores, 2001; Anderson, 2001)

**Figura 8.** *Cactus San Pedro (T. Pachanoi) en ceramios Cupisnique, tela pintada Paracas, urna Nazca y detalle de urna*



**Fuente:** <http://www.minam.gob.pe/diversidadbiologica/wp-content/uploads/sites/21/2014/02/document.pdf>



**2.2.1.1.5. Costa**

**2.2.1.1.6. Cultura Chimú**

Pozzi, (2014) indica que los materiales y pintura mural Chimú (900-1470 d.C.) ... fue identificada la presencia de materias orgánicas, tipo aglutinante, que corresponderían posiblemente, según los datos de espectrometría infrarroja, a savia de San Pedro (*Trichocereus pachanoi*) (Wright 2008) ...

...gracias a un protocolo experimental se pudo caracterizar los componentes orgánicos y fue posible poner en evidencia la presencia de dos aglutinantes: proteínas, debido al uso de un pegamento de origen animal cuya naturaleza exacta queda por precisar; y una cola vegetal, que corresponde muy probablemente a savia de San Pedro (*Trichocereus pachanoi*). Fue posible mostrar la validez de estos resultados sobre cinco fases constructivas estudiadas, es decir cinco siglos de ocupación del edificio, señalando una continuidad temporal en la elección de los materiales y de las técnicas pictóricas (Wright 2008, 2010)

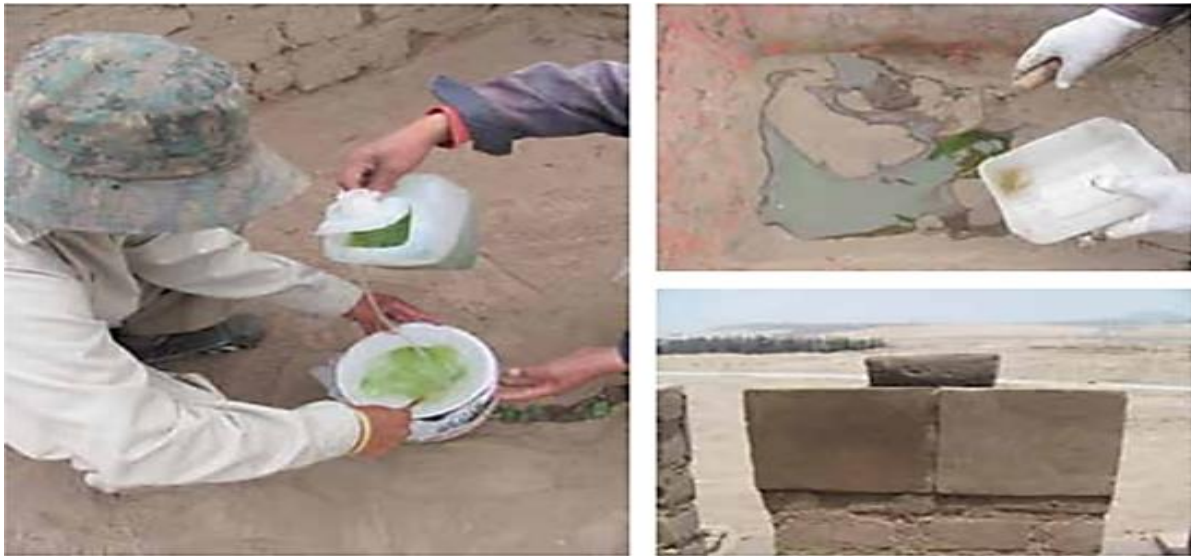
**2.2.1.1.7. Santuario arqueológico de Pachacamac**

Según los registros bibliográficos las culturas del antiguo Perú tuvieron mucho conocimiento en la utilización de diversos tipos de cactus. Los primeros restos sobre el uso de cactáceas encontrados en el Perú datan de la época del Horizonte Pre-agrícola (10,000-6000 años de antigüedad), y se encontraron en los basurales próximos a la cueva de Pachamachay en las cercanías del lago de Junín sobre los 4200 msnm. (Velarde Nuñez , 2006)

Pozzi, (2014) indica que en Pachacamac la conservación en arquitectura de tierra el mucílago de cactus de tuna (*Opuntia* sp), es un producto ampliamente utilizado en el área andina para elaborar enlucidos de barro para las casas y cuyo uso ha sido además registrado en la crónica de Betanzos (1968 [1551]), donde se señala que el Inca Yupanqui habría mandado untar las paredes de las casas con “Agaucolla quisca” Se ha comprobado la resistencia de este producto al agua y al medio ambiente, así como su alto grado de eficacia como consolidante, ya que evita las rajaduras y agrietamientos en los tarrajes de las casas de barro moderno.



**Figura 9.** *Uso de mucílago de cactus en enlucido de barro*



**Fuente:** Pachacamac, Conservación en arquitectura de tierra, Ministerio de Cultura.

#### **2.2.1.1.8. Sitio arqueológico de Caral**

Mediante la entrevista al personal del monumento de Caral pude corroborar el uso de trabajos de restauración con mucilago de Penca de Tuna. (Caral, 2018)

#### **2.2.1.1.9. El mucilago de cactus en otras culturas en el mundo**

Investigaciones con el mucilago de Nopal en México indican:...el mucílago ha sido utilizado exitosamente en morteros y estucos de cal, en estabilización de arcillas y en recubrimientos. En la aplicación el mucílago permitió el incremento de la resistencia mecánica, tuvo efecto sobre la trabajabilidad de la mezcla fresca de mortero, permitiendo un incremento en la manejabilidad para el llenado de los especímenes ensayados. (Martínez, y otros, 2008)

Ostoloza Nano, (2014) indica que pasando al tema de los cactus como plantas útiles en la alimentación tenemos la *Opuntia ficus indica*, que llamamos “tuna”. De la subfamilia *Opuntioideae*, es la especie más conocida y de mayor valor económico. Oriunda de México, se cultiva en muchos países, sobre todo fuera del continente.

En el mapa de los países que rodean el mar Mediterráneo vemos que tanto al sur de Europa (Portugal, Italia y Grecia) como al norte de África (Marruecos, Túnez y Libia) cultivan esta especie debido a su excelente clima y por la bondad de su fruta, como se aprecia en sus sellos postales. Incluso Israel la cultiva por la creciente demanda del mercado europeo. En el Perú la tuna se cultiva en varias Regiones, incluyendo Lima, en pequeña escala para el consumo local. También como hospedero de la “cochinilla”.



**Figura 10.** Gráficos de cactus en cerámica, cultura Moche, *Opuntia macbridei*, con venado y en una loma. *Tunilla soehrensii* en fragmento de huaco Inca



**Fuente:** MINAM. Todos los Cactus del Perú.

### 2.2.2. El mucilago

#### 2.2.2.1. Mucílagos vegetales

Muñoz López, (2016) indica que cuando se le ocasiona un daño físico a una cactácea o una parte de ella, excreta un compuesto viscoelástico llamado mucilago (Alger, 1997).

Por otra parte, los mucílagos son hidrocoloides (polisacáridos) ramificados de alto peso molecular, los cuales forman enlaces moleculares que son capaces de retener el agua en su estructura. (Saag, y otros, 1975; Trachtenberg & Mayer, 1981a)

Los mucílagos se encuentran en un gran número de plantas y se extraen de variedades de semillas, plantas y frutos tales como las cactáceas, la chía, la linaza y la okra entre otras. (Saag, y otros, 1975; mcgarvie & Paloris, 1979a; Trachtenberg & Mayer, 1981a; Ndjouenkeu, y otros, 1996; Medina Torres, y otros, 2000; Chen, Xu, & Wang, 2006; Koocheki, y otros, 2009; León-Martínez, y otros, 2011; Singer, y otros, 2011; Muñoz, y otros, 2012; Cervantes-Martínez, y otros, 2014)

Los mucílagos son polisacáridos completamente solubles en agua y tienen la capacidad de formar soluciones viscoelásticas. (Medina Torres, y otros, 2000; León-Martínez, y otros, 2011)

Por otra parte, los mucílagos están constituidos de un grupo diverso de azúcares tales como la glucosa, ramnosa, xilosa, arabinosa, entre otros, y tienen una amplia gama de propiedades fisicoquímicas. Además, estos materiales son muy utilizados en diversas aplicaciones industriales como, aditivos en algunos alimentos, en pinturas, en cosméticos, en la industria farmacéutica, en la elaboración de empaques y recubrimientos biodegradables, etc. (Saag, y otros, 1975; Medina Torres, y otros, 2000; Espino-Díaz, y otros, 2010; León-Martínez, y otros, 2010; Medina-Torres, y otros, 2013; Rivera-Corona, y otros, 2014).



### 2.2.2.2. Propiedades del mucílago en el suelo

El mucílago de nopal contiene polisacáridos que pueden influir en la actividad enzimática del suelo. Al ser un polisacárido, el mucílago de nopal puede afectar los agregados del suelo al proveer una fuente de material cementante, que funciona como un agente de unión temporal, mejorando la estructura del suelo y confiriendo protección a las enzimas extracelulares, que a su vez, serían menos propensas a los factores que inhiben su actividad. (Muñoz Bojorges, y otros, 2016).

La agregación es el proceso donde las partículas primarias del suelo interaccionan con las sustancias húmicas y otros cementantes orgánicos, formando agregados. Este es el primer paso en el desarrollo de la estructura del suelo. Los agregados del suelo influyen en la estructura del mismo generando condiciones favorables de estabilidad contra la erosión reduciendo la pérdida de nutrientes, mejorando la fertilidad y la infiltración de agua en suelos con problemas de drenaje, el flujo de aire, la mejora de los procesos de descomposición, formación y secuestro de carbono orgánico en el suelo (COS), además de promover un ambiente idóneo para el desarrollo de los microorganismos del suelo que favorecen a su vez la estructuración del mismo generando agregados más estables a fuerzas endógenas y exógenas. (Dexter, 2004)

Los cementantes orgánicos son polisacáridos de origen microbiológico, mucílago producido por raíces de plantas y algunas hifas fúngicas que se encuentran libres u ocluidas. (Muñoz Bojorges, y otros, 2016).

Los polisacáridos juegan un papel importante como agentes cementantes temporales. (Chenu, Bissonnais, & Arrouays., 2000).

Éstos en su mayoría son productos intermedios de la biodegradación y productos residuales del metabolismo microbiano, y actúan estabilizando puntos de contacto entre las partículas elementales del suelo, aunque este efecto no es permanente, por la continua degradación microbiana. (Tiessen & Stewart, 1988).

El mucílago de nopal (*Opuntia* spp.), tiene polisacáridos estructurales como; L-arabinosa, D-galactosa, ácido D-galacturónico, L-ramnosa y D-xilosa (Sáenz, 2002; Sáenz, Sepúlveda, & Matsuhira, *Opuntia* spp. Mucilage's: A functional component with industrial perspectives, 2004; Medina Torres, Brito de la Fuente, Torrestiana, & Katthain, 2000; Snyman, 2006; Duru & Turker, 2005; Matsuhira, Lillo, Sáenz, Urzúa, & Zárate, 2006; Sepúlveda, Sáenz, Aliaga, & Aceituno, 2007) por lo que se puede utilizar como un aditivo natural para mejorar la agregación



del suelo, porque incrementaría la cantidad de cementantes temporales. Además, el mucílago de nopal puede cambiar la población microbiana del suelo, y generar mayor producción de enzimas extracelulares. Las cuales pueden quedar unidas a arcillas y materiales húmicos por medio de interacciones iónicas, enlaces covalentes, y puentes de hidrógeno. (Bakshi & Varma, 2011).

Las enzimas del suelo son fácilmente medibles y responden rápido a las alteraciones físicas, químicas y biológicas, son importantes por ser indicadores de calidad del suelo (Calderón, Jackson, Scow, & Rolston, 2000; Doran, Drijber, Lyon, & Parkhurst, 2000; Kandeler, Nannipieri, & Ruggiero, 2002)

Imprescindibles en la catalización de varias reacciones importantes, necesarias para los procesos de vida de los microorganismos en el suelo y la estabilización de la estructura del suelo, den descomposición de desechos orgánicos, y el ciclo de nutrientes. (Cheng, Dick, & Wang, 2000)

Pardo, (2019) menciona que la etnobotánica de algunas cactáceas y suculentas del Perú.

El objetivo del trabajo fue investigar las relaciones existentes entre la población y algunas especies de cactáceas (19) y suculentas (11). Las informaciones se obtuvieron a través de conversaciones informales con personas del medio urbano y rural, consultadas al azar de acuerdo con la disponibilidad u ocasión, en 8 departamentos del país. Para efectos del análisis, las respuestas se registraron en fichas individuales por informante. Visitas de terreno permitieron precisar algunas informaciones, conocer el hábitat y observar las especies.

La información se presenta por orden alfabético de los géneros. Las aplicaciones fueron agrupadas en los rubros: alimentario, medicinal, veterinario y otras. Los resultados muestran las variadas aplicaciones de estas especies, muchas de las cuales tienen usos medicinales y en veterinaria siendo algunas comestibles. Con frecuencia la población busca en estas plantas protección para la casa, la familia y los negocios. Se ponen en los muros para defender los predios de ladrones, brujerías o malos espíritus y está muy extendida también la costumbre de disponer maceteros que además de ornamentales son proyectivos. Aunque muchas veces la relación de estas especies con el hombre aparece disminuida y con frecuencia no se les atribuye ningún valor, la investigación da cuenta de las numerosas aplicaciones que la población hace de ellas.

Perú está situado en la costa occidental de América del Sur, entre los 3° 26' y los 18° 20' de latitud sur aproximadamente. El territorio presenta particulares características geográficas, recorrido casi en la dirección de los meridianos por la cordillera de los Andes, el desierto costero y el llano amazónico. Al oriente bañado por el sistema fluvial del río Amazonas y al occidente



por el océano Pacífico. Estas condiciones generan una importante diversidad de ecosistemas confiriéndole una gran riqueza natural.

Según el informe de la IOS (Hunt & Taylor 1999), las cactáceas en el país están representadas por unos 34 géneros y 255 especies que se han adaptado, siendo el 90% endémicas del Perú. En cuanto a la distribución de cactáceas en el país, sólo en dos de las 8 regiones naturales existentes en el país (Pulgar 1980), no habían sido reportadas al año 1992 (Ostolaza, 1992): la Janca o cordillera y la Omagua o bosque bajo.

Las cactáceas son plantas perennes que han evolucionado generando mecanismos de adaptación, los que les dan un aspecto morfológico particular y les permiten economizar y concentrar el agua en el tronco y la raíz. Mediante esos mecanismos de adaptación pueden hacer frente a las condiciones extremas de aridez en las que la gran mayoría se desarrolla. Las cactáceas se diferencian de otras suculentas especialmente por la presencia de areolas en sus ramas, estructuras en las que se sitúan las espinas, las flores y los frutos. Es una familia esencialmente americana.

### 2.2.2.3. Materia prima del aditivo: CACTÁCEA AUSTROCYLINDROPUNTIA SUBULATA. (PATAQUISCA)

**Figura 11.** *Cactus Austrocyllindropuntia Subulata de frutos alargados, espinas blancas, hojas largas subuladas, flor rojo-rosado*



**Fuente:** MINAM, Biodiversidad biológica, todos los cactus del Perú

La especie escogida para el presente estudio es la denominada *Austrocyllindropuntia Subulata* de nombre común Pataquisca, elegida en el estudio por su amplia distribución a nivel nacional, su fácil crecimiento, por su novedad aplicativa y por muchas razones que se muestran a lo largo de la presente tesis de investigación.

Ostolaza Nano, (2014) indica que:

*Austrocyllindropuntia Subulata* subsp. *Exaltata* (Berger) Hunt, *Cact. Syst. Init.* 14: 11, Oct. 2002.



Tipo: no designado, nombre basado en una planta cultivada.

Basónimo: *Opuntia exaltata* Berger, Hort. Mortolensis, 232, 1912.

Sinónimo: *Cylindropuntia exaltata* (Berger) Backeberg en Backeberg & Knuth, Kaktus-ABC, 120, 1936. Nombres vulgares: “espino”, en Yura; “Pataquisca” en Chiguata; “cacahuara” en Pocsi, Arequipa. El nombre específico alude a las largas espinas.

Difiere de la especie en ser más alta, tener ramas más largas, verde glauco, tubérculos más alargados, hojas más cortas, espinas amarillo-marrón, más largas, hasta 13 cm., fruto esférico con pocas semillas, 1 a 4. Distribución: Lima (Yauyos), Junín, Arequipa, Cuzco, Puno, 1800 a 2650 msnm. También en Bolivia y Argentina. Lo hemos categorizado como: Vulnerable (VU). Herbario: SGO, ZSS.

**Figura 12.** *Cactus Austrocylindropuntia Subulata subsp. Exaltata de espina marrón, flor rojo naranja*



**Fuente:** MINAM, Biodiversidad biológica, Todos los cactus del Perú.

Pereira, (2017) indica:

- ✓ Origen: Perú, es nativa de Sudamérica principalmente en Perú y Ecuador. Muy difundida como planta ornamental.
- ✓ Nombre botánico: *Opuntia Subulata*
- ✓ Otros nombres: *Austrocylindropuntia Subulata*
- ✓ Familia: Cactaceae
- ✓ Género: *Opuntia*
- ✓ Nombre común en castellano: Alfileres de Eva.
- ✓ Distribución general: América del Sur
- ✓ Época de floración: Mayo, junio, julio, agosto. Florece desde que se inicia el verano de una manera abundante.



- ✓ Formas vitales: Nanofanerófito.
- ✓ Hábitat: Cultivada en jardines y naturalizada.
- ✓ Calidad: Es muy utilizada en jardines para cactáceas.
- ✓ Condición: Perenne.
- ✓ Morfología: Forma cilíndrica coronada con areolas. Bajo las espinas largas emergen hojas carnosas y cilíndricas que se pierden con el crecimiento de la planta. Estas surgen en primavera y caen en invierno.
- ✓ Acomodar: Mientras tenga un tamaño manejable en maceta, luego en suelo.
- ✓ Flor: Flores grandes muy vistosas, son de color rojo y con la parte interna anaranjada. Sus flores son pequeñas (7 cm de longitud). Necesitan algo de sombra, pero muy poca y soporta bajas temperaturas. Nacen en ejemplares de gran tamaño. Floración en primavera y verano.
- ✓ Situación: Se debe ubicar a pleno sol durante todo el año, sobre todo los ejemplares adultos.
- ✓ Singularidad: Los ejemplares grandes producen frutos de color verdoso.
- ✓ Riego: De forma escasa.
- ✓ Cuidados especiales: Ninguno es una planta bastante rústica. Cuidado: tiene un crecimiento muy rápido y descontrolado. Si es para jardín será necesario podarlo para poder controlar la planta.
- ✓ Abono: Apenas requiere.
- ✓ Curiosidades: La superficie del tallo está cubierta de tubérculos aplanados.
- ✓ Reproducción: Se propaga principalmente por esquejes de tallo. Se extiende gracias a la fragmentación de las ramas.
- ✓ Multiplicación: Muy fácil por esquejes de tallo. También se puede por semilla.
- ✓ Sinónimos: *Cylindropuntia Subulata*, *Opuntia ellemeetiana*, *Opuntia segethii*, *Opuntia Subulata*, *Pereskia Subulata*.
- ✓ Luz / Temperatura: La temperatura más baja soportada por este cactus es en promedio: 10°C. Pleno sol, necesitan mucha luz.
- ✓ Síntomas: Si vemos que pierde todas sus hojas o que estas presentan un color rojizo es que algo le pasa a nuestra planta.
- ✓ Descripción: De naturaleza robusta tiene un crecimiento columnar y muy ramificada, de porte erguido puede llegar a medir 4 metros de alto y un diámetro de hasta 10 cm.
- ✓ Observaciones: Cultivada como ornamental y naturalizada.



- ✓ Características: Planta robusta y erecta (2-4 m de altura) de crecimiento columnar y tallos cilíndricos y ramificados. Las hojas tienen forma de espada con una punta fina en el ápice de longitud de 5-8 cm. Presenta espinas (1-4) muy rígidas y rectas, de color blanco y hasta 8 cm de longitud. Las flores son muy grandes y vistosas de color rojo que no se abren por completo. El fruto tiene forma de segmento de color verde con espinas cortas. Se diferencia de *O. Cylindrica* por tener hojas más largas (5 cm) y persistentes y por tener tubérculos (y no aréolas con gloquidios) en la parte exterior del fruto.
- ✓ Los tallos se ramifican y presentan espinas largas y fuertes de color cremoso. Domene, (2017) indica que ya sea salvaje o cultivada, dependiendo de las condiciones en las que se encuentre podrá presentar diversas formas.

Salvaje: Si la *Opuntia Subulata* crece sin riego (solo agua de lluvia), sin poda y sin abono tendrá un aspecto más peligroso pues le crecerán menos hojas y más pequeñas y más espinas más grandes. Formará un gran macizo intraspasable y peligroso, en el que se acumularán tallos muertos y será un criadero estupendo de serpientes. Claro que muchas veces es esto mismo lo que se quiere conseguir, puesto que este cactus se suele plantar en vallas de campos y chalets para evitar la entrada de ladrones, ya que no precisa absolutamente ningún cuidado para conseguir un macizo enorme. Prácticamente, podemos dejar caer tallos de esta planta en el suelo y ella ya se las apaña.

**Figura 13.** *Cactus Opuntia Subulata salvaje y en cultivo*







**Fuente:** <http://blogs.ua.es/cactus/2011/12/15/opuntia-subulata-alfileres-de-eva/>

Cultivada: Si la *Opuntia Subulata* crece bajo cuidados (esto es lo ideal) podremos se obtendrá un aspecto más afable. Sus largas espinas reducirán el tamaño incluso desaparecerán para dejar paso a unas hojas largas y carnosas.

Esta especie no necesita grandes cuidados, pero con un riego regular se podrá conseguir multiplicar el crecimiento. Su porte arbóreo verde intenso y sus flores anaranjadas.

**Figura 14.** *Fotografía de cactácea Pataquisca en Cusco (Austrocyllindropuntia Subulata)*



**Fuente:** Elaboración propia

La distribución de la especie del género *Austrocyllindropuntia* muestra su gran adaptabilidad a diferentes climas y su presencia a lo largo del territorio peruano.

**Figura 15.** *Distribución de las especies de cactus del género Austrocyllindropuntia a nivel Nacional*



Fuente: Extraído de MINAM, Todos los cactus del Perú.

#### 2.2.2.4. Aditivo a base de mucilago de Pataquisca (*AUSTROCYLINDROPUNTIA SUBULATA*)

El aditivo a base de mucilago de Pataquisca (*Austrocyliodropuntia Subulata*) incrementa la resistencia de un suelo al ser aplicado sobre él, mejorando de esta forma propiedades geotécnicas del suelo, logrando así que el suelo sobre el que se aplica sea apto para el proceso constructivo. El aditivo deberá ser aplicado a una dosificación de 40% de agua y 60% de aditivo en función al contenido óptimo de agua. (Perú Patente n° 002838, 2017)

#### 2.2.3. Suelo fino

El suelo se clasifica según el tamaño de los granos que lo conforman; de acuerdo a esto son considerados suelos finos los Limos que son partículas entre 0.074 mm y 0.002 mm y las arcillas que son partículas menores a 0.002 m, esto nos ayudara a poder entender y relacionar claramente las diversas características y el comportamiento de estos suelos.

Los suelos finos se basan principalmente en que las partículas individuales no son visibles a simple vista.

#### Identificación de los suelos finos



En laboratorio, la diferencia entre suelos finos y gruesos, está normalizada y se consideran suelos finos los que pasan por la malla N° 200 (0.074 mm).

### Observaciones comunes a suelos finos

1. **Compacidad o consistencia:** Para suelos finos se habla de consistencia, y sus estados se conocen como firmes, medios y blandos. Se requiere experiencia para el reconocimiento de estos estados.
2. **Color:** Debido a que con la variación de humedad varía el color, es siempre recomendable dar el color del suelo insitu (en terreno). Colores muy oscuros son muchas veces indicación de alto contenido orgánico. Colores claros indican suelos inorgánicos.
3. **Olor:** Las muestras frescas de suelo orgánico tienen un olor característico de materias orgánicas descompuestas. No es necesario indicar que un suelo no tiene olor.
4. **Estado de humedad:** seco, húmedo, muy húmedo, saturado

Para suelos finos la resistencia del suelo seco (a ser realizado con las manos sobre un trozo de suelo) entrega una información adicional para su identificación. Resistencias bajas corresponden a limos y resistencias altas a arcillas.

#### 2.2.4. Estabilización de suelos

Es el proceso mediante el cual los suelos naturales se someten a cierta manipulación o tratamiento de modo que se puedan aprovechar sus mejores cualidades, obteniéndose posteriormente un firme estable que tiene la capacidad de soportar los efectos de tránsito y las condiciones de clima más severas. (Crespo, 2004)

Con el diseño y técnicas de construcción apropiadas, el tratamiento con determinado aditivo transforma químicamente los suelos inestables en materiales utilizables por ejemplo el soporte estructural de los suelos estabilizados puede ser aprovechado en el diseño de pavimentos. (Obtenido de Apuntes Ingeniería Civil, 2017)

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2017), indica mediante el MTC E 1109 -2004 Norma técnica de estabilizadores químicos, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. DGS y F-Perú.



Esta normativa hace referencia a dos partes importantes, a la caracterización del estabilizador y a la evaluación de las propiedades de comportamiento

La Resolución directoral N° 007-2004-MTC/14, MTC, 2004 indica en cumplimiento a su organización y funciones del ministerio de transportes y comunicaciones, la Dirección general de caminos y ferrocarriles a través de sus pertinentes instancias tiene a su responsabilidad el estudio y preparación de normas técnicas de vialidad a nivel nacional, sobre el uso y desarrollo de la infraestructura de carreteras, puentes y ferrocarriles así mismo fiscaliza su cumplimiento en las redes viales del país.

Bajo estas condiciones se preparó la norma técnica la entidad aprueba la normativa de Ensayo sobre estabilización química de suelos, caracterización del estabilizador y evaluación de propiedades de comportamiento del suelo, que ha tenido la intervención de la Oficina de apoyo tecnológico en la fase de estudio y evaluación de los suelos mejorados, previa decisión de los miembros de la comisión para la aplicabilidad de estabilizadores de suelos (Resolución Ministerial N° 062 – 2003 MTC /02), quienes han actuado en base a los lineamientos establecidos en la Directiva N° 005 – 2003.

En su elaboración se ha tomado en cuenta la norma ASTM D 4609-86 Standard guide for screening chemical for soil stabilization, siendo complementada con contenidos referidos a la documentación técnica, rotulación, etiquetado del producto y los ensayos empleados en la evaluación de propiedades de desempeño del suelo mejorado.

Esta Norma Técnica ha sido elaborada para establecer un procedimiento de verificación en que los estabilizadores químicos cumplan con las características técnicas esenciales en su elaboración, las mismas que han sido previamente definidas por su representante en el ámbito nacional e instituye las técnicas de ensayo que conviene emplear en la evaluación de las propiedades de comportamiento del suelo mejorado.

Esta normativa es de aplicación en proyectos viales que ejecuta el ministerio de transportes y comunicaciones del Perú. Esta normativa no es aplicable a la utilización de productos como cemento y asfalto, excepto a cuando estos se incorporan en conjunción con el estabilizador químico en porcentajes inferiores a los usualmente utilizados en estabilizaciones suelo – cemento y suelo asfalto, la normativa tampoco es aplicable a estabilizadores químicos como ceniza y cal; asimismo no es aplicable a riegos superficiales que no consideren una mezcla íntima y homogénea con el suelo que se desea tratar.



#### **2.2.4.1. Estabilización química de suelos**

Norma técnica de estabilizadores químicos MTC E 1109 (2004) menciona que la estabilización química de suelos es una tecnología que se basa en la aplicación de un producto químico, denominado estabilizador el cual se debe mezclar homogénea e íntimamente con el suelo que se desea tratar y/o curar de acuerdo a especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante. La aplicación de un estabilizador químico tiene como objetivo primordial transferir al suelo tratado, en un espesor definido, ciertas propiedades propensas a mejorar las propiedades de comportamiento del suelo estabilizado ya sea en la etapa de construcción y/o de servicio.

##### **2.2.4.1.1. Estabilizadores químicos**

Norma técnica de estabilizadores químicos MTC E 1109 (2004) menciona que los estabilizadores químicos abarcan una gran variedad de tipos de entre los cuales se encuentran sales, productos enzimáticos, polímeros y sub productos del petróleo.

Los estabilizadores químicos pueden actuar sobre una o varias de las propiedades de desempeño del suelo sobre el cual es aplicado, dependiendo del tipo específico de estabilizante y de las condiciones de aplicación del estabilizador, además que un factor determinante en las mejoras dependerá del tipo de suelo tratado.

La estabilización química de suelos puede cumplir diferentes funciones si se aplica sobre la carpeta de rodado, la capa intermedia (base o subbase) o subrasante.

##### **2.2.4.1.2. Caracterización del estabilizador**

Norma técnica de estabilizadores químicos MTC E 1109 (2004) indica:

La norma técnica de estabilizadores químicos establece el procedimiento para verificar que el estabilizador cumple con las particularidades indicadas en la documentación técnica entregada por el fabricante o distribuidor.

El estabilizador químico debe incluir un manual informativo y hojas de datos de seguridad de productos químicos (HDS) a considerar durante su aplicación y una hoja de datos de seguridad para transporte (HDST); en salud y medio ambiente el aditivo estabilizante debe cumplir con la legislación vigente que debe tener relación con todas y cada una de las etapas de su ciclo de vida, la información errónea o incompleta relativa a salud y medio ambiente, se considera como un no cumplimiento de esta norma y además de exclusiva responsabilidad del productor y/o distribuidor del producto.

Por otra parte, hay responsabilidad del supervisor de obras quien debe exigir la certificación del producto de tal forma de verificar las características de este y las condiciones en que se debe utilizar.



Los estabilizadores químicos deben ir acompañados por:

**a. Documentación técnica:**

- ✓ Manual Informativo: Este documento debe hacer referencia a los potenciales riesgos para la salud de las personas que manipulan el producto, sus posibles incidencias en el medio ambiente y debe contener a lo menos la información siguiente: Nombre del producto, nombre del fabricante o distribuidor, descripción del producto, composición química genérica, condiciones de manipulación, condiciones de transporte, condiciones de almacenamiento, condiciones y forma de utilización (Proporciones, mezcla, tiempo de curado, etc.)

**b. Rotulación y etiquetado del estabilizador químico:**

Este debe estar indicado en los medios de transporte para el traslado de envases o cualquier medio de contención del aditivo estabilizador, igualmente cada uno de los envases u otro medio de contención del producto debe ser etiquetado de acuerdo al manual informativo.

**c. Certificación del producto.**

Los estabilizadores químicos deberán ir acompañados de un certificado emitido por un laboratorio reconocido, en el cual se deje constancia que el mencionado producto cumple con las características indicadas por el fabricante y/o distribuidor en el documento entregado, en la forma y contenido indicado en la norma técnica de estabilizadores químicos.

**2.2.5. Propiedades de comportamiento o desempeño**

Norma técnica de estabilizadores químicos MTC E 1109 (2004) indica que las propiedades de desempeño se evalúan en forma relativa, comparando los resultados de ensayos practicados, en terreno o en laboratorio, sobre el suelo en su estado natural y después de tratado con el estabilizador químico. Cada una de las propiedades de comportamiento se debe evaluar mediante uno o más de los ensayos indicados en la norma técnica de estabilizadores químicos.

Los ensayos de ninguna forma pueden reemplazar la experiencia validada en el terreno (sin embargo, los ensayos de laboratorio pueden dar luces sobre el posible comportamiento del aditivo en terreno y dar posibles estimaciones de su aplicación).



Algunos de los ensayos que permiten medir las propiedades de comportamiento se pueden aplicar al conjunto de partículas que componen el suelo en su forma natural o tratado, mientras que otros ensayos se aplican considerando un determinado tamaño máximo de partículas.

La efectividad de un estabilizador químico será determinada mediante probetas no estabilizadas químicamente y sobre probetas tratadas químicamente, si los resultados obtenidos sobre las segundas mejoran una propiedad de desempeño o comportamiento de las primeras, entonces se dice que el estabilizador es efectivo.

Las propiedades de comportamiento y los métodos de ensayo en laboratorio a considerar en la evaluación de las propiedades de comportamiento del suelo mejorado en el presente estudio son las siguientes:

✓ **Trabajabilidad:**

Método de ensayo: Densidad Máxima en laboratorio

Relación humedad/densidad (ensayo de Proctor modificado) – ASTM D1557-12e1

Métodos de prueba estándar para las características de compactación de laboratorio del suelo utilizando esfuerzo modificado)

✓ **Capacidad de soporte:**

Método de ensayo: En suelos finos.

Resistencia a la compresión no confinada – ASTM D2166 / D2166M - 16 Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión no confinada del suelo fino.

La presente tesis de investigación pretende evaluar un aditivo y como actúa sobre dos propiedades de comportamiento al ser aplicado en un determinado tipo de suelo, considerando una dosificación propuesta y utilizando la metodología empleada la patente de invención de la señorita Judith Olivera Granada de número de expediente N° 002838-2017/DIN – INDECOPI, siendo estas las únicas condiciones para la aplicación del estabilizador.

### 2.2.6. Ensayos de laboratorio

Se realizaron ensayos de laboratorio con el propósito de obtener información geotécnica del suelo estudiado, para obtener propiedades físicas, químicas y mecánicas del suelo estudiado y del aditivo estudiado.



### 2.2.6.1.1. Características del suelo

### 2.2.6.1.2. Determinación del contenido de humedad

#### a. Finalidad y alcance:

El MTC E 108 - ASTM D 2216 menciona que el contenido de humedad o la humedad de un suelo es el porcentaje expresado como la relación del peso del agua en una determinada masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas. Este ensayo permite la obtención del peso de agua eliminada, por medio del secado del suelo húmedo sometido a una temperatura controlada de  $110 \pm 5$  °c en un horno. El peso del suelo que permanece seco, es considerado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso del suelo sometido al secado en horno a la temperatura indicada es considerada como el peso del agua.

#### b. Cálculos:

El contenido de humedad de la muestra se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} \times 100 = \frac{M_W}{M_S} \times 100$$

Donde:

$W$  = Contenido de humedad, (%)

$M_{CWS}$  = Peso de la cazuela más el suelo húmedo, en gramos

$M_{CS}$  = Peso de la cazuela más el suelo secado en horno, en gramos

$M_C$  = Peso de la cazuela, en gramos

$M_W$  = Peso del agua, en gramos

$M_S$  = Peso de las partículas sólidas, en gramos

#### c. Precisión y dispersión:

Dos ensayos realizados adecuadamente deben ser considerados si no difieren uno del otro en menos del 7,8% de su media, cuando las muestras se repiten el coeficiente de variación de un operador simple se encontró en 2,7%.

Dos ensayos realizados con diferentes operadores y equipos no deberán ser considerados a menos que difieran en más del 14,0% de su media, con un coeficiente de variación multilaboratorio de 5,0%.





### 2.2.6.1.3. Gravedad específica

MTC E 109, NTP 339.128, ASTM D7928 - 17, AASHTO T88, indica:

Método de prueba estándar para la distribución del tamaño de partículas (gradación) de suelos de grano fino utilizando el análisis de sedimentación (hidrómetro)

Este método de prueba cubre la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de la porción de suelo de grano fino. El método de sedimentación o hidrómetro se utiliza para determinar la distribución del tamaño de partícula (gradación) del material que es más fino que el tamiz No. 200 (75  $\mu\text{m}$ ) y más grande que aproximadamente 0,2  $\mu\text{m}$ . La prueba se realiza en material que pasa el tamiz No. 10 (2.0 mm) o más fino y los resultados se presentan como el porcentaje de masa más fino versus el logaritmo del diámetro de partícula.

La distribución del tamaño de partículas (gradación) es un término descriptivo que se refiere a las proporciones por masa seca de un suelo distribuido en rangos específicos de tamaño de partículas. La curva de gradación generada con este método arroja la cantidad de fracciones de tamaño de limo y arcilla presentes en el suelo según las definiciones de tamaño, no la mineralogía o los datos de límite de Atterberg.

La determinación de la fracción de tamaño de la arcilla, que es un material más fino que 2  $\mu\text{m}$ , se usa en combinación con el índice de plasticidad para calcular la actividad, que proporciona una indicación de la mineralogía de la fracción de arcilla.

La gradación de las fracciones de tamaño de limo y arcilla es un factor importante para determinar la susceptibilidad de los suelos de grano fino a la acción de las heladas.

La gradación de un suelo es un indicador de propiedades de ingeniería. La conductividad hidráulica, la compresibilidad y la resistencia al corte están relacionadas con la gradación del suelo. Sin embargo, el comportamiento de la ingeniería depende de muchos factores, como la tensión efectiva, el tipo de mineral, la estructura, la plasticidad y el origen geológico, y no puede basarse únicamente en la gradación.

Los límites de tamaño de la prueba de sedimentación son de aproximadamente 100  $\mu\text{m}$  a aproximadamente 1  $\mu\text{m}$ . El tiempo necesario para obtener una lectura inicial estable en el hidrómetro controla el rango superior de resultados y la duración de la prueba controla el rango inferior.

La forma y densidad de los granos son importantes para los resultados. Se supone que la ley de Stokes es válida para partículas esféricas, aunque las partículas finas del tamaño de limo y arcilla tienen más probabilidades de tener forma de placa y tener mayores densidades minerales que las partículas más grandes.



Este método de prueba cubre la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de la porción de suelo de grano fino. El método de sedimentación o hidrómetro se utiliza para determinar la distribución del tamaño de partícula (gradación) del material que es más fino que el tamiz No. 200 (75  $\mu\text{m}$ ) y más grande que aproximadamente 0,2  $\mu\text{m}$ . La prueba se realiza en material que pasa el tamiz No. 10 (2.0 mm) o más fino y los resultados se presentan como el porcentaje de masa más fino versus el logaritmo del diámetro de partícula.

Este método se puede utilizar para evaluar la fracción de grano fino de un suelo con una amplia gama de tamaños de partículas combinando los resultados de la sedimentación con un análisis de tamiz que da como resultado la curva de gradación completa. El método también se puede utilizar cuando no hay partículas de grano grueso o cuando no se requiere o no se necesita la gradación del material de grano grueso.

El análisis de sedimentación se basa en el concepto de que las partículas más grandes caerán a través de un fluido más rápido que las partículas más pequeñas. La ley de Stokes proporciona una ecuación que se utiliza para determinar la velocidad terminal de una partícula esférica que cae a través de un líquido estacionario. La velocidad terminal es proporcional al cuadrado del diámetro de la partícula. Por lo tanto, las partículas se clasifican por tamaño tanto en tiempo como en posición cuando se depositan en un recipiente de líquido.

La ley de Stokes tiene varios supuestos que son: las partículas son esféricas y lisas; no hay interferencia entre las partículas; no hay diferencia entre la corriente en el medio del contenedor y los lados; el flujo es laminar; y las partículas tienen la misma densidad. Estos supuestos se aplican a partículas de suelo de diversas formas y tamaños.

Se usa un hidrómetro para medir la densidad del fluido y determinar la cantidad de partículas en suspensión en un momento y posición específicos. La densidad de la suspensión de agua del suelo depende de la concentración y gravedad específica de las partículas del suelo y de la cantidad de dispersante añadida. Cada medición del hidrómetro en un tiempo transcurrido se utiliza para calcular el porcentaje de partículas más finas que el diámetro dado por la Ley de Stokes. La serie de lecturas proporciona la distribución de la masa del material en función del tamaño de partícula.

Procesamiento del material: el material se prueba en estado húmedo o tal como se recibió, a menos que se reciba en estado secado al aire. Se utilizará el método de preparación húmeda para obtener una muestra de ensayo de sedimentación a partir de la muestra reducida. La preparación secada al aire solo se permite cuando el material se recibe en estado secado al aire. La autoridad solicitante puede especificar el método que se utilizará; sin embargo, el método de preparación húmeda se utilizará para las pruebas de árbitros.



Unidades: los valores indicados en unidades SI deben considerarse estándar.

Todos los valores observados y calculados deben cumplir con las pautas para dígitos significativos y redondeo.

#### **2.2.6.1.4. Ensayo: tamaño de partículas (MTC E 109-ASTM D7928-17)**

MTC E 109, NTP 339.128, ASTM D7928 - 17, AASHTO T88, indica:

Método de prueba estándar para la distribución del tamaño de partículas (gradación) de suelos de grano fino utilizando el análisis de sedimentación (hidrómetro)

Este método de prueba cubre la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de la porción de suelo de grano fino. El método de sedimentación o hidrómetro se utiliza para determinar la distribución del tamaño de partícula (gradación) del material que es más fino que el tamiz No. 200 (75  $\mu\text{m}$ ) y más grande que aproximadamente 0,2  $\mu\text{m}$ . La prueba se realiza en material que pasa el tamiz No. 10 (2.0 mm) o más fino y los resultados se presentan como el porcentaje de masa más fino versus el logaritmo del diámetro de partícula.

La distribución del tamaño de partículas (gradación) es un término descriptivo que se refiere a las proporciones por masa seca de un suelo distribuido en rangos específicos de tamaño de partículas. La curva de gradación generada con este método arroja la cantidad de fracciones de tamaño de limo y arcilla presentes en el suelo según las definiciones de tamaño, no la mineralogía o los datos de límite de Atterberg.

La determinación de la fracción de tamaño de la arcilla, que es un material más fino que 2  $\mu\text{m}$ , se usa en combinación con el índice de plasticidad para calcular la actividad, que proporciona una indicación de la mineralogía de la fracción de arcilla.

La gradación de las fracciones de tamaño de limo y arcilla es un factor importante para determinar la susceptibilidad de los suelos de grano fino a la acción de las heladas.

La gradación de un suelo es un indicador de propiedades de ingeniería. La conductividad hidráulica, la compresibilidad y la resistencia al corte están relacionadas con la gradación del suelo. Sin embargo, el comportamiento de la ingeniería depende de muchos factores, como la tensión efectiva, el tipo de mineral, la estructura, la plasticidad y el origen geológico, y no puede basarse únicamente en la gradación.

Los límites de tamaño de la prueba de sedimentación son de aproximadamente 100  $\mu\text{m}$  a aproximadamente 1  $\mu\text{m}$ . El tiempo necesario para obtener una lectura inicial estable en el hidrómetro controla el rango superior de resultados y la duración de la prueba controla el rango inferior.



La forma y densidad de los granos son importantes para los resultados. Se supone que la ley de Stokes es válida para partículas esféricas, aunque las partículas finas del tamaño de limo y arcilla tienen más probabilidades de tener forma de placa y tener mayores densidades minerales que las partículas más grandes.

Este método de prueba cubre la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de la porción de suelo de grano fino. El método de sedimentación o hidrómetro se utiliza para determinar la distribución del tamaño de partícula (gradación) del material que es más fino que el tamiz No. 200 ( $75 \mu\text{m}$ ) y más grande que aproximadamente  $0,2 \mu\text{m}$ . La prueba se realiza en material que pasa el tamiz No. 10 ( $2.0 \text{ mm}$ ) o más fino y los resultados se presentan como el porcentaje de masa más fino versus el logaritmo del diámetro de partícula.

Este método se puede utilizar para evaluar la fracción de grano fino de un suelo con una amplia gama de tamaños de partículas combinando los resultados de la sedimentación con un análisis de tamiz que da como resultado la curva de gradación completa. El método también se puede utilizar cuando no hay partículas de grano grueso o cuando no se requiere o no se necesita la gradación del material de grano grueso.

El análisis de sedimentación se basa en el concepto de que las partículas más grandes caerán a través de un fluido más rápido que las partículas más pequeñas. La ley de Stokes proporciona una ecuación que se utiliza para determinar la velocidad terminal de una partícula esférica que cae a través de un líquido estacionario. La velocidad terminal es proporcional al cuadrado del diámetro de la partícula. Por lo tanto, las partículas se clasifican por tamaño tanto en tiempo como en posición cuando se depositan en un recipiente de líquido.

La ley de Stokes tiene varios supuestos que son: las partículas son esféricas y lisas; no hay interferencia entre las partículas; no hay diferencia entre la corriente en el medio del contenedor y los lados; el flujo es laminar; y las partículas tienen la misma densidad. Estos supuestos se aplican a partículas de suelo de diversas formas y tamaños.

Se usa un hidrómetro para medir la densidad del fluido y determinar la cantidad de partículas en suspensión en un momento y posición específicos. La densidad de la suspensión de agua del suelo depende de la concentración y gravedad específica de las partículas del suelo y de la cantidad de dispersante añadida. Cada medición del hidrómetro en un tiempo transcurrido se utiliza para calcular el porcentaje de partículas más finas que el diámetro dado por la Ley de Stokes. La serie de lecturas proporciona la distribución de la masa del material en función del tamaño de partícula.

Procesamiento del material: el material se prueba en estado húmedo o tal como se recibió, a menos que se reciba en estado secado al aire. Se utilizará el método de preparación húmeda



para obtener una muestra de ensayo de sedimentación a partir de la muestra reducida. La preparación secada al aire solo se permite cuando el material se recibe en estado secado al aire. La autoridad solicitante puede especificar el método que se utilizará; sin embargo, el método de preparación húmeda se utilizará para las pruebas de ámbitos.

Unidades: los valores indicados en unidades SI deben considerarse estándar.

Todos los valores observados y calculados deben cumplir con las pautas para dígitos significativos y redondeo.

#### **2.2.6.1.5. Ensayo: límites de consistencia**

MTC E 110-111, NTP 339.129, ASTM D1241, AASHTO T89–T90, indican:

Estos métodos de ensayo se utilizan como parte integral de varios sistemas de clasificación de ingeniería para caracterizar las fracciones de suelo de grano fino.

El límite de líquido, el límite de plástico y el índice de plasticidad de los suelos también se utilizan ampliamente, ya sea individualmente o en conjunto, con otras propiedades del suelo para correlacionar el comportamiento del suelo en ingeniería como la compresibilidad, la conductividad hidráulica (permeabilidad), la compactibilidad, la contracción-hinchamiento y la resistencia al corte.

Los límites líquidos y plásticos de un suelo y su contenido de agua pueden usarse para expresar su consistencia relativa o índice de liquidez. Además, el índice de plasticidad y el porcentaje de partículas de tamaño inferior a 2  $\mu\text{m}$  se pueden utilizar para determinar su número de actividad. Estos métodos de prueba cubren la determinación del límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad de los suelos que se definen como:

La prueba de límite líquido involucra el procedimiento de preparación de muestras utilizando la preparación húmeda para posteriormente determinar el límite líquido mediante el método multipunto.

La prueba de límite plástico, se realiza sobre material preparado para la prueba de límite líquido. El límite de plástico se desarrolla mediante el procedimiento de enrollado de límite plástico (enrollado a mano).

El límite líquido y el límite plástico de los suelos, junto con el límite de contracción a menudo se denominan colectivamente límites de Atterberg. Estos límites distinguieron los límites de los diversos estados de consistencia de los suelos plásticos.

El índice de plasticidad, método para el índice de plasticidad, se calcula utilizando los resultados de las pruebas de límite líquido y límite plástico.



Los métodos descritos se realizan solo en la porción de suelo que pasa el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40). Por lo tanto, la contribución relativa de esta porción del suelo a las propiedades de la muestra como un todo debe ser considerada cuando se utilizan estos métodos para evaluar las propiedades de un suelo.

A los efectos de comparar un valor o valores medidos o calculados con límites especificados, los valores medidos o calculados se redondearán al decimal más cercano o dígitos significativos en los límites especificados. Además, son representativos de los dígitos significativos que generalmente deben conservarse. Es una práctica común aumentar o reducir dígitos significativos de los datos reportados para estar en consonancia con estas consideraciones.

#### **2.2.6.1.6. Ensayo: límites de contracción**

MTC E 112 indica:

Este método usa mercurio que es una sustancia peligrosa que puede ser reemplazado por parafina. Este método se efectúa solo en aquella porción de un suelo que pase el tamiz 425  $\mu\text{m}$  (N° 40). La contribución relativa de esta porción de suelo debe ser considerada cuando se use este método para evaluar las propiedades del suelo como un todo.

Los factores de contracción cubiertos en este ensayo pueden determinarse únicamente en suelos básicamente finos, los cuales exhiban una resistencia en seco cuando son secados en aire.

Se supone normalmente que el término límite de contracción, expresado como un porcentaje del contenido de agua, representa la cantidad de agua necesaria para llenar los vacíos de un suelo fino dado, cuando se halle en su relación de vacíos más baja, obtenido ese valor por secamiento (generalmente en el horno). Así, el concepto del límite de contracción puede emplearse para evaluar el potencial de contracción o sea la posibilidad de que se desarrollen grietas en obras que incluyen suelos finos o ambos.

Los datos obtenidos con este método de prueba pueden ser usados para calcular la contracción con suelos finos y la contracción lineal.

Los límites líquido, plástico y de contracción son a menudo definidos como los límites Atterberg, Sus respectivos contenidos de humedad distinguen las fronteras de los varios estados de consistencia de suelos finos.

#### **2.2.6.1.7. Ensayo: clasificación de suelos (ASTM D 2487)**

ASTM D2487-17, AASHTO M145, indica:



En este capítulo se analizarán el sistema de clasificación Unificado USCS y el sistema de clasificación AASHTO, que son los sistemas de clasificación más utilizados por la mayor parte de los ingenieros de todo el mundo.

El sistema de clasificación AASHTO está especialmente hecho para la construcción de carreteras, en cambio el sistema de clasificación Unificado USCS, no está limitado a ninguna clase de proyectos en particular y es usado para toda la gama de obras civiles. Tanto el sistema de clasificación Unificado como el AASHTO consideran como suelo (conjunto de partículas sólidas, con líquido y agua en sus poros) a la parte que pasa por el tamiz de 3 $\phi$  (75 mm), ya que las partículas más grandes a este diámetro son consideradas como partículas aisladas que ya no forman parte del suelo.

El sistema de clasificación unificado USCS (Unified Soil Classification System), designación ASTM D-2487, originalmente fue desarrollado por A. Casagrande (1948) para la construcción de aeródromos durante la segunda guerra mundial. Este sistema de clasificación fue posteriormente modificado en 1952 por el mismo autor y el cuerpo de ingenieros de la armada de los Estados Unidos quienes hicieron que este sistema sea más aplicable a los propósitos ingenieriles, es decir que ya no era solo aplicable al campo de la aviación. Este sistema de clasificación actualmente goza de amplia aceptación y es el preferido por la mayor parte de los ingenieros en todo el mundo.

El sistema de clasificación USCS está basado en la determinación en laboratorio de la distribución del tamaño de partículas, el límite líquido y el índice de plasticidad. Este sistema de clasificación también se basa en la gráfica de plasticidad, que fue obtenida por medio de investigaciones realizadas en laboratorio por A. Casagrande (1932).

Práctica estándar para la clasificación de suelos con fines de ingeniería (Sistema unificado de clasificación de suelos) permite la clasificación del suelo mediante las pruebas de laboratorio prescritas para determinar las características del tamaño de las partículas, el límite de líquido y el índice de plasticidad, diseñadas para correlacionar de manera general el comportamiento de ingeniería de los suelos, los cuales se deben utilizar cuando se requiere una clasificación precisa. Los resultados son plasmados mediante un solo símbolo de grupo de clasificación y un nombre de grupo, excepto cuando un suelo contiene de 5 a 12% de finos o cuando el gráfico de los valores del índice de plasticidad y límite de líquido cae en el área sombreada de la tabla de plasticidad. En estos dos casos, se utiliza un símbolo dual, por ejemplo, GP-GM, CL-ML. Cuando los resultados de las pruebas de laboratorio indican que el suelo está cerca de otro grupo de clasificación de suelos, la condición límite se puede indicar con dos símbolos separados por una barra por ejemplo, CL / CH. Los símbolos de límite son particularmente útiles cuando el



valor límite líquido de los suelos arcillosos es cercano a 50. Estos suelos pueden tener características expansivas y el uso de un símbolo de límite (CL / CH)

El símbolo de grupo de este sistema se basa en pruebas de laboratorio realizadas en la porción de una muestra de suelo que pasa el tamiz 75 mm

El sistema de clasificación se basa específicamente a suelos naturales y es solo para aplicación cualitativa. Cuando se requiere información cuantitativa para diseños detallados de estructuras importantes, este método de prueba debe complementarse con pruebas de laboratorio u otros datos cuantitativos para determinar las características de desempeño en las condiciones de campo esperadas.

La base del esquema de clasificación es el Sistema de Clasificación de Aeródromos desarrollado por A. Casagrande a principios de la década de 1940. Se conoció como el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos cuando varias agencias gubernamentales de los Estados Unidos adoptaron una versión modificada del Sistema de Aeródromos en 1952.

El sistema de clasificación AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) (Designación ASTM D-3282; método AASHTO M145) es uno de los primeros sistemas de clasificación de suelos, desarrollado por Terzaghi y Hogentogler en 1928. Este sistema pasó por varias revisiones y actualmente es usado para propósitos ingenieriles enfocados más en el campo de las carreteras como la construcción de los terraplenes, subrasantes, subbases y bases de las carreteras. Sin embargo, es necesario recordar que un suelo que es bueno para el uso de subrasantes de carreteras puede ser muy pobre para otros propósitos. Este sistema de clasificación está basado en los resultados de la determinación en laboratorio de la distribución del tamaño de partículas, el límite líquido y el límite plástico.

La evaluación de los suelos dentro de cada grupo se realiza por medio de un índice de grupo, que es un valor calculado a partir de una ecuación empírica. El comportamiento geotécnico de un suelo varía inversamente con su índice de grupo, es decir que un suelo con índice de grupo igual a cero indica que es material bueno para la construcción de carreteras, y un índice de grupo igual a 20 o mayor, indica un material muy malo para la construcción de carreteras.

Los suelos clasificados dentro los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares de los cuales 35% o menos de las partículas pasan a través del tamiz N° 200. Los suelos que tienen más del 35% de partículas que pasan a través del tamiz N° 200 se clasifican dentro de los grupos de material fino A-4, A-5, A-6 y A-7. Estos suelos son principalmente limo y materiales de tipo arcilla.





#### **2.2.6.1.8. Trabajabilidad: ensayo Proctor modificado, relación humedad/densidad. (ASTM D 1557)**

MTC E 115, NTP339.141, ASTM D1557, AASHTO T180, indica:

Métodos de prueba estándar para las características de compactación de suelo en laboratorio utilizando esfuerzo modificado

El ensayo de compactación Proctor es uno de los más importantes procedimientos de estudio y control de calidad de la compactación de un terreno, determinan la máxima densidad que es posible alcanzar para suelos, en determinadas condiciones de humedad y energía.

El procedimiento de compactación se usa para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 101,6 ó 152,4 mm (4 ó 6 pulg) de diámetro con un pisón de 44,5 N (10 lbf) que cae de una altura de 457 mm (18 pulg), produciendo una Energía de Compactación de (56,000 pie-lbf / pie<sup>3</sup> (2,700 kn-m / m<sup>3</sup>)).

Método A: Molde de 4pulg. De diámetro, el material debe pasar el tamiz No. 4 (4.75 mm), en cinco capas, con 25 golpes por capa. Puede usarse si el 25% o menos en masa del material se retiene en el tamiz No. 4 (4.75 mm).

El suelo colocado como relleno de ingeniería (terraplenes, bases de cimentación, bases de carreteras) se compacta a un estado denso para obtener propiedades de ingeniería satisfactorias tales como resistencia al corte, compresibilidad o permeabilidad. Además, los suelos de cimentación a menudo se compactan para mejorar sus propiedades de ingeniería. Las pruebas de compactación de laboratorio proporcionan la base para determinar el porcentaje de compactación y el contenido de agua de moldeo necesarios para lograr las propiedades de ingeniería requeridas, para controlar y asegurar que la construcción logre la compactación y el contenido de agua requeridos.

El grado de compactación del suelo requerido para lograr las propiedades de ingeniería deseadas a menudo se especifica como un porcentaje del peso unitario seco máximo modificado.

Este método de prueba aplica más energía de compactación por tanto las partículas del suelo están más empaquetadas. El resultado general es un peso unitario seco máximo más alto, un contenido de humedad óptimo más bajo, mayor resistencia al corte, mayor rigidez, menor compresibilidad, menores vacíos de aire y menor permeabilidad. Sin embargo, para suelos de grano fino altamente compactados, la absorción de agua puede resultar en hinchamiento, con menor resistencia al cizallamiento y mayor compresibilidad, reduciendo los beneficios del mayor esfuerzo utilizado para la compactación.



Durante el diseño de un relleno de ingeniería, las pruebas realizadas para determinar el corte, la consolidación, la permeabilidad u otras propiedades requieren que se preparen muestras de prueba compactando el suelo con un contenido de agua de moldeo prescrito para obtener un peso unitario predeterminado. Es una práctica común determinar primero el contenido óptimo de agua ( $w_{opt}$ ) y el peso unitario seco máximo ( $\gamma_{dmax}$ ) mediante una prueba de compactación. Las muestras de ensayo se compactan a un contenido de agua de moldeo seleccionado ( $w$ ), ya sea húmedo o seco del óptimo ( $w_{opt}$ ) o al óptimo ( $w_{opt}$ ), y a un peso unitario seco seleccionado relacionado con un porcentaje del peso unitario seco máximo ( $\gamma_{dmax}$ ). La selección del contenido de agua de moldeo ( $w$ ), ya sea húmedo o seco del óptimo ( $w_{opt}$ ) o en el óptimo ( $w_{opt}$ ) y el peso unitario seco ( $\gamma_{dmax}$ ) puede basarse en la experiencia pasada, o se puede establecer un rango de valores investigado para determinar el porcentaje de compactación necesario.

Los suelos que contienen partículas que se degradan durante la compactación son un problema, especialmente cuando ocurre más degradación durante la compactación en el laboratorio. La degradación ocurre típicamente durante la compactación de un suelo o agregado granular-residual, el peso máximo de la unidad seca aumenta de modo que el valor máximo de laboratorio resultante no es representativo de las condiciones de campo. A menudo, en estos casos, el peso unitario seco máximo es imposible de alcanzar en el campo.

Aplicable solo a suelos que tienen un 30% o menos en masa de sus partículas retenidas en el 3/4 pulg. (19,0 mm) de tamiz y no han sido previamente compactados en el laboratorio.

#### **2.2.6.1.9. Resistencia a la compresión no confinada. Capacidad de soporte en suelos finos y estabilidad bajo agua: (ASTM D 2166)**

MTC E 121, NTP 339.167, ASTM D 2166, AASHTO T 208, indica:

Resistencia a la compresión no confinada, es la carga por unidad de área a la cual una probeta de suelo, cilíndrica o prismática, falla en el ensayo de compresión simple.

La prueba de compresión no confinada permite obtener rápidamente una medida de resistencia a la compresión para aquellos suelos que poseen suficiente cohesión para permitir la prueba en el estado no confinado.

Si se realizan pruebas en la misma muestra en su estado intacto y remoldeado, se puede determinar la sensibilidad del material. La sensibilidad es adecuada solo para suelos que pueden conservar una forma de muestra estable en el estado remoldeado.

Este método de prueba cubre la determinación de la resistencia a la compresión no confinada del suelo fino en la condición intacta, remodelada o reconstituida, usando la aplicación de carga



axial controlada por deformación, proporciona un valor aproximado de la resistencia de los suelos finos en términos de tensiones totales. Es aplicable solo a materiales finos que no expulsarán o sangrarán agua (agua expulsada del suelo debido a la deformación o compactación) durante la parte de carga de la prueba y que retendrán la resistencia intrínseca después de la eliminación de las presiones de confinamiento, como arcillas o suelos cementados.

### **2.3.Hipótesis**

#### **2.4.Hipótesis general**

El aditivo natural tiene una gran influencia en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004.

#### **2.5.Sub Hipótesis**

##### **❖ SUB HIPÓTESIS N° 01:**

El aditivo natural tiene una gran influencia en la propiedad de desempeño - trabajabilidad de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004.

##### **❖ SUB HIPÓTESIS N° 02:**

El aditivo tiene una gran influencia en la propiedad de desempeño - capacidad de soporte de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004.

### **2.6.Definición de variables**

#### **2.6.1. Variable independiente**

X1: Aditivo Natural

Es un material natural viscoso el cual es empleado en la estabilización y mejora de las condiciones de los materiales en las cuales se adiciona.

##### **2.6.1.1.Indicadores de la variable independiente**

- a. Indicadores de la Variable X1:
  - ✓ Indicadores de la variable Independiente
  - ✓ Determinación taxonómica
  - ✓ Detección de carbohidratos
  - ✓ Presencia de bacterias.



## 2.6.2. Variables dependientes

Y1: Suelo Fino

Suelo de partículas pequeñas que posee granos finos entre arcillas y limos.

### 2.6.2.1. Indicadores de la variable dependiente

b. Indicadores de la Variable Y1:

- ✓ Trabajabilidad
- ✓ Capacidad de soporte



### 2.6.3. Cuadro de operacionalización de variables

**Tabla 2.** Cuadro de operacionalización de variables

CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES							
Tipo de Variable	Nombre de la Variable	Descripción Definición de la Variable	Nivel o Dimensión	Indicador	Unid. Indicador	Instrumento Metodológico (Fuente)	Instrumento de Ingeniería (Equipos)
Independiente	Aditivo Natural (X)	Es un material natural viscoso el cual es empleado en la estabilización y mejora de las condiciones de los materiales en las cuales se adiciona.	Propiedades Físicas	Determinación taxonómica	Especie, Herbario Vargas (CUZ).	Certificado de determinación taxonómica N° 009-2019-HVC-FCB-UNSAAC.	Horno para muestra vegetal herborizada.
			Propiedades Químicas	Detección de carbohidratos	Índice de refracción (RID), análisis por HPLC. (mg)	Agilent Technologies USA 2003 Typical Performance of ZORBAX Carbohydrate Analysis Column N° 820629008c.	Cromatógrafo Agilent Serie 1200.
			Propiedades Biológicas.	Presencia de bacterias	Partes por millón (ppm)	Biología y desarrollo.	Laboratorio biológico.
Dependiente	Suelo Fino (Y)	Suelo de partículas pequeñas que posee granos finos entre arcillas y limos.	Propiedades de Desempeño	Trabajabilidad (Y1)	Relación Humedad / Densidad (gr/cm3)	Proctor Modificado. ASTM D 1557 MTC E 115	Moldes Pistón Compactador Horno Otros instrumentos.
				Capacidad de Soporte (Y2)	Resistencia a la compresión no confinada (Kg/cm2)	Ensayo de compresión simple. ASTM D 2166 MTC E 121	Moldes Pistón Compactador Horno Otros instrumentos.

**Fuente:** Elaboración Propia.



## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

### 3.1. Metodología de la investigación

#### 3.1.1. Enfoque de la investigación

El tipo de investigación con enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teorías.

Representa un conjunto de procesos, es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no elude pasos. El orden es riguroso, aunque permite redefinir alguna fase. Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas bajo un diseño; se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones respecto de la o las hipótesis.

(Hernández, 2014)

La presente investigación es de **tipo cuantitativa**, debido a que los fenómenos y variaciones de las propiedades de desempeño de un tipo de suelo fino de clasificación SUCS, son susceptibles a ser medidos y es posible obtener una referencia numérica capaz de indicar en resultados comparativos, obtenidos de los ensayos realizados sobre probetas estabilizadas químicamente y sobre probetas no tratadas químicamente, una mejora en una propiedad de desempeño en las probetas estabilizadas químicamente frente a las no tratadas, entonces se dice que el estabilizador es o no efectivo.

#### 3.1.2. Nivel o alcance de la investigación

La investigación con alcance descriptivo considera al fenómeno estudiado y sus componentes, mide conceptos y define variables; busca especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población; únicamente pretende medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas (Hernández, 2014).

La investigación con alcance explicativo pretende establecer las causas de los sucesos o fenómenos que se estudian, generan un sentido de entendimiento, son sumamente estructurados. Va más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento



de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos. Su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables (Hernández, 2014).

Por lo mencionado anteriormente la presente investigación adquiere **el nivel descriptivo con alcance explicativo.**

### 3.1.3. Método de investigación

El método hipotético deductivo es el camino que sigue el investigador para ser de su actividad una práctica científica, el método hipotético deductivo tiene varios pasos: observación del fenómeno a estudiar, creación de una hipótesis para explicar dicho fenómeno, deducción de consecuencias o preposiciones más elementales que la propia hipótesis y verificación o comprobación de la verdad de los enunciados deducidos dándolos con experiencia.

(Hernández, 2006)

Para la presente investigación se utilizará el **método hipotético – deductivo**, debido a que observaremos el fenómeno para luego plantear hipótesis, sometiéndola a pruebas científicas para finalmente verificar o comprobar la veracidad de los enunciados deducidos y de esta forma, poder explicarlo.

## 3.2. Diseño de la investigación

### 3.2.1. Diseño metodológico

Experimental - Cuasi Experimental. El diseño metodológico de la investigación abarca la parte cuasi experimental, pues el material que se plantea para la estabilización de suelos finos no se asigna al azar.

Durante el cual se desarrollará:

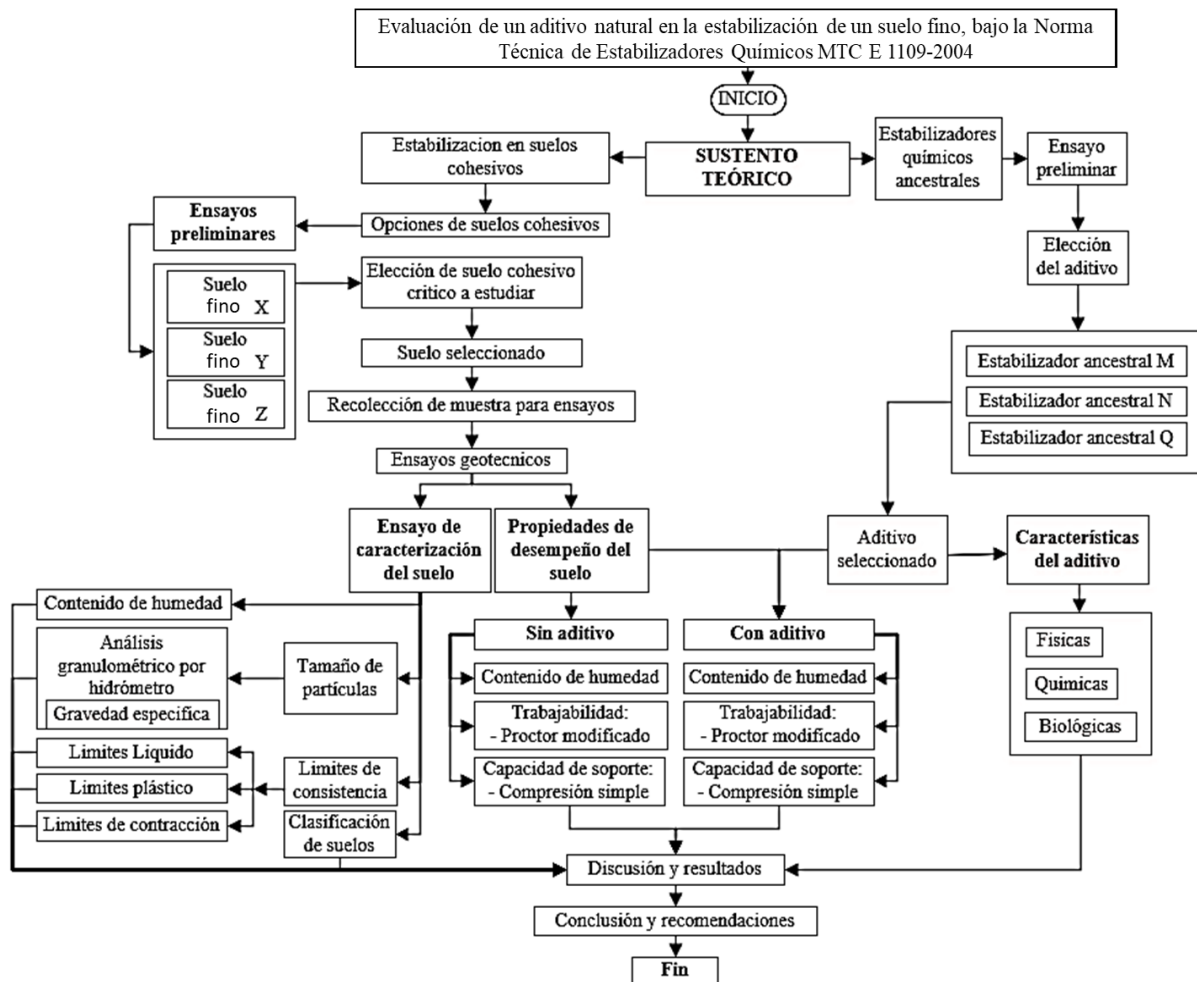
- La manipulación intencional de variables
- Medición de variables
- Control y validez
- Grupos de comparación

Teniendo principalmente dos secciones con las mismas características, realizando primeramente una pre-prueba para medir la cualidad que se desea evaluar en el experimento.

Las secciones son sometidas a un tratamiento experimental siendo considerado un grupo experimental y el otro de control.

### 3.2.2. Diseño de ingeniería

Figura 16. Imagen de la muestra antes y después de ser colocada en el horno de secado



Fuente: Elaboración propia

### 3.3. Población y muestra

#### 3.3.1. Población

#### 3.3.2. Descripción de la población

La población la define el objetivo o propósito central del estudio y no estrictamente su ubicación o límites geográficos u otras características particulares anterior a ella. La población constituye un conjunto de elementos que forman parte del grupo de estudio, por tanto, se refiere a todos los elementos que en forma individual puede ser cobijado en la investigación. (Ramírez, 2005). La población de la presente investigación está conformada por **las probetas y muestras sin y con aditivo natural** mediante su caracterización y evaluación de las propiedades de comportamiento del suelo mejorado mediante la propiedad de desempeño de trabajabilidad y





capacidad de soporte bajo los lineamientos de la norma técnica de estabilizadores químicos en dosificación indicada por la patente indicada para el uso del aditivo.

### **3.3.2.1. Cuantificación de la población**

Las probetas y muestras evaluadas en esta investigación están conformadas por suelo (de condición de valor mínimo en cuanto a esfuerzo principal), aditivo (según lo indicado en la patente de origen del mismo) y agua, haciendo un total de 240 muestras evaluadas.

### **3.3.3. Muestra**

#### **3.3.3.1. Descripción de la muestra**

La muestra por otro lado, consiste en un grupo reducido de elementos de dicha población al cual se le evalúan características particulares, generalmente, aunque no siempre, con el propósito de inferir tales características a toda la población. En estos casos hablamos de muestras representativas y los elementos que la componen son tomados al azar muestreos aleatorios simples, estratificado aleatorio, sistemático con inicio aleatorio u otros. En el muestreo aleatorio, todos los elementos tienen las mismas probabilidades de ser incluidos en la muestra (Ramírez, 2005).

La muestra de la presente investigación está conformada por el las probetas y muestras sin y con aditivo natural mediante su caracterización y evaluación de las propiedades de comportamiento del suelo mejorado mediante la propiedad de desempeño de trabajabilidad y capacidad de soporte bajo los lineamientos de la norma técnica de estabilizadores químicos en dosificación indicada por la patente indicada para el uso del aditivo, la cual coincide con la población.

#### **3.3.3.2. Cuantificación de la muestra**

Para poder evaluar esta muestra se aplican criterios muestrales, donde la muestra será evaluada mediante muestras con sustitución del suelo sin aditivo y estabilizado con aditivo mediante las propiedades de desempeño de trabajabilidad y capacidad de soporte, así como las características del suelo tan primordial para poder definir las condiciones iniciales del material estudiado, los cuales están cuantificados de la siguiente manera:



**Tabla 3** Resumen de la cuantificación de muestra

	<b>Prueba</b>	<b>Total de muestras</b>
<b>Propiedades de desempeño</b>	Contenido de humedad para la propiedad de desempeño trabajabilidad	54
	Trabajabilidad (Relación humedad/densidad)	6
	Contenido de humedad para el ensayo capacidad de soporte	162
	Capacidad de soporte (en suelos finos)	18
	<b>Total</b>	<b>240</b>

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.3.3.3. Método de muestreo

En esta investigación se realizará el método no probabilístico porque no se utiliza fórmulas estadísticas para la selección de las muestras. (Hernández, 2006)

En este tipo de muestreo los investigadores fabrican sus elementos muestrales, no es un tipo de muestreo riguroso ya que no todos los elementos de la población pueden formar parte de la muestra.

### 3.3.3.4. Criterios de evaluación de muestra

- 03 probetas del ensayo de Compactación por Proctor modificado en muestra de suelo sin aditivo para evaluación de la propiedad de desempeño de Trabajabilidad.
- 03 probetas del ensayo de Compactación por Proctor modificado en muestra de suelo con aditivo para evaluación de la propiedad de desempeño de Trabajabilidad.
- 27 muestras para el control del contenido de humedad en el ensayo de Compactación por Proctor modificado en muestra de suelo sin aditivo para el control de la humedad y precisión.
- 27 muestras para el control del contenido de humedad en el ensayo de Compactación por Proctor modificado en muestra de suelo con aditivo para el control de la humedad y precisión.
- 09 probetas del ensayo de resistencia a la compresión inconfiada en muestra de suelo sin aditivo.



- 09 probetas del ensayo de resistencia a la compresión inconfiada en muestra de suelo con aditivo.
- 81 muestras para el control del contenido de humedad para controlar la precisión en el ensayo de compresión inconfiada en muestra de suelo sin aditivo para el control de la humedad y precisión.
- 81 muestras para el control del contenido de humedad para controlar la precisión en el ensayo de compresión inconfiada en muestra de suelo con aditivo para el control de la humedad y precisión.

#### **3.3.4. Criterios de inclusión**

- Los elementos muestrales son elaborados con agua potable
- Los elementos muestrales son elaborados en probetas de dimensiones indicadas según normativa estándar.
- Los elementos muestrales son elaborados con un tipo de suelo fino.
- Los elementos muestrales son elaborados bajo la misma mano de obra.
- Los elementos muestrales son elaborados según la dosificación de 60% de aditivo y 40% de agua indicado según establece la patente en uso.

### **3.4. Instrumentos**

#### **3.4.1. Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos**

#### **3.4.2. Características del suelo**

##### **3.4.2.1. Determinación del contenido de humedad**

##### **3.4.2.1.1. Gravedad específica**





**Tabla 4** Instrumento metodológico, Ensayo de Gravedad específica de los sólidos - Parte I

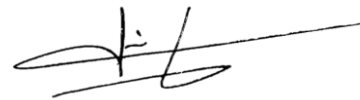
Universidad Andina del Cusco		<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS</b> MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208			
<b>Nombre de la tesis :</b>		<b>“Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004”</b>			
Tesista: Judith Olivera Granada Ubic. de la Muestra: Distrito de San Jerónimo Provincia : Cusco Región : Cusco		N° de Prueba: 1,2,3 Código: ECM-GE Descripción: Ensayo de caracterización de la muestra			
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Gravedad específica de los sólidos</b>					
1	Método de remoción de aire				
	Volumen del frasco a 20° C		V =		
	Peso del frasco volumétrico vacío y seco		Wb =		
	Peso del frasco + agua hasta la marca		Wbw =		
	Plato evaporador Nro.				
	Peso de plato evaporador + sólidos seco		Recp + Ws =		
	Peso del plato evaporador		Recp =		
	Peso de los sólidos seco		Ws =		
	Peso de frasco + Peso de sólidos seco + Agua hasta la marca		Wbws =		
	Temperatura del agua		T°C =		
	Densidad a la Temperatura del agua		Y (T°C) =		
	Densidad a la Temperatura de 20°C		Y (20°C) =		
	Corrección de temperatura		α =		
<b>Gravedad específica muestra Nro. 01</b>		<b>Gs =</b>			
2	Método de remoción de aire				
	Volumen del frasco a 20° C		V =		
	Peso del frasco volumétrico vacío y seco		Wb =		
	Peso del frasco + agua hasta la marca		Wbw =		
	Plato evaporador Nro.				
	Peso de plato evaporador + sólidos seco		Recp + Ws =		
	Peso del plato evaporador		Recp =		
	Peso de los sólidos seco		Ws =		
	Peso de frasco + Peso de sólidos seco + Agua hasta la marca		Wbws =		
	Temperatura del agua		T°C =		
	Densidad a la Temperatura del agua		Y (T°C) =		
	Densidad a la Temperatura de 20°C		Y (20°C) =		
	Corrección de temperatura		α =		
<b>Gravedad específica muestra Nro. 02</b>		<b>Gs =</b>			
3	Método de remoción de aire				
	Volumen del frasco a 20° C		V =		
	Peso del frasco volumétrico vacío y seco		Wb =		
	Peso del frasco + agua hasta la marca		Wbw =		
	Plato evaporador Nro.				
	Peso de plato evaporador + sólidos seco		Recp + Ws =		
	Peso del plato evaporador		Recp =		
	Peso de los sólidos seco		Ws =		
	Peso de frasco + Peso de sólidos seco + Agua hasta la marca		Wbws =		
	Temperatura del agua		T°C =		
	Densidad a la Temperatura del agua		Y (T°C) =		
	Densidad a la Temperatura de 20°C		Y (20°C) =		
	Corrección de temperatura		α =		
<b>Gravedad específica muestra Nro. 03</b>		<b>Gs =</b>			

**Fuente:** Elaboración propia



**Tabla 5** Ensayo de Gravedad específica de los sólidos - Parte II

 Universidad Andina del Cusco		GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208		
<b>Nombre de la tesis :</b>		“Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004”		
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:	1,2,3	
Ubic. de la Muestra:	Distrito de San Jerónimo.	Código:	ECM-GE	
Provincia :	Cusco	Descripción:	Ensayo de caracterización de la muestra	
Región :	Cusco			
<b>Resultados : Ensayo de Gravedad específica de los sólidos</b>				
<b>Descripción</b>		<b>Gravedad Específica</b>		
Gravedad específica - Réplica 1				
Gravedad específica - Réplica 2				
Gravedad específica - Réplica 3				
Mayor valor de $G_s \leq 1.02$ (Bowles, 1982) Menor valos de $G_s$				
Gravedad específica promedio de los sólidos del suelo		Gs		
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS</b>				
Gravedad Específica	1.2	_____		
	1	_____		
	0.8	_____		
	0.6	_____		
	0.4	_____		
	0.2	_____		
	0	_____		



**Fuente:** Elaboración propia



3.4.2.2. Tamaño de partículas

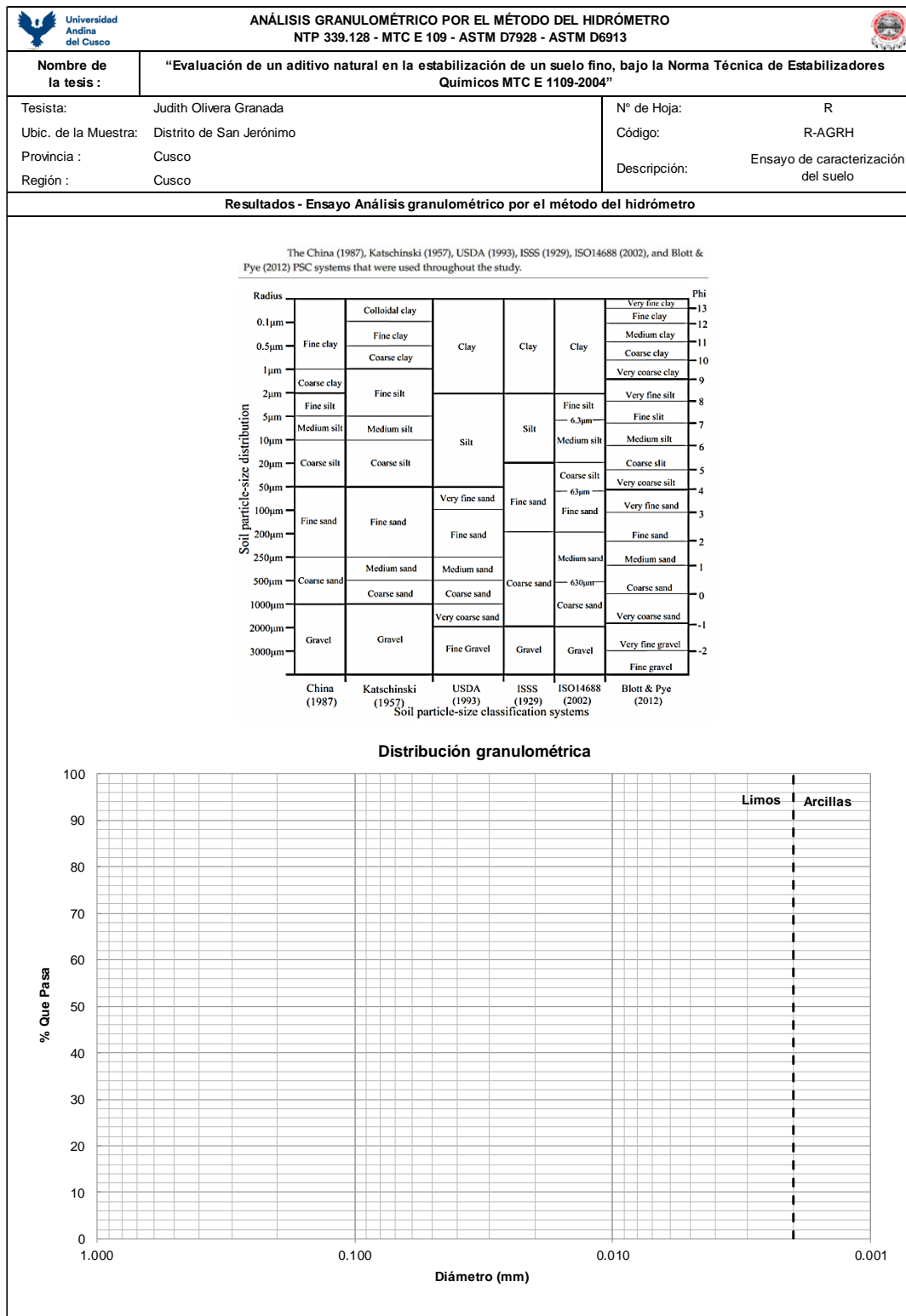
Tabla 6 Análisis Granulométrico por medio del Hidrómetro – Parte I

Universidad Andina del Cusco		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR EL MÉTODO DEL HIDRÓMETRO NTP 339.128 - MTC E 109 - ASTM D7928 - ASTM D6913										
Nombre de la tesis:		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"										
Tesisista:		Judith Olivera Granada					N° de Hoja:		01 de 03			
Ubic. de la Muestra:		Distrito de San Jerónimo					Código:		AGRH			
Provincia:		Cusco					Descripción:		Ensayo de caracterización del suelo			
Región:		Cusco										
Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Análisis granulométrico por el método del hidrómetro												
Descripción del suelo:												
Análisis del hidrómetro:												
Agente Dispersante:												
Hidrómetro No. =							Factor de corrección α =					
Gs de los sólidos =							Corrección de cero =					
Cantidad =							Corrección de menisco =					
Peso de suelo W <sub>s</sub> =							k =					
Día	Hora de la lectura	Tiempo transcurrido min	Temperatura °C	Lectura real del hidrómetro R <sub>c</sub>	C <sub>t</sub>	Lectura corregida del hidrómetro R <sub>c</sub>	% más fino	Hidrómetro corregido por menisco R	L Caída de partícula	L/t	k	D (mm)

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 7** Análisis Granulométrico por medio del Hidrómetro – Parte II



**Fuente:** Elaboración propia



3.4.2.3.Límites de consistencia – Clasificación de suelos

Tabla 8 Límites de consistencia (límite líquido y límite plástico)


UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO LÍMITES DE CONSISTENCIA LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO - IP ASTM D4318 , MTC E 110, MTC E 111, NTP 339.129			
Nombre de la tesis:	"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"		
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:	
Ubic. de la Muestra:	San Jerónimo	Código:	
Provincia :	Cusco	Descripción:	Ensayo de caracterización del suelo
Región :	Cusco		
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Límites de Consistencia: Límite líquido y Límite plástico</b>			
<b>LÍMITE LÍQUIDO - ASTM D4318</b>			
1era Muestra			
Nombre de cápsula			
Peso cápsula (g)			
Peso cápsula +SH (g)			
Peso cápsula+SS (g)			
Número de golpes			
Peso SS (g)			
Peso Agua (g)			
Cont. Hum. (W)%			
<b>LÍMITE PLÁSTICO - ASTM D4318</b>			
1era Muestra			
Nombre de cápsula			
Peso cápsula (g)			
Peso C+SH (g)			
Peso C+SS (g)			
Peso SS (g)			
Peso Agua (g)			
Cont. Hum.(W)%			
		Límite plástico (%) = _____ Límite líquido (%) = _____ Índice plástico (%) = _____	
Carta de plasticidad de Casagrande (Según ASTM D-2487)			
		CLASIFICACIÓN SUCS _____	
Nota: SS: Suelo Seco SH: Suelo Húmedo			

Fuente: Elaboración propia







**Tabla 9 Límite de contracción – Parte I**

 Universidad Andina del Cusco		LÍMITE DE CONTRACCIÓN MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208			
Nombre de la tesis:	"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"				
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba: 01LC - 02LC - 03LC - 04LC			
Ubic. de la Muestra:	Distrito de San Jerónimo.	Código: LC			
Provincia :	Cusco	Descripción: Ensayo de caracterización de la muestra.			
Región :	Cusco				
<b>Registro de datos y cálculos - Ensayo Límite de Contracción del suelo en estudio</b>					
Temperatura del agua T°C					
Densidad de la galleta de suelo a T°C					
Muestra (A)	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04	
Descripción del recipiente					
Nombre del recipiente					
Peso del recipiente (g)					
Peso recipiente + Suelo Húmedo (g)					
Peso recipiente + Suelo Seco (g)					
Peso Suelo Seco (g)					
Densidad de parafina (g/cm3)					
Peso Suelo Seco + parafina (g)					
Peso parafina (g)					
Volumen parafina (cm3)					
Peso Agua (g)					
Contenido de Humedad (%)					
Peso de recipiente + agua destilada					
Volumen de recipiente (ml) = Vo					
Volumen suelo seco + parafina					
Volumen suelo seco (ml) = Vf					
Nombre de Recipiente					
Volumen de Recipiente (ml)					
Peso de recipiente					
Peso de recipiente + agua destilada					
Peso recipiente + agua + suelo					
<b>Límite de contracción</b>					

**Fuente:** Elaboración propia




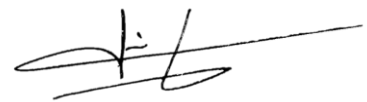
**Tabla 10** Límite de contracción – Parte II

 Universidad Andina del Cusco		LÍMITE DE CONTRACCIÓN MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208				
Nombre de la tesis:	"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"					
Tesista:	Judith Olivera Granada			N° de Prueba:	R	
Ubic. de la Muestra:	Distrito de San Jerónimo.			Código:	RLC	
Provincia :	Cusco			Descripción:	Ensayo de caracterización de la muestra	
Región :	Cusco					
<b>Resultados : Ensayo Límite de contracción del suelo en estudio</b>						
Muestra (A)	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04	Media Aritmética	
Límite de contracción						

**LÍMITE DE CONTRACCIÓN**





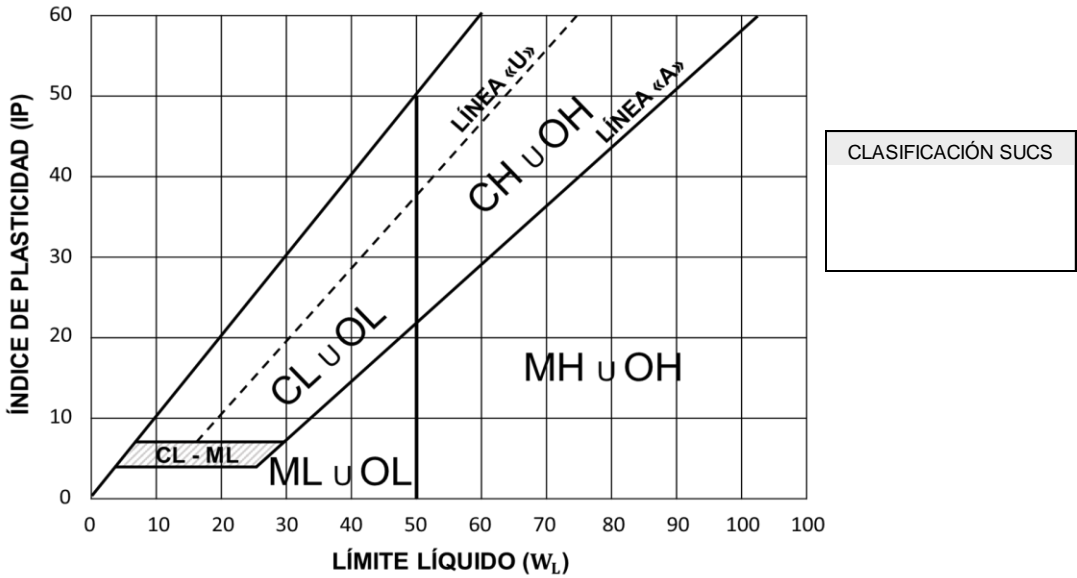


**Fuente:** Elaboración propia



3.4.2.4. Clasificación de suelos (ASTM D 2487)

Tabla 11 Clasificación de suelos



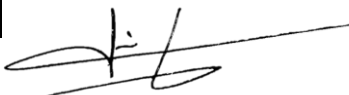
 Universidad Andina del Cusco		LÍMITES DE CONSISTENCIA LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO - IP ASTM D4318 , MTC E 110, MTC E 111, NTP 339.129			
Nombre de la tesis:		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"			
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:	R		
Ubic. de la Muestra:	San Jerónimo	Código:	R-LL-LP		
Provincia :	Cusco	Descripción:	Ensayo de caracterización del suelo		
Región :	Cusco				
<b>Resultados Ensayo Límites de Consistencia: Límite líquido y Límite plástico</b>					
		Prueba 01	Prueba 02	Prueba 03	Media Aritmética
Límite plástico (%)					
Límite líquido (%)					
Índice plástico (%)					
Carta de plasticidad de Casagrande (Según ASTM D-2487)					
					

Fuente: Elaboración propia



3.4.2.5. Trabajabilidad - Compactación Proctor Modificado

Tabla 12 Instrumento metodológico, ensayo compactación Proctor Modificado – Parte I

 COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141													
<b>Nombre de la tesis:</b>		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"											
Tesis: Judith Olivera Granada Ubic. de la Muestra: San Jerónimo Provincia : Cusco Región : Cusco		N° de Prueba: Código: Descripción:											
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Compactación Proctor Modificado</b>													
<b>Determinación del contenido de humedad</b>													
Muestra	(Antes de Compactar)			(después de Compactar)			(Antes de Compactar)			(después de Compactar)			
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	
Nombre de recipiente													
Peso recipiente (g)													
Peso recipiente +SH (g)													
Peso recipiente+SS (g)													
Peso SS (g)													
Peso Agua (g)													
Contenido de Humedad %													
Promedio Cont. de Hum (%)													
<b>Determinación del contenido de humedad</b>													
Muestra	(Antes de Compactar)			(después de Compactar)			(Antes de Compactar)			(después de Compactar)			
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	
Nombre de recipiente													
Peso recipiente (g)													
Peso recipiente +SH (g)													
Peso recipiente+SS (g)													
Peso SS (g)													
Peso Agua (g)													
Contenido de Humedad %													
Promedio Cont. de Hum (%)													
<b>Determinación del contenido de humedad</b>													
Muestra	(Antes de Compactar)			(después de Compactar)			(Antes de Compactar)			(después de Compactar)			
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	
Nombre de recipiente													
Peso recipiente (g)													
Peso recipiente +SH (g)													
Peso recipiente+SS (g)													
Peso SS (g)													
Peso Agua (g)													
Contenido de Humedad %													
Promedio Cont. de Hum (%)													
										Nota: SS: Suelo Seco SH: Suelo Húmedo			

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 13** Instrumento metodológico, ensayo compactación Proctor Modificado – Parte II

<span style="font-size: small;">Universidad Andina del Cusco</span>		<b>COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO</b> MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141			
<b>Nombre de la tesis:</b>		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"			
Tesista:	Judith Olivera Granada	Ubic. de la Muestra:		N° de Prueba:	
Provincia :	Cusco	Región :		Código:	
Región :	Cusco			Descripción:	
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Compactación Proctor Modificado</b>					
<b>Determinación de la densidad</b>					
N° Molde Proctor					
Volumen Molde (cm)					
Contenido de Humedad Promedio %					
Peso de molde proctor + SH					
Peso de molde proctor					
Peso SH					
Densidad Húmeda					
Densidad Seca					
				Nota: SS: Suelo Seco SH: Suelo Húmedo	
<b>ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO</b>					
DENSIDAD SECA (G/CM <sup>3</sup> )	1.80				
	1.75				
	1.70				
	1.65				
	1.60				
	1.55				
	1.50				
	1.45				
	18		23		
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)					
Contenido de Humedad Óptima (%)		Densidad Seca Máxima (g/cm <sup>3</sup> )			

**Fuente:** Elaboración propia



**Tabla 14** Instrumento metodológico, ensayo compactación Proctor Modificado – Parte III



	<b>COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO</b> MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141			
<b>Nombre de la tesis:</b>	“Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004”			
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:	R	
Ubic. de la Muestra:	San Jerónimo	Código:	RPSA	
Provincia :	Cusco	Descripción:	PROCTOR SIN ADITIVO	
Región :	Cusco			
<b>Resultados : Ensayo Compactación Proctor Modificado</b>				
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Contenido de Humedad Óptima (%)				
Densidad Seca Máxima (g/cm3)				

**Fuente:** Elaboración propia



**Tabla 15** Instrumento metodológico, ensayo compactación Proctor Modificado – Parte IV

 Universidad Andina del Cusco		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141		
<b>Nombre de la tesis:</b>		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"		
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:		
Ubic. de la Muestra:	San Jerónimo	Código:		
Provincia :	Cusco	Descripción:		
Region :	Cusco			
Calibración de moldes				
Molde 01	Molde 02	Molde 03	Molde 04	
Peso molde proctor sin collar 01: <u>Promedio:</u>	Peso molde proctor sin collar 02: <u>Promedio:</u>	Peso molde proctor sin collar 03: <u>Promedio:</u>	Peso molde proctor sin collar 04: <u>Promedio:</u>	
Diámetro <u>Promedio:</u>	Diámetro <u>Promedio:</u>	Diámetro <u>Promedio:</u>	Diámetro <u>Promedio:</u>	
Altura <u>Promedio:</u>	Altura <u>Promedio:</u>	Altura <u>Promedio:</u>	Altura <u>Promedio:</u>	
Volumen molde 01:	Volumen molde 02:	Volumen molde 03:	Volumen molde 04 :	
Peso de agua en molde 01:	Peso de agua en molde 02:	Peso de agua en molde 03:	Peso de agua en molde 04 :	
Temperatura del agua °C	Temperatura del agua °C:	Temperatura del agua °C:	Temperatura del agua °C:	
Densidad del agua a una Temp °C	Densidad del agua a una Temp °C	Densidad del agua a una Temp °C	Densidad del agua a una Temp °C	
Volumen molde 01 :	Volumen molde 02 :	Volumen molde 03 :	Volumen molde 04 :	

**Fuente:** Elaboración propia



**3.4.2.6. Resistencia a la compresión no confinada.**

**Tabla 16** *Instrumento metodológico, método de prueba estándar para la resistencia a la compresión no confinada del suelo fino – Parte I*



Universidad Andina del Cusco		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208							
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"							
Tesista:	Judith Olivera Granada						N° de Prueba:		
Ubic. de la Muestra:	Distrito de San Jerónimo						Código:		
Provincia :	Cusco						Descripción:		
Región :	Cusco								
Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo resistencia a la compresión no confinada									
Descripción del suelo:									
Límite líquido:	%	Límite plástico:	%	Índice plástico:	%				
Datos de la muestra:									
Diámetro:	mm	Área Ao:	cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:	mm				
Volumen:	cm <sup>3</sup>	Peso:	g	Peso unitario húmedo:	g/cm <sup>3</sup>				
Contenido de Humedad:	w% :		%	Peso unitario seco:	g/cm <sup>3</sup>				
Lectura del Deformímetro (Axial)	Lectura del Deformímetro de carga	Deformación de la muestra	Deformación unitaria	Deformación unitaria	Área	Área Corregida	Carga Total sobre la muestra	Esfuerzo sobre la muestra	
Div = 0.001 pulg	Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	ΔL (mm)	ε = ΔL/Lo	εx10 <sup>3</sup> (3)	CF 1 - ε	A' (cm <sup>2</sup> )	P' (kg)	σ = P'/A' (kg/cm <sup>2</sup> )	
Resistencia a la compresión no confinada :		qu =	Kg/cm <sup>2</sup>						
Cohesión :		qu / 2 =	Kg/cm <sup>2</sup>						

**Fuente:** Elaboración propia







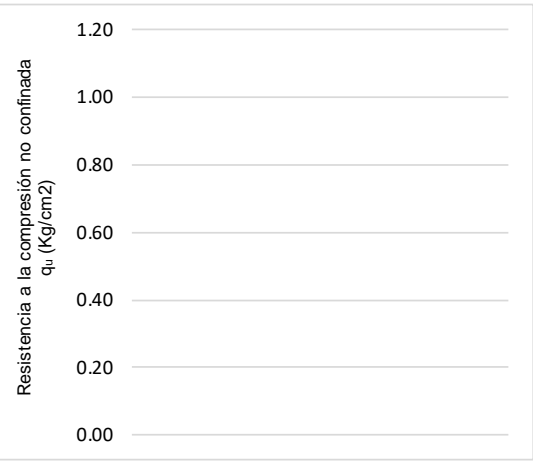
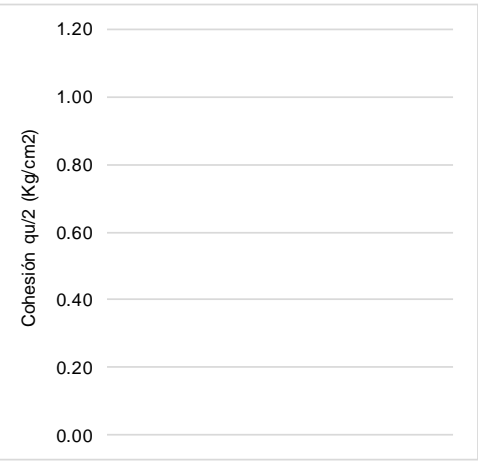
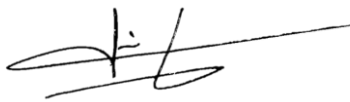
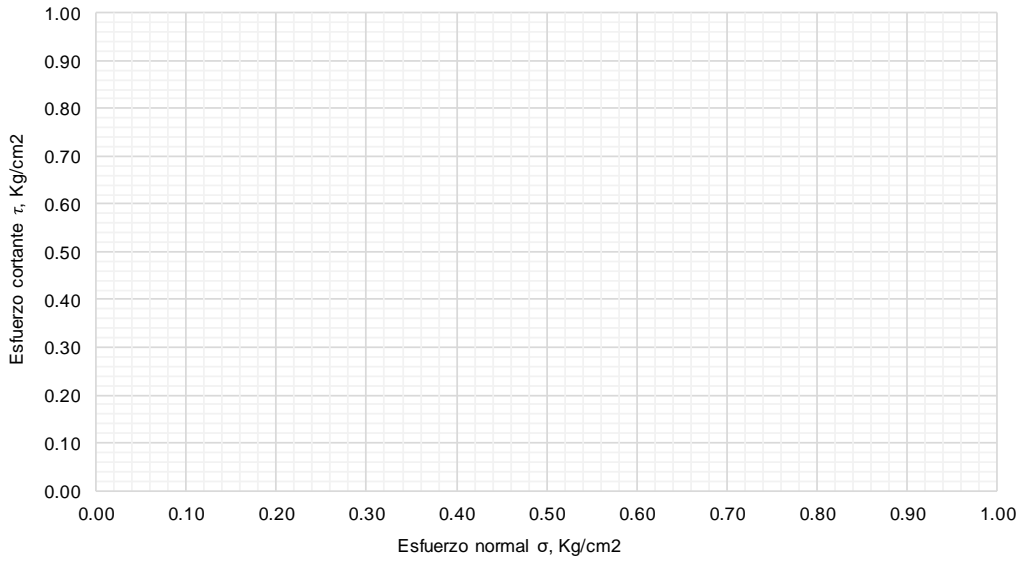
**Tabla 17** Instrumento metodológico, método de prueba estándar para la resistencia a la compresión no confinada del suelo fino – Parte II

 Universidad Andina del Cusco		<b>MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA</b> MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208																		
Nombre de la tesis :		“Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004”																		
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:																		
Ubic. de la Muestra:	Distrito de San Jerónimo	Código:																		
Provincia :	Cusco	Descripción:																		
Región :	Cusco																			
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo resistencia a la compresión no confinada</b>																				
<p style="text-align: center;"><b>ESFUERZO VS DEFORMACIÓN</b></p>		<p style="text-align: center;"><b>CIRCULO DE MOHR ENSAYO COMPRESION NO CONFINADA</b></p>																		
		<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Ensayo resistencia a la compresión no confinada</th> </tr> <tr> <td colspan="2">Descripción del suelo:</td> </tr> <tr> <td>Límite líquido:</td> <td style="text-align: right;">%</td> </tr> <tr> <td>Límite plástico:</td> <td style="text-align: right;">%</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Resistencia a la compresión no confinada :</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;"><math>q_u =</math></td> <td style="text-align: right;">Kg/cm2</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Cohesión :</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;"><math>c = q_u / 2 =</math></td> <td style="text-align: right;">Kg/cm2</td> </tr> </table>			Ensayo resistencia a la compresión no confinada		Descripción del suelo:		Límite líquido:	%	Límite plástico:	%	Resistencia a la compresión no confinada :		$q_u =$	Kg/cm2	Cohesión :		$c = q_u / 2 =$	Kg/cm2
Ensayo resistencia a la compresión no confinada																				
Descripción del suelo:																				
Límite líquido:	%																			
Límite plástico:	%																			
Resistencia a la compresión no confinada :																				
$q_u =$	Kg/cm2																			
Cohesión :																				
$c = q_u / 2 =$	Kg/cm2																			

**Fuente:** Elaboración propia



**Tabla 18** Instrumento metodológico, método de prueba estándar para la resistencia a la compresión no confinada del suelo fino – Parte II

 <b>MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA</b> MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208 		
<b>Nombre de la tesis :</b>		
"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"		
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba: R
Ubic. de la Muest	Distrito de San Jerónimo	Código: R-RCNC-SA-CA
Provincia :	Cusco	Descripción: Resultados - Resistencia a la compresión no confinada
Región :	Cusco	
Descripción del suelo: Limo pardo		
Límite líquido:	%	
Límite plástico:	%	
<b>Resultados - Ensayo resistencia a la compresión no confinada</b>		
Compresión no confinada	Resistencia a la compresión no confinada $q_u$	Cohesión $q_u/2$
Compresión no confinada - Sin Aditivo	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
Compresión no confinada - Con Aditivo	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="width: 45%;">  </div> <div style="width: 45%;">  </div> </div>		
<b>CÍRCULO DE MOHR</b> <b>ENSAYO COMPRESIÓN NO CONFINADA</b> 		
		

**Fuente:** Elaboración propia



### 3.4.3. Instrumentos de ingeniería

- Recipientes
- Desecador
- Sujetador para mover y manipular recipientes calientes
- Tenazas
- Cuchillos
- Cucharas
- Lona para cuarteo
- Divisores de muestras
- Picnómetro
- Matraz
- Horno de Secado
- Una bomba de vacíos
- Contenedor aislado
- Vaso picudo
- Picnómetro
- Máquina mezcladora
- Computadora
- Calculadora
- Platos de especímenes
- Guantes de aislamiento.
- Embudo
- Tamiz – N° 4 (4,75m)
- Tamiz, de 2,0 mm (N° 10)
- Tamiz 74  $\mu\text{m}$  (N° 200).
- Balanza de sensibilidad 0,01 g.
- Balanza de sensibilidad 0,1 g.
- Balanza de sensibilidad 1 g.
- Aparato agitador, mecánico o neumático, con su vaso (figuras 1 y 2).
- Hidrómetro 152 H
- Cilindro de vidrio
- Termómetro de inmersión



- Estufa
- Plancha de calentamiento.
- Recipiente para Almacenaje.
- Una vasija de porcelana de 115 mm (4 ½") de diámetro
- Aparato de Casagrande
- Acanalador
- Calibrador
- Recipientes
- Estufa termostáticamente controlada
- Espátula de hoja flexible 4" de longitud por ¾" de ancho
- Recipiente de porcelana 4 ½" de diámetro.
- Vidrio grueso esmerilado.
- Plato de evaporación, de porcelana, de 4 1/2" y de 6" de diámetro
- Plato para contracción con una base plana y de 1 3/4 " de diámetro y 1/2" de altura.
- Aparato de Compresión
- Extractor de muestras
- Un torno con motor o tallador de probetas de muestras inalteradas con accesorios
- Sierra de alambre
- Un cronómetro
- Vernier
- Moldes para preparar probetas mediante compactado

### **3.5.Procedimientos de recolección de datos**

#### **3.5.1. Determinación del contenido de humedad**

MTC E 108 - ASTM D2216 indica:

##### **a) Equipos utilizados en la prueba**

- Balanza: Con sensibilidad al 0,1 % del peso de prueba.
- Un horno ventilado que mantenga la temperatura de la muestra alrededor de 110°C ± 5°C.
- Envases que no sea afectado por el calor y con capacidad para contener la muestra sin derramarse.

**b) Procedimiento**

Determinar la masa de la muestra con una precisión del 0,1 %.

**Figura 17.** Registro del peso de la muestra de suelo húmedo



**Fuente:** Elaboración propia

Secar la muestra en el recipiente por medio de la fuente de calor elegida, teniendo cuidado de evitar la pérdida de ninguna partícula. Un secado muy rápido puede causar que exploten algunas partículas resultando en pérdidas de partículas. Usar un horno de temperatura controlada cuando el calor excesivo puede alterar las características del agregado o cuando se requiera una medición más precisa.

**Figura 18.** Muestras de suelo secadas al horno a temperatura constante



**Fuente:** Elaboración propia

La muestra estará suficientemente seca cuando la aplicación de calor adicional cause o puede causar menos de 0,1% de pérdida adicional de masa.

**Figura 19.** Muestras secas de suelo fino para la determinación del contenido de humedad



**Fuente:** Elaboración propia

Determinar la masa de la muestra seca con una aproximación de 0,1 % después que se haya secado y enfriado lo suficiente para no dañar la balanza.

**Figura 20.** Registro del valor de peso de muestras de suelo seco



**Fuente:** Elaboración propia



### 3.5.2. Características del suelo

### 3.5.3. Tamaño de partículas

#### 3.5.3.1. MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS DE SUELO

MTC E 113, NTP 339.131 indica:

##### a) Equipos utilizados en la prueba

- Picnómetro o picnómetro con una capacidad mínima de 250 ml
- Balanza: con precisión de lectura de 0,01g y una capacidad de al menos 2000 g.
- Horno de Secado: Capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- Sistema de vacío: Para remover el aire atrapado.
- Embudo
- Tamiz N.º 4 (4,75m)
- Agua destilada

##### b) Procedimiento

Se determina la masa del picnómetro limpio y seco con una aproximación de 0,01g. Llenar el picnómetro con agua desairada por encima o debajo de la marca de calibración. Remover el agua para llevar el nivel de agua a la marca de calibración. El agua debe estar desairada, revisar y remover cualquier glóbulo de agua entonces remover el exceso de agua usando un gotero o tubo de succión; secar usando una toalla de papel la punta o corona y el exterior, del picnómetro. Medir y registrar la masa del picnómetro y el agua con una aproximación al 0,01g y calcular el volumen del picnómetro.

**Figura 21.** *Uso de la bomba de vacíos para desairado del agua de ensayo*



**Fuente:** Elaboración propia



Se dispersó el suelo usando un mezclador y añadí al suelo alrededor de 100 ml de agua en un picnómetro de 500 ml, con el embudo se vertió la pasta aguada en el picnómetro enjuagando cualquier partícula de suelo remanente usando un spray de lavado, usando la máquina de vacío se prosigue con el desairado de la pasta aguada añadiendo agua desairada hasta que el nivel del agua esté entre  $\frac{1}{3}$  y  $\frac{1}{2}$  de la profundidad del cuerpo principal del picnómetro hasta que la pasta aguada se forme enjuagando cualquier suelo adherido al picnómetro en la pasta.

**Figura 22.** *Ensayo de gravedad específica, desairado de la muestra y registro de peso*



**Fuente:** Elaboración propia

Se mide y registra la masa del picnómetro, suelo, y agua con una aproximación de 0,01g, registrando la temperatura de la mezcla pastosa aguada de suelo agua con una aproximación de  $0,1^{\circ}\text{C}$

Se registra la masa del suelo seco con una aproximación de 0,01g; se transfiere el suelo pastoso aguado a la tara enjuagando el picnómetro de todo residuo de suelo añadiendo agua y transfiriendo el suelo pastoso aguado a la tara.



Se seca el espécimen hasta una masa constante en un horno manteniéndolo a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  y enfriarlo de manera que el suelo no pueda absorber humedad durante el enfriamiento, se calcula y registra la masa de los sólidos de suelo secos con una aproximación de 0,01 g.





c) Toma de datos

Tabla 19 Recolección de datos del ensayo de Gravedad específica de los sólidos

 <b>GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS</b> <b>MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208</b> 		
<b>Nombre de la tesis :</b>	<b>"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"</b>	
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba: 1,2,3
Ubic. de la Muestra:	Distrito de San Jerónimo	Código: ECM-GE
Provincia :	Cusco	Descripción: Ensayo de caracterización de la muestra
Región :	Cusco	
Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Gravedad específica de los sólidos		
1	Método de remoción de aire	vacío
	Volumen del frasco a 20° C	V = 500 ml
	Peso del frasco volumétrico vacío y seco	Wb = 142.12 g
	Peso del frasco + agua hasta la marca	Wbw = 637.78 g
	Plato evaporador Nro.	M-1
	Peso de plato evaporador + sólidos seco	Recp + Ws = 152.38 g
	Peso del plato evaporador	Recp = 47.78 g
	Peso de los sólidos seco	Ws =
	Peso de frasco + Peso de sólidos seco + Agua hasta la marca	Wbws = 703.05 g
	Temperatura del agua	T°C = 22 °C
	Densidad a la Temperatura del agua	Y (T°C) = 0.998
	Densidad a la Temperatura de 20°C	Y (20°C) = 0.998
	Corrección de temperatura	α =
	<b>Gravedad específica muestra Nro. 01</b>	<b>Gs =</b>
2	Método de remoción de aire	vacío
	Volumen del frasco a 20° C	V = 500 ml
	Peso del frasco volumétrico vacío y seco	Wb = 142.12 g
	Peso del frasco + agua hasta la marca	Wbw = 637.78 g
	Plato evaporador Nro.	E-6
	Peso de plato evaporador + sólidos seco	Recp + Ws = 148.04 g
	Peso del plato evaporador	Recp = 42.98 g
	Peso de los sólidos seco	Ws =
	Peso de frasco + Peso de sólidos seco + Agua hasta la marca	Wbws = 704.05 g
	Temperatura del agua	T°C = 22 °C
	Densidad a la Temperatura del agua	Y (T°C) = 0.998
	Densidad a la Temperatura de 20°C	Y (20°C) = 0.998
	Corrección de temperatura	α =
	<b>Gravedad específica muestra Nro. 02</b>	<b>Gs =</b>
3	Método de remoción de aire	vacío
	Volumen del frasco a 20° C	V = 500 ml
	Peso del frasco volumétrico vacío y seco	Wb = 142.12 g
	Peso del frasco + agua hasta la marca	Wbw = 637.78 g
	Plato evaporador Nro.	M-6
	Peso de plato evaporador + sólidos seco	Recp + Ws = 153.64 g
	Peso del plato evaporador	Recp = 48.54 g
	Peso de los sólidos seco	Ws =
	Peso de frasco + Peso de sólidos seco + Agua hasta la marca	Wbws = 703.98 g
	Temperatura del agua	T°C = 22 °C
	Densidad a la Temperatura del agua	Y (T°C) = 0.998
	Densidad a la Temperatura de 20°C	Y (20°C) = 0.998
	Corrección de temperatura	α =
	<b>Gravedad específica muestra Nro. 03</b>	<b>Gs =</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.4. Análisis granulométrico por medio del hidrómetro

MTC E 109, NTP 339.128, ASTM D7928 - 17, AASHTO T88, indica:

#### a) Equipos, materiales y reactivos utilizados en la prueba

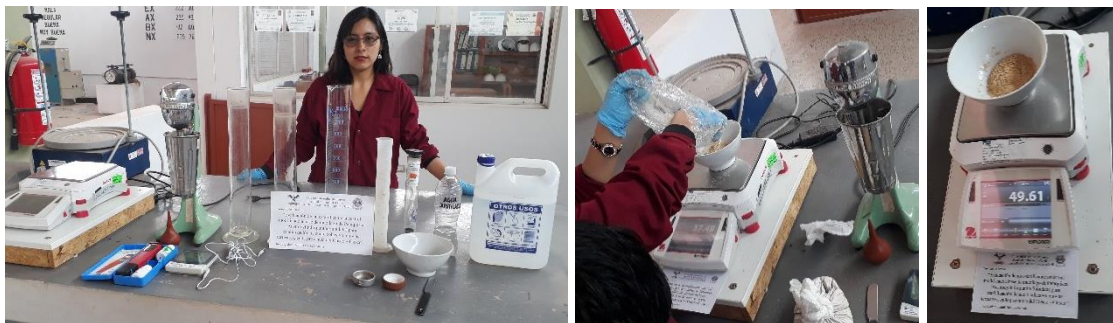
- Tres balanzas, de sensibilidades y precisión de 0,01 gr; 0,1 gr y 1 gr.
- Dos tipos de tamices de N° 10 y de N° 200.
- Es opcional el uso de un tamizador mecánico.
- Hidrómetro. El que se utiliza comúnmente, el 152H por designación de la ASTM.
- Cilindro de hidrómetro o similar para sedimentación.
- Termómetro de inmersión, con apreciación de 0.5 °C.
- Un cronometro o un reloj para controlar el tiempo.
- Un horno capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes.
- Un recipiente para baño de temperatura controlada para el cilindro de vidrio.
- Plancha de calentamiento.
- Vasijas apropiadas para la colocación de muestras y su secado.
- Un par de guantes de asbesto o caucho.
- 40 gr de agente dispersante, solución de hexametáfosfato ( (metáfosfato  $NaPO_3$ )
- Agua destilada o desmineralizada.

#### b) Procedimiento

Se preparó previamente los materiales necesarios para la prueba y se tomaron 50gr de suelo que tenga entre 80 y 90% de material menor que el diámetro que pase a través del tamiz No. 200 para mezclarlo con 125 ml de solución al 4% de hexametáfosfato de sodio  $NaPO_3$ .

Procedimiento para el ensayo de granulometría por medio del Hidrómetro

**Figura 23.** Preparación de equipos y materiales, ensayo granulometría por hidrómetro



**Fuente:** Elaboración propia

Se transfiere la mezcla a la maquina batidora y se mezcla por 5 minutos.

**Figura 24** *Transferencia de la mezcla en la maquina batidora*



**Fuente:** Elaboración propia

Se transfiere el contenido del vaso de la batidora en un cilindro de sedimentación, teniendo mucho cuidado de no perder material en el proceso y se le añade agua hasta completar la marca de 1000 ml en el cilindro. De igual forma se preparó la muestra patrón con agua destilada y 125 ml de solución de defloculante al 4%.

**Figura 25.** *Procedimiento de preparación del cilindro de sedimentación y de control*



**Fuente:** Elaboración propia

Se toma un tapón o similar para tapan la boca del cilindro y se agita por un minuto con mucho cuidado para evitar derrames, luego se coloca el cilindro sobre la mesa y se inserta el hidrómetro. Para mantener la misma temperatura del agua en el cilindro de sedimentación y en el de control, estos son colocados en un solo contenedor con agua.

**Figura 26.** Procedimiento del registro de datos en el cilindro de sedimentación y el cilindro de control.



**Fuente:** Elaboración propia.

Se coloca el hidrómetro y el termómetro en el recipiente de control y en el de sedimentación. Se registran lecturas con los siguientes intervalos de tiempo de 1,2,3,4,8,15,30,60 minutos y 2,4,8,16,32,64, 96 horas equivalente a 4 días. Se registra de igual forma la temperatura juntamente con los registros de lecturas de hidrómetro para hacer las correcciones de menisco en el hidrómetro dentro del cilindro de control.

**Figura 27.** Imágenes del registro de datos de sedimentación de las partículas de suelo y control de temperatura

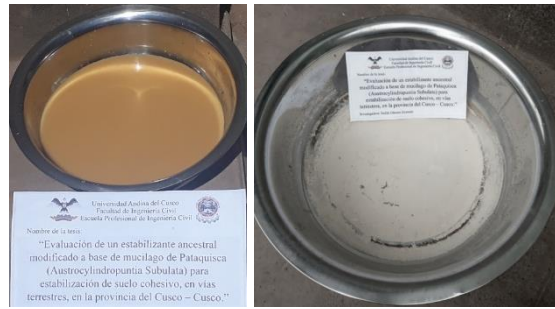


**Fuente:** Elaboración propia

Se determina el peso de la muestra al final del ensayo, luego se levanta cuidadosamente toda la suspensión transfiriéndola a una cápsula de evaporación. Séquese el material al horno, déjese enfriar y se determina el peso de la muestra. El peso seco de la muestra de suelo empleada se obtendrá restándole a este valor el peso seco del agente defloculante empleado.



**Figura 28.** Imagen de la muestra antes y después de ser colocada en el horno de secado



**Fuente:** Elaboración propia



c) Toma de datos

**Tabla 20** *Recolección de datos del ensayo análisis Granulométrico por medio del Hidrómetro – Parte I*

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR EL MÉTODO DEL HIDRÓMETRO</b> NTP 339.128 - MTC E 109 - ASTM D7928 - ASTM D6913												
<b>Nombre de la tesis :</b>		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"										
Tesisista:		Judith Olivera Granada					N° de Hoja:		01 de 02			
Ubic. de la Muestra:		Distrito de San Jerónimo					Código:		AGRH			
Provincia :		Cusco					Descripción:		Ensayo de caracterización del suelo			
Región :		Cusco										
Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Análisis granulométrico por el método del hidrómetro												
Descripción del suelo:		Limo pardo										
Análisis del hidrometro :												
Agente Dispersante:		NaPO3 Hexametáfosfato de sodio										
Hidrómetro No. =		152 H					Factor de corrección $\alpha$ =					
Gs de los sólidos =		2.68 g/cm3					Corrección de cero =					
Cantidad =		4% en 125 ml					Corrección de menisco =					
Peso de suelo Ws =		48.74 g					k =					
Día	Hora de la lectura	Tiempo transcurrido min	Temperatura °C	Lectura real del hidrómetro Rc	Ct	Lectura corregida del hidrómetro Rc	% más fino	Hidrómetro corregido por menisco R	L Caída de partícula	L/t	k	D (mm)
1er día	11:57:00	0	17.30	51.0								
1er día	11:58:00	1	17.30	50.0								
1er día	11:59:00	2	17.30	42.5								
1er día	12:00:00	3	17.30	40.5								
1er día	12:01:00	4	17.30	39.0								
1er día	12:02:00	5	17.30	38.0								
1er día	12:03:00	6	17.30	37.0								
1er día	12:04:00	7	17.30	36.0								
1er día	12:05:00	8	17.30	35.0								
1er día	12:06:00	9	17.30	34.5								
1er día	12:07:00	10	17.30	34.0								
1er día	12:08:00	11	17.30	33.5								
1er día	12:09:00	12	17.30	33.0								
1er día	12:10:00	13	17.30	32.5								
1er día	12:11:00	14	17.30	32.0								
1er día	12:12:00	15	17.30	32.0								
1er día	12:13:00	16	17.30	31.5								
1er día	12:14:00	17	17.20	31.3								
1er día	12:15:00	18	17.20	31.0								
1er día	12:16:00	19	17.20	31.0								
1er día	12:17:00	20	17.20	30.5								
1er día	12:18:00	21	17.20	30.2								
1er día	12:19:00	22	17.20	30.0								
1er día	12:20:00	23	17.10	30.1								
1er día	12:21:00	24	17.10	29.5								
1er día	12:22:00	25	17.10	29.0								
1er día	12:23:00	26	17.10	29.0								
1er día	12:24:00	27	17.10	29.0								
1er día	12:25:00	28	17.10	29.0								
1er día	12:26:00	29	17.10	29.0								
1er día	12:27:00	30	17.10	28.9								
1er día	12:28:00	31	17.10	28.5								
1er día	12:29:00	32	17.10	28.2								
1er día	12:30:00	33	17.10	28.1								
1er día	12:31:00	34	17.10	28.0								
1er día	12:32:00	35	17.10	28.0								

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 21** *Recolección de datos del ensayo análisis Granulométrico por medio del Hidrómetro – Parte II*

Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"										
Tesista: Judith Olivera Granada		N° de Hoja: 02 de 02										
Ubic. de la Muestra: Distrito de San Jerónimo		Código: AGRH										
Provincia : Cusco		Descripción: Ensayo de caracterización del suelo										
Región : Cusco												
Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Análisis granulométrico por el método del hidrómetro												
Descripción del suelo: Limo pardo												
Análisis del hidrometro :												
Agente Dispersante:		NaPO <sub>3</sub> HEXAMETAFOSFATO DE SODIO										
Hidrómetro No. =		152 H		Factor de corrección $\alpha$ =								
Gs de los sólidos =		2.68 g/cm <sup>3</sup>		Corrección de cero =								
Cantidad =		4% en 125 ml		Corrección de menisco =								
Peso de suelo W <sub>s</sub> =		48.74 g		k =								
Día	Hora de la lectura	Tiempo transcurrido min	Temperatura °C	Lectura real del hidrómetro R <sub>c</sub>	Ct	Lectura corregida del hidrómetro R <sub>c</sub>	% más fino	Hidrómetro corregido por menisco R	L Caída de partícula	L/t	k	D (mm)
1er día	12:34:00	37	17.10	28.0								
1er día	12:35:00	38	17.10	27.5								
1er día	12:36:00	39	17.10	27.1								
1er día	12:37:00	40	17.10	27.0								
1er día	12:38:00	41	17.00	27.0								
1er día	12:39:00	42	17.00	27.0								
1er día	12:40:00	43	17.00	27.0								
1er día	12:41:00	44	17.00	27.0								
1er día	12:43:00	46	17.10	27.0								
1er día	12:44:00	47	17.10	27.0								
1er día	12:45:00	48	17.10	27.0								
1er día	12:47:00	50	17.10	26.5								
1er día	12:49:00	52	17.10	26.1								
1er día	12:51:00	54	17.10	26.0								
1er día	12:52:00	55	17.10	25.9								
1er día	12:55:00	58	17.10	25.9								
1er día	12:56:00	59	17.10	25.9								
1er día	13:00:00	63	17.10	25.2								
1er día	13:02:00	65	17.10	25.1								
1er día	13:04:00	67	17.10	25.1								
1er día	13:05:00	68	17.10	25.1								
1er día	13:09:00	72	17.10	25.0								
1er día	13:10:00	73	17.10	25.0								
1er día	13:17:00	80	17.10	25.0								
1er día	13:22:00	85	17.10	25.0								
1er día	13:27:00	90	17.10	24.8								
1er día	13:32:00	95	17.10	24.5								
1er día	13:37:00	100	17.10	24.1								
1er día	13:42:00	105	17.10	24.0								
1er día	13:47:00	110	17.10	23.5								
1er día	13:52:00	120	17.10	22.0								
2do día	08:41:00	157	15.90	18.0								
2do día	09:11:00	197	16.00	17.5								
2do día	11:01:00	307	16.00	17.5								
4to día	10:15:00	1394	15.20	11.0								
4to día	10:25:00	1404	15.20	11.0								
4to día	10:55:00	1434	15.20	11.0								

Fuente: Elaboración propia



### 3.5.5. Límites de consistencia

MTC E 110-111, NTP 339.129, ASTM D1241, AASHTO T89–T90, indican:

### 3.5.6. Límite líquido

#### a) Equipos, materiales e insumos utilizados en la prueba

- Una vasija de porcelana de 115 mm (4 ½”) de diámetro aproximadamente.
- Aparato de Casagrande de límite líquido.
- Acanalador con las dimensiones normadas.
- Calibrador de acuerdo con la dimensión indicadas según normativa
- Recipientes cuya masa no cambie con repetidos calentamientos y enfriamientos.
- Balanza con sensibilidad de 0,01 g.
- Horno que pueda conservar temperaturas de  $110\pm 5^{\circ}\text{C}$  para secar la muestra.
- Espátula de hoja flexible de unos 3”–4” de longitud y  $\frac{3}{4}$ ” de ancho aproximadamente.
- Agua destilada o agua desmineralizada.

#### b) Procedimiento

Utilizando el método multipunto. Se coloca una porción del suelo preparado, en la copa del dispositivo de límite líquido en el punto en que la copa descansa sobre la base, presionándola, y esparciéndola en la copa hasta una profundidad de aproximadamente 10 mm en su punto más profundo, formando una superficie aproximadamente horizontal, teniendo cuidado en no dejar burbujas de aire atrapadas en la pasta con el menor número de pasadas de espátula como sea posible.

**Figura 29.** *Ensayo limite líquido, graduación de equipo casa grande y colocación de suelo húmedo en la copa.*



**Fuente:** Elaboración propia

Mantener el suelo no usado en el plato de mezclado cubriéndolo con un paño húmedo para retener la humedad en la muestra; utilizando el acanalador, se divide la muestra contenida en la





copa, haciendo una ranura a través del suelo siguiendo una línea que una el punto más alto y el punto más bajo sobre el borde de la copa; cuando se corta la ranura, se mantiene el acanalador contra la superficie de la copa y se traza un arco, manteniendo la corriente perpendicular a la superficie de la copa en todo su movimiento.

**Figura 30.** Procedimiento del ensayo Límite líquido, preparación del suelo húmedo, acanalado, conteo del número de golpes para la obtención de la muestra



**Fuente:** Elaboración propia

Se levanta y suelta la copa girando el manubrio a una velocidad de 1,9 a 2,1 golpes por segundo hasta que las dos mitades de suelo estén en contacto en la base de la ranura una longitud de 1/2 pulg. Con una regla graduada se verifica que la ranura se cerró en 1/2 pulg. Se registra el número de golpes necesario para cerrar la ranura. Se toma una tajada de suelo de aproximadamente el ancho de la espátula, extendiéndola de extremo a extremo de la torta de suelo en ángulos rectos a la ranura e incluyendo la porción de la ranura en la cual el suelo se deslizó en conjunto, colocarlo en un recipiente de peso conocido, y cubrirlo. Se regresa el suelo sobrante en la copa al plato de mezclado, se lava y seca la copa y el acanalador, de nuevo se fija la copa a su soporte como preparación para la siguiente prueba.

**Figura 31.** Muestra obtenida en el ensayo de límite líquido y determinación de contenido de humedad



**Fuente:** Elaboración propia

Se mezcla nuevamente todo el espécimen de suelo en el plato de mezclado añadiéndole agua para aumentar su contenido de humedad y disminuir el número de golpes necesarios para cerrar la ranura. Repetir los procedimientos produciendo números de golpes sucesivamente más bajos para cerrar la ranura. Una de estas pruebas se realiza para un cierre que requiera de 25 a 35 golpes, una para un cierre entre 20 y 30 golpes, y una prueba para un cierre que requiera de 15 a 25 golpes. Se determina el contenido de humedad del espécimen de suelo. Los pesos iniciales deben determinarse inmediatamente después de terminar el ensayo.

### 3.5.7. Limite plástico

#### a) Equipos, materiales e insumos utilizados en la prueba

- Espátula, de hoja flexible, de unos 3" a 4" de longitud por 3/4" de ancho.
- Recipiente para almacenaje, de porcelana o similar, de 4 ½" de diámetro.
- Balanza con aproximación a 0,01 g.
- Horno termostáticamente controlado regulable a  $110 \pm 5$  °C.
- Tamiz Nro. 40
- Agua destilada.
- Recipientes adecuados para determinación de humedades.
- Un vidrio grueso esmerilado.

#### b) Procedimiento

Se moldea la mitad de la muestra en forma de elipsoide y, a continuación, se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, con la presión estrictamente necesaria para formar cilindros.

Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3,2 mm (1/8") no se ha desmoronado, se vuelve a hacer un elipsoide y a repetir el proceso, cuantas veces sea necesario, hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro.

**Figura 32.** Preparación del cilindro de suelo de 1/8" de diámetro, ensayo de limite plástico



Fuente: Elaboración propia



En suelos muy plásticos, el cilindro queda dividido en trozos de unos 6 mm de longitud, mientras que en suelos plásticos los trozos son más pequeños.

Porción así obtenida se coloca en vidrios de reloj o pesa-filtros tarados, se continúa el proceso hasta reunir unos 6 g de suelo y se determina la humedad. Se repite, con la otra mitad de la masa, el proceso indicado

c) **Toma de datos**

**Tabla 22** *Recolección de datos del ensayo, límites de consistencia (Líquido y plástico)- 1a*

Universidad Andina del Cusco		LÍMITES DE CONSISTENCIA LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO - IP ASTM D4318 , MTC E 110, MTC E 111, NTP 339.129		
Nombre de la tesis:		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"		
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:	01 de 03	
Ubic. de la Muestra:	San Jerónimo	Código:	01-LL-LP	
Provincia :	Cusco	Descripción:	Ensayo de caracterización del suelo	
Región :	Cusco			
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Límites de Consistencia: Límite líquido y Límite plástico</b>				
<b>LÍMITE LÍQUIDO - ASTM D4318</b>				
1era Muestra				
Nombre de cápsula	D-12	C-1	B-26	C-4
Peso cápsula (g)	39.30	14.33	11.30	14.55
Peso cápsula +SH (g)	46.37	25.61	19.30	23.55
Peso cápsula+SS (g)	44.60	22.85	17.36	21.41
Número de golpes	16	20	27	30
Peso SS (g)				
Peso Agua (g)				
Cont. Hum. (W)%				
<b>LÍMITE PLÁSTICO - ASTM D4318</b>				
1era Muestra				
Nombre de cápsula	F-57	B-23	B-12	F - 20
Peso cápsula (g)	14.87	11.21	11.21	11.65
Peso C+SH (g)	20.87	12.96	12.64	17.65
Peso C+SS (g)	19.69	12.64	12.4	16.48
Peso SS (g)				
Peso Agua (g)				
Cont. Hum.(W)%				
		Límite plástico (%) = Límite líquido (%) = Índice plástico (%) =		
Carta de plasticidad de Casagrande (Según ASTM D-2487)				
		CLASIFICACIÓN SUCS   Nota: SS: Suelo Seco SH: Suelo Húmedo		



Fuente: Elaboración propia

Tabla 23 Recolección de datos del ensayo de límites de consistencia (Líquido y plástico)- 2b

<b>LÍMITES DE CONSISTENCIA</b> <b>LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO - IP</b> <b>ASTM D4318 , MTC E 110, MTC E 111, NTP 339.129</b>																																																																																																
<b>Nombre de la tesis:</b>	<b>“Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004”</b>																																																																																															
Tesista:	Judith Olivera Granada																																																																																															
Ubic. de la Muestra:	San Jerónimo																																																																																															
Provincia :	Cusco																																																																																															
Región :	Cusco																																																																																															
N° de Prueba:	02 de 03																																																																																															
Código:	02-LL-LP																																																																																															
Descripción:	Ensayo de caracterización del suelo																																																																																															
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Límites de Consistencia: Límite líquido y Límite plástico</b>																																																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="5" style="text-align: center;">LÍMITE LÍQUIDO - ASTM D4318</th> </tr> <tr> <th colspan="5" style="text-align: center;">1era Muestra</th> </tr> <tr> <th style="width: 20%;">Nombre de cápsula</th> <th style="width: 15%;">C-11</th> <th style="width: 15%;">D - 14</th> <th style="width: 15%;">C-3</th> <th style="width: 15%;">C-2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso cápsula (g)</td> <td>14.25</td> <td>31.58</td> <td>14.36</td> <td>14.68</td> </tr> <tr> <td>Peso cápsula +SH (g)</td> <td>22.29</td> <td>39.61</td> <td>19.13</td> <td>22.67</td> </tr> <tr> <td>Peso cápsula+SS (g)</td> <td>20.19</td> <td>37.56</td> <td>17.98</td> <td>20.76</td> </tr> <tr> <td>Número de golpes</td> <td>15</td> <td>22</td> <td>30</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>Peso SS (g)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Agua (g)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cont. Hum. (W)%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="5" style="text-align: center;">LÍMITE PLÁSTICO - ASTM D4318</th> </tr> <tr> <th colspan="5" style="text-align: center;">1era Muestra</th> </tr> <tr> <th style="width: 20%;">Nombre de cápsula</th> <th style="width: 15%;">C- 13</th> <th style="width: 15%;">C-5</th> <th style="width: 15%;">C-14</th> <th style="width: 15%;">B-11</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso cápsula (g)</td> <td>14.73</td> <td>14.5</td> <td>14.1</td> <td>10.73</td> </tr> <tr> <td>Peso C+SH (g)</td> <td>15.99</td> <td>15.68</td> <td>15.49</td> <td>11.98</td> </tr> <tr> <td>Peso C+SS (g)</td> <td>15.74</td> <td>15.46</td> <td>15.23</td> <td>11.76</td> </tr> <tr> <td>Peso SS (g)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Agua (g)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cont. Hum.(W)%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	LÍMITE LÍQUIDO - ASTM D4318					1era Muestra					Nombre de cápsula	C-11	D - 14	C-3	C-2	Peso cápsula (g)	14.25	31.58	14.36	14.68	Peso cápsula +SH (g)	22.29	39.61	19.13	22.67	Peso cápsula+SS (g)	20.19	37.56	17.98	20.76	Número de golpes	15	22	30	35	Peso SS (g)					Peso Agua (g)					Cont. Hum. (W)%					LÍMITE PLÁSTICO - ASTM D4318					1era Muestra					Nombre de cápsula	C- 13	C-5	C-14	B-11	Peso cápsula (g)	14.73	14.5	14.1	10.73	Peso C+SH (g)	15.99	15.68	15.49	11.98	Peso C+SS (g)	15.74	15.46	15.23	11.76	Peso SS (g)					Peso Agua (g)					Cont. Hum.(W)%					<div style="text-align: center;"> <h3>LÍMITE LÍQUIDO</h3> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>Límite plástico (%) =</p> <p>Límite líquido (%) =</p> <p>Índice plástico (%) =</p> </div>
LÍMITE LÍQUIDO - ASTM D4318																																																																																																
1era Muestra																																																																																																
Nombre de cápsula	C-11	D - 14	C-3	C-2																																																																																												
Peso cápsula (g)	14.25	31.58	14.36	14.68																																																																																												
Peso cápsula +SH (g)	22.29	39.61	19.13	22.67																																																																																												
Peso cápsula+SS (g)	20.19	37.56	17.98	20.76																																																																																												
Número de golpes	15	22	30	35																																																																																												
Peso SS (g)																																																																																																
Peso Agua (g)																																																																																																
Cont. Hum. (W)%																																																																																																
LÍMITE PLÁSTICO - ASTM D4318																																																																																																
1era Muestra																																																																																																
Nombre de cápsula	C- 13	C-5	C-14	B-11																																																																																												
Peso cápsula (g)	14.73	14.5	14.1	10.73																																																																																												
Peso C+SH (g)	15.99	15.68	15.49	11.98																																																																																												
Peso C+SS (g)	15.74	15.46	15.23	11.76																																																																																												
Peso SS (g)																																																																																																
Peso Agua (g)																																																																																																
Cont. Hum.(W)%																																																																																																
<p>Carta de plasticidad de Casagrande (Según ASTM D-2487)</p>																																																																																																
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <p>CLASIFICACIÓN SUCS</p> </div> <p>Nota: SS: Suelo Seco SH: Suelo Húmedo</p>																																																																																																



Fuente: Elaboración propia

Tabla 24 Recolección de datos del ensayo de límites de consistencia (Líquido y plástico)- 3c

LÍMITES DE CONSISTENCIA LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO - IP ASTM D4318 , MTC E 110, MTC E 111, NTP 339.129			
Nombre de la tesis:	"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"		
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:	03 de 03
Ubic. de la Muestra:	San Jerónimo	Código:	03-LL-LP
Provincia :	Cusco	Descripción:	Ensayo de
Región :	Cusco		caracterización del suelo
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Límites de Consistencia: Límite líquido y Límite plástico</b>			
<b>LÍMITE LÍQUIDO - ASTM D4318</b>			
1era Muestra			
Nombre de cápsula	A-11	C-10	B-20 A-13
Peso cápsula (g)	14.40	14.60	11.19 14.36
Peso cápsula +SH (g)	21.90	27.58	18.10 19.10
Peso cápsula+SS (g)	19.99	24.33	16.46 17.98
Número de golpes	17	20	25 28
Peso SS (g)			
Peso Agua (g)			
Cont. Hum. (W)%			
<b>LÍMITE PLÁSTICO - ASTM D4318</b>			
1era Muestra			
Nombre de cápsula	B-25	C-15	B-24 B-21
Peso cápsula (g)	10.99	14.69	11.31 11.43
Peso C+SH (g)	12.39	15.77	12.44 12.41
Peso C+SS (g)	12.11	15.56	12.24 12.24
Peso SS (g)			
Peso Agua (g)			
Cont. Hum.(W)%			

Límite plástico (%) =

Límite líquido (%) =

Índice plástico (%) =

Carta de plasticidad de Casagrande (Según ASTM D-2487)

CLASIFICACIÓN SUCS

Nota:

SS: Suelo Seco

SH: Suelo Húmedo

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.8. Límites de contracción

MTC E 112 indica:

#### a) Materiales e insumos utilizados en la prueba

- Espátula, de 3" de longitud y con 20 mm 3/4 " de ancho.
- Recipiente, con 2 1/4" de diámetro y 1 1/4" de altura, con bordes lisos y nivelados.
- Placa plana lo suficiente grande para cubrir el recipiente.
- Probeta graduada de vidrio, con capacidad de 25 ml y graduada cada 0,2 ml.
- Recipiente de alrededor de 20x20cm y 5cm de profundidad para contener derrames de parafina.
- Parafina, suficiente para cubrir la pastilla de suelo.
- Lubricante a base de petróleo.
- Una cocina pequeña para calentar la parafina.

#### b) Procedimiento

Se toma aproximadamente 40 gr de suelo de material representativo, del utilizado para las prácticas de límite líquido y plástico, que pase a través del tamiz Nro. 40 y mezclarlo con agua destilada hasta lograr una pasta cremosa que pueda colocarse dentro del recipiente de contracción sin dejar ningún vacío. Se cubre el interior del recipiente de contracción con vaselina de petróleo para prevenir que el suelo se adhiera al recipiente o se formen grietas durante el secado. Se pesa el recipiente y se registra su peso.

**Figura 33.** Equipos y materiales, ensayo límite de contracción

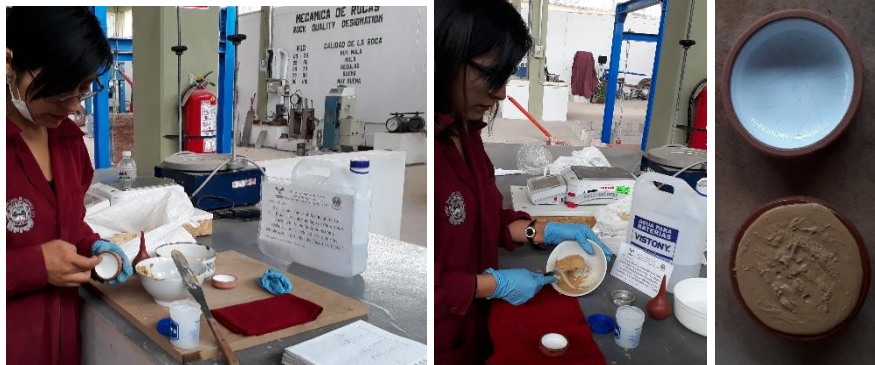


**Fuente:** Elaboración propia

Se llena el recipiente en tres capas colocando aproximadamente 1/3 de la cantidad de suelo seco necesaria para llenar el recipiente cada vez y darle golpes suaves sobre una base firme hasta que el suelo fluya dentro del recipiente y se note la ausencia total de burbujas de aire, se repite

el procedimiento con la segunda y tercera capa para luego enrasar utilizando una espátula de tamaño mediano y pesar el recipiente con el suelo húmedo.

**Figura 34.** Preparación de la muestra de suelo húmeda, ensayo límite de contracción



**Fuente:** Elaboración propia

La muestra debe secar al aire libre hasta un promedio de 6 a 8 horas hasta que su coloración se torne blanquecina, luego se introduce en el horno a una temperatura 110°C hasta que se obtiene un peso constante, luego se registra el peso de la muestra más el recipiente.

**Figura 35.** Muestras de suelo seco, ensayo límite de contracción



**Fuente:** Elaboración propia

Luego de secada la muestra, esta se sumerge en parafina diluida de tal forma que sea recubierta por una delgada capa impermeable.

**Figura 36.** Muestras de suelo recubiertas con una capa impermeable de parafina

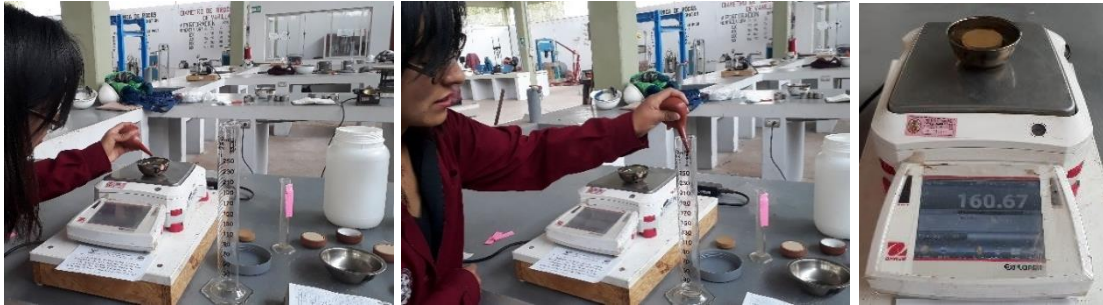


**Fuente:** Elaboración propia



Se determina el peso en g. Y volumen en ml de un recipiente donde será sumergida una a una, cada muestra de suelo para determinar el volumen desplazado.

**Figura 37.** Registro del peso del volumen desplazado por la galleta de suelo



**Fuente:** Elaboración propia



c) Toma de datos

Tabla 25 Datos, ensayo límite de contracción

Universidad Andina del Cusco		LÍMITE DE CONTRACCIÓN MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208			
Nombre de la tesis:	"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"				
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:		01LC - 02LC - 03LC - 04LC	
Ubic. de la Muestra:	Distrito de San Jerónimo.	Código:		LC	
Provincia :	Cusco	Descripción:		Ensayo de caracterización de la muestra.	
Región :	Cusco				
Registro de datos y cálculos - Ensayo Límite de Contracción del suelo en estudio					
Temperatura del agua T°C	21.2 °C				
Densidad de la galleta de suelo a T°C	21.00 °C		0.99808 g/cm <sup>3</sup>		
	21.20 °C		0.99786 g/cm <sup>3</sup>		
	22.00 °C		0.99786 g/cm <sup>3</sup>		
Muestra (A)	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04	
Descripción del recipiente	Casuela ploma	Casuela de arcilla	Casuela de Arcilla	Casuela de Arcilla	
Nombre del recipiente	P-1	A-1	B-1	C-1	
Peso del recipiente (g)	47.00	44.25	47.02	44.15	
Peso recipiente + Suelo Húmedo (g)	98.46	95.90	100.31	97.14	
Peso recipiente + Suelo Seco (g)	85.26	81.76	85.63	82.58	
Peso Suelo Seco (g)					
Densidad de parafina (g/cm <sup>3</sup> )	0.80	0.80	0.80	0.80	
Peso Suelo Seco + parafina (g)	46.03	40.95	39.56	42.96	
Peso parafina (g)					
Volumen parafina (cm <sup>3</sup> )					
Peso Agua (g)	13.20	14.14	14.68	14.56	
Contenido de Humedad (%)					
Peso de recipiente + agua destilada	77.50	73.93	77.30	72.38	
Volumen de recipiente (ml) = Vo	30.04	29.50	30.00	28.50	
Volumen suelo seco + parafina	34.00	27.00	24.00	27.00	
Volumen suelo seco (ml) = Vf					
Nombre de Recipiente	D-1	D-1	D-1	D-1	
Volumen de Recipiente (ml)	113.20	113.20	113.20	113.20	
Peso de recipiente	38.03	38.03	38.03	38.03	
Peso de recipiente + agua destilada	153.34	156.53	153.57	170.38	
Peso recipiente + agua + suelo	169.57	170.64	167.84	169.35	
<b>Límite de contracción</b>					

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.9. Propiedades de desempeño

#### 3.5.9.1. Trabajabilidad

##### 3.5.9.1.1. Proctor modificado (Prueba de Esfuerzo Modificada)

MTC E 115, NTP339.141, ASTM D1557, AASHTO T180, indica:



**a) Equipos utilizados en la prueba**

- Molde de 4 pulgadas
- Pisón ó Martillo
- Balanza con una aproximación de 1 gramo.
- Horno de secado capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110 \pm 5$  °c.
- Regla recta metálica
- Tamices de 19,0 mm ( $\frac{3}{4}$  pulg), 9,5 mm ( $\frac{3}{8}$  pulg) y 4,75mm (N° 4)
- Cucharas
- Morteros
- Mezclador
- Paleta,
- Espátula
- Botella de spray o similar para la mezcla de suelo con incrementos de agua

**b) Procedimiento**

Se selecciona el molde de compactación apropiado para determinar y anotar su masa con aproximación a 1 gramo. Se ensambla el molde, base y collar de extensión. Se examina el alineamiento de la pared interior del molde, el collar de extensión del molde y se ajusta.

Se revisa que el ensamblado del pisón esté en buenas condiciones de trabajo y que sus partes no estén flojas o gastadas caso contrario se ajuste o repara y se vuelve a calibrar el martillo de compactación.

Los instrumentos que son examinados para calibración son balanza, moldes y pisón manual pues de ellos depende la precisión de los datos obtenidos durante el ensayo.

**Figura 38.** Calibración de instrumentos, ensayo Proctor Modificado



**Fuente:** Elaboración propia

Se prepara la cantidad necesaria de muestra a utilizar durante todo el ensayo ya que no se vuelve a usar el suelo que ha sido previamente compactado en laboratorio y las muestras deben poseer las mismas características (contenido de humedad) para validar los resultados obtenidos en las réplicas.

**Figura 39.** *Recolección y preparación del suelo fino para el estudio*



**Fuente:** Elaboración propia

Se prepara los especímenes del suelo pasándola a través del tamiz N° 4 correspondiente al Método A de acuerdo al método de preparación húmedo que no requiere el secado previo de la muestra. Se mezcla el suelo continuamente durante el proceso de preparación del material para mantener una distribución homogénea de tamaño de partículas y contenido agua en todas partes, luego el material preparado se coloca en un contenedor hermético para que el material preparado para cada uno de los ensayos conserve similares características de almacenamiento.

**Figura 40.** *Obtención del contenido de humedad del suelo fino, ensayo Proctor modificado*



**Fuente:** Elaboración propia



Se prepara mínimo cuatro o cinco especímenes con contenidos de agua lo más cercano al óptimo para poder graficar la curva de compactación. Para poder estimar el contenido de agua óptimo inicial para el punto central de la curva de compactación, el suelo debe ser comprimido y quedar así cuando la presión manual cese verificando que cuando el suelo se encuentra del lado seco del óptimo, este tiende a desintegrarse y cuando la mezcla se encuentra del lado húmedo del óptimo esta se mantiene unido en una masa pegajosa. Recordando además teóricamente que el óptimo contenido de humedad frecuentemente es ligeramente menor que el límite plástico. Ya seleccionado un espécimen que tiene un contenido de humedad cercano al óptimo, se selecciona los contenidos de agua para el resto de los especímenes de tal forma que resulten por lo menos dos especímenes húmedos y dos secos de acuerdo al contenido óptimo de agua para definir exactamente la curva de compactación del peso seco unitario, que varíen alrededor del 2% al 4% para obtener un Peso Unitario Seco Máximo bien definido.

**Figura 41.** Preparación de 2.3 Kg de suelo para la adición de agua en los porcentajes establecidos



**Fuente:** Elaboración propia

Se usa aproximadamente 2,3 kg del suelo tamizado en cada espécimen que se compacta empleando el método A. Para la obtención de los contenidos de agua del espécimen, primero se toma una muestra representativa y se registra su contenido de humedad, luego se añade poco a poco los porcentajes establecidos de agua durante la mezcla y se remueve para que se tenga una humedad homogénea en toda la mezcla.



**Figura 42.** Preparación de la muestra de suelo a la humedad requerida



**Fuente:** Elaboración propia

Cada vez que se procede con los ensayos de compactación se determina el contenido humedad del suelo.

Después de llegar a la humedad establecida para cada espécimen se compacta. Primero se registra la masa del molde y el plato de base. Se ensambla y asegura el molde y el collar al plato base. Se prepara el material y se divide equitativamente en cinco partes iguales para que cada capa al compactar sea de espesor uniforme. Se coloca una porción de suelo, la primera de las cinco capas, se extiende, suavemente se apisona el suelo y se compacta cada capa con 25 golpes en el molde de 4 pulg, se sigue el mismo procedimiento para las cuatro capas restantes, teniendo cuidado en el uso del pisón manual manteniendo la guía firmemente mientras el pisón sube. Se aplica los golpes en una relación uniforme de aproximadamente 25 golpes/minuto de tal manera que proporcione una cobertura completa y uniforme en la superficie del espécimen.

Luego de la compactación de cada uno de las cuatro primeras capas, cualquier suelo adyacente a las paredes del molde que no han sido compactado o extendido cerca de la superficie compactada será recortada e incluida con el suelo adicional para la próxima capa. Al finalizar la compactación la cantidad total de suelo usado en la quinta capa compactada se debe extender ligeramente dentro del collar unos 6 mm de la parte superior del molde. Con un aparato similar a un cuchillo se ajusta o arregla el suelo adyacente al collar, soltando el suelo del collar y removiendo sin permitir el desgarramiento del suelo bajo la parte superior del molde.



**Figura 43.** División del suelo en 5 partes iguales considerando las capas de compactación

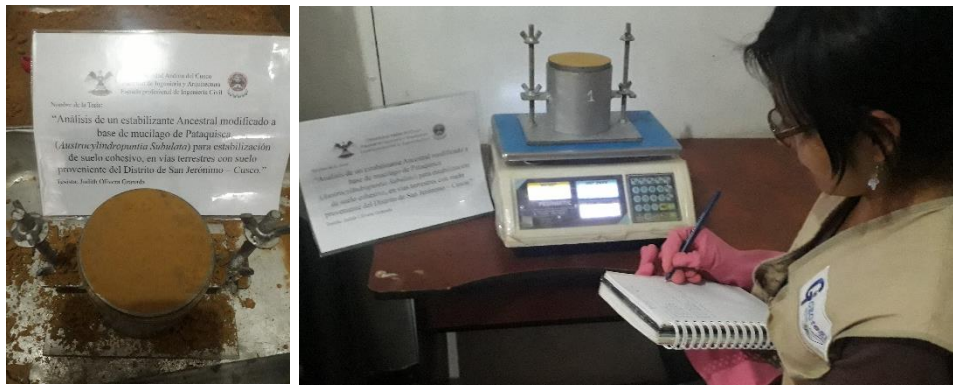


**Fuente:** Elaboración propia

Cuidadosamente se enrasa el espécimen compactado, por medio de una regla recta a través de la parte superior e inferior del molde para formar una superficie plana en la parte superior e inferior del molde. Un corte inicial en el espécimen en la parte superior del molde con un cuchillo puede prevenir la caída del suelo por debajo de la parte superior del molde. Rellenar cualquier hoyo de la superficie, con suelo no usado o cortado del espécimen, presionar con los dedos y vuelva a raspar con la regla recta a través de la parte superior e inferior del molde. Se repite las operaciones anteriores en la parte inferior del espécimen cuando se halla determinado el volumen del molde. Para suelos muy húmedos o muy secos, se perderá suelo o agua si el plato base se remueve para evitar estas situaciones se deja el plato base fijo al molde. Cuando se deja unido el plato base, el volumen del molde se calibra con el plato base unido al molde. Después de la compactación de la última capa, se remueve el collar y plato base del molde, se determina y registra la masa del espécimen y molde con aproximación al gramo. Cuando se deja unido el plato base al molde, se anota la masa del espécimen, molde y plato de base con aproximación al gramo.



**Figura 44.** Registro del peso del suelo compactado más molde Proctor sin anillo



**Fuente:** Elaboración propia

Se remueve el material del molde. Se obtiene un espécimen para determinar el contenido de agua utilizando una porción representativa. De otra manera se puede obtener una porción cortando axialmente por el centro del espécimen compactado y removiendo el material de los lados cortados para obtener el contenido de humedad.

**Figura 45.** Registro del peso de suelo seco posterior a la compactación





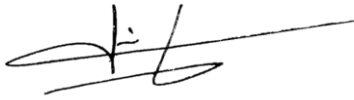
**Fuente:** Elaboración propia



a) Toma de datos

Tabla 26 Recolección de datos del ensayo, Proctor sin aditivo prueba 1 – Parte I

 Universidad Andina del Cusco		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141											
<b>Nombre de la tesis:</b>		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"											
Tesisista:		Judith Olivera Granada						N° de Prueba:		1 de 3			
Ubic. de la Muestra:		San Jerónimo						Código:		PSA-01			
Provincia :		Cusco						Descripción:		PROCTOR			
Región :		Cusco								SIN ADITIVO			
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Compactación Proctor Modificado</b>													
<b>Determinación del contenido de humedad</b>													
Muestra	(Antes de Compactar)			(después de Compactar)			(Antes de Compactar)			(después de Compactar)			
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	
Nombre de resipiente	A-4	A-3	A-1	A-2	M-8	A-5	F-41	F-38	F-39	E-2	E-7	E-10	
Peso resipiente (g)	20.90	21.90	21.50	31.00	30.80	30.60	8.65	15.49	9.13	47.46	43.00	45.04	
Peso resipiente +SH (g)	41.40	43.40	42.70	80.10	97.10	60.50	20.23	30.48	22.65	157.82	163.10	158.20	
Peso resipiente+SS (g)	38.49	40.40	39.70	73.20	87.60	56.20	18.54	28.29	20.66	140.94	144.60	140.76	
Peso SS (g)													
Peso Agua (g)													
Contenido de Humedad %													
Promedio Cont. de Hum (%)													
<b>Determinación del contenido de humedad</b>													
Muestra	(Antes de Compactar)			(después de Compactar)			(Antes de Compactar)			(después de Compactar)			
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	
Nombre de resipiente	A-1	A-2	A-3	E-9	E-11	E-12	B-11	B-9	B-10	A-6	T-8	A-8	
Peso resipiente (g)	24.50	23.98	24.26	45.92	42.40	45.54	6.40	6.40	6.30	21.50	30.60	21.80	
Peso resipiente +SH (g)	59.60	60.02	55.34	153.90	129.58	137.12	14.30	16.30	13.20	72.75	132.50	67.50	
Peso resipiente+SS (g)	53.88	54.14	50.30	136.38	115.24	122.18	13.00	14.30	12.05	63.70	114.20	59.50	
Peso SS (g)													
Peso Agua (g)													
Contenido de Humedad %													
Promedio Cont. de Hum (%)													
<b>Determinación del contenido de humedad</b>													
Muestra	(Antes de Compactar)			(después de Compactar)									
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo							
Nombre de resipiente	A-7	A-8	A-9	A-10	A-11	A-12							
Peso resipiente (g)	21.84	23.92	22.04	22.52	22.34	22.72							
Peso resipiente +SH (g)	47.02	49.68	45.04	69.96	78.16	73.96							
Peso resipiente+SS (g)	42.24	44.82	40.71	60.94	67.60	64.21							
Peso SS (g)													
Peso Agua (g)													
Contenido de Humedad %													
Promedio Cont. de Hum (%)													





Nota:  
SS: Suelo Seco  
SH: Suelo Húmedo

Fuente: Elaboración propia







**Tabla 27** *Recolección de datos del ensayo, Proctor sin aditivo prueba 1 – Parte II*

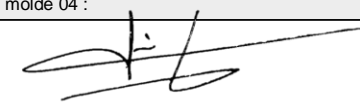
 Universidad Andina del Cusco		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141				
<b>Nombre de la tesis:</b>		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"				
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:		1 de 3		
Ubic. de la Muestra:	San Jerónimo	Código:		PSA-01		
Provincia :	Cusco	Descripción:		PROCTOR SIN ADITIVO		
Región :	Cusco					
Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Compactación Proctor Modificado						
Determinación de la densidad						
N° Molde Proctor	1	1	1	2	2	
Volumen Molde (cm)						
Contenido de Humedad Promedio %						
Peso de molde proctor + SH	5960	5684	5747	6160	5744	
Peso de molde proctor						
Peso SH						
Densidad Húmeda						
Densidad Seca						
					Nota: SS: Suelo Seco SH: Suelo Húmedo	
ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO						
DENSIDAD SECA (G/CM <sup>3</sup> )	1.80					
	1.75					
	1.70					
	1.65					
	1.60					
	1.55					
	1.50					
	1.45					
	0					
	5					
	10					
	15					
	20					
	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)					
	Contenido de Humedad Óptima (%)		Densidad Seca Máxima (g/cm <sup>3</sup> )			

**Fuente:** Elaboración propia



**Tabla 28** *Recolección de datos del ensayo, Proctor sin aditivo prueba 1 – Parte III*



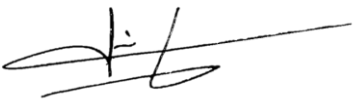
 Universidad Andina del Cusco		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141					
Nombre de la tesis:		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"					
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:				1 de 3	
Ubic. de la Muestra:	San Jerónimo	Código:				PSA-01	
Provincia :	Cusco	Descripción:				PROCTOR SIN ADITIVO	
Region :	Cusco						
Calibración de moldes							
Molde 01		Molde 02		Molde 03		Molde 04	
Peso molde proctor sin collar 01:		Peso molde proctor sin collar 02:		Peso molde proctor sin collar 03:		Peso molde proctor sin collar 04:	
3.830 Kg	3.832 Kg	3.905 Kg	3.905 Kg	4.227 Kg	4.231 Kg	4.266 Kg	4.268 Kg
Promedio:		Promedio:		Promedio:		Promedio:	
Diámetro		Diámetro		Diámetro		Diámetro	
10.128 cm	10.137 cm	10.212 cm	10.313 cm	10.130 cm	10.125 cm	10.110 cm	10.140 cm
10.147 cm	10.133 cm	10.266 cm	10.270 cm	10.125 cm	10.135 cm	10.130 cm	10.130 cm
Promedio:		Promedio:		Promedio:		Promedio:	
Altura		Altura		Altura		Altura	
11.600 cm	11.600 cm	11.600 cm	11.630 cm	11.700 cm	11.650 cm	11.700 cm	11.700 cm
11.650 cm	11.610 cm	11.610 cm	11.600 cm	11.700 cm	11.700 cm	11.700 cm	11.700 cm
Promedio:		Promedio:		Promedio:		Promedio:	
Volumen molde 01:		Volumen molde 02:		Volumen molde 03:		Volumen molde 04 :	
Peso de agua en molde 01:		Peso de agua en molde 02:		Peso de agua en molde 03:		Peso de agua en molde 04 :	
1069.00 g	934.00 g	934.00 g	939.00 g	939.00 g	936.00 g	936.00 g	936.00 g
Temperatura del agua °C		Temperatura del agua °C:		Temperatura del agua °C:		Temperatura del agua °C:	
16.80 °C	17.10 °C	17.10 °C	18.00 °C	18.00 °C	17.60 °C	17.60 °C	17.60 °C
Densidad del agua a una Temp °C		Densidad del agua a una Temp °C		Densidad del agua a una Temp °C		Densidad del agua a una Temp °C	
0.999 g/ml	0.999 g/ml	0.999 g/ml	0.999 g/ml	0.999 g/ml	0.999 g/ml	0.999 g/ml	0.999 g/ml
Volumen molde 01 :		Volumen molde 02 :		Volumen molde 03 :		Volumen molde 04 :	



**Fuente:** Elaboración propia





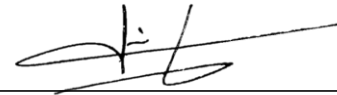
**Tabla 29** *Recolección de datos del ensayo, análisis de Proctor sin aditivo prueba 2 – Parte I*

 Universidad Andina del Cusco		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141											
<b>Nombre de la tesis:</b>		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"											
Tesis:		Judith Olivera Granada							N° de Prueba:		2 de 3		
Ubic. de la Muestra:		San Jerónimo							Código:		PSA-02		
Provincia :		Cusco							Descripción:		PROCTOR		
Región :		Cusco									SIN ADITIVO		
Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Compactación Proctor Modificado													
Determinación del contenido de humedad													
Muestra	(Antes de Compactar)			(después de Compactar)			(Antes de Compactar)			(después de Compactar)			
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	
Nombre de resipiente	B-23	B-24	B-22	D-10	D-12	D-11	A-8	A-7	A-11	E-3	E-6	E-5	
Peso resipiente (g)	11.18	11.30	11.34	37.00	39.40	39.02	23.92	21.86	22.34	41.38	43.00	43.26	
Peso resipiente +SH (g)	32.62	35.94	31.22	109.42	98.92	114.16	69.74	55.20	64.72	143.98	159.78	146.88	
Peso resipiente+SS (g)	29.46	32.32	28.30	97.90	89.60	102.30	62.14	49.70	57.72	127.14	140.40	130.02	
Peso SS (g)													
Peso Agua (g)													
Contenido de Humedad %													
Promedio Cont. de Hum (%)													
Determinación del contenido de humedad													
Muestra	(Antes de Compactar)			(después de Compactar)			(Antes de Compactar)			(después de Compactar)			
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	
Nombre de resipiente	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	C-66	B-28	B-29	D-7	D-6	D-5	
Peso resipiente (g)	24.50	23.98	24.26	23.54	22.52	23.20	15.02	11.52	11.33	37.36	38.75	38.22	
Peso resipiente +SH (g)	37.56	38.46	37.40	73.64	72.40	74.70	33.52	39.64	36.42	107.11	117.12	124.16	
Peso resipiente+SS (g)	35.31	35.96	35.15	65.15	63.86	65.70	30.19	34.54	31.84	94.34	102.84	108.41	
Peso SS (g)													
Peso Agua (g)													
Contenido de Humedad %													
Promedio Cont. de Hum (%)													
Determinación del contenido de humedad													
Muestra	(Antes de Compactar)			(después de Compactar)									
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo							
Nombre de resipiente	D-8	D-9	D-13	D-12	D-11	D-10							
Peso resipiente (g)	38.50	37.58	23.92	39.40	49.02	37.00							
Peso resipiente +SH (g)	81.02	97.88	84.54	122.22	105.00	108.18							
Peso resipiente+SS (g)	72.63	86.09	72.73	106.04	94.06	94.26							
Peso SS (g)													
Peso Agua (g)													
Contenido de Humedad %													
Promedio Cont. de Hum (%)													
													
							Nota: SS: Suelo Seco SH: Suelo Húmedo						

Fuente: *Elaboración propia*





**Tabla 30** *Recolección de datos del ensayo, análisis de Proctor sin aditivo prueba 2 – Parte II*

 Universidad Andina del Cusco		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141				
<b>Nombre de la tesis:</b>		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"				
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:		2 de 3		
Ubic. de la Muestra:	San Jerónimo	Código:		PSA-02		
Provincia :	Cusco	Descripción:		PROCTOR		
Región :	Cusco			SIN ADITIVO		
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Compactación Proctor Modificado</b>						
<b>Determinación de la densidad</b>						
N° Molde Proctor	2	2	1	1	2	
Volumen Molde (cm)						
Contenido de Humedad Promedio %						
Peso de molde proctor + SH	5648	5762	5771	5759	5728	
Peso de molde proctor						
Peso SH						
Densidad Húmeda						
Densidad Seca						
Nota: SS: Suelo Seco SH: Suelo Húmedo						
<b>ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO</b>						
DENSIDAD SECA (G/CM <sup>3</sup> )	1.80					
	1.75					
	1.70					
	1.65					
	1.60					
	1.55					
	1.50					
	1.45					
	1.40					
	1.35					
	1.30					
	1.25					
	1.20					
	1.15					
	1.10					
18					23	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)						
<input type="text"/>		<input type="text"/>				
Contenido de Humedad Óptima (%)		Densidad Seca Máxima (g/cm3)				

*Fuente: Elaboración propia*



**Tabla 31** *Recolección de datos del ensayo, análisis de Proctor sin aditivo prueba 2 – Parte III*



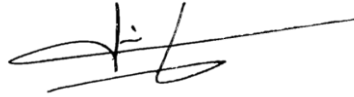
 Universidad Andina del Cusco		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141					
Nombre de la tesis:		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"					
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:				2 de 3	
Ubic. de la Muestra:	San Jerónimo	Código:				PSA-02	
Provincia :	Cusco	Descripción:				PROCTOR SIN ADITIVO	
Region :	Cusco						
Calibración de moldes							
Molde 05		Molde 06		Molde 07		Molde 08	
Peso molde proctor sin collar 05:		Peso molde proctor sin collar 06:		Peso molde proctor sin collar 07:		Peso molde proctor sin collar 08:	
3.836 Kg	3.836 Kg	3.907 Kg	3.907 Kg	3.830 Kg	3.832 Kg	3.905 Kg	3.905 Kg
Promedio:		Promedio:		Promedio:		Promedio:	
Diámetro		Diámetro		Diámetro		Diámetro	
10.123 cm	10.122 cm	10.165 cm	10.148 cm	10.128 cm	10.137 cm	10.212 cm	10.313 cm
10.151 cm	10.139 cm	10.142 cm	10.161 cm	10.147 cm	10.133 cm	10.266 cm	10.270 cm
Promedio:		Promedio:		Promedio:		Promedio:	
Altura		Altura		Altura		Altura	
11.600 cm	11.650 cm	11.600 cm	11.600 cm	11.600 cm	11.600 cm	11.600 cm	11.630 cm
11.600 cm	11.600 cm	11.650 cm	11.650 cm	11.650 cm	11.610 cm	11.610 cm	11.600 cm
Promedio:		Promedio:		Promedio:		Promedio:	
Volumen molde 05 :		Volumen molde 06 :		Volumen molde 07 :		Volumen molde 08 :	
Peso de agua en molde 05 :		Peso de agua en molde 06 :		Peso de agua en molde 07 :		Peso de agua en molde 08 :	
955.00 g		934.00 g		1069.00 g		934.00 g	
Temperatura del agua °C:		Temperatura del agua °C:		Temperatura del agua °C:		Temperatura del agua °C:	
16.50 °C		17.10 °C		16.80 °C		17.10 °C	
Densidad del agua a una Temp °C		Densidad del agua a una Temp °C		Densidad del agua a una Temp °C		Densidad del agua a una Temp °C	
0.999 g/ml		0.999 g/ml		0.999 g/ml		0.999 g/ml	
Volumen molde 05 :		Volumen molde 06 :		Volumen molde 07 :		Volumen molde 08 :	



**Fuente:** Elaboración propia






**Tabla 32** *Recolección de datos del ensayo, análisis de Proctor sin aditivo prueba 3 – Parte I*

 <b>COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO</b> MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141 												
<b>Nombre de la tesis:</b>		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"										
Tesisista:		Judith Olivera Granada						N° de Prueba:		3 de 3		
Ubic. de la Muestra:		San Jerónimo						Código:		PSA-03		
Provincia :		Cusco						Descripción:		PROCTOR		
Región :		Cusco								SIN ADITIVO		
Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Compactación Proctor Modificado												
Determinación del contenido de humedad												
Muestra	(Antes de Compactar)			(después de Compactar)			(Antes de Compactar)			(después de Compactar)		
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo
Nombre de resipiente	B-21	B-20	B-19	D-7	D-6	D-8	D-14	A-4	A-6	E-1	E-10	D-1
Peso resipiente (g)	11.44	11.16	11.42	37.36	38.74	38.52	31.64	23.54	23.20	44.36	45.04	38.02
Peso resipiente +SH (g)	39.36	39.38	35.40	104.16	106.00	111.80	57.00	57.88	60.82	161.86	164.24	116.56
Peso resipiente+SS (g)	35.18	35.20	31.86	94.06	95.50	99.96	52.90	52.32	54.68	142.79	144.92	103.87
Peso SS (g)												
Peso Agua (g)												
Contenido de Humedad %												
Promedio Cont. de Hum (%)												
Determinación del contenido de humedad												
Muestra	(Antes de Compactar)			(después de Compactar)			(Antes de Compactar)			(después de Compactar)		
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo
Nombre de resipiente	F-39	F-38	F-41	E-2	E-7	E-4	L-1	L-2	L-3	L-4	L-6	L-5
Peso resipiente (g)	9.14	15.50	8.66	47.44	43.00	46.50	11.30	11.50	11.40	11.40	11.40	11.50
Peso resipiente +SH (g)	28.62	33.50	28.00	165.96	152.84	163.24	30.60	35.70	36.20	42.10	39.05	38.20
Peso resipiente+SS (g)	25.48	30.60	24.86	146.42	134.71	143.90	27.10	31.60	31.70	36.60	34.09	33.40
Peso SS (g)												
Peso Agua (g)												
Contenido de Humedad %												
Promedio Cont. de Hum (%)												
Determinación del contenido de humedad												
Muestra	(Antes de Compactar)			(después de Compactar)								
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo						
Nombre de resipiente	B-9	B-10	B-11	A-7	A-1	A-4						
Peso resipiente (g)	6.40	6.30	6.40	21.40	21.50	20.90						
Peso resipiente +SH (g)	15.80	18.40	19.00	65.80	74.20	100.20						
Peso resipiente+SS (g)	14.10	16.20	16.45	57.30	64.12	84.97						
Peso SS (g)												
Peso Agua (g)												
Contenido de Humedad %												
Promedio Cont. de Hum (%)												
												
Nota: SS: Suelo Seco SH: Suelo Húmedo												

Fuente: Elaboración propia





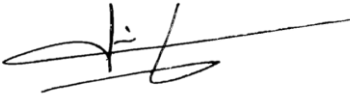
**Tabla 33** *Recolección de datos del ensayo, análisis de Proctor sin aditivo prueba 3 – Parte II*

 Universidad Andina del Cusco		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141			
<b>Nombre de la tesis:</b>		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"			
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:	3 de 3		
Ubic. de la Muestra:	San Jerónimo	Código:	PSA-03		
Provincia :	Cusco	Descripción:	PROCTOR		
Región :	Cusco		SIN ADITIVO		
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Compactación Proctor Modificado</b>					
<b>Determinación de la densidad</b>					
N° Molde Proctor	2	2	1	1	2
Volumen Molde (cm)					
Contenido de Humedad Promedio %					
Peso de molde proctor + SH	5682	5759	5736	6140	6001
Peso de molde proctor					
Peso SH					
Densidad Húmeda					
Densidad Seca					
					Nota: SS: Suelo Seco SH: Suelo Húmedo
<b>ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO</b>					
DENSIDAD SECA (G/CM <sup>3</sup> )					
	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				
	Contenido de Humedad Óptima (%)		Densidad Seca Máxima (g/cm <sup>3</sup> )		

**Fuente:** Elaboración propia



**Tabla 34** *Recolección de datos del ensayo, análisis de Proctor sin aditivo prueba 3 – Parte II*



 COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141							
"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"							
Nombre de la tesis: Ubc. de la Muestra: Provincia: Región:	Judith Olivera Granada San Jerónimo Cusco Cusco	N° de Prueba: Código: Descripción:	3 de 3 PSA-03 PROCTOR SIN ADITIVO				
Calibración de moldes							
Molde 09		Molde 10		Molde 11		Molde 12	
Peso molde proctor sin collar 09:	3.836 Kg	Peso molde proctor sin collar 10:	3.907 Kg	Peso molde proctor sin collar 11:	4.243 Kg	Peso molde proctor sin collar 12:	4.155 Kg
Promedio:	3.836 Kg	Promedio:	3.907 Kg	Promedio:	4.243 Kg	Promedio:	4.155 Kg
Diámetro	10.123 cm 10.122 cm 10.151 cm 10.139 cm	Diámetro	10.165 cm 10.148 cm 10.142 cm 10.161 cm	Diámetro	10.145 cm 10.148 cm 10.130 cm 10.150 cm	Diámetro	10.135 cm 10.135 cm 10.110 cm 10.125 cm
Promedio:		Promedio:		Promedio:		Promedio:	
Altura	11.600 cm 11.650 cm 11.600 cm 11.600 cm	Altura	11.600 cm 11.600 cm 11.650 cm 11.650 cm	Altura	11.700 cm 11.650 cm 11.700 cm 11.700 cm	Altura	11.700 cm 11.700 cm 11.700 cm 11.700 cm
Promedio:		Promedio:		Promedio:		Promedio:	
Volumen molde 09 :		Volumen molde 10 :		Volumen molde 11 :		Volumen molde 12 :	
Peso de agua en molde 09 :	955.00 g	Peso de agua en molde 10 :	934.00 g	Peso de agua en molde 11 :	940.00 g	Peso de agua en molde 12 :	950.00 g
Temperatura del agua °C:	16.50 °C	Temperatura del agua °C:	17.10 °C	Temperatura del agua °C:	16.90 °C	Temperatura del agua °C:	16.60 °C
Densidad del agua a una Temp °C	0.999 g/ml	Densidad del agua a una Temp °C	0.999 g/ml	Densidad del agua a una Temp °C	0.999 g/ml	Densidad del agua a una Temp °C	0.999 g/ml
Volumen molde 09 :		Volumen molde 10 :		Volumen molde 11 :		Volumen molde 12 :	
Molde 13		Molde 14					
Peso molde proctor sin collar 13:	3.836 Kg	Peso molde proctor sin collar 14:	3.907 Kg				
Promedio:	3.836 Kg	Promedio:	3.907 Kg				
Diámetro	10.123 cm 10.122 cm 10.151 cm 10.139 cm	Diámetro	10.165 cm 10.148 cm 10.142 cm 10.161 cm				
Promedio:		Promedio:					
Altura	11.600 cm 11.650 cm 11.600 cm 11.600 cm	Altura	11.600 cm 11.600 cm 11.650 cm 11.650 cm				
Promedio:		Promedio:					
Volumen molde 13 :		Volumen molde 14 :					
Peso de agua en molde 13 :	955.00 g	Peso de agua en molde 14 :	934.00 g				
Temperatura del agua °C:	16.50 °C	Temperatura del agua °C:	17.10 °C				
Densidad del agua a una Temp °C	0.999 g/ml	Densidad del agua a una Temp °C	0.999 g/ml				
Volumen molde 13 :		Volumen molde 14 :					

Fuente: Elaboración propia





**Tabla 35** *Recolección de datos del ensayo, análisis de Proctor con aditivo prueba 1 – Parte I*

 <b>COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO</b> <b>MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141</b> 												
Nombre de la tesis:	"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"											
Tesista:	Judith Olivera Granada						N° de Prueba:			1 de 3		
Ubic. de la Muestra:	San Jerónimo						Código:			PCA-01		
Provincia :	Cusco						Descripción:			PROCTOR CON ADITIVO		
Región :	Cusco											
Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Compactación Proctor Modificado												
Determinación del contenido de humedad												
Muestra	(Antes de Compactar)			(Después de Compactar)			(Antes de Compactar)			(Después de Compactar)		
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo
Nombre de resipiente	D-11	B-17	B-16	D-16	M-6	E-6	F-44	F-43	F-42	D-14	D-13	D-16
Peso resipiente (g)	39.02	11.60	11.74	23.84	48.54	43.00	19.44	14.78	19.10	23.70	23.92	23.84
Peso resipiente +SH (g)	87.00	44.84	43.40	105.16	237.34	174.82	41.38	33.78	39.66	114.44	101.36	116.90
Peso resipiente+SS (g)	80.46	40.30	39.06	94.12	211.62	156.89	38.02	30.84	36.50	100.54	89.50	102.66
Peso SS (g)												
Peso Agua (g)												
Contenido de Humedad %												
Promedio Cont. de Hum (%)												
Determinación del contenido de humedad												
Muestra	(Antes de Compactar)			(Después de Compactar)			(Antes de Compactar)			(Después de Compactar)		
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo
Nombre de resipiente	F-58	F-55	F-57	E-6	E-4	E-5	A-11	A-12	D-14	M-7	M-10	M-1
Peso resipiente (g)	19.28	18.54	14.90	43.00	46.50	43.24	22.34	22.72	31.64	44.76	47.50	47.80
Peso resipiente +SH (g)	39.84	35.08	31.84	185.46	183.80	174.34	69.62	68.30	69.00	218.20	200.62	209.12
Peso resipiente+SS (g)	36.48	32.44	29.12	162.54	161.42	153.80	61.66	60.82	62.94	188.74	174.46	181.78
Peso SS (g)												
Peso Agua (g)												
Contenido de Humedad %												
Promedio Cont. de Hum (%)												
Determinación del contenido de humedad												
Muestra	(Antes de Compactar)			(Después de Compactar)			(Antes de Compactar)			(Después de Compactar)		
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo
Nombre de resipiente	C-9	C-8	C-7	D-3	M-7	D-8	D-14	D-9	D-8	E-5	E-1	E-2
Peso resipiente (g)	14.42	14.52	14.40	37.26	44.76	38.52	31.64	37.58	38.52	43.26	44.36	47.44
Peso resipiente +SH (g)	43.56	45.66	46.10	148.64	265.20	140.36	80.66	99.76	97.56	186.82	198.66	201.74
Peso resipiente+SS (g)	38.34	40.04	40.32	128.40	224.66	121.60	70.92	87.42	85.80	158.60	168.34	171.24
Peso SS (g)												
Peso Agua (g)												
Contenido de Humedad %												
Promedio Cont. de Hum (%)												
										Nota: SS: Suelo Seco SH: Suelo Húmedo		

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 36** *Recolección de datos del ensayo, análisis de Proctor con aditivo prueba 1 – Parte II*



Universidad Andina del Cusco		<b>COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO</b> MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141				
<b>Nombre de la tesis:</b>		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"				
<b>Tesista:</b> Judith Olivera Granada <b>Ubic. de la Muestra:</b> San Jerónimo <b>Provincia :</b> Cusco <b>Región :</b> Cusco		<b>N° de Prueba:</b> 1 de 3 <b>Código:</b> PCA-01 <b>Descripción:</b> PROCTOR CON ADITIVO				
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Compactación Proctor Modificado</b>						
<b>Determinación de la densidad</b>						
N° Molde Proctor	2	1	1	2	2	2
Volumen Molde (cm)						
Contenido de Humedad Promedio %						
Peso de molde proctor + SH	5606	5688	5803	5860	5791	5728
Peso de molde proctor						
Peso SH						
Densidad Húmeda						
Densidad Seca						
						Nota: SS: Suelo Seco SH: Suelo Húmedo
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD OPTIMO</b>						
DENSIDAD SECA (G/CM <sup>3</sup> )						
	15		20		25	
	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)					
Contenido de Humedad Óptima (%)		Densidad Seca Máxima (g/cm <sup>3</sup> )				

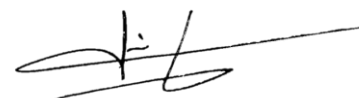
**Fuente:** Elaboración propia



**Tabla 37** Recolección de datos del ensayo, análisis de Proctor con aditivo prueba 1 – Parte

III



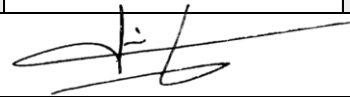
 Universidad Andina del Cusco		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141			
<b>Nombre de la tesis:</b>		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"			
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:	1 de 3		
Ubic. de la Mues	San Jerónimo	Código:	PCA-01		
Provincia :	Cusco	Descripción:	PROCTOR CON ADITIVO		
Región :	Cusco				
Calibración de moldes					
Molde 13			Molde 14		
Peso molde proctor sin collar 13:		3.836 Kg	Peso molde proctor sin collar 14:		3.907 Kg
	Promedio:	3.836 Kg		Promedio:	
Diámetro		10.123 cm	Diámetro		10.165 cm
		10.122 cm			10.148 cm
		10.151 cm			10.142 cm
		10.139 cm			10.161 cm
Promedio:		Promedio:			
Altura		11.600 cm	Altura		11.600 cm
		11.650 cm			11.600 cm
		11.600 cm			11.650 cm
		11.600 cm			11.650 cm
Promedio:		Promedio:			
Volumen molde 13:			Volumen molde 14:		
Peso de agua en molde 01:		955.00 g	Peso de agua en molde 02:		934.00 g
Temperatura del agua °C		16.50 °C	Temperatura del agua °C:		17.10 °C
Densidad del agua a una Temp °C		0.999 gr/ml	Densidad del agua a una Temp °C		0.999 gr/ml
Volumen molde 13 :			Volumen molde 14 :		



**Fuente:** Elaboración propia





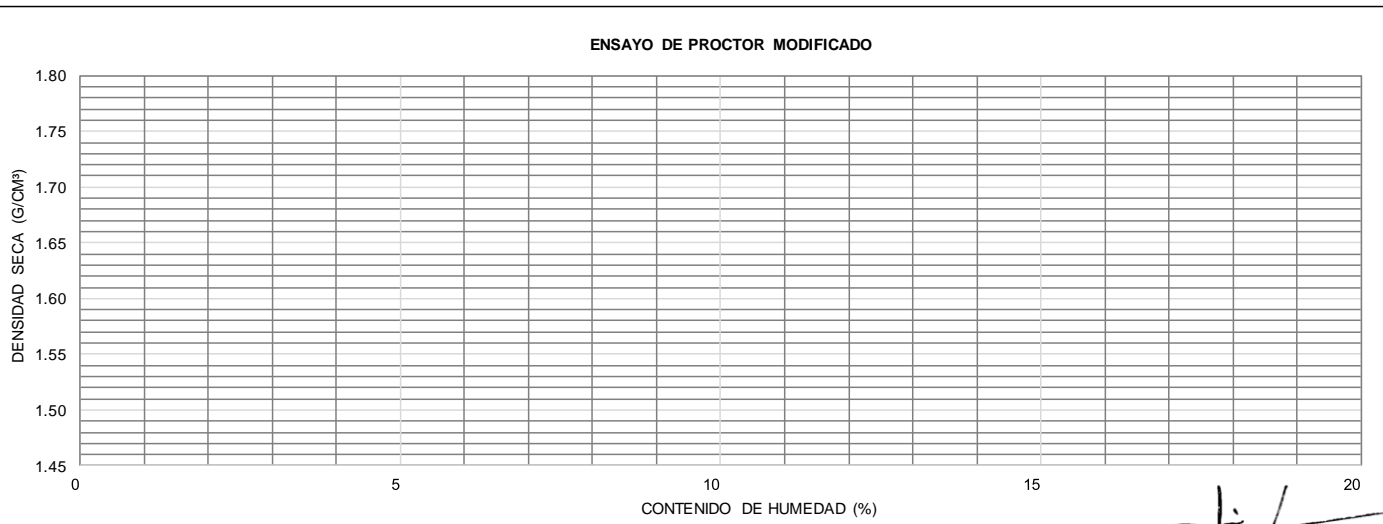
**Tabla 38** Recolección de datos del ensayo, análisis de Proctor con aditivo prueba 2 – Parte I

 Universidad Andina del Cusco		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141												
Nombre de la tesis:		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"												
Tesista:	Judith Olivera Granada									N° de Prueba:	2 de 3			
Ubic. de la Muestra:	San Jerónimo									Código:	PCA-02			
Provincia :	Cusco									Descripción:	PROCTOR CON ADITIVO			
Región :	Cusco													
Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Compactación Proctor Modificado														
Determinación del contenido de humedad														
Muestra	(Antes de Compactar)			(Después de Compactar)			(Antes de Compactar)			(Después de Compactar)				
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo		
Nombre de resipiente	D-7	B-15	D-4	D-1	M-1	E-4	F-48	F-49	F-50	D-7	D-6	D-11		
Peso resipiente (g)	37.36	10.56	38.58	38.02	47.78	46.50	19.46	14.90	19.34	37.35	38.73	39.00		
Peso resipiente +SH (g)	86.32	37.80	89.36	125.06	241.04	180.50	40.04	38.46	39.77	128.31	133.02	125.58		
Peso resipiente+SS (g)	79.72	34.18	82.50	113.32	214.56	162.06	37.04	34.94	36.72	114.44	118.60	112.32		
Peso SS (g)														
Peso Agua (g)														
Contenido de Humedad %														
Promedio Cont. de Hum (%)														
Determinación del contenido de humedad														
Muestra	(Antes de Compactar)			(Después de Compactar)			(Antes de Compactar)			(Después de Compactar)				
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo		
Nombre de resipiente	B-12	B-11	B-10	E-12	E-1	E-9	D-5	D-4	D-1	E-3	M-6	E-10		
Peso resipiente (g)	11.20	10.74	11.46	45.52	44.36	45.92	38.22	38.60	38.02	41.38	48.54	45.04		
Peso resipiente +SH (g)	41.86	37.96	42.48	184.78	177.02	166.80	84.48	83.88	86.76	174.70	235.86	180.94		
Peso resipiente+SS (g)	36.86	33.60	37.46	162.36	154.98	147.03	76.66	76.34	78.50	152.22	204.00	157.88		
Peso SS (g)														
Peso Agua (g)														
Contenido de Humedad %														
Promedio Cont. de Hum (%)														
Determinación del contenido de humedad														
Muestra	(Antes de Compactar)			(Después de Compactar)			(Antes de Compactar)			(Después de Compactar)				
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo		
Nombre de resipiente	D-5	D-4	D-1	E-4	M-1	M-6	D-15	D-13	D-3	E-10	M-7	M-10		
Peso resipiente (g)	38.20	38.60	38.02	46.50	47.80	48.54	23.74	23.92	37.26	45.04	44.74	47.50		
Peso resipiente +SH (g)	103.12	93.22	114.54	211.32	273.44	259.98	89.64	83.24	98.00	202.60	285.50	272.20		
Peso resipiente+SS (g)	91.16	83.10	100.32	182.08	231.94	221.32	76.60	71.42	85.96	171.82	238.16	227.84		
Peso SS (g)														
Peso Agua (g)														
Contenido de Humedad %														
Promedio Cont. de Hum (%)														
										Nota: SS: Suelo Seco SH: Suelo Húmedo				



Fuente: Elaboración propia



Tabla 39 Recolección de datos del ensayo, análisis de Proctor con aditivo prueba 2 – Parte II

		<b>COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO</b> MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141				
<b>Nombre de la tesis:</b>		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"				
Tesista: Judith Olivera Granada Ubic. de la Muestra: San Jerónimo Provincia: Cusco Región: Cusco		N° de Prueba: 2 de 3 Código: PCA-02 Descripción: PROCTOR CON ADITIVO				
Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Compactación Proctor Modificado						
Determinación de la densidad						
N° Molde Proctor	2	1	1	2	2	1
Volumen Molde (cm)						
Contenido de Humedad Promedio %						
Peso de molde proctor + SH	5631	5697	5792	5814	5809	5737
Peso de molde proctor						
Peso SH						
Densidad Húmeda						
Densidad Seca						
						Nota: SS: Suelo Seco SH: Suelo Húmedo
ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO						
						
Contenido de Humedad Óptima (%)		Densidad Seca Máxima (g/cm <sup>3</sup> )				

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 40** *Recolección de datos del ensayo, análisis de Proctor con aditivo prueba 2 – Parte III*



 Universidad Andina del Cusco		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141			
Nombre de la tesis:		“Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004”			
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:	2 de 3		
Ubic. de la Muestr:	San Jerónimo	Código:	PCA-02		
Provincia :	Cusco	Descripción:	PROCTOR CON ADITIVO		
Región :	Cusco				
Calibración de moldes					
Molde 15			Molde 16		
Peso molde proctor sin collar 15:		3.836 Kg	Peso molde proctor sin collar 16:		3.907 Kg
	Promedio:	3.836 Kg		Promedio:	3.907 Kg
Diámetro		10.123 cm	Diámetro		10.165 cm
		10.122 cm			10.148 cm
		10.151 cm			10.142 cm
		10.139 cm			10.161 cm
Promedio:		Promedio:			
Altura		11.600 cm	Altura		11.600 cm
		11.650 cm			11.600 cm
		11.600 cm			11.650 cm
		11.600 cm			11.650 cm
Promedio:		Promedio:			
Volumen molde 15:			Volumen molde 16 :		
Peso de agua en molde 03:	955.00 g	Peso de agua en molde 04 :	934.00 g		
Temperatura del agua °C:	16.50 °C	Temperatura del agua °C:	17.10 °C		
Densidad del agua a una Temp °C	0.999 gr/ml	Densidad del agua a una Temp °C	0.999 gr/ml		
Volumen molde 15 :			Volumen molde 16 :		



**Fuente:** Elaboración propia



**Tabla 41** *Recolección de datos del ensayo, Proctor con aditivo prueba 3 – Parte I*

 <b>COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO</b> <b>MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141</b> 												
<b>Nombre de la tesis:</b>	<b>"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"</b>											
	Testista: Judith Olivera Granada						N° de Prueba: 3 de 3					
	Ubic. de la Muestra: San Jerónimo						Código: PCA-03					
	Provincia : Cusco						Descripción: PROCTOR					
Región : Cusco						Descripción: CON ADITIVO						
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Compactación Proctor Modificado</b>												
<b>Determinación del contenido de humedad</b>												
Muestra	(Antes de Compactar)			(Después de Compactar)			(Antes de Compactar)			(Después de Compactar)		
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo
Nombre de resipiente	D-06	D-10	D-12	E-7	M-9	E-11	F-45	F-46	F-47	D-10	D-15	D-12
Peso resipiente (g)	38.74	37.00	39.38	43.00	43.68	42.38	15.24	19.52	15.16	37.00	23.74	39.40
Peso resipiente +SH (g)	92.68	85.92	90.70	186.36	189.16	189.30	36.14	39.22	35.44	112.08	91.82	127.88
Peso resipiente+SS (g)	85.44	79.36	83.88	167.12	169.38	169.16	33.00	36.28	32.40	100.80	81.50	114.14
Peso SS (g)												
Peso Agua (g)												
Contenido de Humedad %												
Promedio Cont. de Hum (%)												
<b>Determinación del contenido de humedad</b>												
Muestra	(Antes de Compactar)			(Después de Compactar)			(Antes de Compactar)			(Después de Compactar)		
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo
Nombre de resipiente	D-5	D-2	D-14	E-03	E-9	E-12	D-9	B-21	D-2	E-12	M-10	E-10
Peso resipiente (g)	38.20	38.22	23.70	41.36	45.92	45.50	37.58	11.44	38.22	45.52	47.50	45.04
Peso resipiente +SH (g)	101.04	97.70	87.98	191.78	187.78	192.18	84.18	42.42	87.54	191.80	270.62	212.44
Peso resipiente+SS (g)	90.96	88.26	77.68	167.62	164.76	168.52	75.64	36.74	78.48	165.64	231.00	183.04
Peso SS (g)												
Peso Agua (g)												
Contenido de Humedad %												
Promedio Cont. de Hum (%)												
<b>Determinación del contenido de humedad</b>												
Muestra	(Antes de Compactar)			(Después de Compactar)			(Antes de Compactar)			(Después de Compactar)		
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo
Nombre de resipiente	D-5	D-14	E-6	E-4	M-6	E-10	E-5	D-13	E-2	M-10	M-7	D-8
Peso resipiente (g)	38.20	23.70	43.00	46.50	48.54	45.02	43.26	23.92	47.44	47.50	44.74	38.52
Peso resipiente +SH (g)	93.18	77.78	159.36	216.20	288.78	211.64	180.25	88.24	204.23	275.36	287.32	98.89
Peso resipiente+SS (g)	83.14	68.00	138.23	184.94	244.46	180.80	153.16	75.51	173.25	230.24	239.36	86.99
Peso SS (g)												
Peso Agua (g)												
Contenido de Humedad %												
Promedio Cont. de Hum (%)												
											Nota: SS: Suelo Seco SH: Suelo Húmedo	

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 42** *Recolección de datos del ensayo, Proctor con aditivo prueba 3 – Parte II*



		<b>COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO</b> MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141				
<b>Nombre de la tesis:</b>		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"				
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:	3 de 3			
Ubic. de la Muestra:	San Jerónimo	Código:	PSA-03			
Provincia :	Cusco	Descripción:	PROCTOR			
Región :	Cusco		SIN ADITIVO			
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Compactación Proctor Modificado</b>						
<b>Determinación de la densidad</b>						
N° Molde Proctor	2	2	1	1	2	1
Volumen Molde (cm)						
Contenido de Humedad Promedio %						
Peso de molde proctor + SH	5598	5737	5779	5769	5740	5575
Peso de molde proctor						
Peso SH						
Densidad Húmeda						
Densidad Seca						
 Nota: SS: Suelo Seco SH: Suelo Húmedo						
<b>ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO</b>						
DENSIDAD SECA (G/CM <sup>3</sup> )						
15		20		25		
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)						
Contenido de Humedad Óptima (%)		Densidad Seca Máxima (g/cm <sup>3</sup> )				

**Fuente:** Elaboración propia





**Tabla 43** *Recolección de datos del ensayo, Proctor con aditivo prueba 3 – Parte III*

 Universidad Andina del Cusco		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141			
Nombre de la tesis:		“Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004”			
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:	3 de 3		
Ubic. de la Mues:	San Jerónimo	Código:	PCA-03		
Provincia :	Cusco	Descripción:	PROCTOR CON ADITIVO		
Región :	Cusco				
Calibración de moldes					
Molde 17			Molde 18		
Peso molde proctor sin collar 17:	3.836 Kg	Promedio:	Peso molde proctor sin collar 18:	3.907 Kg	Promedio:
	3.836 Kg			3.907 Kg	
Diámetro	10.123 cm	Promedio:	Diámetro	10.165 cm	Promedio:
	10.122 cm			10.148 cm	
	10.151 cm			10.142 cm	
	10.139 cm			10.161 cm	
Altura	11.600 cm	Promedio:	Altura	11.600 cm	Promedio:
	11.650 cm			11.600 cm	
	11.600 cm			11.650 cm	
	11.600 cm			11.650 cm	
Volumen molde 17 :			Volumen molde 18 :		
Peso de agua en molde 05 :		955.00 g	Peso de agua en molde 06 :		934.00 g
Temperatura del agua °C:		16.50 °C	Temperatura del agua °C:		17.10 °C
Densidad del agua a una Temp °C		0.999 gr/ml	Densidad del agua a una Temp °C		0.999 gr/ml
Volumen molde 17 :			Volumen molde 18 :		

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.5.9.2. Capacidad de soporte

#### 3.5.9.2.1. Resistencia a la compresión no confinada o resistencia a la compresión simple

MTC E 121, NTP 339.167, ASTM D 2166, AASHTO T 208, indica:

##### a) Equipos y materiales utilizados en la prueba

- Aparato de Compresión
- Extractor de muestras
- Aparatos para determinar la humedad de la muestra
- Un cronómetro, si el control de la prensa es manual
- Balanzas que den el peso de la muestra con una precisión del 0,1 % de su peso total.
- Calibrador Vernier o similar
- Estufa capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.

##### b) Procedimiento

Primero se prepara el material a utilizar durante todo el ensayo de compresión no confinada para muestras sin aditivo y muestras con aditivo.

**Figura 46.** Equipos, materiales e insumos utilizados en el ensayo de compresión no confinada



**Fuente:** Elaboración propia

Ya que el procedimiento a seguir es el mismo con una mínima diferencia en el momento de añadir el aditivo para la estabilización de la muestra de suelo intervenida.

**Figura 47.** Preparación de muestras de suelo al contenido de humedad óptimo, ensayo compresión no confinada





**Fuente:** Elaboración propia

Para el remoldeo de la probeta se amasa perfectamente el suelo en su contenido de humedad óptimo de manera que se destruya completamente su estructura anterior. Para conservar la humedad de la muestra original, se envuelve el material en una membrana fina que no permita la pérdida de humedad.

**Figura 48.** Preparación de la muestra de suelo fino para someterla a compactación, ensayo compactación no confinada



**Fuente:** Elaboración propia

Se coloca las muestras en recipientes herméticos para prevenir pérdida de humedad mientras se espera turno para la máquina de compactación

Para formar el espécimen se emplea un molde metálico cilíndrico hueco de altura algo mayor que el doble del diámetro que se encuentre en una relación  $L/d$  entre dos y tres, en cuyo interior penetra un cilindro del mismo diámetro que la probeta donde la pared del molde se lubrica con vaselina.

La probeta se moldea teniendo cuidado de que no se introduzca aire en la probeta durante esta operación, con el objeto de mantener el grado de saturación en el contenido óptimo de agua al cual es preparada la muestra. Ya que la muestra para esta investigación se compacta a una humedad y peso unitario prefijado. Después que la probeta se haya formado, se le cortan extremos perpendiculares al eje longitudinal, se extrae del molde y se determinan su peso y dimensiones.

**Figura 49.** Compactación de suelo fino y registro de peso de suelo compactado mas molde sin base.



**Fuente:** Elaboración propia

Se pesa la muestra, se miden la altura y el diámetro de la probeta, con una precisión de 0,1 mm.

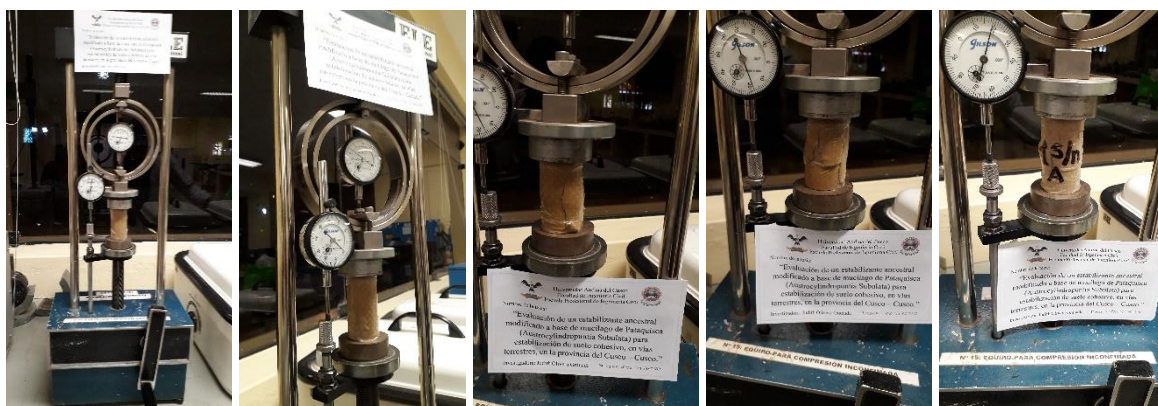
**Figura 50.** Extracción del suelo del molde de compactación y colocación de membrana



**Fuente:** Elaboración propia

Se coloca la probeta en la prensa de modo que quede perfectamente centrada. Se acciona el dispositivo de avance lo estrictamente necesario para que la probeta toque a la placa superior de la prensa. Se pone en cero el indicador de deformaciones.

**Figura 51.** Probeta de suelo compactado en prensa de deformación, ensayo compresión no confinada



**Fuente:** Elaboración propia



El ensayo se realiza controlando la deformación (la carga) donde se acciona la prensa de modo que la velocidad de deformación unitaria de la probeta esté comprendida entre  $\frac{1}{2}$  % y 2% por minuto. Se toman medidas de las deformaciones y de la carga cada 30 segundos hasta que las cargas comiencen a disminuir o hasta llegar a una deformación axial del 20% (lo que suceda antes). Se escogerá una velocidad (normalmente entre 10 a 15 puntos serán suficientes) en que la rotura ocurra en un lapso entre 1 y 10 minutos.

Cuando se empleen esfuerzos controlados, se aplicará la carga para que produzca una deformación axial a una razón de  $\frac{1}{2}$  % a 2 % por minuto y se registrarán los esfuerzos y las deformaciones cada 30 s. La velocidad de deformación se regulará en tal forma que la falla de probetas sin refrendar nunca sobrepase de 10 minutos. La carga deberá proseguirse hasta que decrezcan los valores de la carga con el aumento de sección que se produce en la probeta durante la rotura, lo cual se traduce en una disminución del esfuerzo aplicado.

De la parte de la probeta donde se produjo la rotura se toma una pequeña muestra en un recipiente y se coloca en el horno de temperatura controlada para determinar su humedad.

**Figura 52.** Registro del contenido de humedad del suelo fino, después del ensayo de compresión no confinada



**Fuente:** Elaboración propia



La resistencia a la compresión no confinada se toma como la máxima carga por unidad de área que puede resistir la muestra o la carga por unidad de área para un 15%, axial, según lo que ocurra primero durante la ejecución del ensayo.

Para especímenes de ensayo en compresión no confinada, la Resistencia al corte (su) se calcula como la mitad del esfuerzo de compresión en la falla, definido durante el fallo, se calcula que la resistencia al corte es el  $\frac{1}{2}$  del esfuerzo compresivo.



c) Toma de datos



**Tabla 44** *Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la compresión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 1-a)*

		<b>MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA</b> <b>MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208</b>									
<b>Nombre de la tesis :</b>		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"									
Tesista:		Judith Olivera Granada				N° de Prueba: 01 - 03A					
Ubic. de la Muestra:		Distrito de San Jerónimo				Código: RCNC - SA					
Provincia :		Cusco				Descripción: SIN ADITIVO					
Región :		Cusco									
Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo resistencia a la compresión no confinada											
Descripción del suelo: Limo pardo											
Límite líquido:		32.31	%	Límite plástico:		22.91	%	Índice plástico:	9.40%		
Datos de la muestra:		01 - 03A									
Diámetro:		33.00	mm	Área Ao:		8.55	cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:		72 mm	
Volumen:		cm <sup>3</sup>		Peso:		114.39	g	Peso unitario húmedo:		1.86 g/cm <sup>3</sup>	
Contenido de Humedad:				w% :		20.8%	%	Peso unitario seco:			1.54 g/cm <sup>3</sup>
Lectura del Deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del Deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra $\Delta L$ (mm)	Deformación unitaria $\epsilon = \Delta L / L_0$	Deformación unitaria $\epsilon \times 10^3$	Área CF 1 - $\epsilon$	Área Corregida A' (cm <sup>2</sup> )	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma = P' / A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )			
0	0.00										
10	7.75										
20	12.25										
30	16.75										
40	22.00										
50	28.50										
60	34.35										
70	41.55										
80	48.25										
90	55.25										
100	62.50										
110	66.75										
120	70.35										
130	72.75										
140	74.25										
150	76.50										
160	78.00										
170	79.25										
180	78.25										
190	75.50										
200	70.75										
210	68.25										
220	65.25										
Resistencia a la compresión no confinada :					$q_u =$	Kg/cm <sup>2</sup>					
Cohesión :					$q_u / 2 =$	Kg/cm <sup>2</sup>					

Fuente: Elaboración propia





**Tabla 45** Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la compresión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 2-a)

 Universidad Andina del Cusco		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208									
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"									
Tesisista:		Judith Olivera Granada				N° de Prueba: 02 - 03A					
Ubic. de la Muestra:		Distrito de San Jerónimo				Código: RCNC - SA					
Provincia :		Cusco				Descripción: SIN ADITIVO					
Región :		Cusco									
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo resistencia a la compresión no confinada</b>											
Descripción del suelo: Limo pardo											
Límite líquido:		32.31	%	Límite plástico:		22.91	%	Índice plástico:		9.40%	
Datos de la muestra		02 - 03A									
Diámetro:		33.00	mm	Área Ao :		8.55	cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:		72 mm	
Volumen:		cm <sup>3</sup>		Peso:		114.39	g	Peso unitario húmedo:		1.86 g/cm <sup>3</sup>	
Contenido de Humedad				w% :		20.8%	%	Peso unitario seco:			1.55 g/cm <sup>3</sup>
Lectura del Deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del Deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra $\Delta L$ (mm)	Deformación unitaria $\epsilon = \Delta L / L_0$	Deformación unitaria $\epsilon \times 10^3$	Área CF 1 - $\epsilon$	Área Corregida A'	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma = P' / A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )			
0	0.00										
10	11.25										
20	17.75										
30	22.50										
40	30.00										
50	39.50										
60	46.10										
70	53.25										
80	60.00										
90	67.00										
100	72.25										
110	75.75										
120	79.00										
130	82.00										
140	84.50										
150	86.10										
160	85.25										
170	83.25										
180	80.75										
190	74.50										
200	68.25										
210	64.25										
220	55.00										
Resistencia a la compresión no confinada :					$q_u =$	Kg/cm <sup>2</sup>					
Cohesión :					$q_u / 2 =$	Kg/cm <sup>2</sup>					

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 46** Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la compresión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 3-a)



 Universidad Andina del Cusco		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208							
<b>Nombre de la tesis :</b>		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"							
Tesista:	Judith Olivera Granada					N° de Prueba:			03 - 03A
Ubic. de la Muestra:	Distrito de San Jerónimo					Código:			RCNC - SA
Provincia :	Cusco					Descripción:			SIN ADITIVO
Región :	Cusco								
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo resistencia a la compresión no confinada</b>									
Descripción del suelo: Limo pardo									
Límite líquido:	32.31	%	Límite plástico:	22.91	%	Indice plástico:	9.40%		
Datos de la muestra		03 - 03A							
Diámetro:	33.00	mm	Área Ao :	8.55	cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:	72 mm		
Volumen:	cm <sup>3</sup>		Peso:	114.39	g	Peso unitario húmedo:	1.86 g/cm <sup>3</sup>		
Contenido de Humedad			w% :	20.4%	%	Peso unitario seco: 1.53 g/cm <sup>3</sup>			
Lectura del Deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del Deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra $\Delta L$ (mm)	Deformación unitaria $\epsilon = \Delta L / L_0$	Deformación unitaria $\epsilon \times 10^3$	Área CF 1 - $\epsilon$	Área Corregida A' (cm <sup>2</sup> )	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma = P' / A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )	
0	0.00								
10	8.50								
20	15.00								
30	23.00								
40	30.50								
50	36.00								
60	42.50								
70	48.00								
80	53.00								
90	59.00								
100	65.50								
110	69.75								
120	74.50								
130	77.50								
140	77.10								
150	76.60								
160	72.50								
170	68.25								
180	46.00								
Resistencia a la compresión no confinada :				$q_u =$	Kg/cm <sup>2</sup>				
Cohesión :				$q_u / 2 =$	Kg/cm <sup>2</sup>				

**Fuente:** Elaboración propia







**Tabla 47** Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la compresión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 1-b)

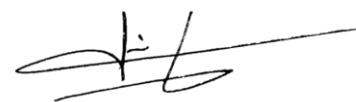
 Universidad Andina del Cusco		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208								
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"								
Tesis:		Judith Olivera Granada				N° de Prueba: 01 - 03B				
Ubic. de la Muestra:		Distrito de San Jerónimo				Código: RCNC - SA				
Provincia :		Cusco				Descripción: SIN ADITIVO				
Región :		Cusco								
Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo resistencia a la compresión no confinada										
Descripción del suelo: Limo pardo										
Límite líquido:		32.31	%	Límite plástico:		22.91	%	Índice plástico:		9.40%
Datos de la muestra 01 - 03B										
Diámetro:		33.00	mm	Área Ao :		8.55	cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:		72 mm
Volumen:		cm <sup>3</sup>		Peso:		114.39	g	Peso unitario húmedo:		1.86 g/cm <sup>3</sup>
Contenido de Humedad				w% :		20.6%	%	Peso unitario seco:		1.65 g/cm <sup>3</sup>
Lectura del Deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del Deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra $\Delta L$ (mm)	Deformación unitaria $\epsilon = \Delta L / L_0$	Deformación unitaria $\epsilon \times 10^3$	Área CF 1 - $\epsilon$	Área Corregida A' (cm <sup>2</sup> )	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma = P' / A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )		
0	0.00									
10	9.00									
20	16.00									
30	23.00									
40	28.00									
50	34.00									
60	39.20									
70	45.10									
80	51.00									
90	57.50									
100	64.00									
110	66.50									
120	69.70									
130	71.50									
140	70.50									
150	70.50									
160	70.50									
170	70.50									
180	70.50									
Resistencia a la compresión no confinada :					$q_u =$	Kg/cm <sup>2</sup>				
Cohesión :					$q_u / 2 =$	Kg/cm <sup>2</sup>				

**Fuente:** Elaboración propia



**Tabla 48** Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la compresión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 2-b)



		<b>MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA</b> MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208								
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"								
Tesis:		Judith Olivera Granada				N° de Prueba: 02 - 03B				
Ubic. de la Muestra:		Distrito de San Jerónimo				Código: RCNC - SA				
Provincia :		Cusco				Descripción: SIN ADITIVO				
Región :		Cusco								
Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo resistencia a la compresión no confinada										
Descripción del suelo: Limo pardo										
Límite líquido:		32.31	%	Límite plástico:		22.91	%	Índice plástico:		9.40%
Datos de la muestra								02 - 03B		
Diámetro:		33.00	mm	Área Ao :		8.55	cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:		72 mm
Volumen:		cm <sup>3</sup>		Peso:		114.39	g	Peso unitario húmedo:		1.86 g/cm <sup>3</sup>
Contenido de Humedad				w% :		20.8%	%	Peso unitario seco:		1.68 g/cm <sup>3</sup>
Lectura del Deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del Deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra $\Delta L$ (mm)	Deformación unitaria $\epsilon = \Delta L / L_0$	Deformación unitaria $\epsilon \times 10^3$	Área CF 1 - $\epsilon$	Área Corregida A'	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma = P' / A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )		
0	0.00									
10	11.00									
20	16.50									
30	21.00									
40	27.50									
50	36.00									
60	42.20									
70	48.50									
80	56.50									
90	65.00									
100	68.50									
110	72.50									
120	77.00									
130	80.00									
140	84.00									
150	87.00									
160	88.00									
170	89.00									
180	85.00									
190	73.00									
200	67.00									
210	63.00									
220	55.00									
Resistencia a la compresión no confinada :					$q_u =$	Kg/cm <sup>2</sup>				
Cohesión :					$q_u / 2 =$	Kg/cm <sup>2</sup>				



Fuente: Elaboración propia





**Tabla 49** Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la compresión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 3-b)

		<b>MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA</b> MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208						
<b>Nombre de la tesis :</b>		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"						
Tesisista:		Judith Olivera Granada				N° de Prueba: 03 - 03B		
Ubic. de la Muestra:		Distrito de San Jerónimo				Código: RCNC - SA		
Provincia :		Cusco				Descripción: SIN ADITIVO		
Región :		Cusco						
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo resistencia a la compresión no confinada</b>								
Descripción del suelo: Limo pardo								
Límite líquido:		32.31	%	Límite plástico:		22.91	%	
				Índice plástico:		9.40%		
Datos de la muestra 03 - 03B								
Diámetro:		33.00	mm	Área Ao :		8.55	cm <sup>2</sup>	
				Altura, Lo:		72 mm		
Volumen:		cm <sup>3</sup>		Peso:		114.39	g	
				Peso unitario húmedo:		1.86 g/cm <sup>3</sup>		
Contenido de Humedad				w% :		20.3%	%	
				Peso unitario seco:		1.66 g/cm <sup>3</sup>		
Lectura del Deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del Deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra $\Delta L$ (mm)	Deformación unitaria $\epsilon = \Delta L / L_0$	Deformación unitaria $\epsilon \times 10^3$	Área CF 1 - $\epsilon$	Área Corregida A' (cm <sup>2</sup> )	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma = P' / A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00							
10	12.00							
20	23.00							
30	35.00							
40	45.50							
50	56.00							
60	64.00							
70	74.00							
80	77.00							
90	82.00							
100	83.00							
110	86.00							
120	88.00							
130	86.00							
140	80.00							
150	72.00							
160	58.00							
170	45.50							
Resistencia a la compresión no confinada :					$q_u =$	Kg/cm <sup>2</sup>		
Cohesión :					$q_u / 2 =$	Kg/cm <sup>2</sup>		

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 50** Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la compresión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 1-c)

 Universidad Andina del Cusco		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208						
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"						
Tesista:	Judith Olivera Granada				N° de Prueba:	01 - 03C		
Ubic. de la Muestra:	Distrito de San Jerónimo				Código:	RCNC - SA		
Provincia :	Cusco				Descripción:	SIN ADITIVO		
Región :	Cusco							
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo resistencia a la compresión no confinada</b>								
Descripción del suelo: Limo pardo								
Límite líquido:	32.31	%	Límite plástico:	22.91	%	Índice plástico:	9.40%	
Datos de la muestra		01 - 03C						
Diámetro:	33.00	mm	Área Ao :	8.55	cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:	72 mm	
Volumen:	cm <sup>3</sup>		Peso:	114.39	g	Peso unitario húmedo:	1.86 g/cm <sup>3</sup>	
Contenido de Humedad		w% :		20.3%	%	Peso unitario seco:	1.66 g/cm <sup>3</sup>	
Lectura del Deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del Deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra $\Delta L$ (mm)	Deformación unitaria $\epsilon = \Delta L / L_0$	Deformación unitaria $\epsilon \times 10^3$	Área CF 1 - $\epsilon$	Área Corregida A' (cm <sup>2</sup> )	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma = P' / A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00							
10	6.50							
20	8.50							
30	10.50							
40	16.00							
50	23.00							
60	29.50							
70	38.00							
80	45.50							
90	53.00							
100	61.00							
110	67.00							
120	71.00							
130	74.00							
140	78.00							
150	82.50							
160	85.50							
170	88.00							
180	86.00							
190	80.50							
200	71.00							
210	66.00							
220	60.00							
Resistencia a la compresión no confinada :				$q_u =$	Kg/cm <sup>2</sup>			
Cohesión :				$q_u / 2 =$	Kg/cm <sup>2</sup>			

**Fuente:** Elaboración propia



**Tabla 51** Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la compresión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 2-c)

Universidad Andina del Cusco		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208									
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"									
Tesisista:		Judith Olivera Granada				N° de Prueba: 02 - 03C					
Ubic. de la Muestra:		Distrito de San Jerónimo				Código: RCNC - SA					
Provincia :		Cusco				Descripción: SIN ADITIVO					
Región :		Cusco									
Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo resistencia a la compresión no confinada											
Descripción del suelo: Limo pardo											
Límite líquido:		32.31	%	Límite plástico:		22.91	%	Índice plástico:	9.40%		
Datos de la muestra 02 - 03C											
Diámetro:		33.00	mm	Área Ao :		8.55	cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:		72 mm	
Volumen:		cm <sup>3</sup>		Peso:		114.39	g	Peso unitario húmedo:		1.86 g/cm <sup>3</sup>	
Contenido de Humedad				w% :		20.2%	%	Peso unitario seco:			1.68 g/cm <sup>3</sup>
Lectura del Deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del Deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra $\Delta L$ (mm)	Deformación unitaria $\epsilon = \Delta L / L_0$	Deformación unitaria $\epsilon \times 10^4 (3)$	Área CF 1 - $\epsilon$	Área Corregida A'	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma = P' / A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )			
0	0.00										
10	11.50										
20	19.00										
30	24.00										
40	32.50										
50	43.00										
60	50.00										
70	58.00										
80	63.50										
90	69.00										
100	76.00										
110	79.00										
120	81.00										
130	84.00										
140	85.00										
150	85.20										
160	82.50										
170	77.50										
180	76.50										
190	76.00										
200	69.50										
210	65.50										
Resistencia a la compresión no confinada :					$q_u =$	Kg/cm <sup>2</sup>					
Cohesión :					$q_u / 2 =$	Kg/cm <sup>2</sup>					

**Fuente:** Elaboración propia





**Tabla 52** *Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la compresión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 3-c)*

 Universidad Andina del Cusco		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208									
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"									
Tesisista:		Judith Olivera Granada				N° de Prueba: 03 - 03C					
Ubic. de la Muestra:		Distrito de San Jerónimo				Código: RCNC - SA					
Provincia :		Cusco				Descripción: SIN ADITIVO					
Región :		Cusco									
Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo resistencia a la compresión no confinada											
Descripción del suelo: Limo pardo											
Límite líquido:		32.31	%	Límite plástico:		22.91	%	Índice plástico:		9.40%	
Datos de la muestra		03 - 03C									
Diámetro:		33.00	mm	Área Ao :		8.55	cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:		72 mm	
Volumen:		cm <sup>3</sup>		Peso:		114.39	g	Peso unitario húmedo:		1.86 g/cm <sup>3</sup>	
Contenido de Humedad				w% :		20.6%	%	Peso unitario seco:			1.67 g/cm <sup>3</sup>
Lectura del Deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del Deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra $\Delta L$ (mm)	Deformación unitaria $\epsilon = \Delta L / L_0$	Deformación unitaria $\epsilon \times 10^3$	Área CF 1 - $\epsilon$	Área Corregida A'	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma = P' / A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )			
0	0.00										
10	5.20										
20	9.80										
30	13.00										
40	18.00										
50	20.00										
60	23.50										
70	27.20										
80	34.00										
90	41.00										
100	48.00										
110	53.50										
120	61.00										
130	69.00										
140	74.20										
150	81.20										
160	87.00										
170	91.00										
180	92.00										
190	91.50										
200	89.80										
210	77.00										
220	62.00										
230	56.50										
Resistencia a la compresión no confinada :					$q_u =$	Kg/cm <sup>2</sup>					
Cohesión :					$q_u / 2 =$	Kg/cm <sup>2</sup>					

Fuente: Elaboración propia





**Tabla 53** *Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la compresión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 1-a)*

 Universidad Andina del Cusco		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208						
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"						
Tesista:	Judith Olivera Granada				N° de Prueba:	01 - 03A		
Ubic. de la Muestra:	Distrito de San Jerónimo				Código:	RCNC - CA		
Provincia :	Cusco				Descripción:	CON ADITIVO		
Región :	Cusco							
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Resistencia a la compresión no confinada</b>								
Descripción del suelo: Limo pardo								
Límite líquido:	32.31	%	Límite plástico:	22.91	%	Índice plástico:	9.40%	
Datos de la muestra: 01 - 03A								
Diámetro:	33.00	mm	Área Ao :	8.55	cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:	72 mm	
Volumen:	cm <sup>3</sup>		Peso:	114.39	g	Peso unitario húmedo:	1.86 g/cm <sup>3</sup>	
Contenido de Humedad			w% :	18.5%	%	Peso unitario seco:	1.62 g/cm <sup>3</sup>	
Lectura del deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra $\Delta L$ (mm)	Deformación unitaria $\epsilon = \Delta L / L_0$	Deformación unitaria $\epsilon \times 10^3$	Área CF 1 - $\epsilon$	Área Corregida A' (cm <sup>2</sup> )	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma = P' / A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00							
10	27.00							
20	42.00							
30	56.00							
40	70.00							
50	80.50							
60	88.00							
70	91.00							
80	80.00							
90	55.00							
100	47.00							
110	43.00							
120	41.50							
Resistencia a la compresión no confinada :					$q_u =$	Kg/cm <sup>2</sup>		
Cohesión :					$q_u / 2 =$	Kg/cm <sup>2</sup>		

**Fuente:** Elaboración propia



**Tabla 54** *Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 2-a)*



 Universidad Andina del Cusco		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208						
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"						
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:			02 - 03A			
Ubic. de la Muestra:	Distrito de San Jerónimo	Código:			RCNC - CA			
Provincia :	Cusco	Descripción:			CON ADITIVO			
Región :	Cusco							
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Resistencia a la comprensión no confinada</b>								
Descripción del suelo: Limo pardo								
Límite líquido:	32.31	%	Límite plástico:	22.91	%	Índice plástico:	9.40%	
Datos de la muestra:		02 - 03A						
Diámetro:	33.00	mm	Área Ao :	8.55	cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:	72 mm	
Volumen:		cm <sup>3</sup>	Peso:	114.39	g	Peso unitario húmedo:	1.86 g/cm <sup>3</sup>	
Contenido de Humedad		w% :			19.6%		Peso unitario seco:	1.68 g/cm <sup>3</sup>
Lectura del deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra $\Delta L$ (mm)	Deformación unitaria $\epsilon = \Delta L / L_0$	Deformación unitaria $\epsilon \times 10^4 (\%)$	Área CF 1 - $\epsilon$	Área Corregida A' (cm <sup>2</sup> )	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma = P' / A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00							
10	10.50							
20	16.00							
30	23.00							
40	33.00							
50	42.00							
60	54.00							
70	64.00							
80	72.00							
90	80.00							
100	89.00							
110	94.00							
120	98.00							
130	100.00							
140	98.00							
150	85.00							
160	79.00							
170	74.50							
180	73.50							
190	73.10							
Resistencia a la comprensión no confinada :				$q_u =$				
Cohesión :				$q_u / 2 =$				
					Kg/cm <sup>2</sup>			
					Kg/cm <sup>2</sup>			

**Fuente:** Elaboración propia







**Tabla 55** *Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la compresión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 3-a)*

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208						
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"						
Tesista:	Judith Olivera Granada			N° de Prueba:	03 - 03A			
Ubic. de la Muestra:	Distrito de San Jerónimo			Código:	RCNC - CA			
Provincia :	Cusco			Descripción:	CON ADITIVO			
Región :	Cusco							
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Resistencia a la compresión no confinada</b>								
Descripción del suelo: Limo pardo								
Límite líquido:	32.31	%	Límite plástico:	22.91	%	Índice plástico:	9.40%	
Datos de la muestra: 03 - 03A								
Diámetro:	33.00	mm	Área Ao :	8.55	cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:	72 mm	
Volumen:		cm <sup>3</sup>	Peso:	114.39	g	Peso unitario húmedo:	1.86 g/cm <sup>3</sup>	
Contenido de Humedad			w% :	19.6%	%	Peso unitario seco:	1.66 g/cm <sup>3</sup>	
Lectura del deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra ΔL. (mm)	Deformación unitaria ε = ΔL/Lo	Deformación unitaria ε x 10 <sup>4</sup> (%)	Área CF 1 - ε	Área Corregida A' (cm <sup>2</sup> )	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra σ = P'/A' (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00							
10	23.50							
20	33.00							
30	45.00							
40	54.50							
50	64.00							
60	69.50							
70	77.00							
80	82.50							
90	84.00							
100	79.00							
110	73.00							
120	58.00							
130	45.00							
140	42.00							
Resistencia a la compresión no confinada :				qu =				Kg/cm <sup>2</sup>
Cohesión :				qu / 2 =				Kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia





**Tabla 56** *Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la compresión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 1-b)*

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208				 INSTITUTO NACIONAL DE NORMAS TÉCNICAS Y ESTÁNDARES		
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"						
Tesista:	Judith Olivera Granada				N° de Prueba:	01 - 03B		
Ubic. de la Muestra:	Distrito de San Jerónimo				Código:	RCNC - CA		
Provincia :	Cusco				Descripción:	CON ADITIVO		
Región :	Cusco							
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Resistencia a la compresión no confinada</b>								
Descripción del suelo: Limo pardo								
Límite líquido:	32.31	%	Límite plástico:	22.91	%	Índice plástico:	9.40%	
Datos de la muestra:		01 - 03B						
Diámetro:	33.00	mm	Área Ao :	8.55	cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:	72 mm	
Volumen:		cm <sup>3</sup>	Peso:	114.39	g	Peso unitario húmedo:	1.86 g/cm <sup>3</sup>	
Contenido de Humedad		w% :				19.9% %		
						Peso unitario seco:		1.69 g/cm <sup>3</sup>
Lectura del deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra ΔL. (mm)	Deformación unitaria ε = ΔL/Lo	Deformación unitaria ε x 10 <sup>4</sup> (%)	Área CF 1 - ε	Área Corregida A' (cm <sup>2</sup> )	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra σ = P'/A' (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00							
10	15.50							
20	20.50							
30	28.00							
40	39.00							
50	50.00							
60	63.00							
70	74.00							
80	86.00							
90	95.00							
100	102.00							
110	109.00							
120	112.00							
130	113.00							
140	114.00							
150	103.00							
160	79.50							
170	69.00							
180	47.00							
190	41.00							
Resistencia a la compresión no confinada :					qu =	Kg/cm <sup>2</sup>		
Cohesión :					qu / 2 =	Kg/cm <sup>2</sup>		

**Fuente:** Elaboración propia





**Tabla 57** Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la compresión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 2-b)

 Universidad Andina del Cusco		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208								
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"								
Tesisista:		Judith Olivera Granada				N° de Prueba:		02 - 03B		
Ubic. de la Muestra:		Distrito de San Jerónimo				Código:		RCNC - CA		
Provincia :		Cusco				Descripción:		CON ADITIVO		
Región :		Cusco								
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Resistencia a la compresión no confinada</b>										
Descripción del suelo: Limo pardo										
Límite líquido:		32.31	%	Límite plástico:		22.91	%	Índice plástico:		9.40%
Datos de la muestra: 02 - 03B										
Diámetro:		33.00	mm	Área Ao :		8.55	cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:		72 mm
Volumen:		cm <sup>3</sup>		Peso:		114.39	g	Peso unitario húmedo:		1.86 g/cm <sup>3</sup>
Contenido de Humedad				w% :		19.8%	%	Peso unitario seco:		1.69 g/cm <sup>3</sup>
Lectura del deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del deformímetro de cara Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra $\Delta L$ (mm)	Deformación unitaria $\epsilon = \Delta L / L_0$	Deformación unitaria $\epsilon \times 10^3$	Área CF 1 - $\epsilon$	Área Corregida A' (cm <sup>2</sup> )	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma = P' / A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )		
0	0.00									
10	18.00									
20	28.00									
30	38.00									
40	52.00									
50	62.00									
60	74.00									
70	86.50									
80	95.00									
90	102.00									
100	105.00									
110	110.50									
120	116.00									
130	117.00									
140	115.00									
150	81.00									
160	59.50									
170	56.50									
180	56.50									
190	56.50									
200	56.50									
210	56.50									
Resistencia a la compresión no confinada :						$q_u =$				
Cohesión :						$q_u / 2 =$				
							Kg/cm <sup>2</sup>			
							Kg/cm <sup>2</sup>			

**Fuente:** Elaboración propia





**Tabla 58** *Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la compresión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 3-b)*

 Universidad Andina del Cusco		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208						
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"						
Tesista:	Judith Olivera Granada				N° de Prueba:	03 - 03B		
Ubic. de la Muestra:	Distrito de San Jerónimo				Código:	RCNC - CA		
Provincia :	Cusco				Descripción:	CON ADITIVO		
Región :	Cusco							
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Resistencia a la compresión no confinada</b>								
Descripción del suelo: Limo pardo								
Límite líquido:	32.31	%	Límite plástico:	22.91	%	Índice plástico:	9.40%	
Datos de la muestra:		03 - 03B						
Diámetro:	33.00	mm	Área Ao :	8.55	cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:	72 mm	
Volumen:	cm <sup>3</sup>		Peso:	114.39	g	Peso unitario húmedo:	1.86 g/cm <sup>3</sup>	
Contenido de Humedad			w% :	20.1%	%	Peso unitario seco:	1.65 g/cm <sup>3</sup>	
Lectura del deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra $\Delta L$ (mm)	Deformación unitaria $\epsilon = \Delta L / L_0$	Deformación unitaria $\epsilon \times 10^4 (3)$	Área CF 1 - $\epsilon$	Área Corregida A' (cm <sup>2</sup> )	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma = P'/A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00							
10	12.00							
20	30.50							
30	39.20							
40	48.00							
50	57.50							
60	64.00							
70	73.00							
80	74.50							
90	79.00							
100	78.00							
120	72.00							
140	65.00							
160	57.50							
180	52.00							
Resistencia a la compresión no confinada :					$q_u =$	Kg/cm <sup>2</sup>		
Cohesión :					$q_u / 2 =$	Kg/cm <sup>2</sup>		

**Fuente:** Elaboración propia





**Tabla 59** Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la compresión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 1-c)

 Universidad Andina del Cusco		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208				 INSTITUTO NACIONAL DE NORMAS TÉCNICAS Y ESTÁNDARES		
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"						
Tesista:	Judith Olivera Granada				N° de Prueba:	01 - 03C		
Ubic. de la Muestra:	Distrito de San Jerónimo				Código:	RCNC - CA		
Provincia :	Cusco				Descripción:	CON ADITIVO		
Región :	Cusco							
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Resistencia a la compresión no confinada</b>								
Descripción del suelo: Limo pardo								
Límite líquido:	32.31	%	Límite plástico:	22.91	%	Índice plástico:	9.40%	
Datos de la muestra:		01 - 03C						
Diámetro:	33.00	mm	Área Ao :	8.55	cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:	72 mm	
Volumen:	cm <sup>3</sup>		Peso:	114.39	g	Peso unitario húmedo:	1.86 g/cm <sup>3</sup>	
Contenido de Humedad			w% :	19.6%	%	Peso unitario seco:	1.68 g/cm <sup>3</sup>	
Lectura del deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra $\Delta L$ (mm)	Deformación unitaria $\epsilon = \Delta L / L_0$	Deformación unitaria $\epsilon \times 10^3$	Área CF 1 - $\epsilon$	Área Corregida A' (cm <sup>2</sup> )	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma = P' / A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00							
10	20.00							
20	29.00							
30	37.50							
40	49.00							
50	60.50							
60	70.00							
70	81.00							
80	89.00							
90	97.50							
100	102.00							
110	104.00							
120	110.50							
130	105.00							
140	96.00							
150	72.00							
160	65.50							
170	60.00							
Resistencia a la compresión no confinada :				$q_u =$	Kg/cm <sup>2</sup>			
Cohesión :				$q_u / 2 =$	Kg/cm <sup>2</sup>			

Fuente: Elaboración propia





**Tabla 60** *Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la compresión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 2-c)*

 Universidad Andina del Cusco		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208						
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"						
Tesista:	Judith Olivera Granada				Nº de Prueba:	02 - 03C		
Ubic. de la Muestra:	Distrito de San Jerónimo				Código:	RCNC - CA		
Provincia :	Cusco				Descripción:	CON ADITIVO		
Región :	Cusco							
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Resistencia a la compresión no confinada</b>								
Descripción del suelo: Limo pardo								
Límite líquido:	32.31	%	Límite plástico:	22.91	%	Índice plástico:	9.40%	
Datos de la muestra:		02 - 03C						
Diámetro:	33.00	mm	Área Ao :	8.55	cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:	72 mm	
Volumen:	cm <sup>3</sup>		Peso:	114.39	g	Peso unitario húmedo:	1.86 g/cm <sup>3</sup>	
Contenido de Humedad			w% :	20.0%	%	Peso unitario seco:	1.67 g/cm <sup>3</sup>	
Lectura del deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra $\Delta L$ (mm)	Deformación unitaria $\epsilon = \Delta L / L_0$	Deformación unitaria $\epsilon \times 10^4 (\%)$	Área CF 1 - $\epsilon$	Área Corregida A' (cm <sup>2</sup> )	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma = P' / A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00							
10	9.00							
20	15.00							
30	19.00							
40	26.00							
50	36.50							
60	46.00							
70	56.50							
80	64.00							
90	71.50							
100	81.00							
110	87.00							
120	94.00							
130	100.00							
140	102.50							
150	104.00							
160	100.00							
170	98.00							
180	92.00							
190	81.00							
200	61.00							
Resistencia a la compresión no confinada :				$q_u =$				
Cohesión :				$q_u / 2 =$				
					Kg/cm <sup>2</sup>			
					Kg/cm <sup>2</sup>			

**Fuente:** Elaboración propia



**Tabla 61** *Recolección de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la compresión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 3-c)*

 Universidad Andina del Cusco		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208						
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"						
Tesista:	Judith Olivera Granada				N° de Prueba:	03 - 03C		
Ubic. de la Muestra:	Distrito de San Jerónimo				Código:	RCNC - CA		
Provincia :	Cusco				Descripción:	CON ADITIVO		
Región :	Cusco							
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Resistencia a la compresión no confinada</b>								
Descripción del suelo: Limo pardo								
Límite líquido:	32.31	%	Límite plástico:	22.91	%	Índice plástico:	9.40%	
Datos de la muestra: 03 - 03C								
Diámetro:	33.00	mm	Área Ao :	8.55	cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:	72 mm	
Volumen:		cm <sup>3</sup>	Peso:	114.39	g	Peso unitario húmedo:	1.86 g/cm <sup>3</sup>	
Contenido de Humedad			w% :	19.6%	%	Peso unitario seco:	1.66 g/cm <sup>3</sup>	
Lectura del deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra $\Delta L$ (mm)	Deformación unitaria $\epsilon = \Delta L / L_0$	Deformación unitaria $\epsilon \times 10^3$	Área CF 1 - $\epsilon$	Área Corregida A' (cm <sup>2</sup> )	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma = P' / A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00							
10	10.50							
20	17.00							
30	26.00							
40	34.00							
50	44.00							
60	53.00							
70	61.50							
80	68.50							
90	77.00							
100	85.00							
110	91.00							
120	98.00							
130	100.50							
140	101.00							
150	104.00							
160	100.00							
170	92.00							
180	83.00							
190	75.00							
200	69.00							
Resistencia a la compresión no confinada : $q_u =$ Kg/cm <sup>2</sup>								
Cohesión : $q_u / 2 =$ Kg/cm <sup>2</sup>								

**Fuente:** Elaboración propia



### 3.6. Procedimientos de análisis de datos

#### 3.6.1. Contenido de humedad

#### 3.6.2. Contenido de humedad (MTC E 108 - ASTM D2216)

##### a) Procesamiento o cálculos de la prueba

Para poder determinar el contenido de humedad del suelo se utilizará los datos de la tabla y la siguiente fórmula.

$$\%H = \frac{W_o - W}{W} * 100$$

Donde:

$W_o$  : Peso inicial del Suelo

$W$  : Peso seco del suelo

$\%H$ : Contenido de Humedad del suelo

##### b) Comentario de los resultados obtenidos en la prueba

Se registró por cada ensayo gran número de muestras repetidas de contenido de humedad antes y después de los ensayos para hacer un adecuado control de los resultados. Los datos registrados específicamente los datos obtenidos en el ensayo de contenido de humedad son de suma importancia en la investigación ya que en función a estos depende la precisión de los resultados que se realizan en los ensayos de laboratorio siguiente, correspondiente a las propiedades de desempeño como la trabajabilidad y capacidad de soporte.

#### 3.6.3. Características del suelo

##### 3.6.3.1. Tamaño de partículas

##### 3.6.3.1.1. Método de ensayo estándar para la gravedad específica de sólidos de suelo

MTC E 113, NTP 339.131 indica:

##### a) Procesamiento o cálculos de la prueba:

Calcule la masa del picnómetro y agua a la temperatura de ensayo como sigue:

$$M_{pw,t} = M_p + (V_p \times \rho_{w,t})$$

Donde:

$M_{pw,c}$  = masa del picnómetro y agua a la temperatura de ensayo (Tt), g.

$M_p$  = masa promedio calibrada del picnómetro seco, g.

$V_p$  = el volumen promedio calibrado del picnómetro, ml.

$P_{w,t}$  = la densidad del agua a la temperatura de ensayo (Tt), g/ml.





Calcule el peso específico de los sólidos de suelo a la temperatura de ensayo,  $G_t$  como sigue:

$$G_t = \frac{P_s}{P_{w,t}} = \frac{M_s}{(M_{p_{w,t}} - M_{p_{w,s,t}})} \quad (M_s)$$

Donde:

$P_s$  = La densidad del sólido de suelos  $Mg/m^3$  o  $g/cm^3$

$P_{w,t}$  = La densidad del agua a la temperatura del ensayo ( $T_t$ ),  $g/ml$  o  $g/cm^3$

$M_s$  = La masa de los sólidos de suelo secadas al horno (g), y

$M_{p_{w,t}}$  = La masa del picnómetro, agua y sólidos de suelo a la temperatura de ensayo, ( $T_t$ ), g

Calcule la gravedad específica de los sólidos de suelo a la a  $20^\circ C$  como sigue:

$$G_{20^\circ C} = K \times G_t$$

Donde:

$K$  = El coeficiente de temperatura

Para sólidos de suelo conteniendo partículas más grandes que el tamiz de  $4,75mm$  ( $N^\circ 4$ ) para el cual el método de ensayo ASTM C 127 fue usado para determinar el peso específico de estas partículas, calcule un peso específico promedio. El método de ensayo ASTM C 127 requiere que el ensayo sea realizado a  $23 \pm 1,7^\circ C$  y no requiere que el dato de peso específico sea corregido a  $20^\circ C$ . Use la ecuación anterior para corregir esta medición a  $20^\circ C$ . Use la siguiente ecuación para calcular el peso específico promedio:

$$G_{avg@20^\circ C} = \frac{1}{\frac{R}{100 \cdot G_{1@20^\circ C}} + \frac{P}{100 \cdot G_{2@20^\circ C}}}$$

Donde:

$R$  = Porcentaje de suelo retenido en la malla  $4,75mm$

$P$  = Porcentaje de suelo que pasa la malla  $4,75mm$

$G_{1@20^\circ C}$  = Peso específico de suelos retenido en el tamiz  $4,75mm$  como fue determinado por el método de ensayo ASTM C 127, corregido a  $20^\circ C$

$G_{2@20^\circ C}$  = Peso específico de suelos que pasan el tamiz  $4,75mm$  como fue determinado por estos métodos de ensayo

b) Diagramas y tablas para interpretación

Tabla 62 Análisis de datos del ensayo, Gravedad específica de los sólidos

Universidad Andina del Cusco		GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208		
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"		
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:	1,2,3	
Ubic. de la Muestra:	Distrito de San Jerónimo	Código:	ECM-GE	
Provincia :	Cusco	Descripción:	Ensayo de caracterización de la muestra	
Región :	Cusco			
Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Gravedad específica de los sólidos				
1	Método de remoción de aire			vacio
	Volumen del frasco a 20° C	V =		500 ml
	Peso del frasco volumétrico vacío y seco	Wb =		142.12 g
	Peso del frasco + agua hasta la marca	Wbw =		637.78 g
	Plato evaporador Nro.			M-1
	Peso de plato evaporador + sólidos seco	Recp + Ws =		152.38 g
	Peso del plato evaporador	Recp =		47.78 g
	Peso de los sólidos seco	Ws =		104.60 g
	Peso de frasco + Peso de sólidos seco + Agua hasta la marca	Wbws =		703.05 g
	Temperatura del agua	T°C =		22 °C
	Densidad a la Temperatura del agua	Y (T°C) =		0.998
	Densidad a la Temperatura de 20°C	Y (20°C) =		0.998
	Corrección de temperatura	α =		0.9996
	<b>Gravedad específica muestra Nro. 01</b>	<b>Gs =</b>		<b>2.66</b>
2	Método de remoción de aire			vacio
	Volumen del frasco a 20° C	V =		500 ml
	Peso del frasco volumétrico vacío y seco	Wb =		142.12 g
	Peso del frasco + agua hasta la marca	Wbw =		637.78 g
	Plato evaporador Nro.			E-6
	Peso de plato evaporador + sólidos seco	Recp + Ws =		148.04 g
	Peso del plato evaporador	Recp =		42.98 g
	Peso de los sólidos seco	Ws =		105.06 g
	Peso de frasco + Peso de sólidos seco + Agua hasta la marca	Wbws =		704.05 g
	Temperatura del agua	T°C =		22 °C
	Densidad a la Temperatura del agua	Y (T°C) =		0.998
	Densidad a la Temperatura de 20°C	Y (20°C) =		0.998
	Corrección de temperatura	α =		0.9996
	<b>Gravedad específica muestra Nro. 02</b>	<b>Gs =</b>		<b>2.71</b>
3	Método de remoción de aire			vacio
	Volumen del frasco a 20° C	V =		500 ml
	Peso del frasco volumétrico vacío y seco	Wb =		142.12 g
	Peso del frasco + agua hasta la marca	Wbw =		637.78 g
	Plato evaporador Nro.			M-6
	Peso de plato evaporador + sólidos seco	Recp + Ws =		153.64 g
	Peso del plato evaporador	Recp =		48.54 g
	Peso de los sólidos seco	Ws =		105.10 g
	Peso de frasco + Peso de sólidos seco + Agua hasta la marca	Wbws =		703.98 g
	Temperatura del agua	T°C =		22 °C
	Densidad a la Temperatura del agua	Y (T°C) =		0.998
	Densidad a la Temperatura de 20°C	Y (20°C) =		0.998
	Corrección de temperatura	α =		0.9996
	<b>Gravedad específica muestra Nro. 03</b>	<b>Gs =</b>		<b>2.70</b>

Fuente: Elaboración propia



**c) Comentario de los resultados obtenidos en la prueba**

Los valores típicos de gravedad especifican  $G_s$  muestran que el suelo tiene la característica de ser una arcilla inorgánica y una arena limosa. Este valor permitirá continuar el cálculo de análisis granulométrico por el método del hidrómetro. Este es uno más de los ensayos para identificar y caracterizar adecuadamente el suelo en estudio.

**3.6.3.1.2. Análisis granulométrico por hidrómetro**

MTC E 109, NTP 339.128, ASTM D7928 - 17, AASHTO T88

**a) Cálculos de la prueba**

$$R_C = R_o - \text{corrección de cero} + C_T$$

**Tabla 63** Factores de corrección por temperatura  $C_T$

Temp. (°C)	$C_T$
15	-1.10
16	-0.90
17	-0.70
18	-0.50
19	-0.30
20	+0.00
21	+0.20
22	+0.40
23	+0.70
24	+1.00

**Fuente:** Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil.

$$\text{Porcentaje más fino} = \frac{R_C * \alpha}{W_s} * 100$$

$R_C$  : Lectura del Hidrómetro

$W_s$  : Peso de suelo

$\alpha$  : Factores de corrección para el peso unitario de sólidos  $\text{cm}^3$

**Tabla 64** Factores de corrección  $\alpha$  para el peso unitario de sólidos.

Peso unitario de los sólidos del suelo ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	Factor de corrección A
2.85	0.96
2.80	0.97



2.75	0.98
2.70	0.99
2.65	1.00
2.60	1.01
2.55	1.02
2.50	1.04

**Fuente:** Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil.

$$D = K \sqrt{\frac{L}{t}}$$

$$v = \frac{L}{t}$$

**Tabla 65** *Propiedades del agua destilada.*

Temp (°C)	Peso unitario del agua	Viscosidad del agua
	(g/ cm <sup>3</sup> )	(poises) <sup>1</sup>
4	1.00000	0.01567
16	0.99897	0.01111
17	0.99880	0.01083
18	0.99862	0.01056
19	0.99844	0.01030
20	0.99823	0.01005
21	0.99802	0.00981
22	0.99780	0.00958
23	0.99757	0.00936
24	0.99733	0.00914
25	0.99708	0.00894
26	0.99682	0.00874
27	0.99655	0.00855
28	0.99627	0.00836
29	0.99598	0.00818
30	0.99568	0.00801

$$^1\text{Poise} = \frac{\text{Dina} \cdot \text{S}}{\text{Cm}^2} = \frac{\text{G}}{\text{Cm} \cdot \text{S}}$$

**Fuente:** Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil.



**Tabla 66** Valores de  $L$  (profundidad efectiva) para usar en la fórmula de Stokes en la determinación de diámetros de partículas con el hidrómetro ASTM 152H.

Lectura original del hidrómetro (corregida por menisco solamente)		Lectura original del hidrómetro (corregida por menisco solamente)		Lectura original del hidrómetro (corregida por menisco solamente)	
Profundidad efectiva $L$ (cm)		Profundidad efectiva $L$ (cm)		Profundidad efectiva $L$ (cm)	
0	16.3	21	12.9	42	9.4
1	16.1	22	12.7	43	9.2
2	16.0	23	12.5	44	9.1
3	15.8	24	12.4	45	8.9
4	15.6	25	12.2	46	8.8
5	15.5	26	12.0	47	8.6
6	15.3	27	11.9	48	8.4
7	15.2	28	11.7	49	8.3
8	15.0	29	11.5	50	8.1
9	14.8	30	11.4	51	7.9
10	14.7	31	11.2	52	7.8
11	14.5	32	11.1	53	7.6
12	14.3	33	10.9	54	7.4
13	14.2	34	10.7	55	7.3
14	14.0	35	10.5	56	7.1
15	13.8	36	10.4	57	7.0
16	13.7	37	10.2	58	6.8
17	13.5	38	10.1	59	6.6
18	13.3	39	9.9	60	6.5
19	13.2	40	9.7		
20	13.0	41	9.6		

**Fuente:** Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil.



**Tabla 67** Valores del *K* de la ecuación para varias combinaciones de pesos unitarios y temperaturas

Temp. (°C)	PESO UNITARIO DE LOS SOLIDOS DEL SUELO (g/ cm <sup>3</sup> )							
	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16	0.0151	0.0148	0.0146	0.0144	0.0141	0.0139	0.0137	0.0136
17	0.0149	0.0146	0.0144	0.0142	0.0140	0.0138	0.0136	0.0134
18	0.0148	0.0144	0.0142	0.0140	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132
19	0.0145	0.0143	0.0140	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132	0.0131
20	0.0143	0.0141	0.0139	0.0137	0.0134	0.0133	0.0131	0.0129
21	0.0141	0.0139	0.0137	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127
22	0.0140	0.0137	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0128	0.0126
23	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132	0.0130	0.0128	0.0126	0.0124
24	0.0137	0.0134	0.0132	0.0130	0.0128	0.0126	0.0125	0.0123
25	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127	0.0125	0.0123	0.0122
26	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127	0.0125	0.0124	0.0122	0.0120
27	0.0132	0.0130	0.0128	0.0126	0.0124	0.0122	0.0120	0.0119
28	0.0130	0.0128	0.0126	0.0124	0.0123	0.0121	0.0119	0.0117
29	0.0129	0.0127	0.0125	0.0123	0.0121	0.0120	0.0118	0.0116
30	0.0128	0.0126	0.0124	0.0122	0.0120	0.0118	0.0117	0.0115

**Fuente:** Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil.

b) Diagramas y tablas para interpretación

**Tabla 68** Análisis de datos del ensayo, granulometría por Hidrómetro – Parte I

Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"										
Tesis: Judith Olivera Granada						N° de Hoja: 01 de 03						
Ubic. de la Muestra: Distrito de San Jerónimo						Código: AGRH						
Provincia : Cusco						Descripción: Ensayo de caracterización del suelo						
Región : Cusco												
Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Análisis granulométrico por el método del hidrómetro												
Descripción del suelo: Limo pardo												
Análisis del hidrómetro :												
Agente Dispersante: NaPO3 Hexametáfosfato de sodio						Factor de corrección $\alpha$ = 0.99						
Hidrómetro No. = 152 H						Corrección de cero = + 6.40						
Gs de los sólidos = 2.68 g/cm <sup>3</sup>						Corrección de menisco = 1						
Cantidad = 4% en 125 ml						k = 2						
Peso de suelo W <sub>s</sub> = 48.74 g												
Día	Hora de la lectura	Tiempo transcurrido min	Temperatura °C	Lectura real del hidrómetro Rc	Ct	Lectura corregida del hidrómetro Rc	% más fino	Hidrómetro corregido por menisco R	L Caída de partícula	L/t	k	D (mm)
1er día	11:57:00	0	17.30	51.0	-0.64	43.96	89.53 %	52.00	7.77	7.7668	0.01394	0.0388
1er día	11:58:00	1	17.30	50.0	-0.64	42.96	87.49 %	51.00	7.93	3.9655	0.01394	0.0278
1er día	11:59:00	2	17.30	42.5	-0.64	35.46	72.22 %	43.50	9.16	3.0539	0.01394	0.0244
1er día	12:00:00	3	17.30	40.5	-0.64	33.46	68.14 %	41.50	9.49	2.3725	0.01394	0.0215
1er día	12:01:00	4	17.30	39.0	-0.64	31.96	65.09 %	40.00	9.74	1.9472	0.01394	0.0195
1er día	12:02:00	5	17.30	38.0	-0.64	30.96	63.05 %	39.00	9.90	1.6500	0.01394	0.0179
1er día	12:03:00	6	17.30	37.0	-0.64	29.96	61.01 %	38.00	10.06	1.4377	0.01394	0.0167
1er día	12:04:00	7	17.30	36.0	-0.64	28.96	58.98 %	37.00	10.23	1.2785	0.01394	0.0158
1er día	12:05:00	8	17.30	35.0	-0.64	27.96	56.94 %	36.00	10.39	1.1547	0.01394	0.0150
1er día	12:06:00	9	17.30	34.5	-0.64	27.46	55.92 %	35.50	10.47	1.0474	0.01394	0.0143
1er día	12:07:00	10	17.30	34.0	-0.64	26.96	54.90 %	35.00	10.56	0.9597	0.01394	0.0137
1er día	12:08:00	11	17.30	33.5	-0.64	26.46	53.89 %	34.50	10.64	0.8865	0.01394	0.0131
1er día	12:09:00	12	17.30	33.0	-0.64	25.96	52.87 %	34.00	10.72	0.8247	0.01394	0.0127
1er día	12:10:00	13	17.30	32.5	-0.64	25.46	51.85 %	33.50	10.80	0.7716	0.01394	0.0122
1er día	12:11:00	14	17.30	32.0	-0.64	24.96	50.83 %	33.00	10.88	0.7256	0.01394	0.0119
1er día	12:12:00	15	17.30	32.0	-0.64	24.96	50.83 %	33.00	10.88	0.6803	0.01394	0.0115
1er día	12:13:00	16	17.30	31.5	-0.64	24.46	49.81 %	32.50	10.97	0.6451	0.01394	0.0112
1er día	12:14:00	17	17.20	31.3	-0.66	24.24	49.37 %	32.30	11.00	0.6111	0.01396	0.0109
1er día	12:15:00	18	17.20	31.0	-0.66	23.94	48.75 %	32.00	11.05	0.5815	0.01396	0.0106
1er día	12:16:00	19	17.20	31.0	-0.66	23.94	48.75 %	32.00	11.05	0.5524	0.01396	0.0104
1er día	12:17:00	20	17.20	30.5	-0.66	23.44	47.74 %	31.50	11.13	0.5300	0.01396	0.0102
1er día	12:18:00	21	17.20	30.2	-0.66	23.14	47.13 %	31.20	11.18	0.5082	0.01396	0.0100
1er día	12:19:00	22	17.20	30.0	-0.66	22.94	46.72 %	31.00	11.21	0.4875	0.01396	0.0097
1er día	12:20:00	23	17.10	30.1	-0.68	23.02	46.88 %	31.10	11.20	0.4665	0.01398	0.0095
1er día	12:21:00	24	17.10	29.5	-0.68	22.42	45.66 %	30.50	11.29	0.4518	0.01398	0.0094
1er día	12:22:00	25	17.10	29.0	-0.68	21.92	44.64 %	30.00	11.38	0.4376	0.01398	0.0092
1er día	12:23:00	26	17.10	29.0	-0.68	21.92	44.64 %	30.00	11.38	0.4214	0.01398	0.0091
1er día	12:24:00	27	17.10	29.0	-0.68	21.92	44.64 %	30.00	11.38	0.4063	0.01398	0.0089
1er día	12:25:00	28	17.10	29.0	-0.68	21.92	44.64 %	30.00	11.38	0.3923	0.01398	0.0088
1er día	12:26:00	29	17.10	29.0	-0.68	21.92	44.64 %	30.00	11.38	0.3792	0.01398	0.0086
1er día	12:27:00	30	17.10	28.9	-0.68	21.82	44.44 %	29.90	11.39	0.3675	0.01398	0.0085
1er día	12:28:00	31	17.10	28.5	-0.68	21.42	43.62 %	29.50	11.46	0.3581	0.01398	0.0084
1er día	12:29:00	32	17.10	28.2	-0.68	21.12	43.01 %	29.20	11.51	0.3487	0.01398	0.0083
1er día	12:30:00	33	17.10	28.1	-0.68	21.02	42.81 %	29.10	11.52	0.3390	0.01398	0.0081
1er día	12:31:00	34	17.10	28.0	-0.68	20.92	42.60 %	29.00	11.54	0.3297	0.01398	0.0080
1er día	12:32:00	35	17.10	28.0	-0.68	20.92	42.60 %	29.00	11.54	0.3206	0.01398	0.0079

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 69** Análisis de datos del ensayo, granulometría por Hidrómetro – Parte II

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR EL MÉTODO DEL HIDRÓMETRO</b> NTP 339.128 - MTC E 109 - ASTM D7928 - ASTM D6913												
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"										
Tesista: Judith Olivera Granada Ubic. de la Muestra: Distrito de San Jerónimo Provincia : Cusco Región : Cusco						N° de Hoja: 02 de 03 Código: AGRH Descripción: Ensayo de caracterización del suelo						
Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Análisis granulométrico por el método del hidrómetro												
Descripción del suelo: Arcilla limosa parda												
Análisis del hidrómetro :												
Agente Dispersante: NaPO3 HEXAMETAFOFATO DE SODIO Hidrómetro No. = 152 H Gs de los sólidos = 2.68 g/cm3 Cantidad = 4% en 125 ml Peso de suelo Ws = 48.74 g						Factor de corrección α = 0.99 Corrección de cero = + 6.40 Corrección de menisco = 1 k = 2						
Día	Hora de la lectura	Tiempo transcurrido min	Temperatura °C	Lectura real del hidrómetro	Ct	Lectura corregida del hidrómetro	% más fino	Hidrómetro corregido por menisco	L Caída de partícula	L/t	k	D (mm)
				Rc		Rc		R				
1er día	12:34:00	37	17.10	28.0	-0.68	20.92	42.60 %	29.00	11.54	0.3037	0.01398	0.0077
1er día	12:35:00	38	17.10	27.5	-0.68	20.42	41.59 %	28.50	11.62	0.2980	0.01398	0.0076
1er día	12:36:00	39	17.10	27.1	-0.68	20.02	40.77 %	28.10	11.69	0.2922	0.01398	0.0076
1er día	12:37:00	40	17.10	27.0	-0.68	19.92	40.57 %	28.00	11.71	0.2855	0.01398	0.0075
1er día	12:38:00	41	17.00	27.0	-0.70	19.90	40.53 %	28.00	11.71	0.2787	0.01400	0.0074
1er día	12:39:00	42	17.00	27.0	-0.70	19.90	40.53 %	28.00	11.71	0.2722	0.01400	0.0073
1er día	12:40:00	43	17.00	27.0	-0.70	19.90	40.53 %	28.00	11.71	0.2660	0.01400	0.0072
1er día	12:41:00	44	17.00	27.0	-0.70	19.90	40.53 %	28.00	11.71	0.2601	0.01400	0.0071
1er día	12:43:00	46	17.10	27.0	-0.68	19.92	40.57 %	28.00	11.71	0.2490	0.01398	0.0070
1er día	12:44:00	47	17.10	27.0	-0.68	19.92	40.57 %	28.00	11.71	0.2439	0.01398	0.0069
1er día	12:45:00	48	17.10	27.0	-0.68	19.92	40.57 %	28.00	11.71	0.2389	0.01398	0.0068
1er día	12:47:00	50	17.10	26.5	-0.68	19.42	39.55 %	27.50	11.79	0.2311	0.01398	0.0067
1er día	12:49:00	52	17.10	26.1	-0.68	19.02	38.73 %	27.10	11.85	0.2236	0.01398	0.0066
1er día	12:51:00	54	17.10	26.0	-0.68	18.92	38.53 %	27.00	11.87	0.2158	0.01398	0.0065
1er día	12:52:00	55	17.10	25.9	-0.68	18.82	38.33 %	26.90	11.89	0.2122	0.01398	0.0064
1er día	12:55:00	58	17.10	25.9	-0.68	18.82	38.33 %	26.90	11.89	0.2015	0.01398	0.0063
1er día	12:56:00	59	17.10	25.9	-0.68	18.82	38.33 %	26.90	11.89	0.1981	0.01398	0.0062
1er día	13:00:00	63	17.10	25.2	-0.68	18.12	36.90 %	26.20	12.00	0.1875	0.01398	0.0061
1er día	13:02:00	65	17.10	25.1	-0.68	18.02	36.70 %	26.10	12.02	0.1821	0.01398	0.0060
1er día	13:04:00	67	17.10	25.1	-0.68	18.02	36.70 %	26.10	12.02	0.1767	0.01398	0.0059
1er día	13:05:00	68	17.10	25.1	-0.68	18.02	36.70 %	26.10	12.02	0.1742	0.01398	0.0058
1er día	13:09:00	72	17.10	25.0	-0.68	17.92	36.49 %	26.00	12.03	0.1648	0.01398	0.0057
1er día	13:10:00	73	17.10	25.0	-0.68	17.92	36.49 %	26.00	12.03	0.1626	0.01398	0.0056
1er día	13:17:00	80	17.10	25.0	-0.68	17.92	36.49 %	26.00	12.03	0.1486	0.01398	0.0054
1er día	13:22:00	85	17.10	25.0	-0.68	17.92	36.49 %	26.00	12.03	0.1399	0.01398	0.0052
1er día	13:27:00	90	17.10	24.8	-0.68	17.72	36.09 %	25.80	12.07	0.1326	0.01398	0.0051
1er día	13:32:00	95	17.10	24.5	-0.68	17.42	35.48 %	25.50	12.12	0.1262	0.01398	0.0050
1er día	13:37:00	100	17.10	24.1	-0.68	17.02	34.66 %	25.10	12.18	0.1206	0.01398	0.0049
1er día	13:42:00	105	17.10	24.0	-0.68	16.92	34.46 %	25.00	12.20	0.1151	0.01398	0.0047
1er día	13:47:00	110	17.10	23.5	-0.68	16.42	33.44 %	24.50	12.28	0.1106	0.01398	0.0046
1er día	13:52:00	120	17.10	22.0	-0.68	14.92	30.38 %	23.00	12.53	0.1035	0.01398	0.0045
2do día	08:41:00	157	15.90	18.0	-0.92	10.68	21.75 %	19.00	13.18	0.0834	0.01410	0.0041
2do día	09:11:00	197	16.00	17.5	-0.90	10.20	20.77 %	18.50	13.26	0.0670	0.01410	0.0036
2do día	11:01:00	307	16.00	17.5	-0.90	10.20	20.77 %	18.50	13.26	0.0431	0.01410	0.0029
4to día	10:15:00	1394	15.20	11.0	-0.92	3.68	7.49 %	12.00	14.33	0.0103	0.01410	0.0014
4to día	10:25:00	1404	15.20	11.0	-0.92	3.68	7.49 %	12.00	14.33	0.0102	0.01410	0.0014
4to día	10:55:00	1434	15.20	11.0	-0.92	3.68	7.49 %	12.00	14.33	0.0100	0.01410	0.0014

Fuente: Elaboración propia





### c) Comentario de los resultados obtenidos en la prueba

Los resultados del ensayo de granulometría muestran que la muestra estudiada tiene un 14% de arcilla y 86% de limo.

#### 3.6.3.2.Límites de consistencia

##### 3.6.3.2.1. Límite líquido, limite plástico e índice de plasticidad

###### a) Procesamiento o cálculos de la prueba

#### LIMITE LÍQUIDO

Se determina el límite líquido para cada espécimen para contenido de humedad usando una de las siguientes ecuaciones:

$$LL = W^n \left( \frac{N}{25} \right)^{0.121} \quad o \quad LL = kW^n$$

Donde:

N = Número de golpes requeridos para cerrar la ranura para el contenido de humedad

$W^n$  = Contenido de humedad del suelo

K = factor dado en la tabla

**Tabla 70** Factor para limite liquido

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

**Fuente:** Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil.

#### LIMITE PLÁSTICO

El cálculo del límite plástico es el promedio de las humedades de ambas determinaciones. Se expresa como porcentaje de humedad, con aproximación a un entero, como se muestra a continuación:



$$\text{Limite plastico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

### CÁLCULOS DE ÍNDICE DE PLASTICIDAD

El índice de plasticidad es la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico

$$I. P. = L. L. - L. P.$$

Donde: L.L. y L.P., son números enteros

L.L. = Limite liquido

P.L. = Limite plástico

### DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE CONTRACCIÓN DE LOS SUELOS CÁLCULOS

Calcule la masa de suelo húmedo inicial como:

$$M = M_w - M_r$$

Calcule la masa de suelo seco como:

$$M_0 = M_p - M_r$$

Calcule el contenido inicial de agua como un porcentaje de la masa seca como:

$$W = \frac{(M - M_0)}{M_0} \times 100$$

Calcule el límite de contracción como un contenido de agua del suelo como un porcentaje de la masa seca como:

$$SL = w - \frac{(V - V_0) \cdot P_W}{M_0} \times 100$$

Donde

$P_W$  = Densidad aproximada del agua a  $1,0 \text{ g/cm}^3$  ( $62,4 \text{ lb/pe}^3$ ) V y  $V_0$  son definidos en la sección de procedimientos.

Calcule la relación de contracción R, a partir de los datos obtenidos en la determinación volumétrica por la siguiente ecuación.

$$R = \frac{M_0}{V_0 \times P_W}$$



Diagramas y tablas para interpretación

Tabla 71 Análisis de datos del ensayo, límites de consistencia (Líquido y plástico)- 1a

LÍMITES DE CONSISTENCIA LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO - IP ASTM D4318 , MTC E 110, MTC E 111, NTP 339.129				
Nombre de la tesis:	"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"			
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:	01 de 03	
Ubic. de la Muestra:	San Jerónimo	Código:	01-LL-LP	
Provincia :	Cusco	Descripción:	Ensayo de caracterización del suelo	
Región :	Cusco			
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Límites de Consistencia: Límite líquido y Límite plástico</b>				
<b>LÍMITE LÍQUIDO - ASTM D4318</b>				
1era Muestra				
Nombre de cápsula	D-12	C-1	B-26	C-4
Peso cápsula (g)	39.30	14.33	11.30	14.55
Peso cápsula +SH (g)	46.37	25.61	19.30	23.55
Peso cápsula+SS (g)	44.60	22.85	17.36	21.41
Número de golpes	16	20	27	30
Peso SS (g)	5.30	8.52	6.06	6.86
Peso Agua (g)	1.77	2.76	1.94	2.14
Cont. Hum. (W)%	33.40	32.39	32.01	31.20
<b>LÍMITE PLÁSTICO - ASTM D4318</b>				
1era Muestra				
Nombre de cápsula	F-57	B-23	B-12	F - 20
Peso cápsula (g)	14.87	11.21	11.21	11.65
Peso C+SH (g)	20.87	12.96	12.64	17.65
Peso C+SS (g)	19.69	12.64	12.4	16.48
Peso SS (g)	4.82	1.43	1.19	4.83
Peso Agua (g)	1.18	0.32	0.24	1.17
Cont. Hum.(W)%	24.48	22.38	20.17	24.22

**LÍMITE LÍQUIDO**

Límite plástico (%) = 22.8

Límite líquido (%) = 32.0

Índice plástico (%) = 9.2

Carta de plasticidad de Casagrande (Según ASTM D-2487)

CLASIFICACIÓN SUCS

ML

Limo

Nota:

SS: Suelo Seco

SH: Suelo Húmedo



Fuente: Elaboración propia

Tabla 72 Análisis de datos del ensayo, límites de consistencia (Líquido y plástico)- 2b

<div style="text-align: center;"> <b>LÍMITES DE CONSISTENCIA</b>  <b>LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO - IP</b>  <b>ASTM D4318 , MTC E 110, MTC E 111, NTP 339.129</b> </div>			
<b>Nombre de la tesis:</b>	"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"		
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:	02 de 03
Ubic. de la Muestra:	San Jerónimo	Código:	02-LL-LP
Provincia :	Cusco	Descripción:	Ensayo de caracterización del suelo
Región :	Cusco		
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Límites de Consistencia: Límite líquido y Límite plástico</b>			
<b>LÍMITE LÍQUIDO - ASTM D4318</b>			
1era Muestra			
Nombre de cápsula	C-11	D - 14	C-3    C-2
Peso cápsula (g)	14.25	31.58	14.36    14.68
Peso cápsula +SH (g)	22.29	39.61	19.13    22.67
Peso cápsula+SS (g)	20.19	37.56	17.98    20.76
Número de golpes	15	22	30    35
Peso SS (g)	5.94	5.98	3.62    6.08
Peso Agua (g)	2.10	2.05	1.15    1.91
Cont. Hum. (W)%	35.35	34.28	31.77    31.41
<b>LÍMITE PLÁSTICO - ASTM D4318</b>			
1era Muestra			
Nombre de cápsula	C-. 13	C-5	C-14    B-11
Peso cápsula (g)	14.73	14.5	14.1    10.73
Peso C+SH (g)	15.99	15.68	15.49    11.98
Peso C+SS (g)	15.74	15.46	15.23    11.76
Peso SS (g)	1.01	0.96	1.13    1.03
Peso Agua (g)	0.25	0.22	0.26    0.22
Cont. Hum.(W)%	24.75	22.92	23.01    21.36

**LÍMITE LÍQUIDO**

Límite plástico (%) = 23.01  
Límite líquido (%) = 33.31  
Índice plástico (%) = 10.30

Carta de plasticidad de Casagrande (Según ASTM D-2487)

CLASIFICACIÓN SUCS

**ML**

Limo

Nota:

SS: Suelo Seco  
SH: Suelo Húmedo

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 73** Análisis de datos del ensayo, límites de consistencia (Líquido y plástico)- 3c

LÍMITES DE CONSISTENCIA LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO - IP ASTM D4318 , MTC E 110, MTC E 111, NTP 339.129																																																				
<b>Nombre de la tesis:</b> "Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"																																																				
<b>Tesista:</b> Judith Olivera Granada		<b>N° de Prueba:</b> 03 de 03																																																		
<b>Ubic. de la Muestra:</b> San Jerónimo		<b>Código:</b> 03-LL-LP																																																		
<b>Provincia :</b> Cusco		<b>Descripción:</b> Ensayo de caracterización del suelo																																																		
<b>Región :</b> Cusco																																																				
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Límites de Consistencia: Límite líquido y Límite plástico</b>																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="5" style="text-align: center;">LÍMITE LÍQUIDO - ASTM D4318</th> </tr> <tr> <th colspan="5" style="text-align: center;">1era Muestra</th> </tr> <tr> <th style="width: 20%;">Nombre de cápsula</th> <th style="width: 10%;">A-11</th> <th style="width: 10%;">C-10</th> <th style="width: 10%;">B-20</th> <th style="width: 10%;">A-13</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso cápsula (g)</td> <td>14.40</td> <td>14.60</td> <td>11.19</td> <td>14.36</td> </tr> <tr> <td>Peso cápsula +SH (g)</td> <td>21.90</td> <td>27.58</td> <td>18.10</td> <td>19.10</td> </tr> <tr> <td>Peso cápsula+SS (g)</td> <td>19.99</td> <td>24.33</td> <td>16.46</td> <td>17.98</td> </tr> <tr> <td>Número de golpes</td> <td>17</td> <td>20</td> <td>25</td> <td>28</td> </tr> <tr> <td>Peso SS (g)</td> <td>5.59</td> <td>9.73</td> <td>5.27</td> <td>3.62</td> </tr> <tr> <td>Peso Agua (g)</td> <td>1.91</td> <td>3.25</td> <td>1.64</td> <td>1.12</td> </tr> <tr> <td>Cont. Hum. (W)%</td> <td>34.17</td> <td>33.40</td> <td>31.12</td> <td>30.94</td> </tr> </tbody> </table>		LÍMITE LÍQUIDO - ASTM D4318					1era Muestra					Nombre de cápsula	A-11	C-10	B-20	A-13	Peso cápsula (g)	14.40	14.60	11.19	14.36	Peso cápsula +SH (g)	21.90	27.58	18.10	19.10	Peso cápsula+SS (g)	19.99	24.33	16.46	17.98	Número de golpes	17	20	25	28	Peso SS (g)	5.59	9.73	5.27	3.62	Peso Agua (g)	1.91	3.25	1.64	1.12	Cont. Hum. (W)%	34.17	33.40	31.12	30.94	<div style="text-align: center;"> <b>LÍMITE LÍQUIDO</b> </div>
LÍMITE LÍQUIDO - ASTM D4318																																																				
1era Muestra																																																				
Nombre de cápsula	A-11	C-10	B-20	A-13																																																
Peso cápsula (g)	14.40	14.60	11.19	14.36																																																
Peso cápsula +SH (g)	21.90	27.58	18.10	19.10																																																
Peso cápsula+SS (g)	19.99	24.33	16.46	17.98																																																
Número de golpes	17	20	25	28																																																
Peso SS (g)	5.59	9.73	5.27	3.62																																																
Peso Agua (g)	1.91	3.25	1.64	1.12																																																
Cont. Hum. (W)%	34.17	33.40	31.12	30.94																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="5" style="text-align: center;">LÍMITE PLÁSTICO - ASTM D4318</th> </tr> <tr> <th colspan="5" style="text-align: center;">1era Muestra</th> </tr> <tr> <th style="width: 20%;">Nombre de cápsula</th> <th style="width: 10%;">B-25</th> <th style="width: 10%;">C-15</th> <th style="width: 10%;">B-24</th> <th style="width: 10%;">B-21</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso cápsula (g)</td> <td>10.99</td> <td>14.69</td> <td>11.31</td> <td>11.43</td> </tr> <tr> <td>Peso C+SH (g)</td> <td>12.39</td> <td>15.77</td> <td>12.44</td> <td>12.41</td> </tr> <tr> <td>Peso C+SS (g)</td> <td>12.11</td> <td>15.56</td> <td>12.24</td> <td>12.24</td> </tr> <tr> <td>Peso SS (g)</td> <td>1.12</td> <td>0.87</td> <td>0.93</td> <td>0.81</td> </tr> <tr> <td>Peso Agua (g)</td> <td>0.28</td> <td>0.21</td> <td>0.20</td> <td>0.17</td> </tr> <tr> <td>Cont. Hum.(W)%</td> <td>25.00</td> <td>24.14</td> <td>21.51</td> <td>20.99</td> </tr> </tbody> </table>		LÍMITE PLÁSTICO - ASTM D4318					1era Muestra					Nombre de cápsula	B-25	C-15	B-24	B-21	Peso cápsula (g)	10.99	14.69	11.31	11.43	Peso C+SH (g)	12.39	15.77	12.44	12.41	Peso C+SS (g)	12.11	15.56	12.24	12.24	Peso SS (g)	1.12	0.87	0.93	0.81	Peso Agua (g)	0.28	0.21	0.20	0.17	Cont. Hum.(W)%	25.00	24.14	21.51	20.99	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;"> <b>Límite plástico (%) =</b> 22.91                 </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"> <b>Límite líquido (%) =</b> 31.61                 </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"> <b>Índice plástico (%) =</b> 8.70                 </td> </tr> </table>	<b>Límite plástico (%) =</b> 22.91	<b>Límite líquido (%) =</b> 31.61	<b>Índice plástico (%) =</b> 8.70		
LÍMITE PLÁSTICO - ASTM D4318																																																				
1era Muestra																																																				
Nombre de cápsula	B-25	C-15	B-24	B-21																																																
Peso cápsula (g)	10.99	14.69	11.31	11.43																																																
Peso C+SH (g)	12.39	15.77	12.44	12.41																																																
Peso C+SS (g)	12.11	15.56	12.24	12.24																																																
Peso SS (g)	1.12	0.87	0.93	0.81																																																
Peso Agua (g)	0.28	0.21	0.20	0.17																																																
Cont. Hum.(W)%	25.00	24.14	21.51	20.99																																																
<b>Límite plástico (%) =</b> 22.91																																																				
<b>Límite líquido (%) =</b> 31.61																																																				
<b>Índice plástico (%) =</b> 8.70																																																				
<div style="text-align: center;"> <b>Carta de plasticidad de Casagrande (Según ASTM D-2487)</b> </div>																																																				
		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">                 CLASIFICACIÓN SUCS   <b>ML</b>                  Limo             </div> <p style="margin-top: 10px;">                 Nota:                  SS: Suelo Seco                  SH: Suelo Húmedo             </p>																																																		


Fuente: Elaboración propia

### b) Comentario de los resultados obtenidos en la prueba

Se define al suelo en estudio de acuerdo a su clasificación SUCS en función a los ensayos de límites de Atterberg como un limo inorgánico ML.

#### 3.6.3.2.2. Límite de contracción

**Tabla 74** Análisis de datos del ensayo, límite de contracción

 Universidad Andina del Cusco		LÍMITE DE CONTRACCIÓN MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208			
Nombre de la tesis:	"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"				
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:		01LC - 02LC - 03LC - 04LC	
Ubic. de la Muestra:	Distrito de San Jerónimo.	Código:		LC	
Provincia :	Cusco	Descripción:		Ensayo de caracterización de la muestra.	
Región :	Cusco				
<b>Registro de datos y cálculos - Ensayo Límite de Contracción del suelo en estudio</b>					
Temperatura del agua T°C	21.2 °C				
Densidad de la galleta de suelo a T°C	21.00 °C		0.99808 g/cm3		
	21.20 °C		0.99804 g/cm3		
	22.00 °C		0.99786 g/cm3		
Muestra (A)	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04	
Descripción del recipiente	Casuela ploma	Casuela de arcilla	Casuela de Arcilla	Casuela de Arcilla	
Nombre del recipiente	P-1	A-1	B-1	C-1	
Peso del recipiente (g)	47.00	44.25	47.02	44.15	
Peso recipiente + Suelo Húmedo (g)	98.46	95.90	100.31	97.14	
Peso recipiente + Suelo Seco (g)	85.26	81.76	85.63	82.58	
Peso Suelo Seco (g)	38.26	37.51	38.61	38.43	
Densidad de parafina (g/cm3)	0.80	0.80	0.80	0.80	
Peso Suelo Seco + parafina (g)	46.03	40.95	39.56	42.96	
Peso parafina (g)	7.77	3.44	0.95	4.53	
Volumen parafina (cm3)	9.71	4.30	1.19	5.66	
Peso Agua (g)	13.20	14.14	14.68	14.56	
Contenido de Humedad (%)	34.50	37.70	38.02	37.89	
Peso de recipiente + agua destilada	77.50	73.93	77.30	72.38	
Volumen de recipiente (ml) = Vo	30.04	29.50	30.00	28.50	
Volumen suelo seco + parafina	34.00	27.00	24.00	27.00	
Volumen suelo seco (ml) = Vf	24.29	22.70	22.81	21.34	
Nombre de Recipiente	D-1	D-1	D-1	D-1	
Volumen de Recipiente (ml)	113.20	113.20	113.20	113.20	
Peso de recipiente	38.03	38.03	38.03	38.03	
Peso de recipiente + agua destilada	153.34	156.53	153.57	170.38	
Peso recipiente + agua + suelo	169.57	170.64	167.84	169.35	
<b>Límite de contracción</b>	<b>19.47</b>	<b>19.57</b>	<b>19.41</b>	<b>19.25</b>	

Fuente: Elaboración propia



El valor del límite de contracción permite establecer el parámetro sobre el cual el suelo en estudio no presenta un cambio adicional en su volumen siendo este valor en promedio de 19.4 %.

### 3.6.4. Propiedades de desempeño

#### 3.6.4.1. Trabajabilidad

##### 3.6.4.1.1. Proctor modificado

###### a) Procesamiento o cálculos de la prueba

Se calcula el peso unitario seco y contenido de agua para cada espécimen de este ensayo, se plotea los valores y dibuja la curva de compactación como una curva suave a raves de los puntos. Se plotea el peso unitario seco con aproximación  $0,2 \text{ kn/m}^3$  ( $0,1 \text{ lbf/pie}^3$ ) y contenido de agua aproximado a 0,1%. En base a la curva de comparación, se determina el óptimo contenido de agua y el peso unitario seco máximo.

Se calcula el contenido de agua,  $w$  de acuerdo al método de ensayo NTP 339.127.

Peso unitario seco. – Se calcula la densidad húmeda, la densidad seca y luego el peso unitario seco como con las siguientes ecuaciones:

$$P_M = 1000 \times \frac{(M_T - M_{Md})}{V}$$

Donde:

$P_M$  = Densidad húmeda del espécimen compactado ( $\text{Mg/m}^3$ )

$M_t$  = Masa del espécimen húmedo y molde (kg)

$M_{md}$  = Masa del molde de compactación (kg)

$V$  = Volumen del molde de compactación ( $\text{m}^3$ )

$$\rho_d = \frac{P_m}{1 + \frac{W}{100}}$$

Donde:

$\rho_d$  = Densidad seca del espécimen compactado ( $\text{Mg/m}^3$ )

$W$  = Contenido de agua (%)

$$\Gamma_d = 62,43 P_d \text{ en lbf/pie}^3$$

$$\Gamma_d = 9.807 P_d \text{ en kn/m}^3$$

Donde:

$Y_d$  = Peo unitario seco del espécimen compactado.



En el cálculo de los puntos para la curva de 100% de saturación o curva de relación de vacíos cero del peso unitario seco, se selecciona los valores correspondientes de contenido de agua a la condición de 100% de saturación como se indica:

$$W_{\text{sat}} = \frac{(\Gamma_w)(G_s) - \Gamma_D}{(\Gamma_d)(G_s)} \times 100$$

Donde:

$W_{\text{sat}}$  = Contenido de agua para una saturación completa (%)

$\Gamma_w$  = Peso unitario del agua 9,807 kn/m<sup>3</sup> o (62,43 lbf/pie<sup>3</sup>).

$\Gamma_d$  = Peso unitario seco del suelo

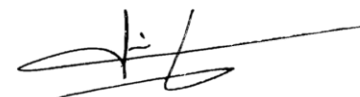
$G_s$  = Gravedad específica del suelo.





b) Diagramas y tablas para interpretación



Tabla 75 Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado sin aditivo prueba 1-Parte I

Universidad Andina del Cusco		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141													
<b>Nombre de la tesis:</b>		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"													
Tesista:		Judith Olivera Granada						N° de Prueba:		1 de 3					
Ubic. de la Muestra:		San Jerónimo						Código:		PSA-01					
Provincia :		Cusco						Descripción:		PROCTOR					
Región :		Cusco								SIN ADITIVO					
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Compactación Proctor Modificado</b>															
<b>Determinación del contenido de humedad</b>															
Muestra	(Antes de Compactar)			(después de Compactar)			(Antes de Compactar)			(después de Compactar)					
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo
Nombre de resipiente	A-4	A-3	A-1	A-2	M-8	A-5	F-41	F-38	F-39	E-2	E-7	E-10			
Peso resipiente (g)	20.90	21.90	21.50	31.00	30.80	30.60	8.65	15.49	9.13	47.46	43.00	45.04			
Peso resipiente +SH (g)	41.40	43.40	42.70	80.10	97.10	60.50	20.23	30.48	22.65	157.82	163.10	158.20			
Peso resipiente+SS (g)	38.49	40.40	39.70	73.20	87.60	56.20	18.54	28.29	20.66	140.94	144.60	140.76			
Peso SS (g)	17.59	18.50	18.20	42.20	56.80	25.60	9.89	12.80	11.53	93.48	101.60	95.72			
Peso Agua (g)	2.91	3.00	3.00	6.90	9.50	4.30	1.69	2.19	1.99	16.88	18.50	17.44			
Contenido de Humedad %	16.54	16.22	16.48	16.35	16.73	16.80	17.09	17.11	17.26	18.06	18.21	18.22			
Promedio Cont. de Hum (%)	16.41			16.62			17.15			18.16					
<b>Determinación del contenido de humedad</b>															
Muestra	(Antes de Compactar)			(después de Compactar)			(Antes de Compactar)			(después de Compactar)					
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo
Nombre de resipiente	A-1	A-2	A-3	E-9	E-11	E-12	B-11	B-9	B-10	A-6	T-8	A-8			
Peso resipiente (g)	24.50	23.98	24.26	45.92	42.40	45.54	6.40	6.40	6.30	21.50	30.60	21.80			
Peso resipiente +SH (g)	59.60	60.02	55.34	153.90	129.58	137.12	14.30	16.30	13.20	72.75	132.50	67.50			
Peso resipiente+SS (g)	53.88	54.14	50.30	136.38	115.24	122.18	13.00	14.30	12.05	63.70	114.20	59.50			
Peso SS (g)	29.38	30.16	26.04	90.46	72.84	76.64	6.60	7.90	5.75	42.20	83.60	37.70			
Peso Agua (g)	5.72	5.88	5.04	17.52	14.34	14.94	1.30	2.00	1.15	9.05	18.30	8.00			
Contenido de Humedad %	19.47	19.50	19.35	19.37	19.69	19.49	19.70	25.32	20.00	21.45	21.89	21.22			
Promedio Cont. de Hum (%)	19.44			19.52			21.67			21.52					
<b>Determinación del contenido de humedad</b>															
Muestra	(Antes de Compactar)			(después de Compactar)											
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo									
Nombre de resipiente	A-7	A-8	A-9	A-10	A-11	A-12									
Peso resipiente (g)	21.84	23.92	22.04	22.52	22.34	22.72									
Peso resipiente +SH (g)	47.02	49.68	45.04	69.96	78.16	73.96									
Peso resipiente+SS (g)	42.24	44.82	40.71	60.94	67.60	64.21									
Peso SS (g)	20.40	20.90	18.67	38.42	45.26	41.49									
Peso Agua (g)	4.78	4.86	4.33	9.02	10.56	9.75									
Contenido de Humedad %	23.43	23.25	23.19	23.48	23.33	23.50									
Promedio Cont. de Hum (%)	23.29			23.44											
 Nota: SS: Suelo Seco SH: Suelo Húmedo															

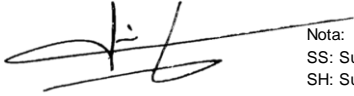
Fuente: Elaboración propia



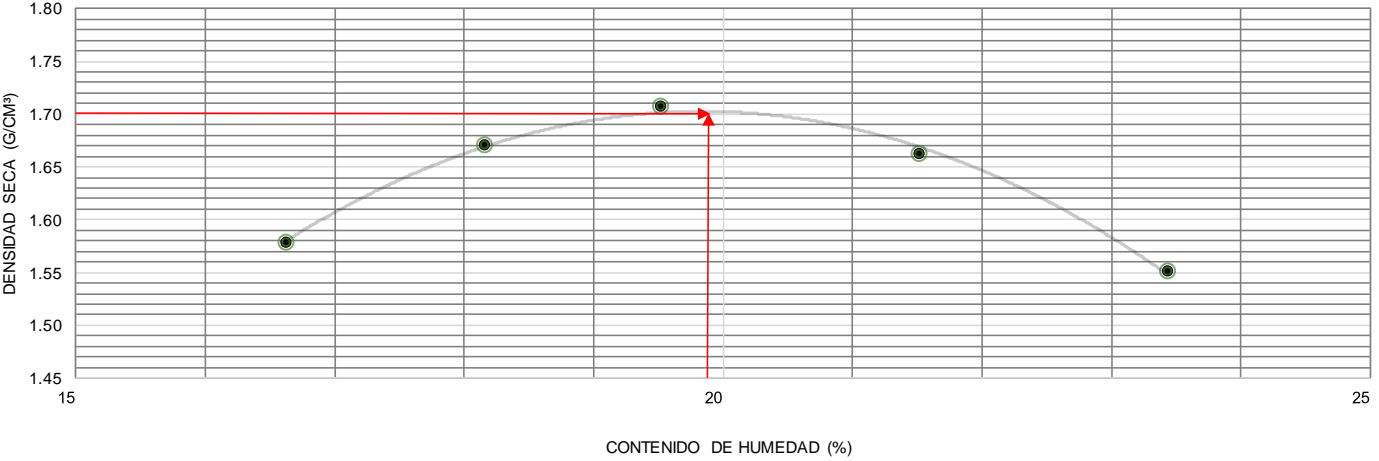
**Tabla 76** Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado sin aditivo prueba 1-Parte II

 Universidad Andina del Cusco		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141			
<b>Nombre de la tesis:</b>		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"			
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:	1 de 3		
Ubic. de la Muestra:	San Jerónimo	Código:	PSA-01		
Provincia :	Cusco	Descripción:	PROCTOR		
Región :	Cusco		SIN ADITIVO		
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Compactación Proctor Modificado</b>					
<b>Determinación de la densidad</b>					
N° Molde Proctor	1	1	1	2	2
Volumen Molde (cm)	940.30	936.60	936.60	937.29	960.86
Contenido de Humedad Promedio %	16.62	18.16	19.52	21.52	23.44
Peso de molde proctor + SH	5960	5684	5747	6160	5744
Peso de molde proctor	4229	3836	3836	4267	3905
Peso SH	1731	1848	1911	1893	1839
Densidad Húmeda	1.84	1.97	2.04	2.02	1.91
Densidad Seca	1.58	1.67	1.71	1.66	1.55

Nota:  
SS: Suelo Seco  
SH: Suelo Húmedo



**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO**




Contenido de Humedad Óptima (%)	19.80	Densidad Seca Máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1.70
---------------------------------	-------	---	------

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 77** Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado sin aditivo prueba I-Parte III



Universidad Andina del Cusco		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141					
<b>Nombre de la tesis:</b>		<b>“Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004”</b>					
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:				1 de 3	
Ubic. de la Muestra:	San Jerónimo	Código:				PSA-01	
Provincia :	Cusco	Descripción:				PROCTOR	
Region :	Cusco					SIN ADITIVO	
Calibración de moldes							
Molde 01		Molde 02		Molde 03		Molde 04	
3.830 Kg		3.905 Kg		4.227 Kg		4.266 Kg	
3.832 Kg		3.905 Kg		4.231 Kg		4.268 Kg	
sin collar 01: Promedio: 3.831 Kg		sin collar 02: Promedio: 3.905 Kg		sin collar 03: Promedio: 4.229 Kg		sin collar 04: Promedio: 4.267 Kg	
3831.000 g		3905.000 g		1.065 g		1.064 g	
10.128 cm		10.212 cm		10.130 cm		10.110 cm	
10.137 cm		10.313 cm		10.125 cm		10.140 cm	
10.147 cm		10.266 cm		10.125 cm		10.130 cm	
10.133 cm		10.270 cm		10.135 cm		10.130 cm	
Promedio: 10.136 cm		Promedio: 10.265 cm		Promedio: 10.129 cm		Promedio: 10.128 cm	
101.36 mm		102.65 mm		101.29 mm		101.28 mm	
11.600 cm		11.600 cm		11.700 cm		11.700 cm	
11.600 cm		11.630 cm		11.650 cm		11.700 cm	
11.650 cm		11.610 cm		11.700 cm		11.700 cm	
11.610 cm		11.600 cm		11.700 cm		11.700 cm	
Promedio: 11.615 cm		Promedio: 11.610 cm		Promedio: 11.688 cm		Promedio: 11.700 cm	
116.150 mm		116.100 mm		116.875 mm		117.000 mm	
Volumen molde 01: 937.27 cm3		Volumen molde 02: 960.86 cm3		Volumen molde 03: 941.72 cm3		Volumen molde 04 : 942.50 cm3	
Peso de agua en molde 01: 1069.00 g		Peso de agua en molde 02: 934.00 g		Peso de agua en molde 03: 939.00 g		Peso de agua en molde 04 : 936.00 g	
Temperatura del agua °C 16.80 °C		Temperatura del agua °C: 17.10 °C		Temperatura del agua °C: 18.00 °C		Temperatura del agua °C: 17.60 °C	
Densidad del agua a una Temp °C 0.999 g/ml		Densidad del agua a una Temp °C 0.999 g/ml		Densidad del agua a una Temp °C 0.999 g/ml		Densidad del agua a una Temp °C 0.999 g/ml	
Volumen molde 01 : 1070.477 ml		Volumen molde 02 : 935.291 ml		Volumen molde 03 : 940.298 ml		Volumen molde 04 : 937.293 ml	

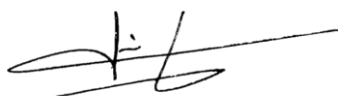
Fuente: Elaboración propia





**Tabla 78** Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado sin aditivo prueba 2 – Parte I

 Universidad Andina del Cusco		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141											
<b>Nombre de la tesis:</b>		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"											
Tesista:	Judith Olivera Granada						N° de Prueba:	2 de 3					
Ubic. de la Muestra:	San Jerónimo						Código:	PSA-02					
Provincia :	Cusco						Descripción:	PROCTOR					
Región :	Cusco							SIN ADITIVO					
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Compactación Proctor Modificado</b>													
<b>Determinación del contenido de humedad</b>													
Muestra	(Antes de Compactar)			(después de Compactar)			(Antes de Compactar)			(después de Compactar)			
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	
Nombre de resipiente	B-23	B-24	B-22	D-10	D-12	D-11	A-8	A-7	A-11	E-3	E-6	E-5	
Peso resipiente (g)	11.18	11.30	11.34	37.00	39.40	39.02	23.92	21.86	22.34	41.38	43.00	43.26	
Peso resipiente +SH (g)	32.62	35.94	31.22	109.42	98.92	114.16	69.74	55.20	64.72	143.98	159.78	146.88	
Peso resipiente+SS (g)	29.46	32.32	28.30	97.90	89.60	102.30	62.14	49.70	57.72	127.14	140.40	130.02	
Peso SS (g)	18.28	21.02	16.96	60.90	50.20	63.28	38.22	27.84	35.38	85.76	97.40	86.76	
Peso Agua (g)	3.16	3.62	2.92	11.52	9.32	11.86	7.60	5.50	7.00	16.84	19.38	16.86	
Contenido de Humedad %	17.29	17.22	17.22	18.92	18.57	18.74	19.88	19.76	19.79	19.64	19.90	19.43	
Promedio Cont. de Hum (%)	17.24			18.74			19.81			19.66			
<b>Determinación del contenido de humedad</b>													
Muestra	(Antes de Compactar)			(después de Compactar)			(Antes de Compactar)			(después de Compactar)			
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	
Nombre de resipiente	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	C-66	B-28	B-29	D-7	D-6	D-5	
Peso resipiente (g)	24.50	23.98	24.26	23.54	22.52	23.20	15.02	11.52	11.33	37.36	38.75	38.22	
Peso resipiente +SH (g)	37.56	38.46	37.40	73.64	72.40	74.70	33.52	39.64	36.42	107.11	117.12	124.16	
Peso resipiente+SS (g)	35.31	35.96	35.15	65.15	63.86	65.70	30.19	34.54	31.84	94.34	102.84	108.41	
Peso SS (g)	10.81	11.98	10.89	41.61	41.34	42.50	15.17	23.02	20.51	56.98	64.09	70.19	
Peso Agua (g)	2.25	2.50	2.25	8.49	8.54	9.00	3.33	5.10	4.58	12.77	14.28	15.75	
Contenido de Humedad %	20.81	20.87	20.66	20.40	20.66	21.18	21.95	22.15	22.33	22.41	22.28	22.44	
Promedio Cont. de Hum (%)	20.78			20.75			22.15			22.38			
<b>Determinación del contenido de humedad</b>													
Muestra	(Antes de Compactar)			(después de Compactar)									
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo							
Nombre de resipiente	D-8	D-9	D-13	D-10	D-11	D-10							
Peso resipiente (g)	38.50	37.58	23.92	39.40	49.02	37.00							
Peso resipiente +SH (g)	81.02	97.88	84.54	122.22	105.00	108.18							
Peso resipiente+SS (g)	72.63	86.09	72.73	106.04	94.06	94.26							
Peso SS (g)	34.13	48.51	48.81	66.64	45.04	57.26							
Peso Agua (g)	8.39	11.79	11.81	16.18	10.94	13.92							
Contenido de Humedad %	24.58	24.30	24.20	24.28	24.29	24.31							
Promedio Cont. de Hum (%)	24.36			24.29									

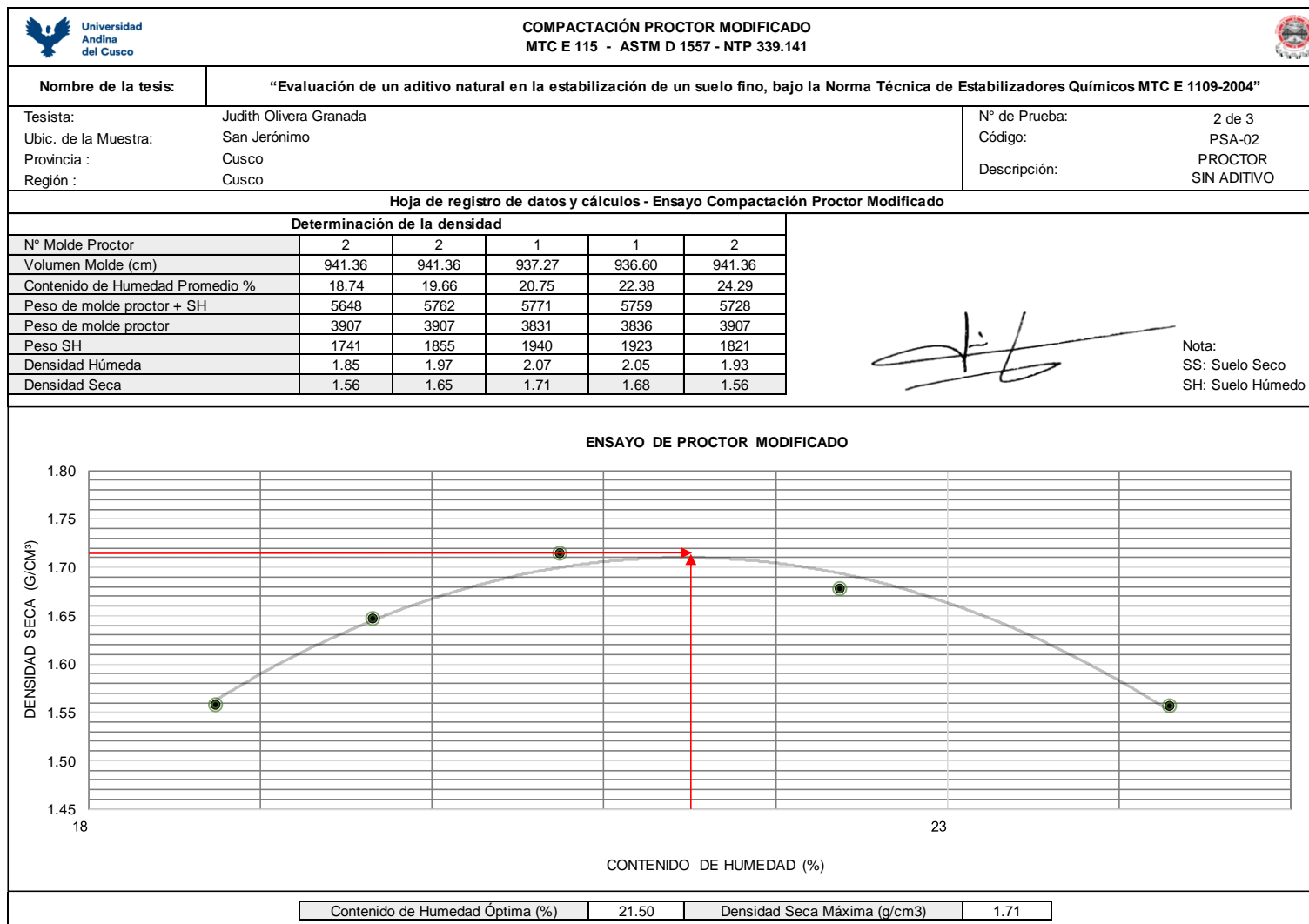


Nota:  
SS: Suelo Seco  
SH: Suelo Húmedo

Fuente: Elaboración propia





**Tabla 79** Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado sin aditivo prueba 2 – Parte II



**Fuente:** Elaboración propia





**Tabla 80** *Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado sin aditivo prueba 2 – Parte III*

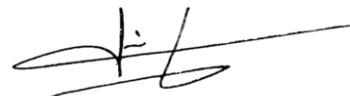
 Universidad Andina del Cusco		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141					
<b>Nombre de la tesis:</b>		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"					
Tesista: Judith Olivera Granada Ubic. de la Muestra: San Jerónimo Provincia: Cusco Region: Cusco		N° de Prueba: 2 de 3 Código: PSA-02 Descripción: PROCTOR SIN ADITIVO					
Calibración de moldes							
Molde 05		Molde 06		Molde 07		Molde 08	
Peso molde proctor		Peso molde proctor		Peso molde proctor		Peso molde proctor	
3.836 Kg		3.907 Kg		3.830 Kg		3.905 Kg	
sin collar 05:		sin collar 06:		sin collar 07:		sin collar 08:	
Promedio: 3.836 Kg		Promedio: 3.907 Kg		Promedio: 3.831 Kg		Promedio: 3.905 Kg	
3836.000 g		3907.000 g		3831.000 g		3905.000 g	
Diámetro		Diámetro		Diámetro		Diámetro	
10.123 cm		10.165 cm		10.128 cm		10.212 cm	
10.122 cm		10.148 cm		10.137 cm		10.313 cm	
10.151 cm		10.142 cm		10.147 cm		10.266 cm	
10.139 cm		10.161 cm		10.133 cm		10.270 cm	
Promedio: 10.134 cm		Promedio: 10.154 cm		Promedio: 10.136 cm		Promedio: 10.265 cm	
101.34 mm		101.54 mm		101.36 mm		102.65 mm	
Altura		Altura		Altura		Altura	
11.600 cm		11.600 cm		11.600 cm		11.600 cm	
11.650 cm		11.600 cm		11.600 cm		11.630 cm	
11.600 cm		11.650 cm		11.650 cm		11.610 cm	
11.600 cm		11.650 cm		11.610 cm		11.600 cm	
Promedio: 11.613 cm		Promedio: 11.625 cm		Promedio: 11.615 cm		Promedio: 11.610 cm	
116.125 mm		116.250 mm		116.150 mm		116.100 mm	
Volumen molde 05 :		Volumen molde 06 :		Volumen molde 07 :		Volumen molde 08 :	
936.60 cm3		941.36 cm3		937.27 cm3		960.86 cm3	
Peso de agua en molde 05 :		Peso de agua en molde 06 :		Peso de agua en molde 07 :		Peso de agua en molde 08 :	
955.00 g		934.00 g		1069.00 g		934.00 g	
Temperatura del agua °C:		Temperatura del agua °C:		Temperatura del agua °C:		Temperatura del agua °C:	
16.50 °C		17.10 °C		16.80 °C		17.10 °C	
Densidad del agua a una Temp °C		Densidad del agua a una Temp °C		Densidad del agua a una Temp °C		Densidad del agua a una Temp °C	
0.999 g/ml		0.999 g/ml		0.999 g/ml		0.999 g/ml	
Volumen molde 05 :		Volumen molde 06 :		Volumen molde 07 :		Volumen molde 08 :	
956.320 ml		935.291 ml		1070.477 ml		935.291 ml	

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 81** Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado sin aditivo prueba 3 – Parte I

		<b>COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO</b> <b>MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141</b>											
<b>Nombre de la tesis:</b>		<b>“Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004”</b>											
Tesista:	Judith Olivera Granada							N° de Prueba:	3 de 3				
Ubic. de la Muestra:	San Jerónimo							Código:	PSA-03				
Provincia :	Cusco							Descripción:	PROCTOR				
Región :	Cusco								SIN ADITIVO				
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Compactación Proctor Modificado</b>													
<b>Determinación del contenido de humedad</b>													
Muestra	(Antes de Compactar)			(después de Compactar)			(Antes de Compactar)			(después de Compactar)			
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	
Nombre de resipiente	B-21	B-20	B-19	D-7	D-6	D-8	D-14	A-4	A-6	E-1	E-10	D-1	
Peso resipiente (g)	11.44	11.16	11.42	37.36	38.74	38.52	31.64	23.54	23.20	44.36	45.04	38.02	
Peso resipiente +SH (g)	39.36	39.38	35.40	104.16	106.00	111.80	57.00	57.88	60.82	161.86	164.24	116.56	
Peso resipiente+SS (g)	35.18	35.20	31.86	94.06	95.50	99.96	52.90	52.32	54.68	142.79	144.92	103.87	
Peso SS (g)	23.74	24.04	20.44	56.70	56.76	61.44	21.26	28.78	31.48	98.43	99.88	65.85	
Peso Agua (g)	4.18	4.18	3.54	10.10	10.50	11.84	4.10	5.56	6.14	19.07	19.32	12.69	
Contenido de Humedad %	17.61	17.39	17.32	17.81	18.50	19.27	19.29	19.32	19.50	19.37	19.34	19.27	
Promedio Cont. de Hum (%)	17.44			18.53			19.37			19.33			
<b>Determinación del contenido de humedad</b>													
Muestra	(Antes de Compactar)			(después de Compactar)			(Antes de Compactar)			(después de Compactar)			
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	
Nombre de resipiente	F-39	F-38	F-41	E-2	E-7	E-4	L-1	L-2	L-3	L-4	L-6	L-5	
Peso resipiente (g)	9.14	15.50	8.66	47.44	43.00	46.50	11.30	11.50	11.40	11.40	11.40	11.50	
Peso resipiente +SH (g)	28.62	33.50	28.00	165.96	152.84	163.24	30.60	35.70	36.20	42.10	39.05	38.20	
Peso resipiente+SS (g)	25.48	30.60	24.86	146.42	134.71	143.90	27.10	31.60	31.70	36.60	34.09	33.40	
Peso SS (g)	16.34	15.10	16.20	98.98	91.71	97.40	15.80	20.10	20.30	25.20	22.69	21.90	
Peso Agua (g)	3.14	2.90	3.14	19.54	18.13	19.34	3.50	4.10	4.50	5.50	4.96	4.80	
Contenido de Humedad %	19.22	19.21	19.38	19.74	19.77	19.86	22.15	20.40	22.17	21.83	21.86	21.92	
Promedio Cont. de Hum (%)	19.27			19.79			21.57			21.87			
<b>Determinación del contenido de humedad</b>													
Muestra	(Antes de Compactar)			(después de Compactar)									
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo							
Nombre de resipiente	B-9	B-10	B-11	A-7	A-1	A-4							
Peso resipiente (g)	6.40	6.30	6.40	21.40	21.50	20.90							
Peso resipiente +SH (g)	15.80	18.40	19.00	65.80	74.20	100.20							
Peso resipiente+SS (g)	14.10	16.20	16.45	57.30	64.12	84.97							
Peso SS (g)	7.70	9.90	10.05	35.90	42.62	64.07							
Peso Agua (g)	1.70	2.20	2.55	8.50	10.08	15.23							
Contenido de Humedad %	22.08	22.22	25.37	23.68	23.65	23.77							
Promedio Cont. de Hum (%)	23.22			23.70									





Nota:  
SS: Suelo Seco  
SH: Suelo Húmedo


Fuente: Elaboración propia



**Tabla 82** Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado sin aditivo prueba 3 – Parte II

 Universidad Andina del Cusco		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141			
<b>Nombre de la tesis:</b>		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"			
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:	3 de 3		
Ubic. de la Muestra:	San Jerónimo	Código:	PSA-03		
Provincia :	Cusco	Descripción:	PROCTOR		
Región :	Cusco		SIN ADITIVO		
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Compactación Proctor Modificado</b>					
<b>Determinación de la densidad</b>					
N° Molde Proctor	2	2	1	1	2
Volumen Molde (cm)	941.36	941.36	936.60	941.30	951.31
Contenido de Humedad Promedio %	18.53	19.33	19.79	21.87	23.70
Peso de molde proctor + SH	5682	5759	5736	6140	6001
Peso de molde proctor	3907	3907	3836	4243	4155
Peso SH	1775	1852	1900	1897	1846
Densidad Húmeda	1.89	1.97	2.03	2.02	1.94
Densidad Seca	1.59	1.65	1.69	1.65	1.57

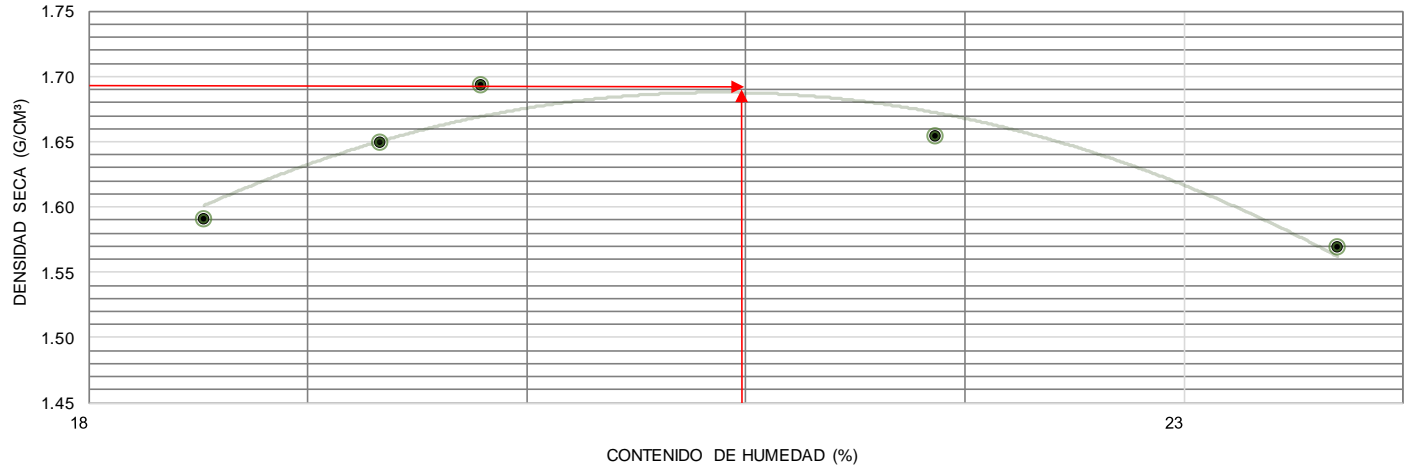
  



Nota:  
SS: Suelo Seco  
SH: Suelo Húmedo

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO**





Contenido de Humedad Óptima (%)	20.90	Densidad Seca Máxima (g/cm3)	1.69
---------------------------------	-------	------------------------------	------

Fuente: Elaboración propia







**Tabla 83** Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado sin aditivo prueba 3 – Parte III

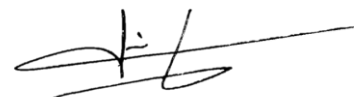
		<b>COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO</b> <b>MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141</b>					
<b>Nombre de la tesis:</b>		<b>“Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004”</b>					
Tesista: Judith Olivera Granada Ubic. de la Muestra: San Jerónimo Provincia : Cusco Region : Cusco		N° de Prueba: 3 de 3 Código: PSA-03 Descripción: PROCTOR SIN ADITIVO					
<b>Calibración de moldes</b>							
Molde 09		Molde 10		Molde 11		Molde 12	
3.836 Kg 3.836 Kg sin collar 09: Promedio: 3.836 Kg 3836.000 g		3.907 Kg 3.907 Kg sin collar 10: Promedio: 3.907 Kg 3907.000 g		4.243 Kg 4.243 Kg sin collar 11: Promedio: 4.243 Kg 1.061 g		4.155 Kg 4.155 Kg sin collar 12: Promedio: 4.155 Kg 1.017 g	
10.123 cm 10.122 cm 10.151 cm 10.139 cm Promedio: 10.134 cm 101.34 mm		10.165 cm 10.148 cm 10.142 cm 10.161 cm Promedio: 10.154 cm 101.54 mm		10.145 cm 10.140 cm 10.130 cm 10.150 cm Promedio: 10.141 cm 101.41 mm		10.135 cm 10.135 cm 10.110 cm 10.125 cm Promedio: 10.126 cm 101.26 mm	
11.600 cm 11.650 cm 11.600 cm 11.600 cm Promedio: 11.613 cm 116.125 mm		11.600 cm 11.600 cm 11.650 cm 11.650 cm Promedio: 11.625 cm 116.250 mm		11.700 cm 11.650 cm 11.700 cm 11.700 cm Promedio: 11.688 cm 116.875 mm		11.700 cm 11.700 cm 11.700 cm 11.700 cm Promedio: 11.700 cm 117.000 mm	
Volumen molde 09 : 936.60 cm3		Volumen molde 10 : 941.36 cm3		Volumen molde 11 : 944.05 cm3		Volumen molde 12 : 942.26 cm3	
Peso de agua en molde 09 : 955.00 g		Peso de agua en molde 10 : 934.00 g		Peso de agua en molde 11 : 940.00 g		Peso de agua en molde 12 : 950.00 g	
Temperatura del agua °C: 16.50 °C		Temperatura del agua °C: 17.10 °C		Temperatura del agua °C: 16.90 °C		Temperatura del agua °C: 16.60 °C	
Densidad del agua a una Temp °C 0.999 g/ml		Densidad del agua a una Temp °C 0.999 g/ml		Densidad del agua a una Temp °C 0.999 g/ml		Densidad del agua a una Temp °C 0.999 g/ml	
Volumen molde 09 : 956.320 ml		Volumen molde 10 : 935.291 ml		Volumen molde 11 : 941.299 ml		Volumen molde 12 : 951.313 ml	

**Fuente:** Elaboración propia



**Tabla 84** *Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado sin aditivo prueba 3 – Parte IV*



 Universidad Andina del Cusco		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141			
<b>Nombre de la tesis:</b>		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"			
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:	3 de 3		
Ubic. de la Muestra:	San Jerónimo	Código:	PSA-03		
Provincia :	Cusco	Descripción:	PROCTOR SIN ADITIVO		
Region :	Cusco				
Calibración de moldes					
Molde 13			Molde 14		
Peso molde proctor sin collar 13:		3.836 Kg	Peso molde proctor sin collar 14:		3.907 Kg
		3.836 Kg			3.907 Kg
	PROM:	3.836 Kg		PROM:	3.907 Kg
		3836.000 g			3907.000 g
Diámetro		10.123 cm	Diámetro		10.165 cm
		10.122 cm			10.148 cm
		10.151 cm			10.142 cm
		10.139 cm			10.161 cm
	PROM:	10.134 cm		PROM:	10.154 cm
	101.34 mm		101.54 mm		
Altura		11.600 cm	Altura		11.600 cm
		11.650 cm			11.600 cm
		11.600 cm			11.650 cm
		11.600 cm			11.650 cm
	PROM:	11.613 cm		PROM:	11.625 cm
	116.125 mm		116.250 mm		
Volumen molde 13 :	936.60 cm <sup>3</sup>		Volumen molde 14 :	941.36 cm <sup>3</sup>	
Peso de agua en molde 13 :	955.00 g		Peso de agua en molde 14 :	934.00 g	
Temperatura del agua °C:	16.50 °C		Temperatura del agua °C:	17.10 °C	
Densidad del agua a una Temp °C	0.999 g/ml		Densidad del agua a una Temp °C	0.999 g/ml	
Volumen molde 13 :	956.320 ml		Volumen molde 14 :	935.291 ml	



**Fuente:** Elaboración propia



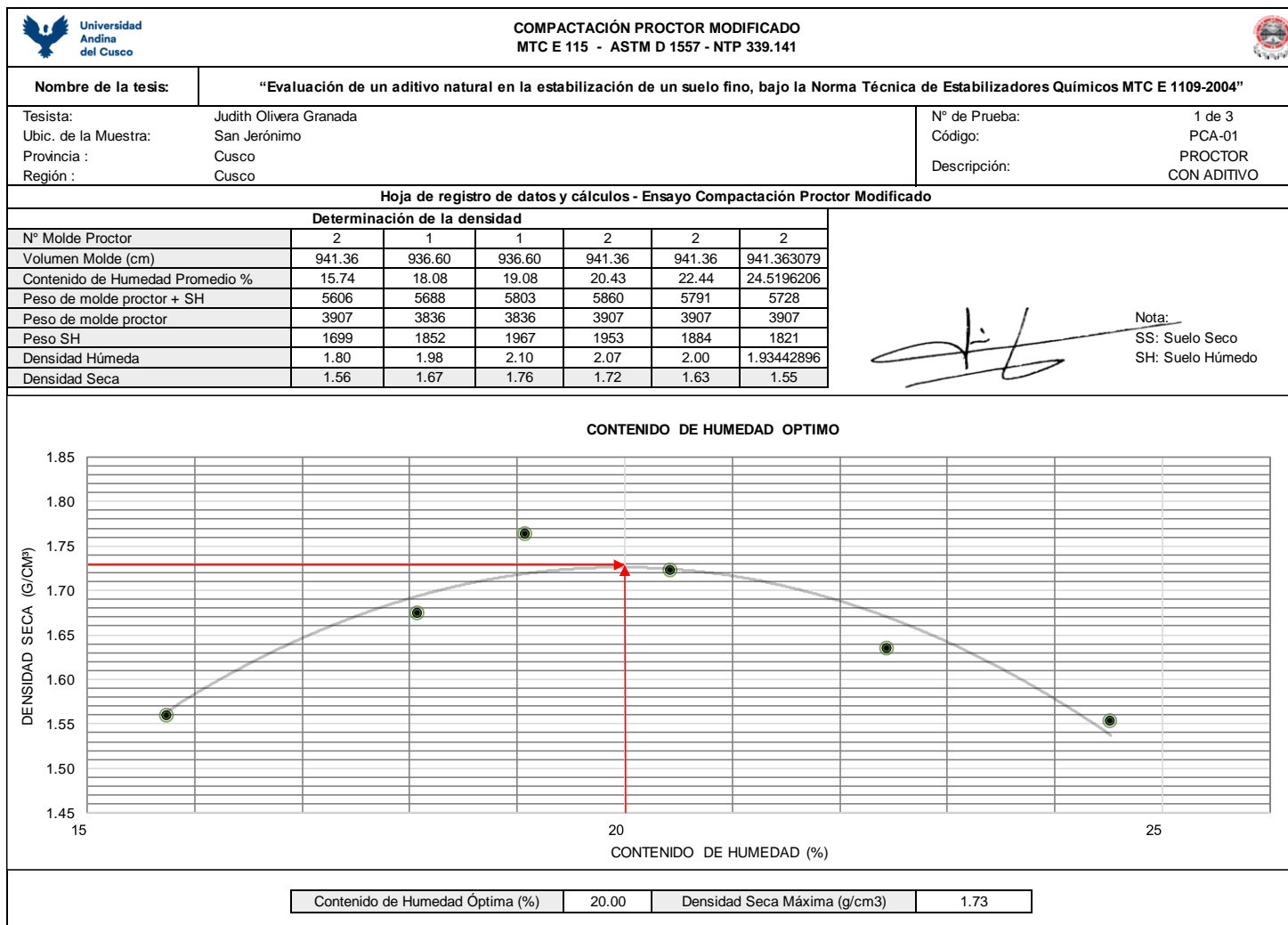
**Tabla 85** Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado con aditivo prueba 1 – Parte I

 Universidad Andina del Cusco		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141											
Nombre de la tesis:		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"											
Tesis:		Judith Olivera Granada						N° de Prueba:		1 de 3			
Ubic. de la Muestra:		San Jerónimo						Código:		PCA-01			
Provincia :		Cusco						Descripción:		PROCTOR CON ADITIVO			
Región :		Cusco											
Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Compactación Proctor Modificado													
Determinación del contenido de humedad													
Muestra	(Antes de Compactar)			(Después de Compactar)			(Antes de Compactar)			(Después de Compactar)			
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	
Nombre de resipiente	D-11	B-17	B-16	D-16	M-6	E-6	F-44	F-43	F-42	D-14	D-13	D-16	
Peso resipiente (g)	39.02	11.60	11.74	23.84	48.54	43.00	19.44	14.78	19.10	23.70	23.92	23.84	
Peso resipiente +SH (g)	87.00	44.84	43.40	105.16	237.34	174.82	41.38	33.78	39.66	114.44	101.36	116.90	
Peso resipiente+SS (g)	80.46	40.30	39.06	94.12	211.62	156.89	38.02	30.84	36.50	100.54	89.50	102.66	
Peso SS (g)	41.44	28.70	27.32	70.28	163.08	113.89	18.58	16.06	17.40	76.84	65.58	78.82	
Peso Agua (g)	6.54	4.54	4.34	11.04	25.72	17.93	3.36	2.94	3.16	13.90	11.86	14.24	
Contenido de Humedad %	15.78	15.82	15.89	15.71	15.77	15.74	18.08	18.31	18.16	18.09	18.08	18.07	
Promedio Cont. de Hum (%)	15.83			15.74			18.18			18.08			
Determinación del contenido de humedad													
Muestra	(Antes de Compactar)			(Después de Compactar)			(Antes de Compactar)			(Después de Compactar)			
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	
Nombre de resipiente	F-58	F-55	F-57	E-6	E-4	E-5	A-11	A-12	D-14	M-7	M-10	M-1	
Peso resipiente (g)	19.28	18.54	14.90	43.00	46.50	43.24	22.34	22.72	31.64	44.76	47.50	47.80	
Peso resipiente +SH (g)	39.84	35.08	31.84	185.46	183.80	174.34	69.62	68.30	69.00	218.20	200.62	209.12	
Peso resipiente+SS (g)	36.48	32.44	29.12	162.54	161.42	153.80	61.66	60.82	62.94	188.74	174.46	181.78	
Peso SS (g)	17.20	13.90	14.22	119.54	114.92	110.56	39.32	38.10	31.30	143.98	126.96	133.98	
Peso Agua (g)	3.36	2.64	2.72	22.92	22.38	20.54	7.96	7.48	6.06	29.46	26.16	27.34	
Contenido de Humedad %	19.53	18.99	19.13	19.17	19.47	18.58	20.24	19.63	19.36	20.46	20.60	20.41	
Promedio Cont. de Hum (%)	19.22			19.08			19.75			20.43			
Determinación del contenido de humedad													
Muestra	(Antes de Compactar)			(Después de Compactar)			(Antes de Compactar)			(Después de Compactar)			
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	
Nombre de resipiente	C-9	C-8	C-7	D-3	M-7	D-8	D-14	D-9	D-8	E-5	E-1	E-2	
Peso resipiente (g)	14.42	14.52	14.40	37.26	44.76	38.52	31.64	37.58	38.52	43.26	44.36	47.44	
Peso resipiente +SH (g)	43.56	45.66	46.10	148.64	265.20	140.36	80.66	99.76	97.56	186.82	198.66	201.74	
Peso resipiente+SS (g)	38.34	40.04	40.32	128.40	224.66	121.60	70.92	87.42	85.80	158.60	168.34	171.24	
Peso SS (g)	23.92	25.52	25.92	91.14	179.90	83.08	39.28	49.84	47.28	115.34	123.98	123.80	
Peso Agua (g)	5.22	5.62	5.78	20.24	40.54	18.76	9.74	12.34	11.76	28.22	30.32	30.50	
Contenido de Humedad %	21.82	22.02	22.30	22.21	22.53	22.58	24.80	24.76	24.87	24.47	24.46	24.64	
Promedio Cont. de Hum (%)	22.05			22.44			24.81			24.52			
										Nota: SS: Suelo Seco SH: Suelo Húmedo			

Fuente: Elaboración propia





**Tabla 86** Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado con aditivo prueba 1 – Parte II

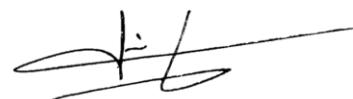


Fuente: Elaboración propia



**Tabla 87** Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado con aditivo prueba 1 – Parte III

 Universidad Andina del Cusco		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141			
Nombre de la tesis:		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"			
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:	1 de 3		
Ubic. de la Mues	San Jerónimo	Código:	PCA-01		
Provincia :	Cusco	Descripción:	PROCTOR CON ADITIVO		
Región :	Cusco				
Calibración de moldes					
Molde 13			Molde 14		
Peso molde proctor sin collar 13:		3.836 Kg	Peso molde proctor sin collar 14:		3.907 Kg
		3.836 Kg			3.907 Kg
	Promedio:	3.836 Kg		Promedio:	3.907 Kg
		3836.000 gr			3907.000 gr
Diámetro		10.123 cm	Diámetro		10.165 cm
		10.122 cm			10.148 cm
		10.151 cm			10.142 cm
		10.139 cm			10.161 cm
	Promedio:	10.134 cm		Promedio:	10.154 cm
	101.34 mm		101.54 mm		
Altura		11.600 cm	Altura		11.600 cm
		11.650 cm			11.600 cm
		11.600 cm			11.650 cm
		11.600 cm			11.650 cm
	Promedio:	11.613 cm		Promedio:	11.625 cm
	116.125 mm		116.250 mm		
Volumen molde 13:	936.60 cm <sup>3</sup>	Volumen molde 14:	941.36 cm <sup>3</sup>		
Peso de agua en molde 01:	955.00 gr	Peso de agua en molde 02:	934.00 gr		
Temperatura del agua °C	16.50 °C	Temperatura del agua °C:	17.10 °C		
Densidad del agua a una Temp °C	0.999 gr/ml	Densidad del agua a una Temp °C	0.999 gr/ml		
Volumen molde 13 :	956.320 ml	Volumen molde 14 :	935.291 ml		



Fuente: Elaboración propia



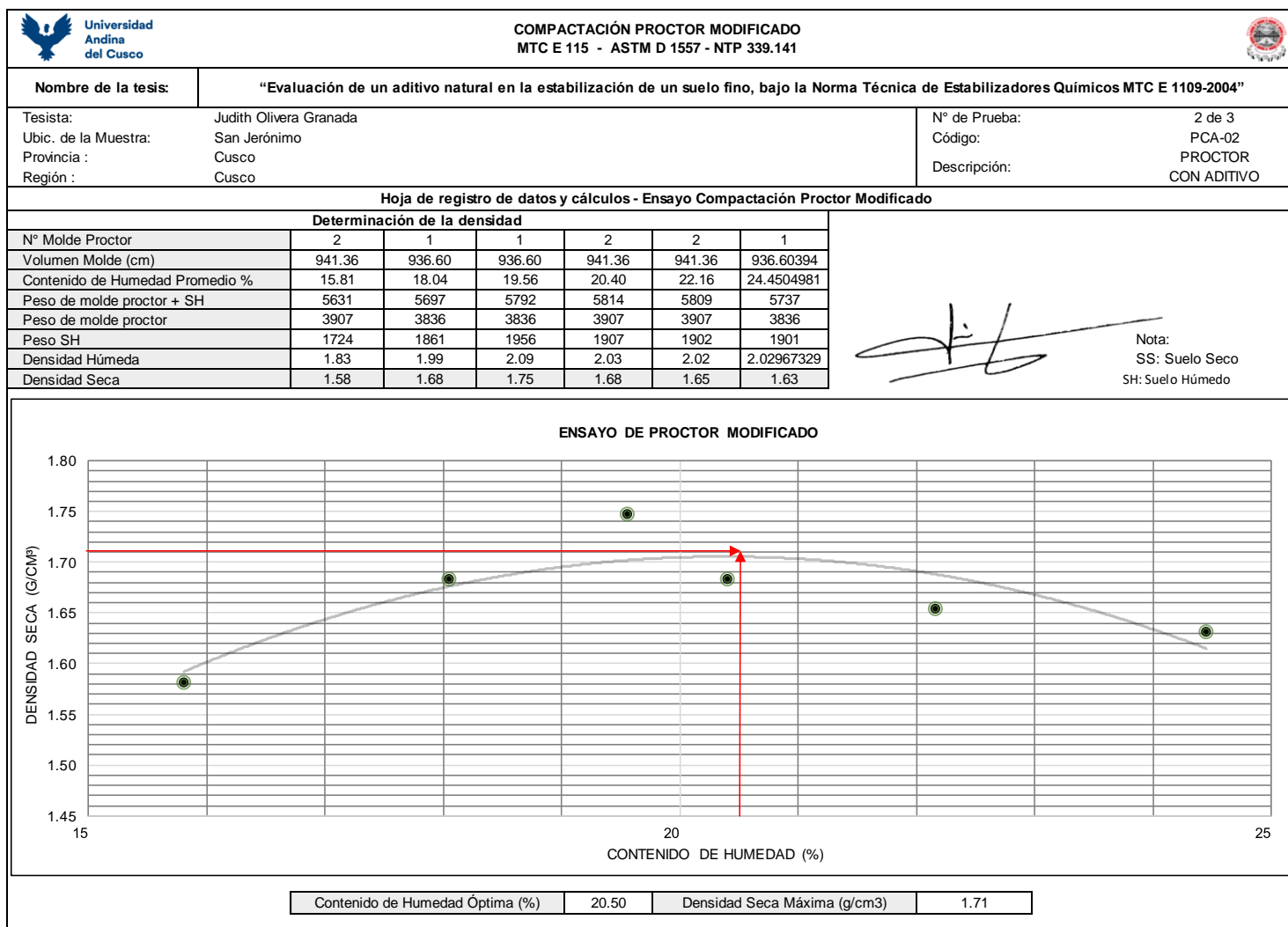
**Tabla 88** Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado con aditivo prueba 2 – Parte I

<b>COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO</b> <b>MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141</b>												
<b>Nombre de la tesis:</b>		<b>"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"</b>										
Tesisista:		Judith Olivera Granada						N° de Prueba:		2 de 3		
Ubic. de la Muestra:		San Jerónimo						Código:		PCA-02		
Provincia :		Cusco						Descripción:		PROCTOR CON ADITIVO		
Región :		Cusco										
Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Compactación Proctor Modificado												
Determinación del contenido de humedad												
Muestra	Antes de Compactar			Después de Compactar			Antes de Compactar			Después de Compactar		
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo
Nombre de resipiente	D-7	B-15	D-4	D-1	M-1	E-4	F-48	F-49	F-50	D-7	D-6	D-11
Peso resipiente (g)	37.36	10.56	38.58	38.02	47.78	46.50	19.46	14.90	19.34	37.35	38.73	39.00
Peso resipiente +SH (g)	86.32	37.80	89.36	125.06	241.04	180.50	40.04	38.46	39.77	128.31	133.02	125.58
Peso resipiente+SS (g)	79.72	34.18	82.50	113.32	214.56	162.06	37.04	34.94	36.72	114.44	118.60	112.32
Peso SS (g)	42.36	23.62	43.92	75.30	166.78	115.56	17.58	20.04	17.38	77.09	79.87	73.32
Peso Agua (g)	6.60	3.62	6.86	11.74	26.48	18.44	3.00	3.52	3.05	13.87	14.42	13.26
Contenido de Humedad %	15.58	15.33	15.62	15.59	15.88	15.96	17.06	17.56	17.55	17.99	18.05	18.09
Promedio Cont. de Hum (%)	15.51			15.81			17.39			18.04		
Determinación del contenido de humedad												
Muestra	Antes de Compactar			Después de Compactar			Antes de Compactar			Después de Compactar		
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo
Nombre de resipiente	B-12	B-11	B-10	E-12	E-1	E-9	D-5	D-4	D-1	E-3	M-6	E-10
Peso resipiente (g)	11.20	10.74	11.46	45.52	44.36	45.92	38.22	38.60	38.02	41.38	48.54	45.04
Peso resipiente +SH (g)	41.86	37.96	42.48	184.78	177.02	166.80	84.48	83.88	86.76	174.70	235.86	180.94
Peso resipiente+SS (g)	36.86	33.60	37.46	162.36	154.98	147.03	76.66	76.34	78.50	152.22	204.00	157.88
Peso SS (g)	25.66	22.86	26.00	116.84	110.62	101.11	38.44	37.74	40.48	110.84	155.46	112.84
Peso Agua (g)	5.00	4.36	5.02	22.42	22.04	19.77	7.82	7.54	8.26	22.48	31.86	23.06
Contenido de Humedad %	19.49	19.07	19.31	19.19	19.92	19.55	20.34	19.98	20.41	20.28	20.49	20.44
Promedio Cont. de Hum (%)	19.29			19.37			20.24			20.40		
Determinación del contenido de humedad												
Muestra	Antes de Compactar			Después de Compactar			Antes de Compactar			Después de Compactar		
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo
Nombre de resipiente	D-5	D-4	D-1	E-4	M-1	M-6	D-15	D-13	D-3	E-10	M-7	M-10
Peso resipiente (g)	38.20	38.60	38.02	46.50	47.80	48.54	23.74	23.92	37.26	45.04	44.74	47.50
Peso resipiente +SH (g)	103.12	93.22	114.54	211.32	273.44	259.98	89.64	83.24	98.00	202.60	285.50	272.20
Peso resipiente+SS (g)	91.16	83.10	100.32	182.08	231.94	221.32	76.60	71.42	85.96	171.82	238.16	227.84
Peso SS (g)	52.96	44.50	62.30	135.58	184.14	172.78	52.86	47.50	48.70	126.78	193.42	180.34
Peso Agua (g)	11.96	10.12	14.22	29.24	41.50	38.66	13.04	11.82	12.04	30.78	47.34	44.36
Contenido de Humedad %	22.58	22.74	22.83	21.57	22.54	22.38	24.67	24.88	24.72	24.28	24.48	24.60
Promedio Cont. de Hum (%)	22.72			22.16			24.76			24.45		
										Nota:		
										SS: Suelo Seco		
										SH: Suelo Húmedo		

Fuente: Elaboración propia





**Tabla 89** Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado con aditivo prueba 2 – Parte II

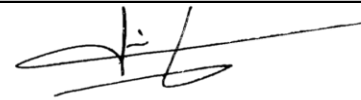


Fuente: Elaboración propia



**Tabla 90** Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado con aditivo prueba 2 – Parte III

 Universidad Andina del Cusco		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141			
Nombre de la tesis:		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"			
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:	2 de 3		
Ubic. de la Muestr:	San Jerónimo	Código:	PCA-02		
Provincia :	Cusco	Descripción:	PROCTOR CON ADITIVO		
Región :	Cusco				
Calibración de moldes					
Molde 15			Molde 16		
Peso molde proctor sin collar 15:		3.836 Kg	Peso molde proctor sin collar 16:		3.907 Kg
	Promedio:	3.836 Kg		Promedio:	3.907 Kg
		3836.000 gr			3907.000 gr
Diámetro		10.123 cm	Diámetro		10.165 cm
		10.122 cm			10.148 cm
		10.151 cm			10.142 cm
		10.139 cm			10.161 cm
	Promedio:	10.134 cm		Promedio:	10.154 cm
		101.34 mm			101.54 mm
Altura		11.600 cm	Altura		11.600 cm
		11.650 cm			11.600 cm
		11.600 cm			11.650 cm
		11.600 cm			11.650 cm
	Promedio:	11.613 cm		Promedio:	11.625 cm
		116.125 mm			116.250 mm
Volumen molde 15:		936.60 cm <sup>3</sup>	Volumen molde 16 :		941.36 cm <sup>3</sup>
Peso de agua en molde 03:		955.00 gr	Peso de agua en molde 04 :		934.00 gr
Temperatura del agua °C:		16.50 °C	Temperatura del agua °C:		17.10 °C
Densidad del agua a una Temp °C		0.999 gr/ml	Densidad del agua a una Temp °C		0.999 gr/ml
Volumen molde 15 :		956.320 ml	Volumen molde 16 :		935.291 ml





**Fuente:** Elaboración propia







**Tabla 91** Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado con aditivo prueba 3 – Parte I

 <b>COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO</b> MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141 													
Nombre de la tesis:	"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"												
Tesista:	Judith Olivera Granada									N° de Prueba:	3 de 3		
Ubic. de la Muestra:	San Jerónimo									Código:	PCA-03		
Provincia :	Cusco									Descripción:	PROCTOR CON ADITIVO		
Región :	Cusco												
Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Compactación Proctor Modificado													
Determinación del contenido de humedad													
Muestra	(Antes de Compactar)			(Después de Compactar)			(Antes de Compactar)			(Después de Compactar)			
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	
Nombre de resipiente	D-06	D-10	D-12	E-7	M-9	E-11	F-45	F-46	F-47	D-10	D-15	D-12	
Peso resipiente (g)	38.74	37.00	39.38	43.00	43.68	42.38	15.24	19.52	15.16	37.00	23.74	39.40	
Peso resipiente +SH (g)	92.68	85.92	90.70	186.36	189.16	189.30	36.14	39.22	35.44	112.08	91.82	127.88	
Peso resipiente+SS (g)	85.44	79.36	83.88	167.12	169.38	169.16	33.00	36.28	32.40	100.80	81.50	114.14	
Peso SS (g)	46.70	42.36	44.50	124.12	125.70	126.78	17.76	16.76	17.24	63.80	57.76	74.74	
Peso Agua (g)	7.24	6.56	6.82	19.24	19.78	20.14	3.14	2.94	3.04	11.28	10.32	13.74	
Contenido de Humedad %	15.50	15.49	15.33	15.50	15.74	15.89	17.68	17.54	17.63	17.68	17.87	18.38	
Promedio Cont. de Hum (%)	15.44			15.71			17.62			17.98			
Determinación del contenido de humedad													
Muestra	(Antes de Compactar)			(Después de Compactar)			(Antes de Compactar)			(Después de Compactar)			
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	
Nombre de resipiente	D-5	D-2	D-14	E-03	E-9	E-12	D-9	B-21	D-2	E-12	M-10	E-10	
Peso resipiente (g)	38.20	38.22	23.70	41.36	45.92	45.50	37.58	11.44	38.22	45.52	47.50	45.04	
Peso resipiente +SH (g)	101.04	97.70	87.98	191.78	187.78	192.18	84.18	42.42	87.54	191.80	270.62	212.44	
Peso resipiente+SS (g)	90.96	88.26	77.68	167.62	164.76	168.52	75.64	36.74	78.48	165.64	231.00	183.04	
Peso SS (g)	52.76	50.04	53.98	126.26	118.84	123.02	38.06	25.30	40.26	120.12	183.50	138.00	
Peso Agua (g)	10.08	9.44	10.30	24.16	23.02	23.66	8.54	5.68	9.06	26.16	39.62	29.40	
Contenido de Humedad %	19.11	18.86	19.08	19.14	19.37	19.23	22.44	22.45	22.50	21.78	21.59	21.30	
Promedio Cont. de Hum (%)	19.02			19.25			22.46			21.56			
Determinación del contenido de humedad													
Muestra	(Antes de Compactar)			(Después de Compactar)			(Antes de Compactar)			(Después de Compactar)			
Ubicación	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	
Nombre de resipiente	D-5	D-14	E-6	E-4	M-6	E-10	E-5	D-13	E-2	M-10	M-7	D-8	
Peso resipiente (g)	38.20	23.70	43.00	46.50	48.54	45.02	43.26	23.92	47.44	47.50	44.74	38.52	
Peso resipiente +SH (g)	93.18	77.78	159.36	216.20	288.78	211.64	180.25	88.24	204.23	275.36	287.32	98.89	
Peso resipiente+SS (g)	83.14	68.00	138.23	184.94	244.46	180.80	153.16	75.51	173.25	230.24	239.36	86.99	
Peso SS (g)	44.94	44.30	95.23	138.44	195.92	135.78	109.90	51.59	125.81	182.74	194.62	48.47	
Peso Agua (g)	10.04	9.78	21.13	31.26	44.32	30.84	27.09	12.73	30.98	45.12	47.96	11.90	
Contenido de Humedad %	22.34	22.08	22.19	22.58	22.62	22.71	24.65	24.68	24.62	24.69	24.64	24.55	
Promedio Cont. de Hum (%)	22.20			22.64			24.65			24.63			
											Nota: SS: Suelo Seco SH: Suelo Húmedo		

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 92** Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado con aditivo prueba 3 – Parte II

 Universidad Andina del Cusco		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141					
<b>Nombre de la tesis:</b>		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"					
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:				3 de 3	
Ubic. de la Muestra:	San Jerónimo	Código:				PSA-03	
Provincia :	Cusco	Descripción:				PROCTOR	
Región :	Cusco					SIN ADITIVO	
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Compactación Proctor Modificado</b>							
<b>Determinación de la densidad</b>							
N° Molde Proctor	2	2	1	1	2	1	
Volumen Molde (cm)	941.36	941.36	936.60	936.60	941.36	936.60394	
Contenido de Humedad Promedio %	15.71	17.98	19.25	21.56	22.64	24.6283267	
Peso de molde proctor + SH	5598	5737	5779	5769	5740	5575	
Peso de molde proctor	3907	3907	3836	3836	3907	3836	
Peso SH	1691	1830	1943	1933	1833	1739	
Densidad Húmeda	1.80	1.94	2.07	2.06	1.95	1.85670797	
Densidad Seca	1.55	1.65	1.74	1.70	1.59	1.49	

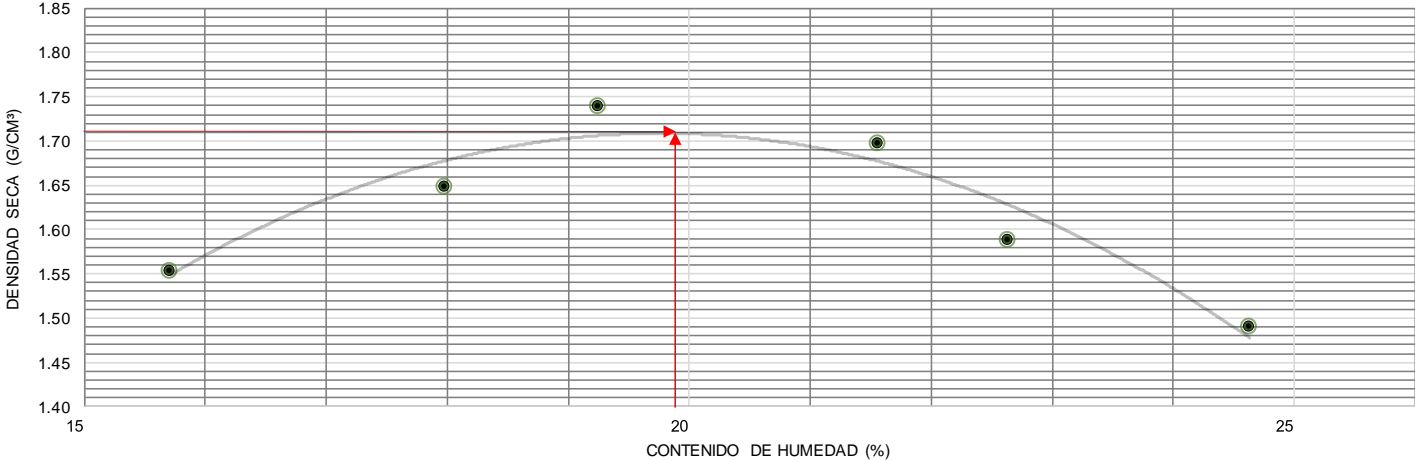
  

*(Handwritten signature)*

Nota:  
SS: Suelo Seco  
SH: Suelo Húmedo

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO**




Contenido de Humedad Óptima (%)	20.00	Densidad Seca Máxima (g/cm3)	1.71
---------------------------------	-------	------------------------------	------

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 93** Análisis de datos del ensayo, Proctor modificado con aditivo prueba 3 – Parte III

 Universidad Andina del Cusco		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO MTC E 115 - ASTM D 1557 - NTP 339.141			
Nombre de la tesis:		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"			
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:	3 de 3		
Ubic. de la Mues:	San Jerónimo	Código:	PCA-03		
Provincia :	Cusco	Descripción:	PROCTOR CON ADITIVO		
Región :	Cusco				
Calibración de moldes					
Molde 17			Molde 18		
Peso molde proctor sin collar 17:		3.836 Kg	Peso molde proctor sin collar 18:		3.907 Kg
		3.836 Kg			3.907 Kg
	Promedio:	3.836 Kg		Promedio:	3.907 Kg
		3836.000 gr			3907.000 gr
Diámetro		10.123 cm	Diámetro		10.165 cm
		10.122 cm			10.148 cm
		10.151 cm			10.142 cm
		10.139 cm			10.161 cm
	Promedio:	10.134 cm		Promedio:	10.154 cm
		101.34 mm			101.54 mm
Altura		11.600 cm	Altura		11.600 cm
		11.650 cm			11.600 cm
		11.600 cm			11.650 cm
		11.600 cm			11.650 cm
	Promedio:	11.613 cm		Promedio:	11.625 cm
		116.125 mm			116.250 mm
Volumen molde 17 :		936.60 cm3	Volumen molde 18 :		941.36 cm3
Peso de agua en molde 05 :		955.00 gr	Peso de agua en molde 06 :		934.00 gr
Temperatura del agua °C:		16.50 °C	Temperatura del agua °C:		17.10 °C
Densidad del agua a una Temp °C	0.999 gr/ml		Densidad del agua a una Temp °C	0.999 gr/ml	
Volumen molde 17 :		956.320 ml	Volumen molde 18 :		935.291 ml



**Fuente:** Elaboración propia



### c) Comentario de los resultados obtenidos en la prueba

Con respecto a los resultados obtenidos mediante el ensayo de Proctor modificado en la muestra estudiada sin aditivo y con aditivo los resultados muestran una mínima variación de humedad óptima siendo la diferencia del promedio de los resultados una reducción del contenido óptimo de agua de un 0.56%.

- Resultado promedio de humedad óptima sin aditivo: 20.73%
  - Resultado promedio de humedad óptima con aditivo: 20.17%
- Reducción del contenido óptimo de agua en promedio es de 0.56%.

### 3.6.4.2. Capacidad de soporte

#### 3.6.4.2.1. Resistencia a la compresión no confinada

MTC E 121, NTP 339.167, ASTM D 2166, AASHTO T 208

#### a) Procesamiento o cálculos de la prueba

La deformación unitaria,  $\epsilon$ , se calcula con la siguiente fórmula:

$$E = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Donde:

E = Deformación unitaria axial para la carga dada.

$\Delta L$  = Cambio en longitud de la muestra, igual al cambio entre la lectura inicial y final del indicador de deformación, m (pulgada.)

$L_0$  = Longitud inicial de la muestra, mm (pulgada.)

Se calcula la sección transversal promedio de la muestra (A) para el cálculo de la carga dada:

$$A = \frac{A_0}{(1 - \epsilon)}$$

Donde:

E = Deformación unitaria axial para la carga dada.

$A_0$  = Área inicial promedio de la probeta.

$$A_0 = \frac{(A_t + 2 * A_m + A_b)}{4}$$

$A_t$  = Área en la parte superior de la probeta

$A_m$  = Área en la parte media de la probeta

$A_b$  = Área en la parte inferior de la probeta

El área A se calcula paralelamente a partir de dimensiones obtenidas por medición directa, midiendo las superficies de la probeta.



Se calcula el esfuerzo  $\sigma_c$  con tres cifras significativas o con una aproximación de 1 kpa (0,01 kg/cm<sup>2</sup>)

$$\Sigma_c = \frac{P}{A}$$

Donde:

P = Carga aplicada dada

A = Área de la sección promedio correspondiente

Se prepara el grafico que muestra la relación entre el esfuerzo (ordenada) y la deformación unitaria (en las abscisas).

Se toma el valor mayor de la carga unitaria o el que corresponda al 20% de deformación, y se registra como la compresión no confinada necesario para una interpretación adecuada.

**b) Diagramas y tablas para interpretación**

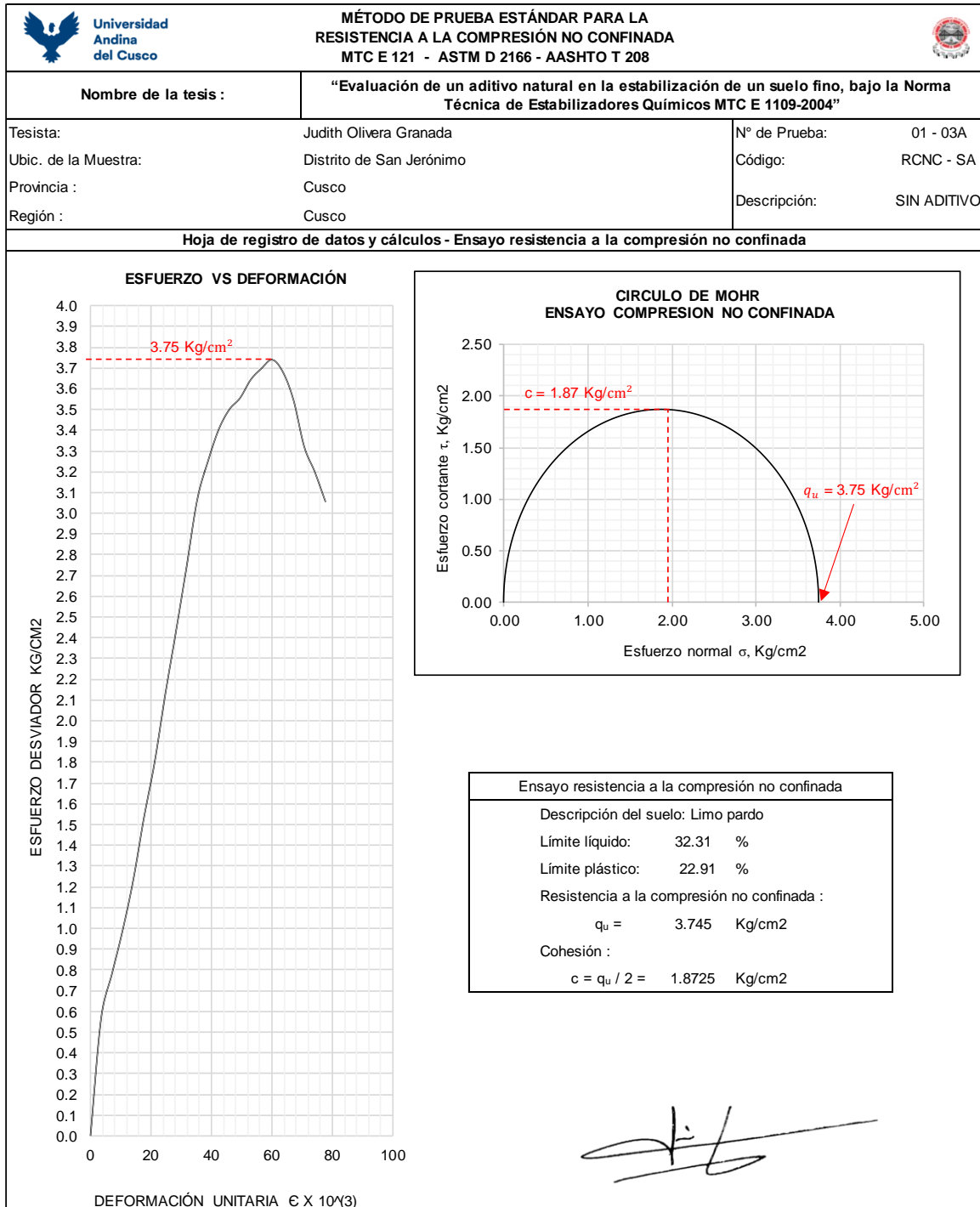
**Tabla 94** *Análisis de datos del ensayo, del método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 1-a)*

Universidad Andina del Cusco		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208						
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"						
Tesisista:		Judith Olivera Granada			N° de Prueba: 01 - 03A			
Ubic. de la Muestra:		Distrito de San Jerónimo			Código: RCNC - SA			
Provincia :		Cusco			Descripción: SIN ADITIVO			
Región :		Cusco						
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo resistencia a la comprensión no confinada</b>								
Descripción del suelo: Limo pardo								
Límite líquido: 32.31 %		Límite plástico: 22.91 %		Índice plástico: 9.40%				
Datos de la muestra: 01 - 03A								
Diámetro: 33.00 mm		Área Ao: 8.55 cm <sup>2</sup>		Altura, Lo: 72 mm				
Volumen: 61.58 cm <sup>3</sup>		Peso: 114.39 g		Peso unitario húmedo: 1.86 g/cm <sup>3</sup>				
Contenido de Humedad:		w% : 20.8% %		Peso unitario seco: 1.54 g/cm <sup>3</sup>				
Lectura del Deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del Deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra $\Delta L$ (mm)	Deformación unitaria $\epsilon = \Delta L / L_0$	Deformación unitaria $\epsilon \times 10^3$	Área CF 1 - $\epsilon$	Área Corregida A' (cm <sup>2</sup> )	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma = P' / A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0000	0.00	0.00	0.00
10	7.75	0.25	0.00	3.5	0.9965	8.58	4.88	0.57
20	12.25	0.51	0.01	7.1	0.9929	8.61	6.71	0.78
30	16.75	0.76	0.01	10.6	0.9894	8.64	8.55	0.99
40	22.00	1.02	0.01	14.1	0.9859	8.68	10.69	1.23
50	28.50	1.27	0.02	17.7	0.9823	8.71	13.34	1.53
60	34.35	1.53	0.02	21.2	0.9788	8.74	15.73	1.80
70	41.55	1.78	0.02	24.7	0.9753	8.77	18.67	2.13
80	48.25	2.04	0.03	28.3	0.9717	8.80	21.40	2.43
90	55.25	2.29	0.03	31.8	0.9682	8.83	24.25	2.75
100	62.50	2.55	0.04	35.4	0.9646	8.87	27.21	3.07
110	66.75	2.80	0.04	38.9	0.9611	8.90	28.94	3.25
120	70.35	3.05	0.04	42.4	0.9576	8.93	30.41	3.41
130	72.75	3.31	0.05	46.0	0.9540	8.97	31.39	3.50
140	74.25	3.56	0.05	49.5	0.9505	9.00	32.00	3.56
150	76.50	3.82	0.05	53.0	0.9470	9.03	32.92	3.65
160	78.00	4.07	0.06	56.6	0.9434	9.07	33.53	3.70
170	79.25	4.33	0.06	60.1	0.9399	9.10	34.04	3.74
180	78.25	4.58	0.06	63.6	0.9364	9.13	33.64	3.68
190	75.50	4.84	0.07	67.2	0.9328	9.17	32.51	3.55
200	70.75	5.09	0.07	70.7	0.9293	9.20	30.58	3.32
210	68.25	5.35	0.07	74.2	0.9258	9.24	29.56	3.20
220	65.25	5.60	0.08	77.8	0.9222	9.27	28.33	3.05
Resistencia a la comprensión no confinada :					$q_u =$	3.75	Kg/cm <sup>2</sup>	
Cohesión :					$q_u / 2 =$	1.87	Kg/cm <sup>2</sup>	

**Fuente:** Elaboración propia





**Figura 53** Esfuerzo versus deformación (Muestra 1-a)



**Fuente:** Elaboración propia



**Tabla 95** Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 2-a)

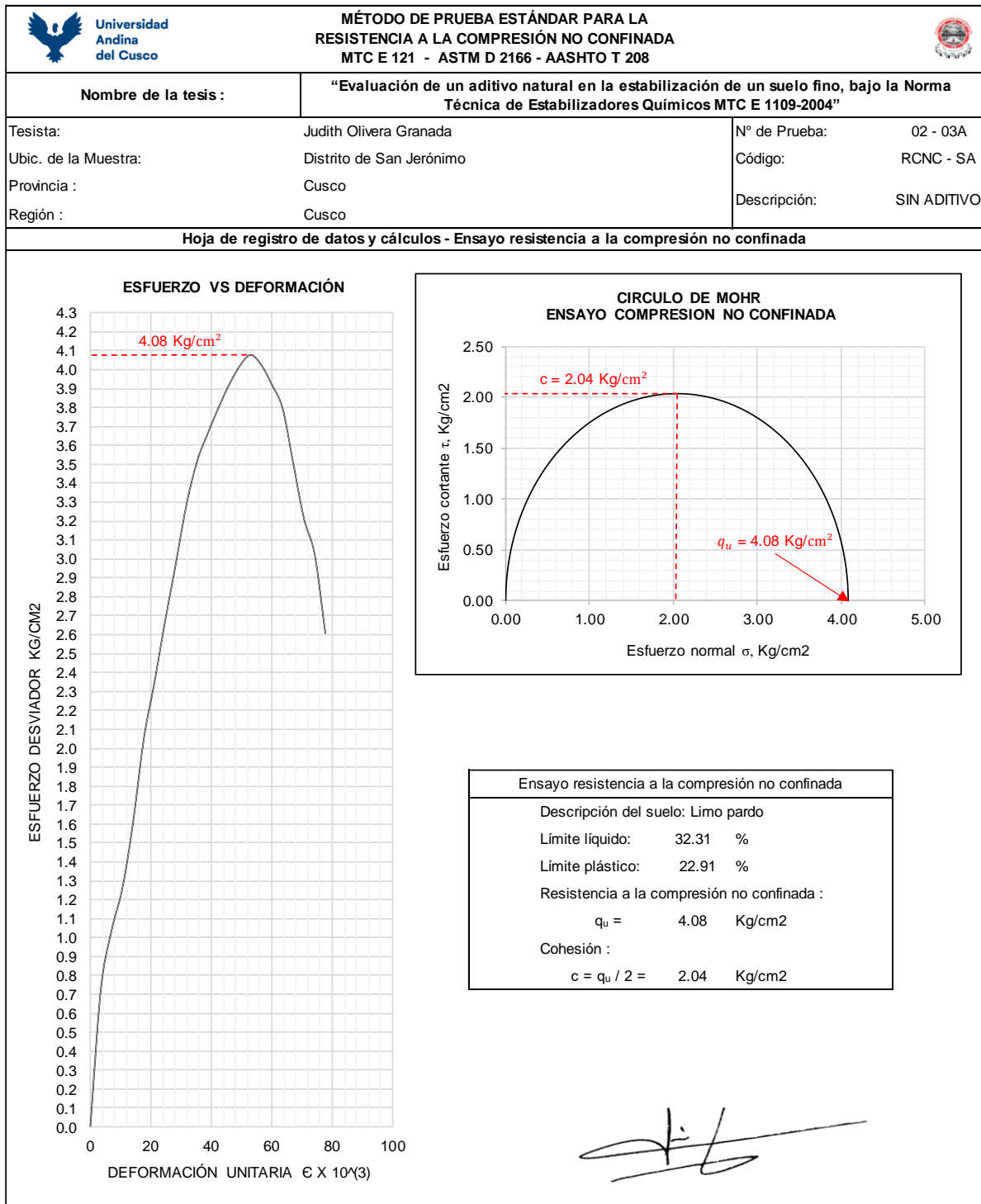
 Universidad Andina del Cusco		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208								
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"								
Tesisista:		Judith Olivera Granada				N° de Prueba: 02 - 03A				
Ubic. de la Muestra:		Distrito de San Jerónimo				Código: RCNC - SA				
Provincia :		Cusco				Descripción: SIN ADITIVO				
Región :		Cusco								
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo resistencia a la comprensión no confinada</b>										
Descripción del suelo: Limo pardo										
Límite líquido:		32.31	%	Límite plástico:		22.91	%	Índice plástico:		9.40%
Datos de la muestra 02 - 03A										
Diámetro:		33.00	mm	Área Ao :		8.55	cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:		72 mm
Volumen:		61.58	cm <sup>3</sup>	Peso:		114.39	g	Peso unitario húmedo:		1.86 g/cm <sup>3</sup>
Contenido de Humedad				w% :		20.8%	%	Peso unitario seco:		1.55 g/cm <sup>3</sup>
Lectura del Deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del Deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra $\Delta L$ (mm)	Deformación unitaria $\epsilon = \Delta L / L_0$	Deformación unitaria $\epsilon \times 10^3$	Área CF 1 - $\epsilon$	Área Corregida A'	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma = P' / A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )		
0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0000	0.00	0.00	0.00		
10	11.25	0.25	0.00	3.5	0.9965	8.58	6.31	0.73		
20	17.75	0.51	0.01	7.1	0.9929	8.61	8.96	1.04		
30	22.50	0.76	0.01	10.6	0.9894	8.64	10.90	1.26		
40	30.00	1.02	0.01	14.1	0.9859	8.68	13.95	1.61		
50	39.50	1.27	0.02	17.7	0.9823	8.71	17.83	2.05		
60	46.10	1.53	0.02	21.2	0.9788	8.74	20.52	2.35		
70	53.25	1.78	0.02	24.7	0.9753	8.77	23.44	2.67		
80	60.00	2.04	0.03	28.3	0.9717	8.80	26.19	2.98		
90	67.00	2.29	0.03	31.8	0.9682	8.83	29.05	3.29		
100	72.25	2.55	0.04	35.4	0.9646	8.87	31.19	3.52		
110	75.75	2.80	0.04	38.9	0.9611	8.90	32.62	3.67		
120	79.00	3.05	0.04	42.4	0.9576	8.93	33.94	3.80		
130	82.00	3.31	0.05	46.0	0.9540	8.97	35.17	3.92		
140	84.50	3.56	0.05	49.5	0.9505	9.00	36.19	4.02		
150	86.10	3.82	0.05	53.0	0.9470	9.03	36.84	4.08		
160	85.25	4.07	0.06	56.6	0.9434	9.07	36.49	4.03		
170	83.25	4.33	0.06	60.1	0.9399	9.10	35.68	3.92		
180	80.75	4.58	0.06	63.6	0.9364	9.13	34.66	3.79		
190	74.50	4.84	0.07	67.2	0.9328	9.17	32.11	3.50		
200	68.25	5.09	0.07	70.7	0.9293	9.20	29.56	3.21		
210	64.25	5.35	0.07	74.2	0.9258	9.24	27.93	3.02		
220	55.00	5.60	0.08	77.8	0.9222	9.27	24.15	2.60		
Resistencia a la comprensión no confinada :					$q_u =$	4.08	Kg/cm <sup>2</sup>			
Cohesión :					$q_u / 2 =$	2.04	Kg/cm <sup>2</sup>			

Fuente: Elaboración propia







**Figura 54** Esfuerzo versus deformación (Muestra 2-a)



**Fuente:** Elaboración propia



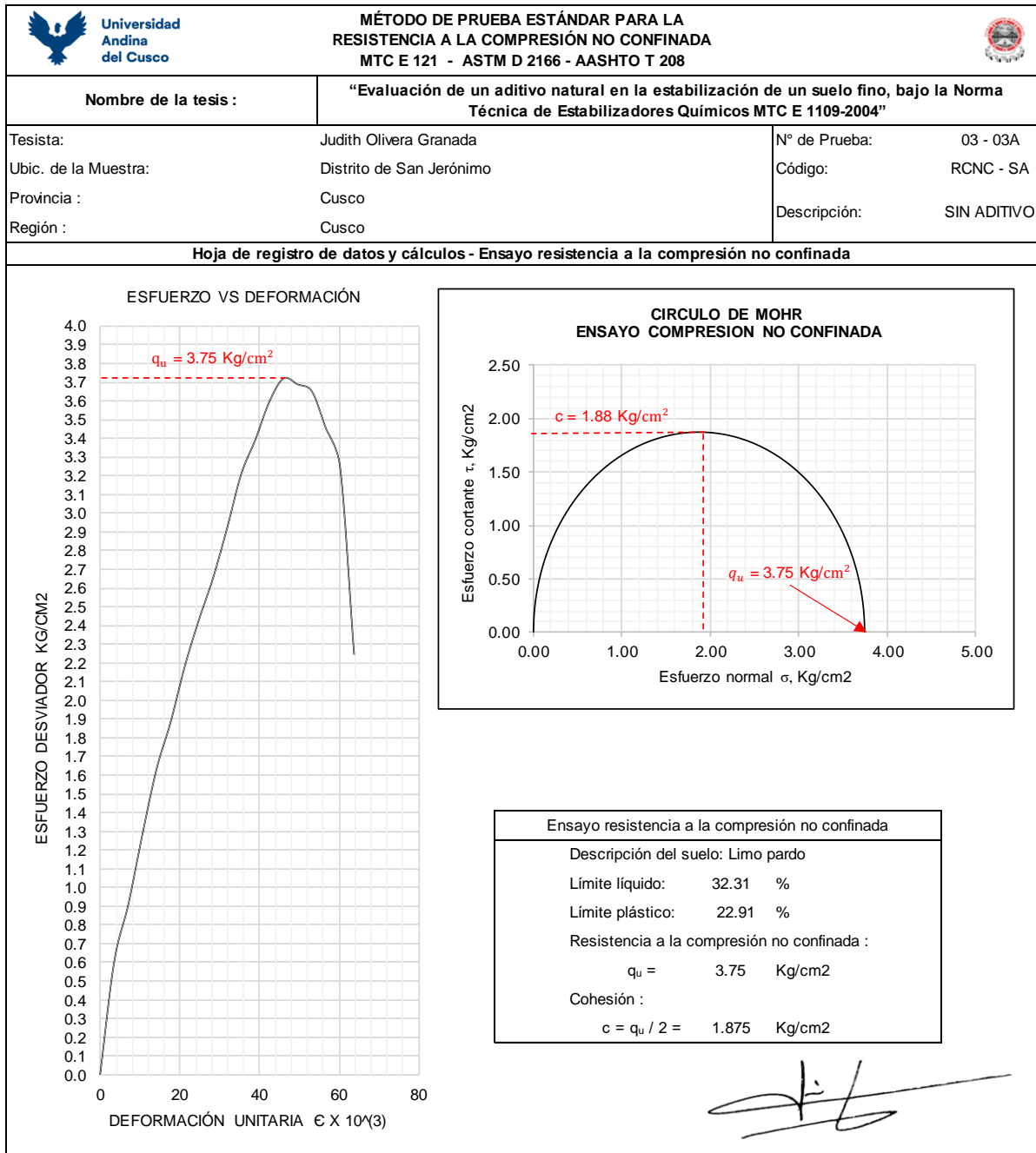
**Tabla 96** Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 3-a)

 Universidad Andina del Cusco		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208									
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"									
Tesisista:		Judith Olivera Granada				N° de Prueba:		03 - 03A			
Ubic. de la Muestra:		Distrito de San Jerónimo				Código:		RCNC - SA			
Provincia :		Cusco				Descripción:		SIN ADITIVO			
Región :		Cusco									
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo resistencia a la comprensión no confinada</b>											
Descripción del suelo: Limo pardo											
Límite líquido:		32.31 %		Límite plástico:		22.91 %		Índice plástico:		9.40%	
Datos de la muestra		03 - 03A									
Diámetro:		33.00 mm		Área Ao :		8.55 cm <sup>2</sup>		Altura, Lo:		72 mm	
Volumen:		61.58 cm <sup>3</sup>		Peso:		114.39 g		Peso unitario húmedo:		1.86 g/cm <sup>3</sup>	
Contenido de Humedad				w% :		20.4% %		Peso unitario seco:			1.53 g/cm <sup>3</sup>
Lectura del Deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del Deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra ΔL. (mm)	Deformación unitaria ε = ΔL/Lo	Deformación unitaria ε × 10 <sup>4</sup> (%)	Área CF 1 - ε	Área Corregida A' (cm <sup>2</sup> )	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra σ = P'/A' (kg/cm <sup>2</sup> )			
0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0000	0.00	0.00	0.00			
10	8.50	0.25	0.00	3.5	0.9965	8.58	5.19	0.60			
20	15.00	0.51	0.01	7.1	0.9929	8.61	7.84	0.91			
30	23.00	0.76	0.01	10.6	0.9894	8.64	11.10	1.28			
40	30.50	1.02	0.01	14.1	0.9859	8.68	14.16	1.63			
50	36.00	1.27	0.02	17.7	0.9823	8.71	16.40	1.88			
60	42.50	1.53	0.02	21.2	0.9788	8.74	19.05	2.18			
70	48.00	1.78	0.02	24.7	0.9753	8.77	21.30	2.43			
80	53.00	2.04	0.03	28.3	0.9717	8.80	23.34	2.65			
90	59.00	2.29	0.03	31.8	0.9682	8.83	25.78	2.92			
100	65.50	2.55	0.04	35.4	0.9646	8.87	28.44	3.21			
110	69.75	2.80	0.04	38.9	0.9611	8.90	30.17	3.39			
120	74.50	3.05	0.04	42.4	0.9576	8.93	32.11	3.59			
130	77.50	3.31	0.05	46.0	0.9540	8.97	33.33	3.72			
140	77.10	3.56	0.05	49.5	0.9505	9.00	33.17	3.69			
150	76.60	3.82	0.05	53.0	0.9470	9.03	32.96	3.65			
160	72.50	4.07	0.06	56.6	0.9434	9.07	31.29	3.45			
170	68.25	4.33	0.06	60.1	0.9399	9.10	29.56	3.25			
180	46.00	4.58	0.06	63.6	0.9364	9.13	20.48	2.24			
Resistencia a la comprensión no confinada :					qu =	3.75 Kg/cm <sup>2</sup>					
Cohesión :					qu / 2 =	1.88 Kg/cm <sup>2</sup>					

Fuente: Elaboración propia





**Figura 55** Esfuerzo versus deformación (Muestra 3-a)



**Fuente:** Elaboración propia



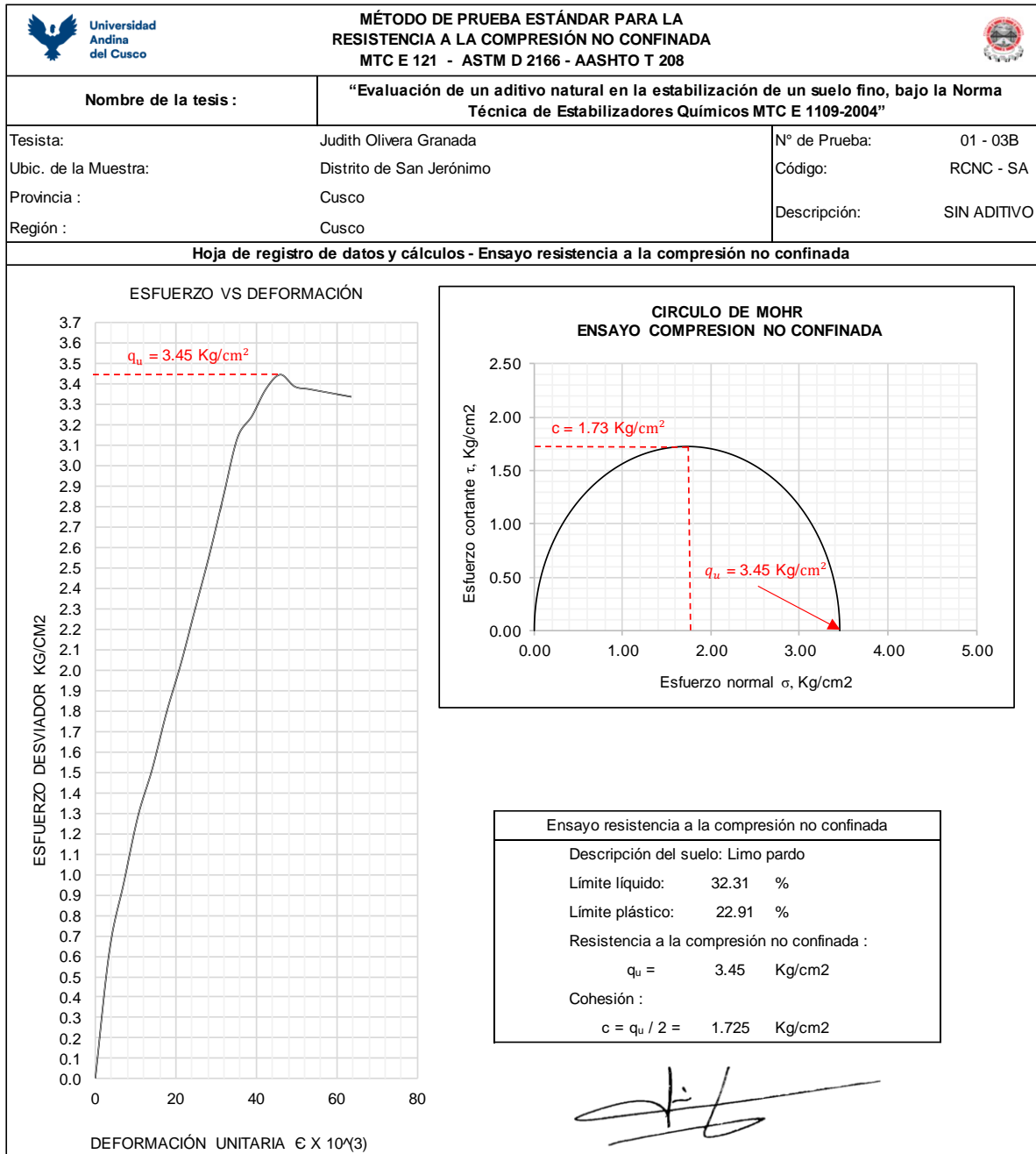
**Tabla 97** Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 1-b)

 Universidad Andina del Cusco		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208								
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"								
Tesisista:		Judith Olivera Granada				N° de Prueba: 01 - 03B				
Ubic. de la Muestra:		Distrito de San Jerónimo				Código: RCNC - SA				
Provincia :		Cusco				Descripción: SIN ADITIVO				
Región :		Cusco								
Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo resistencia a la comprensión no confinada										
Descripción del suelo: Limo pardo										
Límite líquido:		32.31	%	Límite plástico:		22.91	%	Índice plástico:		9.40%
Datos de la muestra		01 - 03B								
Diámetro:		33.00	mm	Área Ao :		8.55	cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:		72 mm
Volumen:		61.58	cm <sup>3</sup>	Peso:		114.39	g	Peso unitario húmedo:		1.86 g/cm <sup>3</sup>
Contenido de Humedad		w% :				20.6%	%	Peso unitario seco:		1.65 g/cm <sup>3</sup>
Lectura del Deformímetro (Axial)	Lectura del Deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra $\Delta L$ (mm)	Deformación unitaria $\epsilon = \Delta L / L_0$	Deformación unitaria $\epsilon \times 10^3$	Área CF 1 - $\epsilon$	Área Corregida A' (cm <sup>2</sup> )	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma = P' / A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )		
0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0000	0.00	0.00	0.00		
10	9.00	0.25	0.00	3.5	0.9965	8.58	5.39	0.63		
20	16.00	0.51	0.01	7.1	0.9929	8.61	8.24	0.96		
30	23.00	0.76	0.01	10.6	0.9894	8.64	11.10	1.28		
40	28.00	1.02	0.01	14.1	0.9859	8.68	13.14	1.51		
50	34.00	1.27	0.02	17.7	0.9823	8.71	15.59	1.79		
60	39.20	1.53	0.02	21.2	0.9788	8.74	17.71	2.03		
70	45.10	1.78	0.02	24.7	0.9753	8.77	20.11	2.29		
80	51.00	2.04	0.03	28.3	0.9717	8.80	22.52	2.56		
90	57.50	2.29	0.03	31.8	0.9682	8.83	25.17	2.85		
100	64.00	2.55	0.04	35.4	0.9646	8.87	27.82	3.14		
110	66.50	2.80	0.04	38.9	0.9611	8.90	28.84	3.24		
120	69.70	3.05	0.04	42.4	0.9576	8.93	30.15	3.38		
130	71.50	3.31	0.05	46.0	0.9540	8.97	30.88	3.44		
140	70.50	3.56	0.05	49.5	0.9505	9.00	30.47	3.39		
150	70.50	3.82	0.05	53.0	0.9470	9.03	30.47	3.37		
160	70.50	4.07	0.06	56.6	0.9434	9.07	30.47	3.36		
170	70.50	4.33	0.06	60.1	0.9399	9.10	30.47	3.35		
180	70.50	4.58	0.06	63.6	0.9364	9.13	30.47	3.34		
Resistencia a la comprensión no confinada :					$q_u =$	3.45	Kg/cm <sup>2</sup>			
Cohesión :					$q_u / 2 =$	1.73	Kg/cm <sup>2</sup>			

Fuente: Elaboración propia





**Figura 56** Esfuerzo versus deformación (Muestra 1-b)



**Fuente:** Elaboración propia



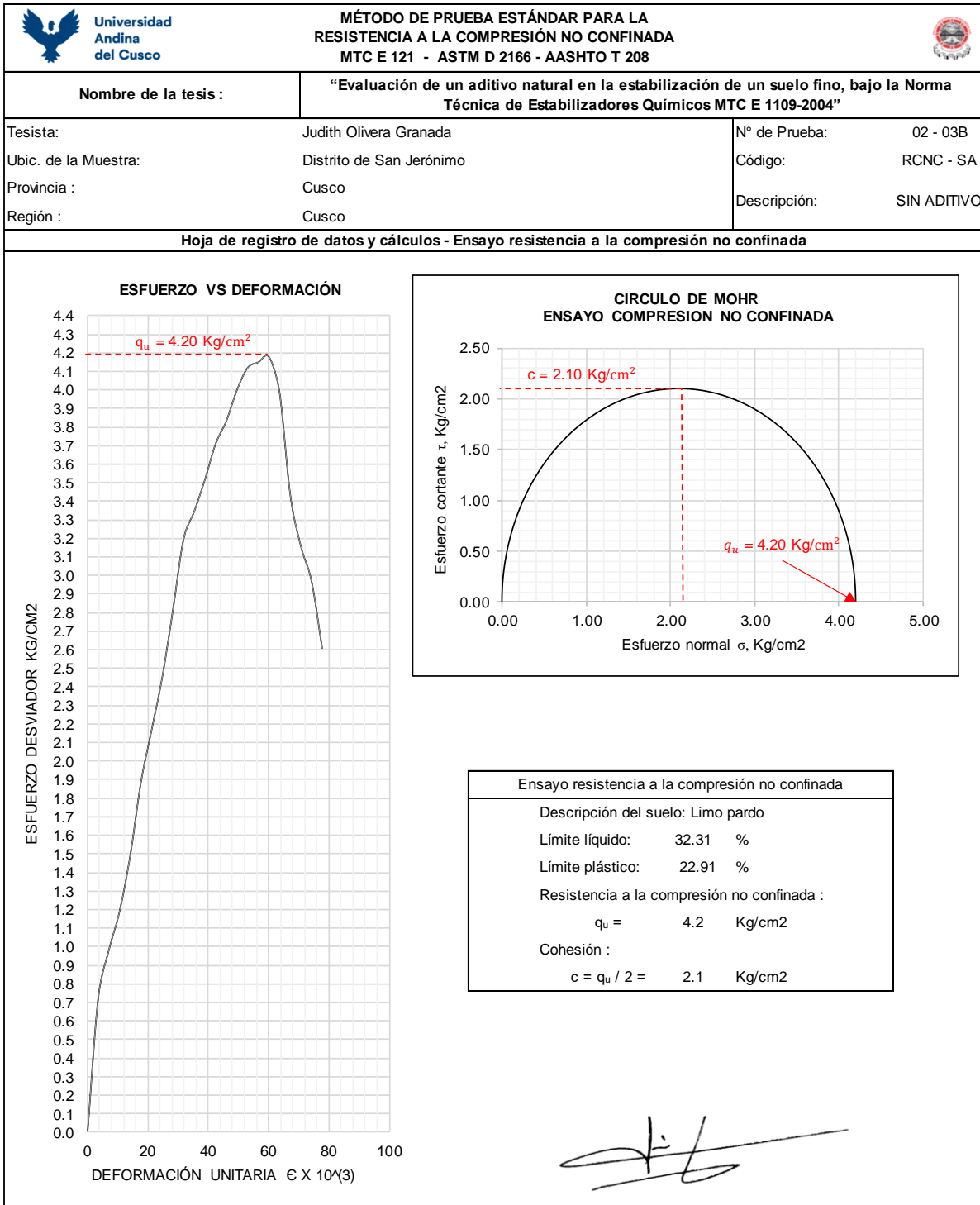
**Tabla 98** Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 2-b)

 Universidad Andina del Cusco		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208						
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"						
Tesisista:		Judith Olivera Granada			N° de Prueba: 02 - 03B			
Ubic. de la Muestra:		Distrito de San Jerónimo			Código: RCNC - SA			
Provincia :		Cusco			Descripción: SIN ADITIVO			
Región :		Cusco						
Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo resistencia a la comprensión no confinada								
Descripción del suelo: Limo pardo								
Límite líquido:		32.31 %	Límite plástico:		22.91 %	Índice plástico:	9.40%	
Datos de la muestra 02 - 03B								
Diámetro:		33.00 mm	Área Ao :		8.55 cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:		72 mm
Volumen:		61.58 cm <sup>3</sup>	Peso:		114.39 g	Peso unitario húmedo:		1.86 g/cm <sup>3</sup>
Contenido de Humedad			w% :		20.8% %	Peso unitario seco:		1.68 g/cm <sup>3</sup>
Lectura del Deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del Deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra $\Delta L$ (mm)	Deformación unitaria $\epsilon = \Delta L / L_0$	Deformación unitaria $\epsilon \times 10^3$	Área CF 1 - $\epsilon$	Área Corregida A' (cm <sup>2</sup> )	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma = P' / A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0000	0.00	0.00	0.00
10	11.00	0.25	0.00	3.5	0.9965	8.58	6.20	0.72
20	16.50	0.51	0.01	7.1	0.9929	8.61	8.45	0.98
30	21.00	0.76	0.01	10.6	0.9894	8.64	10.28	1.19
40	27.50	1.02	0.01	14.1	0.9859	8.68	12.94	1.49
50	36.00	1.27	0.02	17.7	0.9823	8.71	16.40	1.88
60	42.20	1.53	0.02	21.2	0.9788	8.74	18.93	2.17
70	48.50	1.78	0.02	24.7	0.9753	8.77	21.50	2.45
80	56.50	2.04	0.03	28.3	0.9717	8.80	24.76	2.81
90	65.00	2.29	0.03	31.8	0.9682	8.83	28.23	3.20
100	68.50	2.55	0.04	35.4	0.9646	8.87	29.66	3.35
110	72.50	2.80	0.04	38.9	0.9611	8.90	31.29	3.52
120	77.00	3.05	0.04	42.4	0.9576	8.93	33.13	3.71
130	80.00	3.31	0.05	46.0	0.9540	8.97	34.35	3.83
140	84.00	3.56	0.05	49.5	0.9505	9.00	35.98	4.00
150	87.00	3.82	0.05	53.0	0.9470	9.03	37.20	4.12
160	88.00	4.07	0.06	56.6	0.9434	9.07	37.61	4.15
170	89.00	4.33	0.06	60.1	0.9399	9.10	38.02	4.18
180	85.00	4.58	0.06	63.6	0.9364	9.13	36.39	3.98
190	73.00	4.84	0.07	67.2	0.9328	9.17	31.49	3.43
200	67.00	5.09	0.07	70.7	0.9293	9.20	29.05	3.16
210	63.00	5.35	0.07	74.2	0.9258	9.24	27.42	2.97
220	55.00	5.60	0.08	77.8	0.9222	9.27	24.15	2.60
Resistencia a la comprensión no confinada :					$q_u =$	4.2	Kg/cm <sup>2</sup>	
Cohesión :					$q_u / 2 =$	2.1	Kg/cm <sup>2</sup>	

Fuente: Elaboración propia





**Figura 57** Esfuerzo versus deformación (Muestra 2-b)



**Fuente:** Elaboración propia



**Tabla 99** Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la compresión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 3-b)

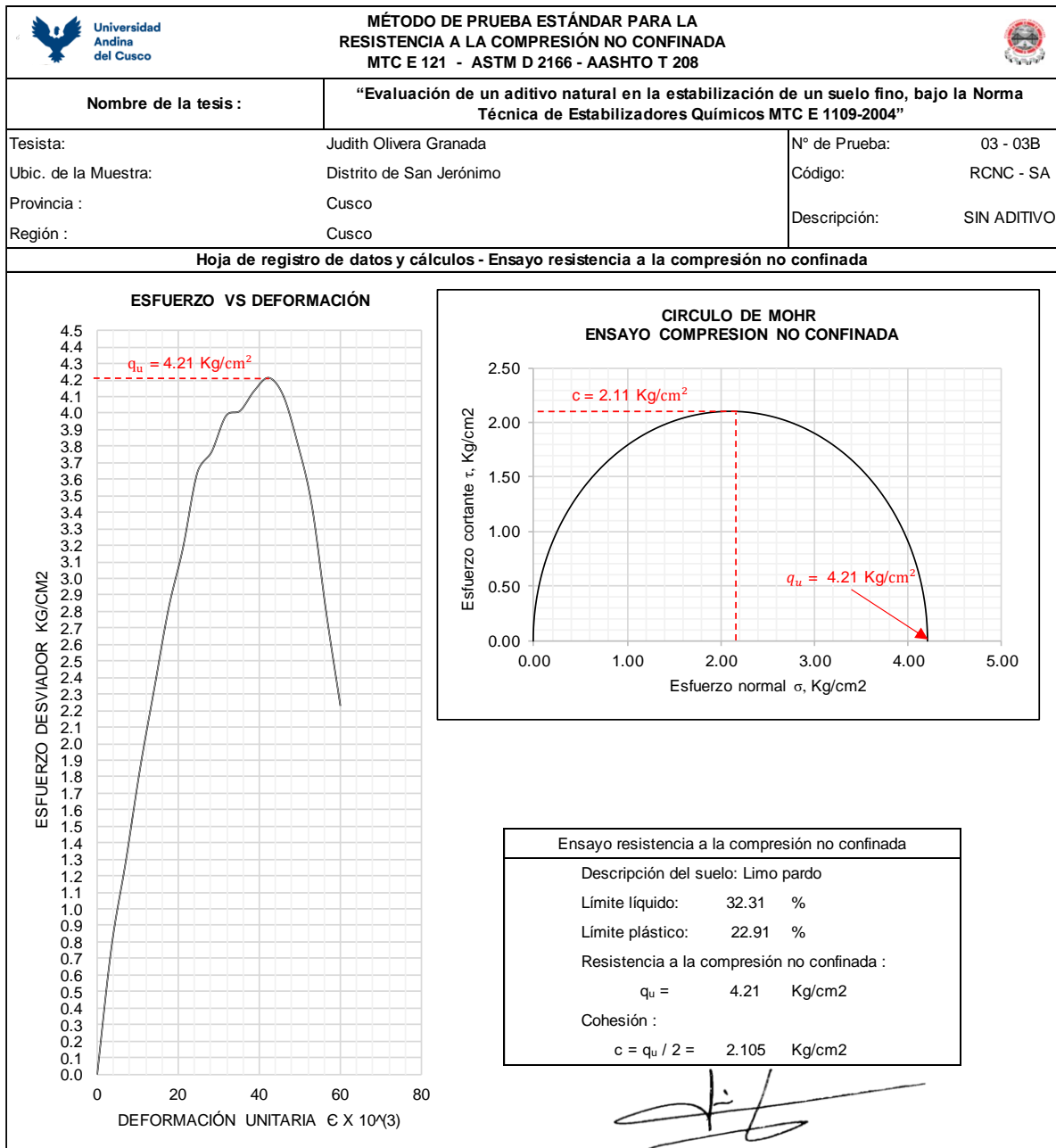
 Universidad Andina del Cusco		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208								
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"								
Tesis:		Judith Olivera Granada				N° de Prueba: 03 - 03B				
Ubic. de la Muestra:		Distrito de San Jerónimo				Código: RCNC - SA				
Provincia :		Cusco				Descripción: SIN ADITIVO				
Región :		Cusco								
Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo resistencia a la compresión no confinada										
Descripción del suelo: Limo pardo										
Límite líquido:		32.31	%	Límite plástico:		22.91	%	Índice plástico:		9.40%
Datos de la muestra 03 - 03B										
Diámetro:		33.00	mm	Área Ao :		8.55	cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:		72 mm
Volumen:		61.58	cm <sup>3</sup>	Peso:		114.39	g	Peso unitario húmedo:		1.86 g/cm <sup>3</sup>
Contenido de Humedad				w% :		20.3%	%	Peso unitario seco:		1.66 g/cm <sup>3</sup>
Lectura del Deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del Deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra $\Delta L$ (mm)	Deformación unitaria $\epsilon = \Delta L / L_0$	Deformación unitaria $\epsilon \times 10^3$	Área CF 1 - $\epsilon$	Área Corregida A'	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma = P' / A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )		
0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0000	0.00	0.00	0.00		
10	12.00	0.25	0.00	3.5	0.9965	8.58	6.61	0.77		
20	23.00	0.51	0.01	7.1	0.9929	8.61	11.10	1.29		
30	35.00	0.76	0.01	10.6	0.9894	8.64	15.99	1.85		
40	45.50	1.02	0.01	14.1	0.9859	8.68	20.28	2.34		
50	56.00	1.27	0.02	17.7	0.9823	8.71	24.56	2.82		
60	64.00	1.53	0.02	21.2	0.9788	8.74	27.82	3.18		
70	74.00	1.78	0.02	24.7	0.9753	8.77	31.90	3.64		
80	77.00	2.04	0.03	28.3	0.9717	8.80	33.13	3.76		
90	82.00	2.29	0.03	31.8	0.9682	8.83	35.17	3.98		
100	83.00	2.55	0.04	35.4	0.9646	8.87	35.57	4.01		
110	86.00	2.80	0.04	38.9	0.9611	8.90	36.80	4.13		
120	88.00	3.05	0.04	42.4	0.9576	8.93	37.61	4.21		
130	86.00	3.31	0.05	46.0	0.9540	8.97	36.80	4.10		
140	80.00	3.56	0.05	49.5	0.9505	9.00	34.35	3.82		
150	72.00	3.82	0.05	53.0	0.9470	9.03	31.09	3.44		
160	58.00	4.07	0.06	56.6	0.9434	9.07	25.38	2.80		
170	45.50	4.33	0.06	60.1	0.9399	9.10	20.28	2.23		
Resistencia a la compresión no confinada :					$q_u =$	4.21	Kg/cm <sup>2</sup>			
Cohesión :					$q_u / 2 =$	2.105	Kg/cm <sup>2</sup>			

Fuente: Elaboración propia







**Figura 58** Esfuerzo versus deformación (Muestra 3-b)



**Fuente:** Elaboración propia



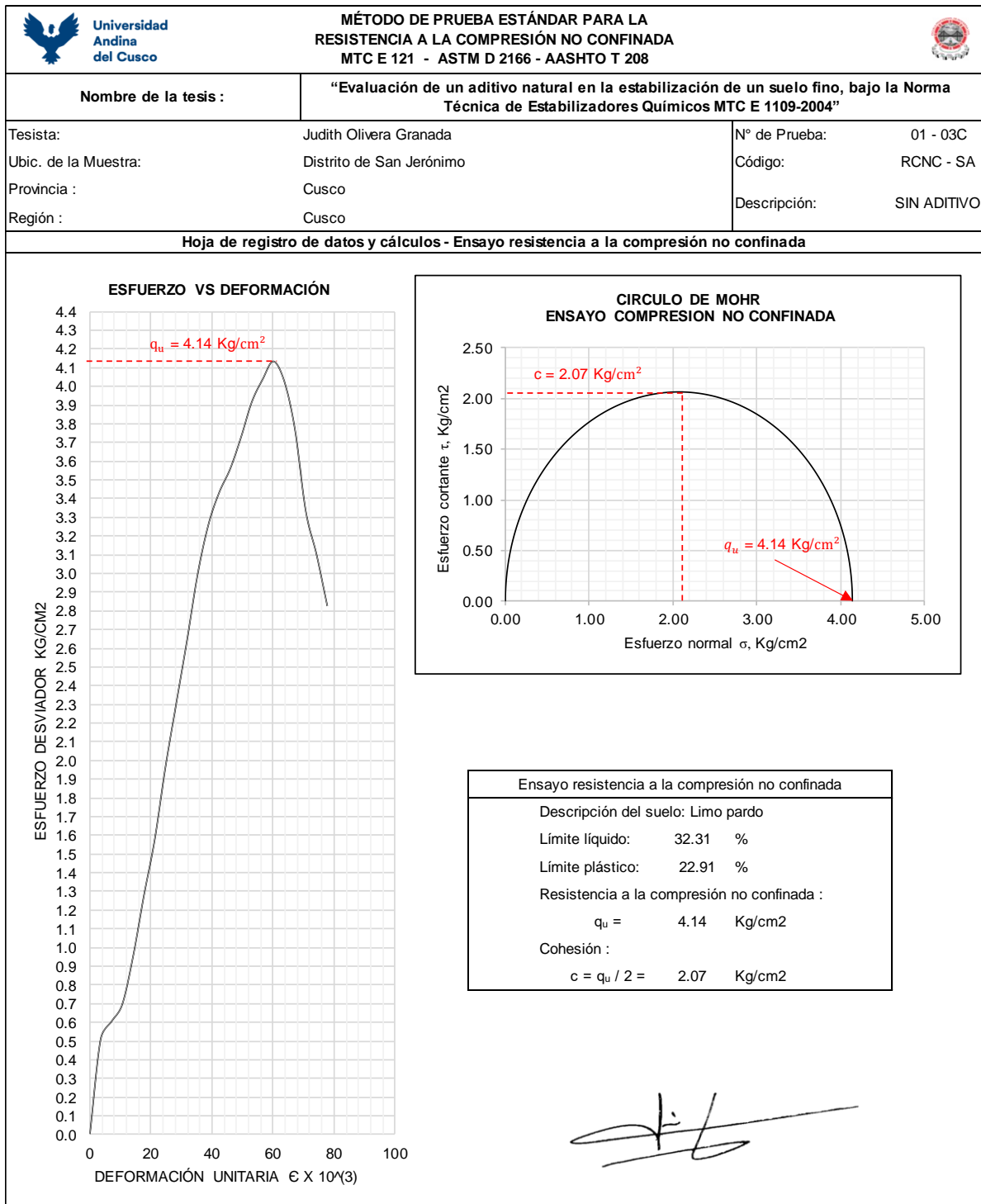
**Tabla 100** Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 1-c)

 Universidad Andina del Cusco		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208									
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"									
Tesisista:		Judith Olivera Granada				N° de Prueba: 01 - 03C					
Ubic. de la Muestra:		Distrito de San Jerónimo				Código: RCNC - SA					
Provincia :		Cusco				Descripción: SIN ADITIVO					
Región :		Cusco									
Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo resistencia a la comprensión no confinada											
Descripción del suelo: Limo pardo											
Límite líquido:		32.31	%	Límite plástico:		22.91	%	Índice plástico:		9.40%	
Datos de la muestra 01 - 03C											
Diámetro:		33.00	mm	Área Ao :		8.55	cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:		72 mm	
Volumen:		61.58	cm <sup>3</sup>	Peso:		114.39	g	Peso unitario húmedo:		1.86 g/cm <sup>3</sup>	
Contenido de Humedad				w% :		20.3%	%	Peso unitario seco:			1.66 g/cm <sup>3</sup>
Lectura del Deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del Deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra $\Delta L$ (mm)	Deformación unitaria $\epsilon = \Delta L / L_0$	Deformación unitaria $\epsilon \times 10^3$	Área CF 1 - $\epsilon$	Área Corregida A'	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma = P' / A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )			
0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0000	0.00	0.00	0.00			
10	6.50	0.25	0.00	3.5	0.9965	8.58	4.37	0.51			
20	8.50	0.51	0.01	7.1	0.9929	8.61	5.19	0.60			
30	10.50	0.76	0.01	10.6	0.9894	8.64	6.00	0.69			
40	16.00	1.02	0.01	14.1	0.9859	8.68	8.24	0.95			
50	23.00	1.27	0.02	17.7	0.9823	8.71	11.10	1.27			
60	29.50	1.53	0.02	21.2	0.9788	8.74	13.75	1.57			
70	38.00	1.78	0.02	24.7	0.9753	8.77	17.22	1.96			
80	45.50	2.04	0.03	28.3	0.9717	8.80	20.28	2.30			
90	53.00	2.29	0.03	31.8	0.9682	8.83	23.34	2.64			
100	61.00	2.55	0.04	35.4	0.9646	8.87	26.60	3.00			
110	67.00	2.80	0.04	38.9	0.9611	8.90	29.05	3.26			
120	71.00	3.05	0.04	42.4	0.9576	8.93	30.68	3.43			
130	74.00	3.31	0.05	46.0	0.9540	8.97	31.90	3.56			
140	78.00	3.56	0.05	49.5	0.9505	9.00	33.53	3.73			
150	82.50	3.82	0.05	53.0	0.9470	9.03	35.37	3.92			
160	85.50	4.07	0.06	56.6	0.9434	9.07	36.59	4.04			
170	88.00	4.33	0.06	60.1	0.9399	9.10	37.61	4.13			
180	86.00	4.58	0.06	63.6	0.9364	9.13	36.80	4.03			
190	80.50	4.84	0.07	67.2	0.9328	9.17	34.55	3.77			
200	71.00	5.09	0.07	70.7	0.9293	9.20	30.68	3.33			
210	66.00	5.35	0.07	74.2	0.9258	9.24	28.64	3.10			
220	60.00	5.60	0.08	77.8	0.9222	9.27	26.19	2.82			
Resistencia a la comprensión no confinada :					$q_u =$	4.14	Kg/cm <sup>2</sup>				
Cohesión :					$q_u / 2 =$	2.07	Kg/cm <sup>2</sup>				

Fuente: Elaboración propia



**Figura 59** Esfuerzo versus deformación (Muestra 1-c)



**Fuente:** Elaboración propia

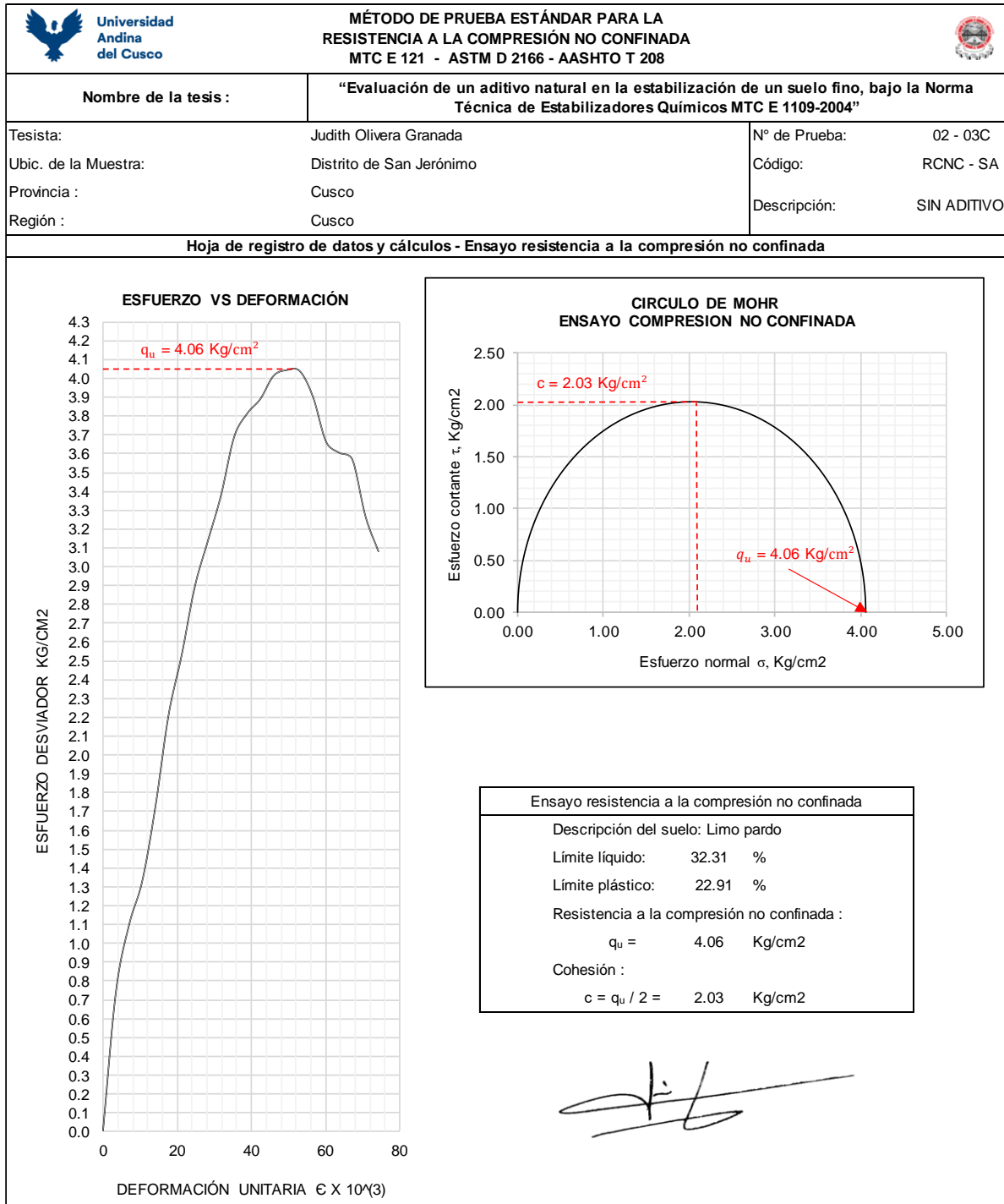
**Tabla 101** Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 2-c)

Universidad Andina del Cusco		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208							
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"							
Tesisista:		Judith Olivera Granada				N° de Prueba: 02 - 03C			
Ubic. de la Muestra:		Distrito de San Jerónimo				Código: RCNC - SA			
Provincia :		Cusco				Descripción: SIN ADITIVO			
Región :		Cusco							
Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo resistencia a la comprensión no confinada									
Descripción del suelo: Limo pardo									
Límite líquido:		32.31 %	Límite plástico:		22.91 %	Índice plástico:		9.40%	
Datos de la muestra		02 - 03C							
Diámetro:		33.00 mm	Área Ao :		8.55 cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:		72 mm	
Volumen:		61.58 cm <sup>3</sup>	Peso:		114.39 g	Peso unitario húmedo:		1.86 g/cm <sup>3</sup>	
Contenido de Humedad		w% :				20.2% %	Peso unitario seco:		1.68 g/cm <sup>3</sup>
Lectura del Deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del Deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra ΔL. (mm)	Deformación unitaria ε = ΔL/Lo	Deformación unitaria ε × 10 <sup>3</sup> (3)	Área CF 1 - ε	Área Corregida A' (cm <sup>2</sup> )	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra σ = P'/A' (kg/cm <sup>2</sup> )	
0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0000	0.00	0.00	0.00	
10	11.50	0.25	0.00	3.5	0.9965	8.58	6.41	0.75	
20	19.00	0.51	0.01	7.1	0.9929	8.61	9.47	1.10	
30	24.00	0.76	0.01	10.6	0.9894	8.64	11.51	1.33	
40	32.50	1.02	0.01	14.1	0.9859	8.68	14.97	1.73	
50	43.00	1.27	0.02	17.7	0.9823	8.71	19.26	2.21	
60	50.00	1.53	0.02	21.2	0.9788	8.74	22.11	2.53	
70	58.00	1.78	0.02	24.7	0.9753	8.77	25.38	2.89	
80	63.50	2.04	0.03	28.3	0.9717	8.80	27.62	3.14	
90	69.00	2.29	0.03	31.8	0.9682	8.83	29.86	3.38	
100	76.00	2.55	0.04	35.4	0.9646	8.87	32.72	3.69	
110	79.00	2.80	0.04	38.9	0.9611	8.90	33.94	3.81	
120	81.00	3.05	0.04	42.4	0.9576	8.93	34.76	3.89	
130	84.00	3.31	0.05	46.0	0.9540	8.97	35.98	4.01	
140	85.00	3.56	0.05	49.5	0.9505	9.00	36.39	4.04	
150	85.20	3.82	0.05	53.0	0.9470	9.03	36.47	4.04	
160	82.50	4.07	0.06	56.6	0.9434	9.07	35.37	3.90	
170	77.50	4.33	0.06	60.1	0.9399	9.10	33.33	3.66	
180	76.50	4.58	0.06	63.6	0.9364	9.13	32.92	3.60	
190	76.00	4.84	0.07	67.2	0.9328	9.17	32.72	3.57	
200	69.50	5.09	0.07	70.7	0.9293	9.20	30.07	3.27	
210	65.50	5.35	0.07	74.2	0.9258	9.24	28.44	3.08	
Resistencia a la comprensión no confinada :					q <sub>u</sub> =	4.06	Kg/cm <sup>2</sup>		
Cohesión :					q <sub>u</sub> / 2 =	2.03	Kg/cm <sup>2</sup>		

Fuente: Elaboración propia





**Figura 60** Esfuerzo versus deformación (Muestra 2-c)



**Fuente:** Elaboración propia



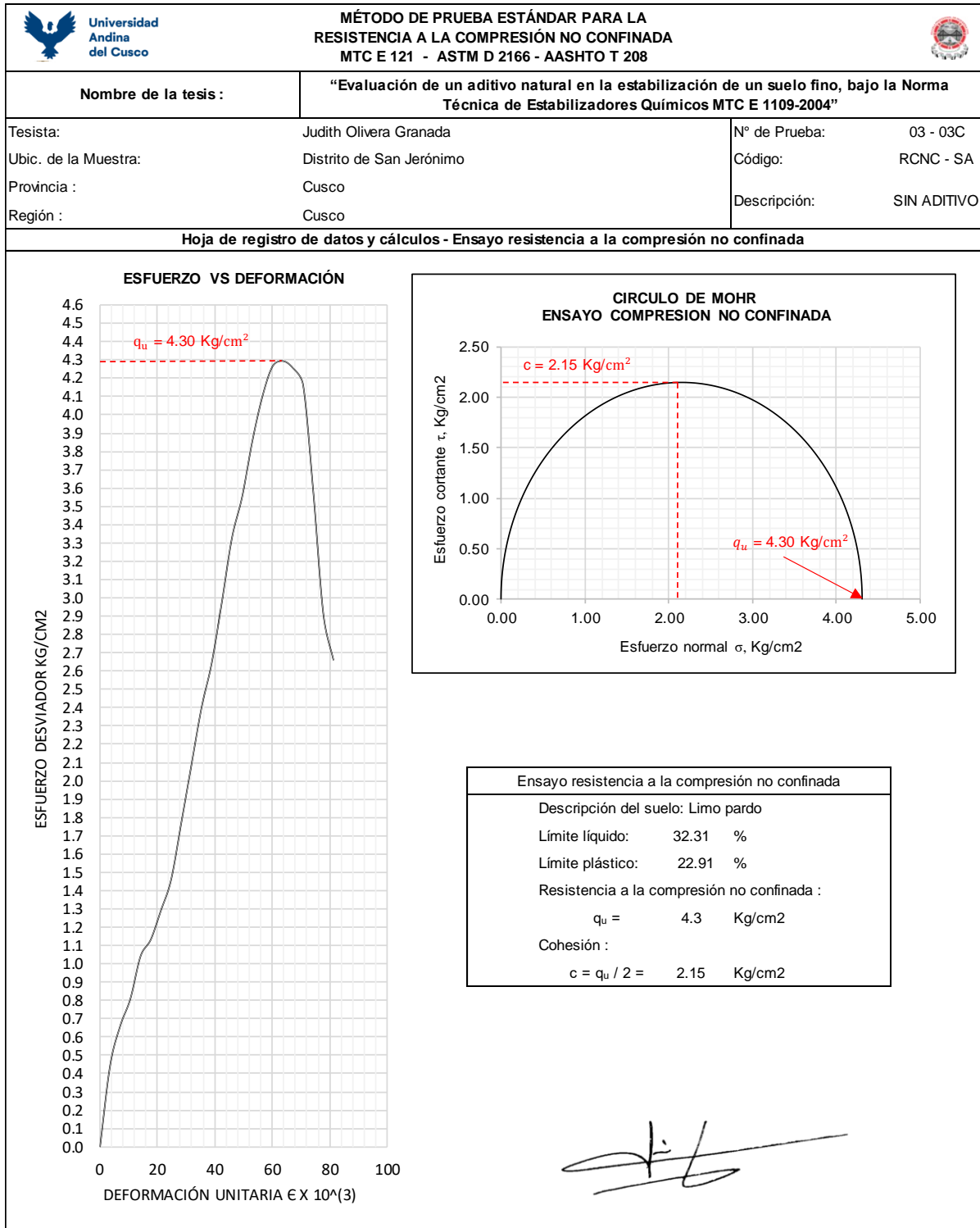
**Tabla 102** Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la compresión no confinada del suelo fino – Sin aditivo (Muestra 3)

 Universidad Andina del Cusco		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208									
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"									
Tesisista:		Judith Olivera Granada				N° de Prueba: 03 - 03C					
Ubic. de la Muestra:		Distrito de San Jerónimo				Código: RCNC - SA					
Provincia :		Cusco				Descripción: SIN ADITIVO					
Región :		Cusco									
Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo resistencia a la compresión no confinada											
Descripción del suelo: Limo pardo											
Límite líquido:		32.31	%	Límite plástico:		22.91	%	Índice plástico:		9.40%	
Datos de la muestra 03 - 03C											
Diámetro:		33.00	mm	Área Ao :		8.55	cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:		72 mm	
Volumen:		61.58	cm <sup>3</sup>	Peso:		114.39	g	Peso unitario húmedo:		1.86 g/cm <sup>3</sup>	
Contenido de Humedad				w% :		20.6%	%	Peso unitario seco:			1.67 g/cm <sup>3</sup>
Lectura del Deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del Deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra ΔL. (mm)	Deformación unitaria ε = ΔL/Lo	Deformación unitaria ε × 10 <sup>3</sup> (3)	Área CF 1 - ε	Área Corregida A´ (cm <sup>2</sup> )	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra σ = P'/A' (kg/cm <sup>2</sup> )			
0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0000	0.00	0.00	0.00			
10	5.20	0.25	0.00	3.5	0.9965	8.58	3.84	0.45			
20	9.80	0.51	0.01	7.1	0.9929	8.61	5.72	0.66			
30	13.00	0.76	0.01	10.6	0.9894	8.64	7.02	0.81			
40	18.00	1.02	0.01	14.1	0.9859	8.68	9.06	1.04			
50	20.00	1.27	0.02	17.7	0.9823	8.71	9.88	1.13			
60	23.50	1.53	0.02	21.2	0.9788	8.74	11.30	1.29			
70	27.20	1.78	0.02	24.7	0.9753	8.77	12.81	1.46			
80	34.00	2.04	0.03	28.3	0.9717	8.80	15.59	1.77			
90	41.00	2.29	0.03	31.8	0.9682	8.83	18.44	2.09			
100	48.00	2.55	0.04	35.4	0.9646	8.87	21.30	2.40			
110	53.50	2.80	0.04	38.9	0.9611	8.90	23.54	2.65			
120	61.00	3.05	0.04	42.4	0.9576	8.93	26.60	2.98			
130	69.00	3.31	0.05	46.0	0.9540	8.97	29.86	3.33			
140	74.20	3.56	0.05	49.5	0.9505	9.00	31.98	3.55			
150	81.20	3.82	0.05	53.0	0.9470	9.03	34.84	3.86			
160	87.00	4.07	0.06	56.6	0.9434	9.07	37.20	4.10			
170	91.00	4.33	0.06	60.1	0.9399	9.10	38.84	4.27			
180	92.00	4.58	0.06	63.6	0.9364	9.13	39.24	4.30			
190	91.50	4.84	0.07	67.2	0.9328	9.17	39.04	4.26			
200	89.80	5.09	0.07	70.7	0.9293	9.20	38.35	4.17			
210	77.00	5.35	0.07	74.2	0.9258	9.24	33.13	3.59			
220	62.00	5.60	0.08	77.8	0.9222	9.27	27.01	2.91			
230	56.50	5.85	0.08	81.3	0.9187	9.31	24.76	2.66			
Resistencia a la compresión no confinada :					q <sub>u</sub> =	4.3	Kg/cm <sup>2</sup>				
Cohesión :					q <sub>u</sub> / 2 =	2.15	Kg/cm <sup>2</sup>				

Fuente: Elaboración propia





**Figura 61** Esfuerzo versus deformación (Muestra 3-c)



**Fuente:** Elaboración propia



**Tabla 103** Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la compresión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 1-a)

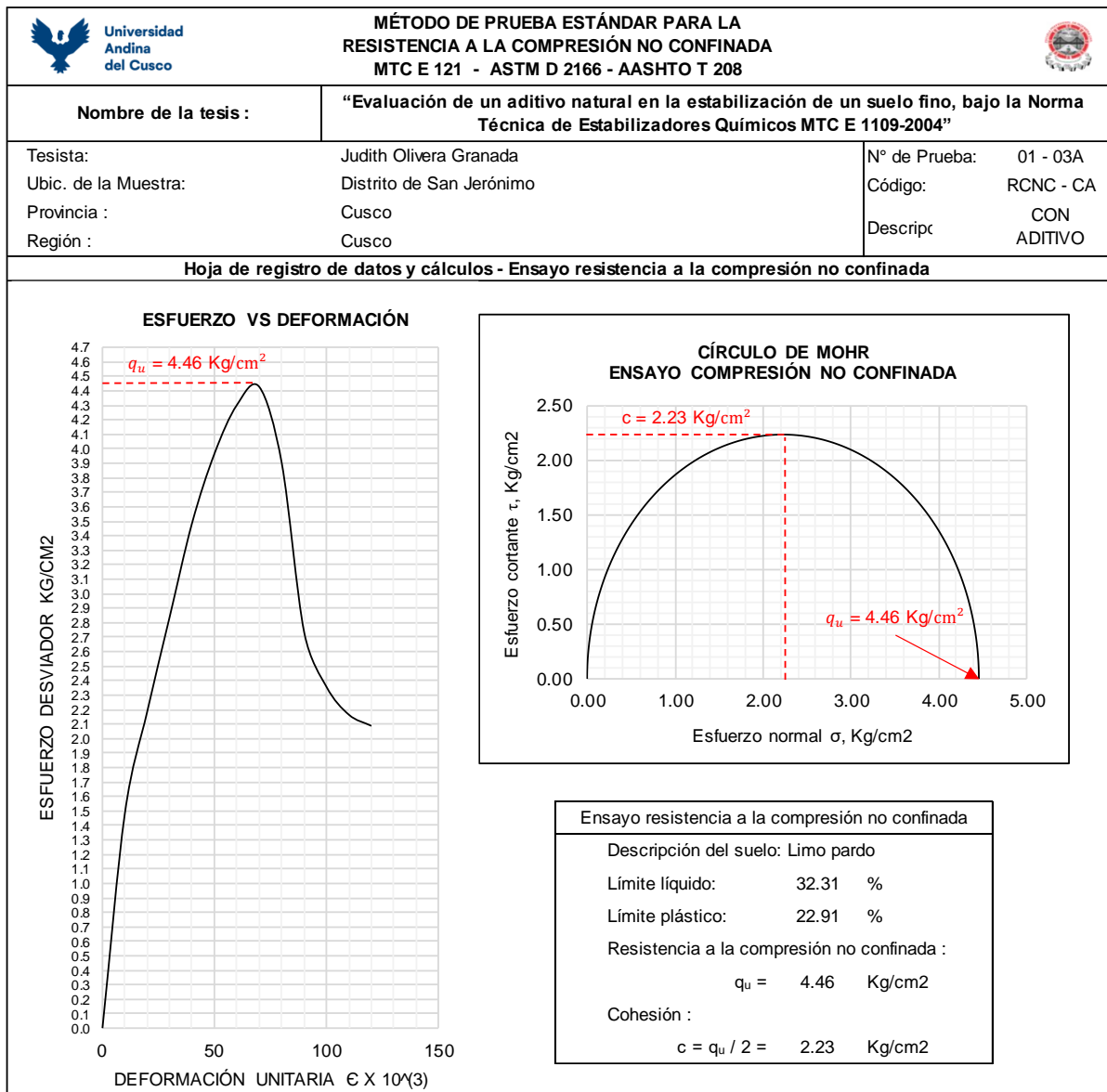
 Universidad Andina del Cusco		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208						
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"						
Tesisista:		Judith Olivera Granada				N° de Prueba: 01 - 03A		
Ubic. de la Muestra:		Distrito de San Jerónimo				Código: RCNC - CA		
Provincia :		Cusco				Descripción: CON ADITIVO		
Región :		Cusco						
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Resistencia a la compresión no confinada</b>								
Descripción del suelo: Limo pardo								
Límite líquido: 32.31 %		Límite plástico: 22.91 %		Índice plástico: 9.40%				
Datos de la muestra: 01 - 03A								
Diámetro: 33.00 mm		Área Ao : 8.55 cm <sup>2</sup>		Altura, Lo: 72 mm				
Volumen: 61.58 cm <sup>3</sup>		Peso: 114.39 g		Peso unitario húmedo: 1.86 g/cm <sup>3</sup>				
Contenido de Humedad w% :				18.5% %		Peso unitario seco: 1.62 g/cm <sup>3</sup>		
Lectura del deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra $\Delta L$ (mm)	Deformación unitaria $\epsilon = \Delta L / L_0$	Deformación unitaria $\epsilon \times 10^3$	Área CF 1 - $\epsilon$	Área Corregida A' (cm <sup>2</sup> )	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma = P' / A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0000	0.00	0.00	0.00
10	27.00	0.25	0.00	3.5	0.9965	8.58	12.73	1.48
20	42.00	0.51	0.01	7.1	0.9929	8.61	18.85	2.19
30	56.00	0.76	0.01	10.6	0.9894	8.64	24.56	2.84
40	70.00	1.02	0.01	14.1	0.9859	8.68	30.27	3.49
50	80.50	1.27	0.02	17.7	0.9823	8.71	34.55	3.97
60	88.00	1.53	0.02	21.2	0.9788	8.74	37.61	4.30
70	91.00	1.78	0.02	24.7	0.9753	8.77	38.84	4.43
80	80.00	2.04	0.03	28.3	0.9717	8.80	34.35	3.90
90	55.00	2.29	0.03	31.8	0.9682	8.83	24.15	2.73
100	47.00	2.55	0.04	35.4	0.9646	8.87	20.89	2.36
110	43.00	2.80	0.04	38.9	0.9611	8.90	19.26	2.16
120	41.50	3.05	0.04	42.4	0.9576	8.93	18.65	2.09
Resistencia a la compresión no confinada :					$q_u =$	4.46	Kg/cm <sup>2</sup>	
Cohesión :					$q_u / 2 =$	2.23	Kg/cm <sup>2</sup>	

Fuente: Elaboración propia







Figura 62 Esfuerzo versus deformación (Muestra 1-a con aditivo)



Fuente: Elaboración propia



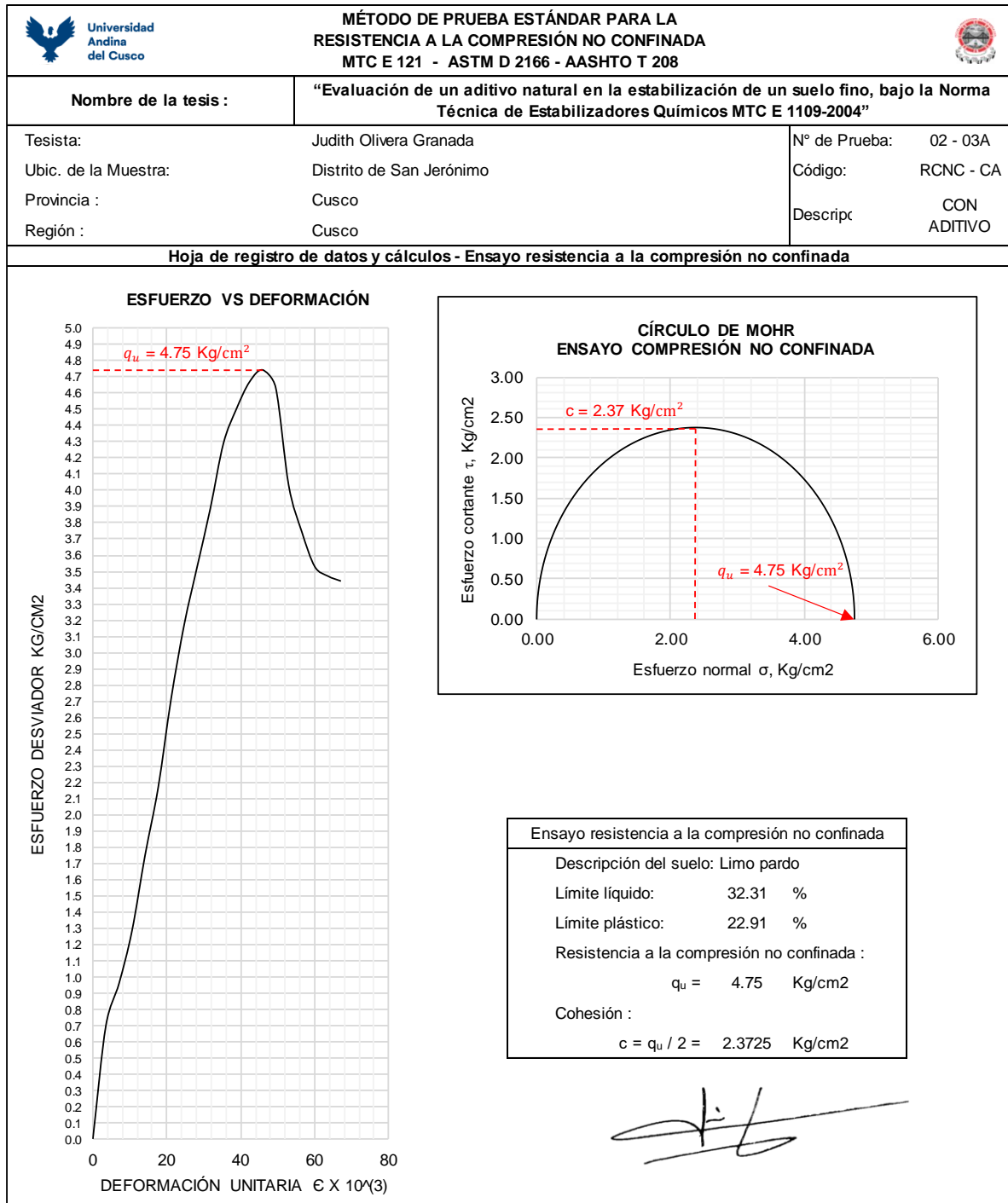
**Tabla 104** Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la compresión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 2-a)

 Universidad Andina del Cusco		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208									
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"									
Tesisista:		Judith Olivera Granada				N° de Prueba:		02 - 03A			
Ubic. de la Muestra:		Distrito de San Jerónimo				Código:		RCNC - CA			
Provincia :		Cusco				Descripción:		CON ADITIVO			
Región :		Cusco									
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Resistencia a la compresión no confinada</b>											
Descripción del suelo: Limo pardo											
Límite líquido:		32.31	%	Límite plástico:		22.91	%	Índice plástico:		9.40%	
Datos de la muestra:		02 - 03A									
Diámetro:		33.00	mm	Área Ao :		8.55	cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:		72 mm	
Volumen:		61.58	cm <sup>3</sup>	Peso:		114.39	g	Peso unitario húmedo:		1.86 g/cm <sup>3</sup>	
Contenido de Humedad				w% :		19.6%	%	Peso unitario seco:			1.68 g/cm <sup>3</sup>
Lectura del deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del deformímetro de cara Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra $\Delta L$ (mm)	Deformación unitaria $\epsilon = \Delta L / L_0$	Deformación unitaria $\epsilon \times 10^4 (\%)$	Área CF 1 - $\epsilon$	Área Corregida A' (cm <sup>2</sup> )	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma = P' / A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )			
0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00		
10	10.50	0.25	0.00	3.5	0.9965	8.58	6.00	0.70			
20	16.00	0.51	0.01	7.1	0.9929	8.61	8.24	0.96			
30	23.00	0.76	0.01	10.6	0.9894	8.64	11.10	1.28			
40	33.00	1.02	0.01	14.1	0.9859	8.68	15.18	1.75			
50	42.00	1.27	0.02	17.7	0.9823	8.71	18.85	2.16			
60	54.00	1.53	0.02	21.2	0.9788	8.74	23.74	2.72			
70	64.00	1.78	0.02	24.7	0.9753	8.77	27.82	3.17			
80	72.00	2.04	0.03	28.3	0.9717	8.80	31.09	3.53			
90	80.00	2.29	0.03	31.8	0.9682	8.83	34.35	3.89			
100	89.00	2.55	0.04	35.4	0.9646	8.87	38.02	4.29			
110	94.00	2.80	0.04	38.9	0.9611	8.90	40.06	4.50			
120	98.00	3.05	0.04	42.4	0.9576	8.93	41.69	4.67			
130	100.00	3.31	0.05	46.0	0.9540	8.97	42.51	4.74			
140	98.00	3.56	0.05	49.5	0.9505	9.00	41.69	4.63			
150	85.00	3.82	0.05	53.0	0.9470	9.03	36.39	4.03			
160	79.00	4.07	0.06	56.6	0.9434	9.07	33.94	3.74			
170	74.50	4.33	0.06	60.1	0.9399	9.10	32.11	3.53			
180	73.50	4.58	0.06	63.6	0.9364	9.13	31.70	3.47			
190	73.10	4.84	0.07	67.2	0.9328	9.17	31.54	3.44			
Resistencia a la compresión no confinada :						$q_u =$	4.75	Kg/cm <sup>2</sup>			
Cohesión :						$q_u / 2 =$	2.37	Kg/cm <sup>2</sup>			

Fuente: Elaboración propia





**Figura 63** Esfuerzo versus deformación (Muestra 2-a con aditivo)



**Fuente:** Elaboración propia

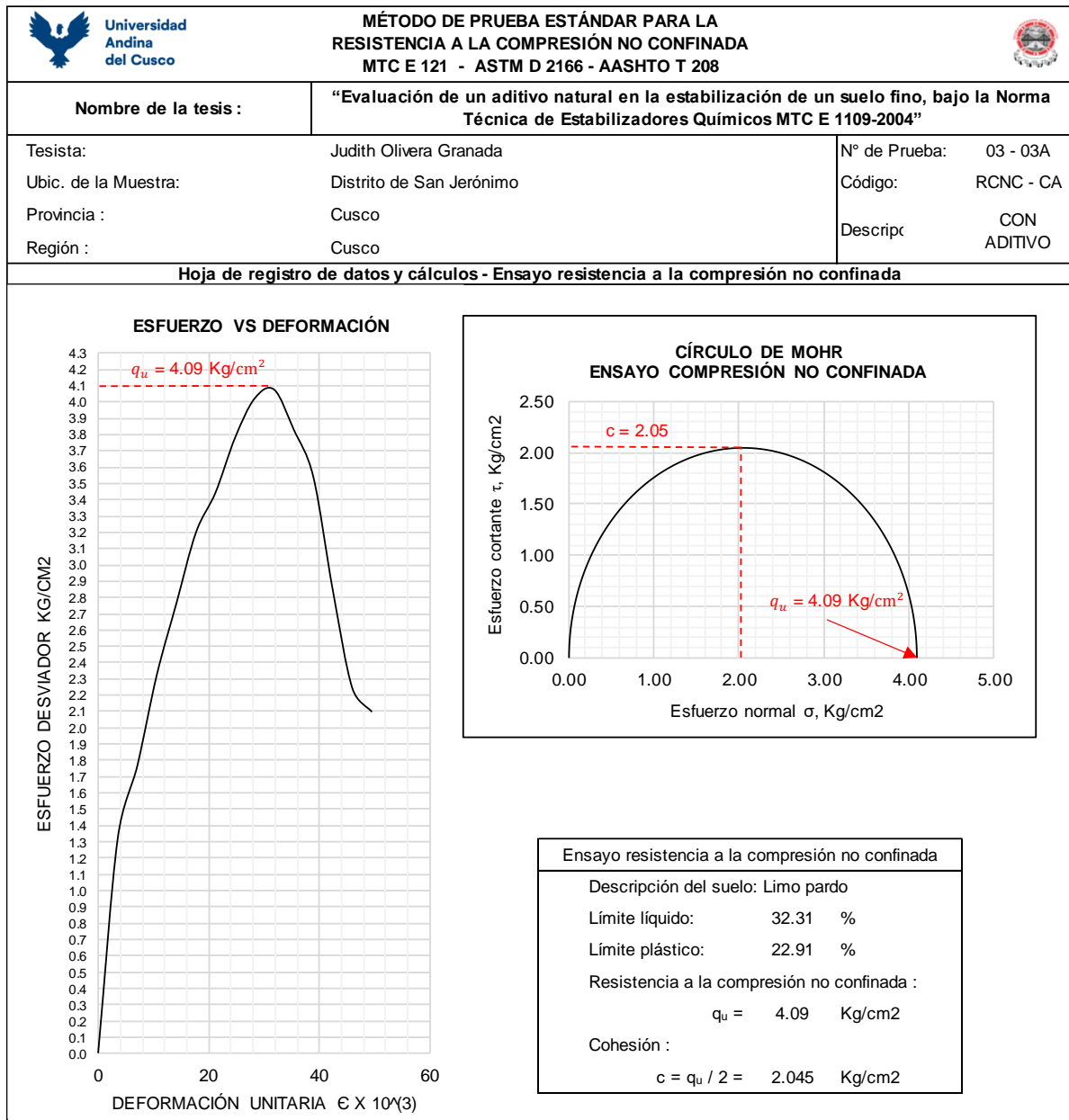


**Tabla 105** Análisis de datos del ensayo, Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 3-a)

 Universidad Andina del Cusco		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208						
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"						
Tesisista:		Judith Olivera Granada				N° de Prueba: 03 - 03A		
Ubic. de la Muestra:		Distrito de San Jerónimo				Código: RCNC - CA		
Provincia :		Cusco				Descripción: CON ADITIVO		
Región :		Cusco						
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Resistencia a la compresión no confinada</b>								
Descripción del suelo: Limo pardo								
Límite líquido:		32.31 %	Límite plástico:		22.91 %	Índice plástico:		9.40%
Datos de la muestra:		03 - 03A						
Diámetro:		33.00 mm	Área Ao :		8.55 cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:		72 mm
Volumen:		61.58 cm <sup>3</sup>	Peso:		114.39 g	Peso unitario húmedo:		1.86 g/cm <sup>3</sup>
Contenido de Humedad		w% : 19.6% %				Peso unitario seco:		1.66 g/cm <sup>3</sup>
Lectura del deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra $\Delta L$ (mm)	Deformación unitaria $\epsilon = \Delta L / L_0$	Deformación unitaria $\epsilon \times 10^3$	Área CF 1 - $\epsilon$	Área Corregida A' (cm <sup>2</sup> )	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma = P' / A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0000	0.00	0.00	0.00
10	23.50	0.25	0.00	3.5	0.9965	8.58	11.30	1.32
20	33.00	0.51	0.01	7.1	0.9929	8.61	15.18	1.76
30	45.00	0.76	0.01	10.6	0.9894	8.64	20.07	2.32
40	54.50	1.02	0.01	14.1	0.9859	8.68	23.95	2.76
50	64.00	1.27	0.02	17.7	0.9823	8.71	27.82	3.20
60	69.50	1.53	0.02	21.2	0.9788	8.74	30.07	3.44
70	77.00	1.78	0.02	24.7	0.9753	8.77	33.13	3.78
80	82.50	2.04	0.03	28.3	0.9717	8.80	35.37	4.02
90	84.00	2.29	0.03	31.8	0.9682	8.83	35.98	4.07
100	79.00	2.55	0.04	35.4	0.9646	8.87	33.94	3.83
110	73.00	2.80	0.04	38.9	0.9611	8.90	31.49	3.54
120	58.00	3.05	0.04	42.4	0.9576	8.93	25.38	2.84
130	45.00	3.31	0.05	46.0	0.9540	8.97	20.07	2.24
140	42.00	3.56	0.05	49.5	0.9505	9.00	18.85	2.09
Resistencia a la compresión no confinada :						$q_u =$	4.09	Kg/cm <sup>2</sup>
Cohesión :						$q_u / 2 =$	2.05	Kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia



**Figura 64** Esfuerzo versus deformación (Muestra 3-a con aditivo)



**Fuente:** Elaboración propia



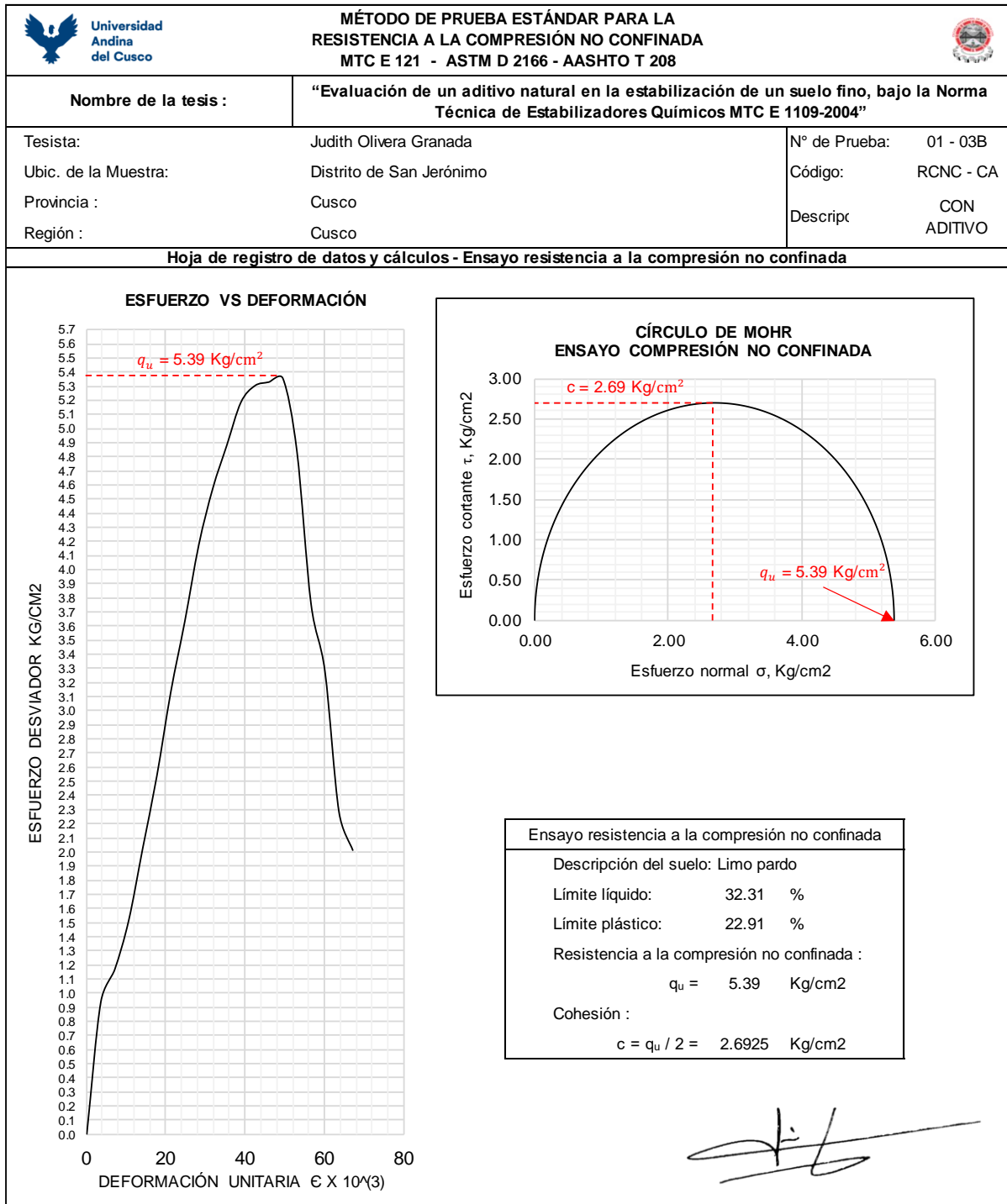
**Tabla 106** Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 1-b)

		<b>MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA</b> <b>MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208</b>						
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"						
Tesisista:		Judith Olivera Granada				N° de Prueba: 01 - 03B		
Ubic. de la Muestra:		Distrito de San Jerónimo				Código: RCNC - CA		
Provincia :		Cusco				Descripción: CON ADITIVO		
Región :		Cusco						
Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Resistencia a la comprensión no confinada								
Descripción del suelo: Limo pardo								
Límite líquido:		32.31 %	Límite plástico:		22.91 %	Índice plástico:		9.40%
Datos de la muestra:		01 - 03B						
Diámetro:		33.00 mm	Área Ao :		8.55 cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:		72 mm
Volumen:		61.58 cm <sup>3</sup>	Peso:		114.39 g	Peso unitario húmedo:		1.86 g/cm <sup>3</sup>
Contenido de Humedad		w% :		19.9% %	Peso unitario seco:			1.69 g/cm <sup>3</sup>
Lectura del deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra ΔL. (mm)	Deformación unitaria ε = ΔL/Lo	Deformación unitaria ε x 10 <sup>4</sup> (%)	Área CF 1 - ε	Área Corregida A' (cm <sup>2</sup> )	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra σ = P'/A' (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0000	0.00	0.00	0.00
10	15.50	0.25	0.00	3.5	0.9965	8.58	8.04	0.94
20	20.50	0.51	0.01	7.1	0.9929	8.61	10.08	1.17
30	28.00	0.76	0.01	10.6	0.9894	8.64	13.14	1.52
40	39.00	1.02	0.01	14.1	0.9859	8.68	17.63	2.03
50	50.00	1.27	0.02	17.7	0.9823	8.71	22.11	2.54
60	63.00	1.53	0.02	21.2	0.9788	8.74	27.42	3.14
70	74.00	1.78	0.02	24.7	0.9753	8.77	31.90	3.64
80	86.00	2.04	0.03	28.3	0.9717	8.80	36.80	4.18
90	95.00	2.29	0.03	31.8	0.9682	8.83	40.47	4.58
100	102.00	2.55	0.04	35.4	0.9646	8.87	43.32	4.89
110	109.00	2.80	0.04	38.9	0.9611	8.90	46.18	5.19
120	112.00	3.05	0.04	42.4	0.9576	8.93	47.40	5.31
130	113.00	3.31	0.05	46.0	0.9540	8.97	47.81	5.33
140	114.00	3.56	0.05	49.5	0.9505	9.00	48.22	5.36
150	103.00	3.82	0.05	53.0	0.9470	9.03	43.73	4.84
160	79.50	4.07	0.06	56.6	0.9434	9.07	34.15	3.77
170	69.00	4.33	0.06	60.1	0.9399	9.10	29.86	3.28
180	47.00	4.58	0.06	63.6	0.9364	9.13	20.89	2.29
190	41.00	4.84	0.07	67.2	0.9328	9.17	18.44	2.01
Resistencia a la comprensión no confinada :						qu =	5.39	Kg/cm <sup>2</sup>
Cohesión :						qu / 2 =	2.69	Kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia





**Figura 65** Esfuerzo versus deformación (Muestra 1-b con aditivo)



**Fuente:** Elaboración propia



**Tabla 107** Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la comprensión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 2-b)

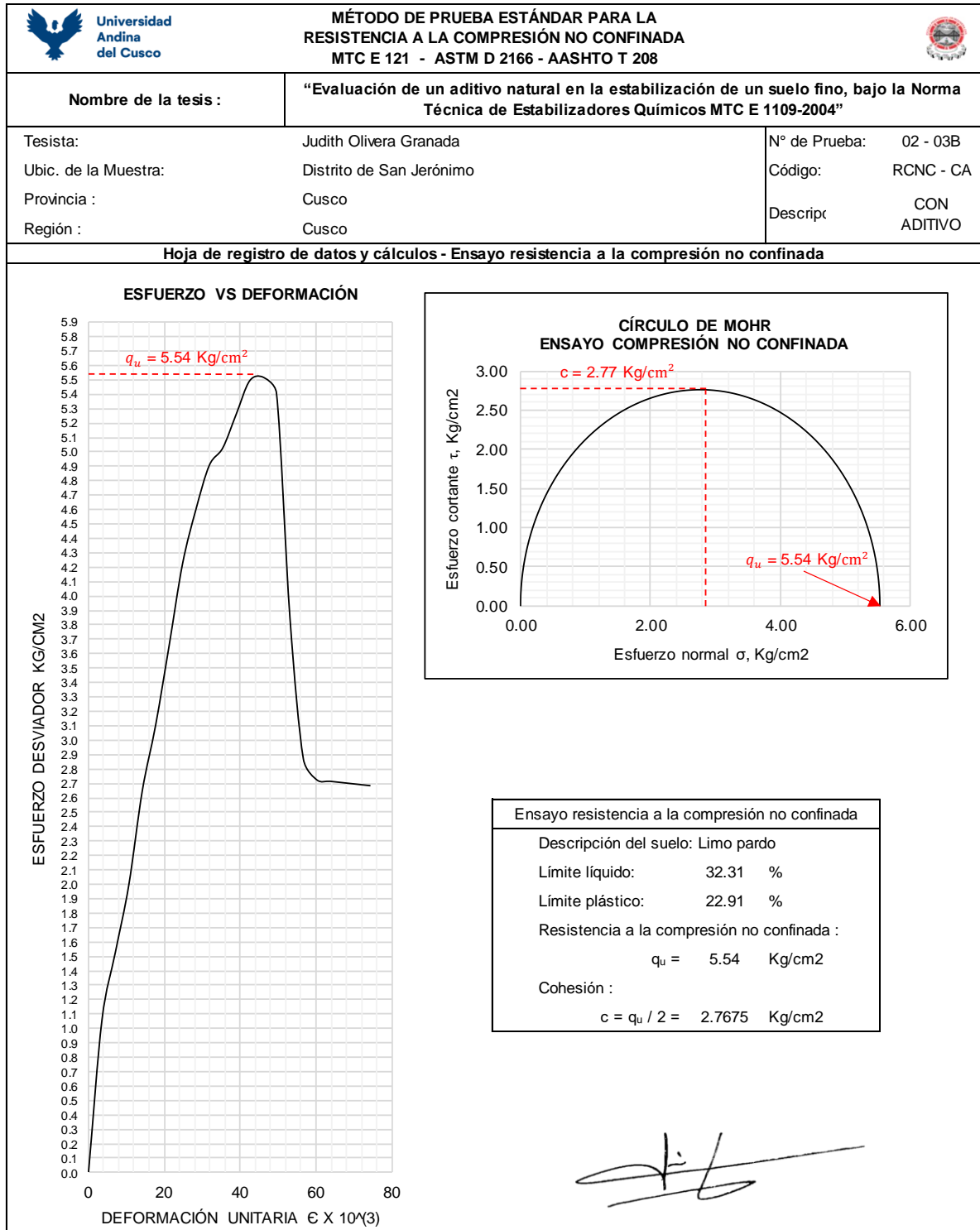
 Universidad Andina del Cusco		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208									
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"									
Tesisista:		Judith Olivera Granada				N° de Prueba:		02 - 03B			
Ubic. de la Muestra:		Distrito de San Jerónimo				Código:		RCNC - CA			
Provincia :		Cusco				Descripción:		CON ADITIVO			
Región :		Cusco									
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Resistencia a la comprensión no confinada</b>											
Descripción del suelo: Limo pardo											
Límite líquido:		32.31	%	Límite plástico:		22.91	%	Índice plástico:		9.40%	
Datos de la muestra:		02 - 03B									
Diámetro:		33.00	mm	Área Ao :		8.55	cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:		72 mm	
Volumen:		61.58	cm <sup>3</sup>	Peso:		114.39	g	Peso unitario húmedo:		1.86 g/cm <sup>3</sup>	
Contenido de Humedad				w% :		19.8%	%	Peso unitario seco:			1.69 g/cm <sup>3</sup>
Lectura del deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra $\Delta L$ (mm)	Deformación unitaria $\epsilon = \Delta L / L_0$	Deformación unitaria $\epsilon \times 10^3$	Área CF 1 - $\epsilon$	Área Corregida A' (cm <sup>2</sup> )	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma = P' / A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )			
0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00		
10	18.00	0.25	0.00	3.5	0.9965	8.58	9.06	1.06			
20	28.00	0.51	0.01	7.1	0.9929	8.61	13.14	1.53			
30	38.00	0.76	0.01	10.6	0.9894	8.64	17.22	1.99			
40	52.00	1.02	0.01	14.1	0.9859	8.68	22.93	2.64			
50	62.00	1.27	0.02	17.7	0.9823	8.71	27.01	3.10			
60	74.00	1.53	0.02	21.2	0.9788	8.74	31.90	3.65			
70	86.50	1.78	0.02	24.7	0.9753	8.77	37.00	4.22			
80	95.00	2.04	0.03	28.3	0.9717	8.80	40.47	4.60			
90	102.00	2.29	0.03	31.8	0.9682	8.83	43.32	4.90			
100	105.00	2.55	0.04	35.4	0.9646	8.87	44.55	5.02			
110	110.50	2.80	0.04	38.9	0.9611	8.90	46.79	5.26			
120	116.00	3.05	0.04	42.4	0.9576	8.93	49.03	5.49			
130	117.00	3.31	0.05	46.0	0.9540	8.97	49.44	5.51			
140	115.00	3.56	0.05	49.5	0.9505	9.00	48.63	5.40			
150	81.00	3.82	0.05	53.0	0.9470	9.03	34.76	3.85			
160	59.50	4.07	0.06	56.6	0.9434	9.07	25.99	2.87			
170	56.50	4.33	0.06	60.1	0.9399	9.10	24.76	2.72			
180	56.50	4.58	0.06	63.6	0.9364	9.13	24.76	2.71			
190	56.50	4.84	0.07	67.2	0.9328	9.17	24.76	2.70			
200	56.50	5.09	0.07	70.7	0.9293	9.20	24.76	2.69			
210	56.50	5.35	0.07	74.2	0.9258	9.24	24.76	2.68			
Resistencia a la comprensión no confinada :					$q_u =$	5.54	Kg/cm <sup>2</sup>				
Cohesión :					$q_u / 2 =$	2.77	Kg/cm <sup>2</sup>				

Fuente: Elaboración propia





Figura 66 Esfuerzo versus deformación (Muestra 2-b con aditivo)



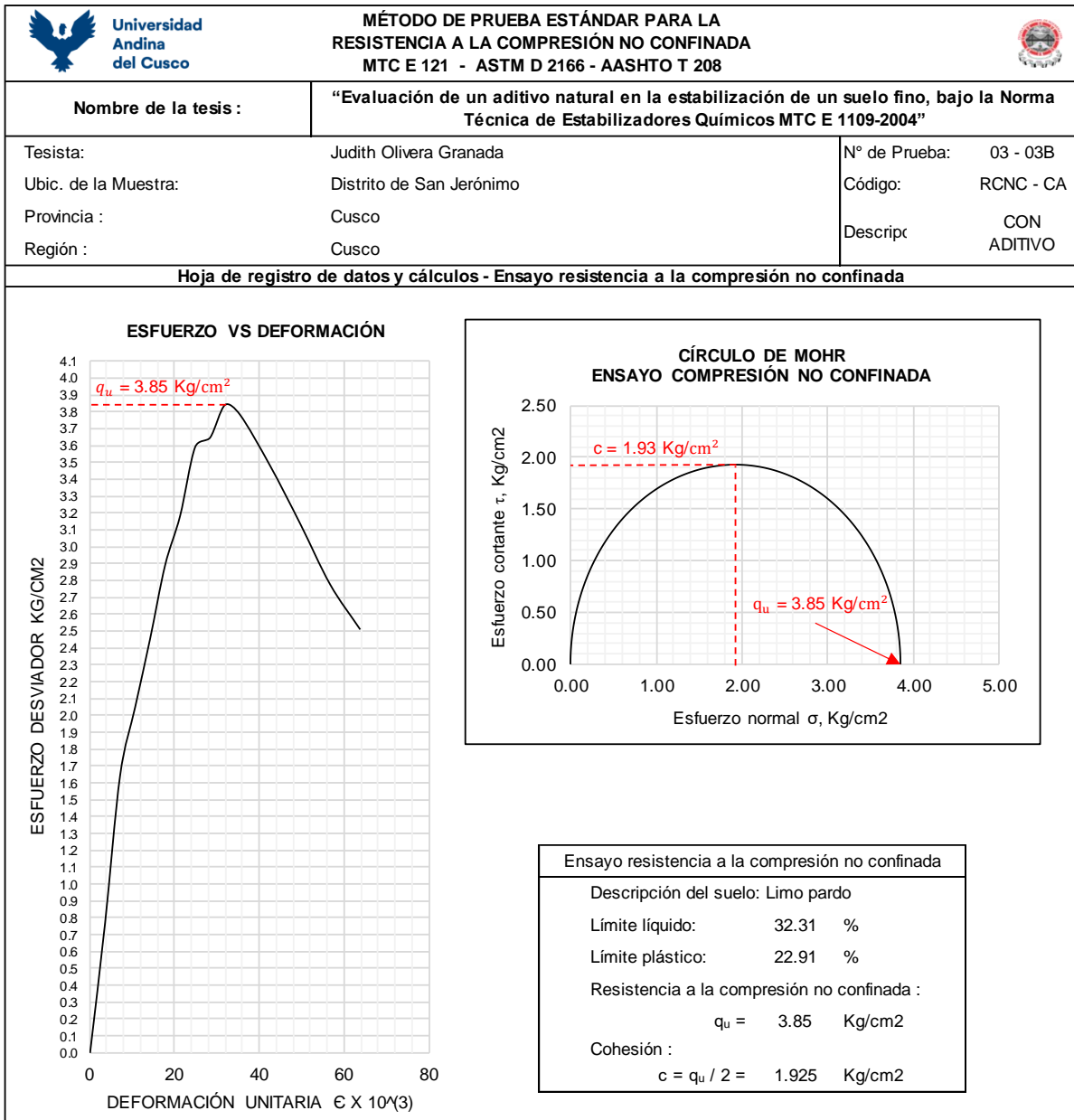
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 108** Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la compresión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 3-b)

Universidad Andina del Cusco		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208						
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"						
Tesisista:		Judith Olivera Granada				N° de Prueba: 03 - 03B		
Ubic. de la Muestra:		Distrito de San Jerónimo				Código: RCNC - CA		
Provincia :		Cusco				Descripción: CON ADITIVO		
Región :		Cusco						
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Resistencia a la compresión no confinada</b>								
Descripción del suelo: Limo pardo								
Límite líquido:		32.31 %	Límite plástico:		22.91 %	Índice plástico: 9.40%		
Datos de la muestra:		03 - 03B						
Diámetro:		33.00 mm	Área Ao :		8.55 cm <sup>2</sup>	Altura, Lo: 72 mm		
Volumen:		61.58 cm <sup>3</sup>	Peso:		114.39 g	Peso unitario húmedo: 1.86 g/cm <sup>3</sup>		
Contenido de Humedad		w% :		20.1%	Peso unitario seco: 1.65 g/cm <sup>3</sup>			
Lectura del deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra $\Delta L$ (mm)	Deformación unitaria $\epsilon = \Delta L / L_0$	Deformación unitaria $\epsilon \times 10^4 (\%)$	Área CF 1 - $\epsilon$	Área Corregida A' (cm <sup>2</sup> )	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma = P' / A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0000	0.00	0.00	0.00
10	12.00	0.25	0.00	3.5	0.9965	8.58	6.61	0.77
20	30.50	0.51	0.01	7.1	0.9929	8.61	14.16	1.64
30	39.20	0.76	0.01	10.6	0.9894	8.64	17.71	2.05
40	48.00	1.02	0.01	14.1	0.9859	8.68	21.30	2.45
50	57.50	1.27	0.02	17.7	0.9823	8.71	25.17	2.89
60	64.00	1.53	0.02	21.2	0.9788	8.74	27.82	3.18
70	73.00	1.78	0.02	24.7	0.9753	8.77	31.49	3.59
80	74.50	2.04	0.03	28.3	0.9717	8.80	32.11	3.65
90	79.00	2.29	0.03	31.8	0.9682	8.83	33.94	3.84
100	78.00	2.55	0.04	35.4	0.9646	8.87	33.53	3.78
120	72.00	3.05	0.04	42.4	0.9576	8.93	31.09	3.48
140	65.00	3.56	0.05	49.5	0.9505	9.00	28.23	3.14
160	57.50	4.07	0.06	56.6	0.9434	9.07	25.17	2.78
180	52.00	4.58	0.06	63.6	0.9364	9.13	22.93	2.51
Resistencia a la compresión no confinada :					$q_u =$	3.85	Kg/cm <sup>2</sup>	
Cohesión :					$q_u / 2 =$	1.93	Kg/cm <sup>2</sup>	

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 67** Esfuerzo versus deformación (Muestra 3-b con aditivo)



**Fuente:** Elaboración propia



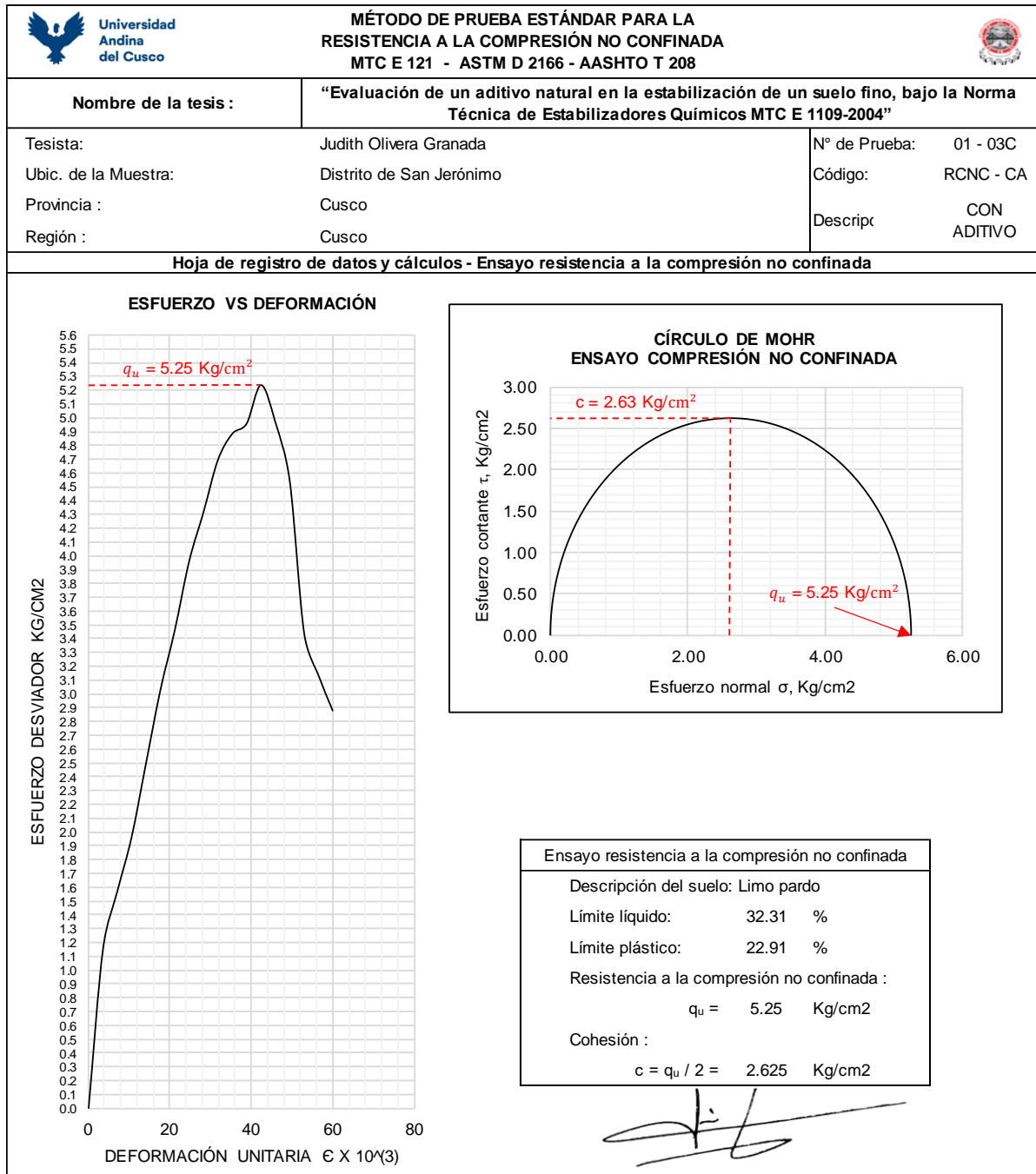
**Tabla 109** Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la compresión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 1-c)

 Universidad Andina del Cusco		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208									
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"									
Tesisista:		Judith Olivera Granada				N° de Prueba:		01 - 03C			
Ubic. de la Muestra:		Distrito de San Jerónimo				Código:		RCNC - CA			
Provincia :		Cusco				Descripción:		CON ADITIVO			
Región :		Cusco									
<b>Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Resistencia a la compresión no confinada</b>											
Descripción del suelo: Limo pardo											
Límite líquido:		32.31	%	Límite plástico:		22.91	%	Índice plástico:		9.40%	
Datos de la muestra:		01 - 03C									
Diámetro:		33.00	mm	Área Ao :		8.55	cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:		72 mm	
Volumen:		61.58	cm <sup>3</sup>	Peso:		114.39	g	Peso unitario húmedo:		1.86 g/cm <sup>3</sup>	
Contenido de Humedad				w% :		19.6%	%	Peso unitario seco:			1.68 g/cm <sup>3</sup>
Lectura del deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del deformímetro de cara Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra ΔL. (mm)	Deformación unitaria ε = ΔL/Lo	Deformación unitaria ε x 10 <sup>3</sup> (%)	Área CF 1 - ε	Área Corregida A' (cm <sup>2</sup> )	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra σ = P'/A' (kg/cm <sup>2</sup> )			
0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0000	0.00	0.00	0.00			
10	20.00	0.25	0.00	3.5	0.9965	8.58	9.88	1.15			
20	29.00	0.51	0.01	7.1	0.9929	8.61	13.55	1.57			
30	37.50	0.76	0.01	10.6	0.9894	8.64	17.01	1.97			
40	49.00	1.02	0.01	14.1	0.9859	8.68	21.70	2.50			
50	60.50	1.27	0.02	17.7	0.9823	8.71	26.40	3.03			
60	70.00	1.53	0.02	21.2	0.9788	8.74	30.27	3.46			
70	81.00	1.78	0.02	24.7	0.9753	8.77	34.76	3.96			
80	89.00	2.04	0.03	28.3	0.9717	8.80	38.02	4.32			
90	97.50	2.29	0.03	31.8	0.9682	8.83	41.49	4.70			
100	102.00	2.55	0.04	35.4	0.9646	8.87	43.32	4.89			
110	104.00	2.80	0.04	38.9	0.9611	8.90	44.14	4.96			
120	110.50	3.05	0.04	42.4	0.9576	8.93	46.79	5.24			
130	105.00	3.31	0.05	46.0	0.9540	8.97	44.55	4.97			
140	96.00	3.56	0.05	49.5	0.9505	9.00	40.88	4.54			
150	72.00	3.82	0.05	53.0	0.9470	9.03	31.09	3.44			
160	65.50	4.07	0.06	56.6	0.9434	9.07	28.44	3.14			
170	60.00	4.33	0.06	60.1	0.9399	9.10	26.19	2.88			
Resistencia a la compresión no confinada :						qu =	5.25	Kg/cm <sup>2</sup>			
Cohesión :						qu / 2 =	2.63	Kg/cm <sup>2</sup>			

Fuente: Elaboración propia





**Figura 68** Esfuerzo versus deformación (Muestra 1-c con aditivo)



**Fuente:** Elaboración propia



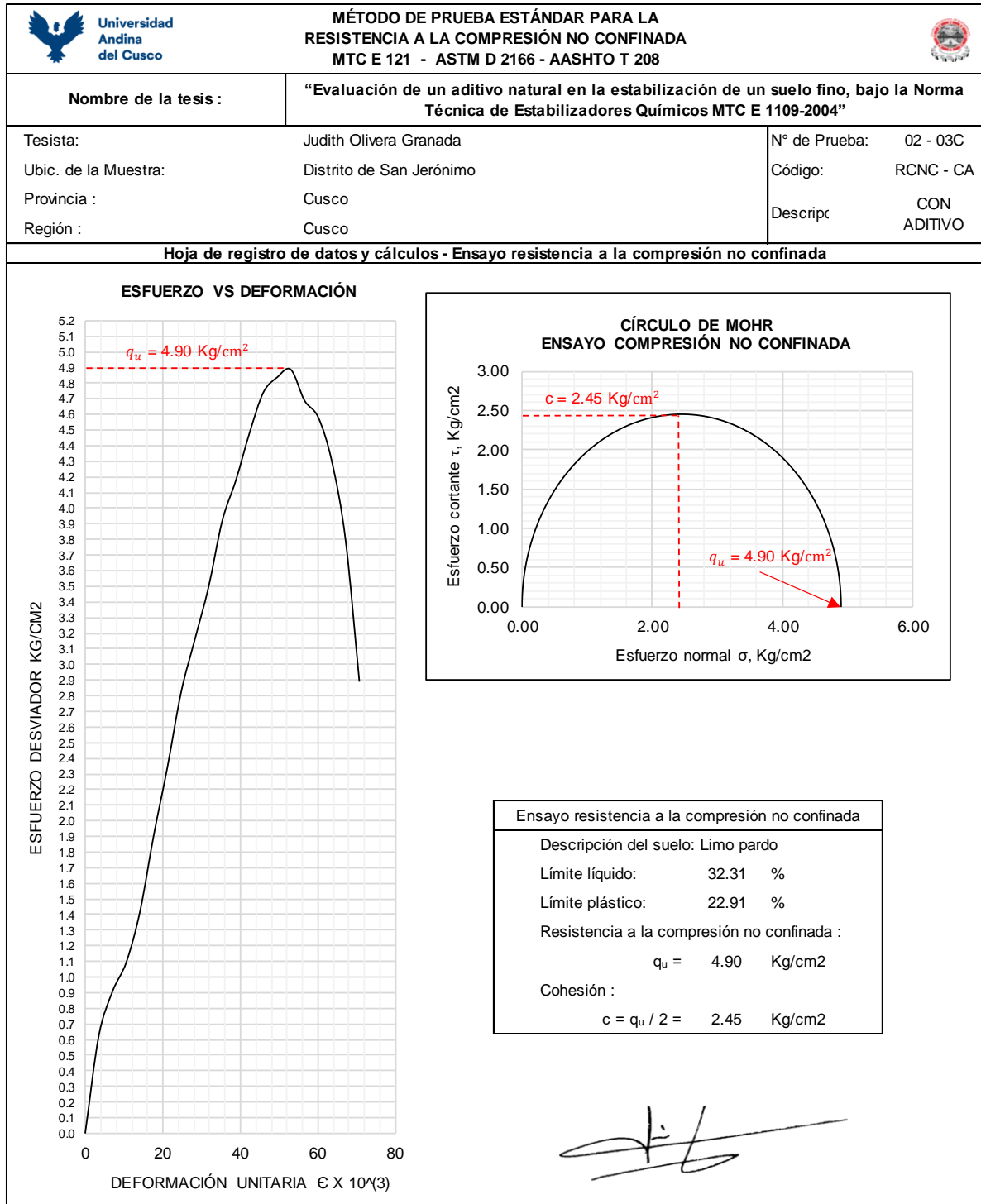
**Tabla 110** Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la compresión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 2-c)

		<b>MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA</b> MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208								
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"								
Tesisista:		Judith Olivera Granada				N° de Prueba: 02 - 03C				
Ubic. de la Muestra:		Distrito de San Jerónimo				Código: RCNC - CA				
Provincia :		Cusco				Descripción: CON ADITIVO				
Región :		Cusco								
Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Resistencia a la compresión no confinada										
Descripción del suelo: Limo pardo										
Límite líquido:		32.31	%	Límite plástico:		22.91	%	Índice plástico:	9.40%	
Datos de la muestra:		02 - 03C								
Diámetro:		33.00	mm	Área Ao :		8.55	cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:		72 mm
Volumen:		61.58	cm <sup>3</sup>	Peso:		114.39	g	Peso unitario húmedo:		1.86 g/cm <sup>3</sup>
Contenido de Humedad				w% :		20.0%	%	Peso unitario seco:		1.67 g/cm <sup>3</sup>
Lectura del deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra $\Delta L$ (mm)	Deformación unitaria $\epsilon = \Delta L / L_0$	Deformación unitaria $\epsilon \times 10^4 (\%)$	Área CF 1 - $\epsilon$	Área Corregida A' (cm <sup>2</sup> )	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma = P' / A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )		
0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0000	0.00	0.00	0.00		
10	9.00	0.25	0.00	3.5	0.9965	8.58	5.39	0.63		
20	15.00	0.51	0.01	7.1	0.9929	8.61	7.84	0.91		
30	19.00	0.76	0.01	10.6	0.9894	8.64	9.47	1.10		
40	26.00	1.02	0.01	14.1	0.9859	8.68	12.32	1.42		
50	36.50	1.27	0.02	17.7	0.9823	8.71	16.61	1.91		
60	46.00	1.53	0.02	21.2	0.9788	8.74	20.48	2.34		
70	56.50	1.78	0.02	24.7	0.9753	8.77	24.76	2.82		
80	64.00	2.04	0.03	28.3	0.9717	8.80	27.82	3.16		
90	71.50	2.29	0.03	31.8	0.9682	8.83	30.88	3.50		
100	81.00	2.55	0.04	35.4	0.9646	8.87	34.76	3.92		
110	87.00	2.80	0.04	38.9	0.9611	8.90	37.20	4.18		
120	94.00	3.05	0.04	42.4	0.9576	8.93	40.06	4.49		
130	100.00	3.31	0.05	46.0	0.9540	8.97	42.51	4.74		
140	102.50	3.56	0.05	49.5	0.9505	9.00	43.53	4.84		
150	104.00	3.82	0.05	53.0	0.9470	9.03	44.14	4.89		
160	100.00	4.07	0.06	56.6	0.9434	9.07	42.51	4.69		
170	98.00	4.33	0.06	60.1	0.9399	9.10	41.69	4.58		
180	92.00	4.58	0.06	63.6	0.9364	9.13	39.24	4.30		
190	81.00	4.84	0.07	67.2	0.9328	9.17	34.76	3.79		
200	61.00	5.09	0.07	70.7	0.9293	9.20	26.60	2.89		
Resistencia a la compresión no confinada :					$q_u =$	4.90	Kg/cm <sup>2</sup>			
Cohesión :					$q_u / 2 =$	2.45	Kg/cm <sup>2</sup>			

Fuente: Elaboración propia





**Figura 69** Esfuerzo versus deformación (Muestra 2-c con aditivo)



**Fuente:** Elaboración propia



**Tabla 111** Análisis de datos del ensayo, método de prueba estándar para la resistencia a la compresión no confinada del suelo fino – Con aditivo (Muestra 3-c)

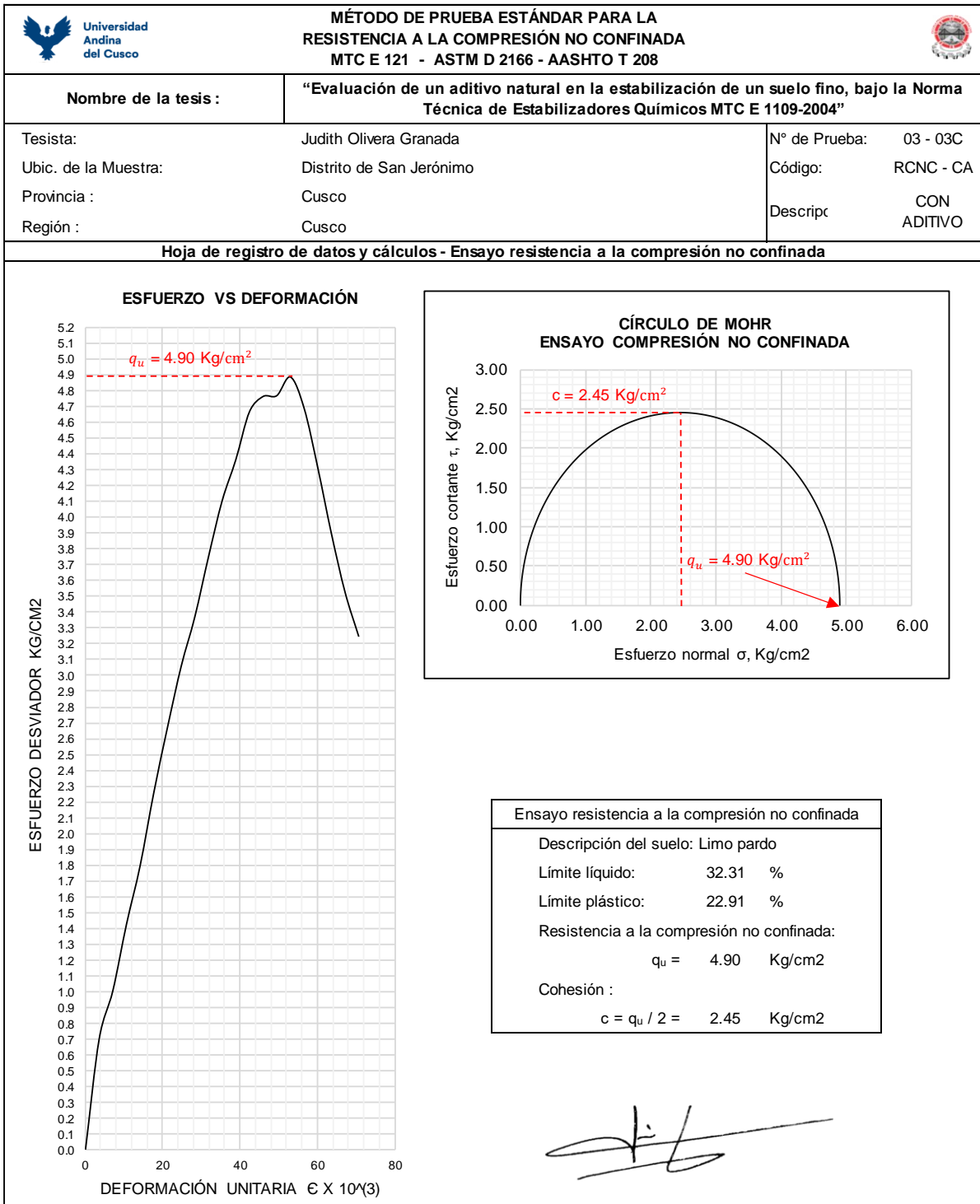
 Universidad Andina del Cusco		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208									
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"									
Tesisista:		Judith Olivera Granada				N° de Prueba:		03 - 03C			
Ubic. de la Muestra:		Distrito de San Jerónimo				Código:		RCNC - CA			
Provincia :		Cusco				Descripción:		CON ADITIVO			
Región :		Cusco									
Hoja de registro de datos y cálculos - Ensayo Resistencia a la compresión no confinada											
Descripción del suelo: Limo pardo											
Límite líquido:		32.31	%	Límite plástico:		22.91	%	Índice plástico:		9.40%	
Datos de la muestra:		03 - 03C									
Diámetro:		33.00	mm	Área Ao :		8.55	cm <sup>2</sup>	Altura, Lo:		72 mm	
Volumen:		61.58	cm <sup>3</sup>	Peso:		114.39	g	Peso unitario húmedo:		1.86 g/cm <sup>3</sup>	
Contenido de Humedad				w% :		19.6%	%	Peso unitario seco:			1.66 g/cm <sup>3</sup>
Lectura del deformímetro (Axial) Div = 0.001 pulg	Lectura del deformímetro de carga Div = 0.0001 pulg (Lbs/pulg)	Deformación de la muestra $\Delta L$ (mm)	Deformación unitaria $\epsilon = \Delta L / L_0$	Deformación unitaria $\epsilon \times 10^3$	Área CF 1 - $\epsilon$	Área Corregida A' (cm <sup>2</sup> )	Carga Total sobre la muestra P' (kg)	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma = P' / A'$ (kg/cm <sup>2</sup> )			
0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0000	0.00	0.00	0.00			
10	10.50	0.25	0.00	3.5	0.9965	8.58	6.00	0.70			
20	17.00	0.51	0.01	7.1	0.9929	8.61	8.65	1.00			
30	26.00	0.76	0.01	10.6	0.9894	8.64	12.32	1.43			
40	34.00	1.02	0.01	14.1	0.9859	8.68	15.59	1.80			
50	44.00	1.27	0.02	17.7	0.9823	8.71	19.67	2.26			
60	53.00	1.53	0.02	21.2	0.9788	8.74	23.34	2.67			
70	61.50	1.78	0.02	24.7	0.9753	8.77	26.80	3.06			
80	68.50	2.04	0.03	28.3	0.9717	8.80	29.66	3.37			
90	77.00	2.29	0.03	31.8	0.9682	8.83	33.13	3.75			
100	85.00	2.55	0.04	35.4	0.9646	8.87	36.39	4.10			
110	91.00	2.80	0.04	38.9	0.9611	8.90	38.84	4.36			
120	98.00	3.05	0.04	42.4	0.9576	8.93	41.69	4.67			
130	100.50	3.31	0.05	46.0	0.9540	8.97	42.71	4.76			
140	101.00	3.56	0.05	49.5	0.9505	9.00	42.92	4.77			
150	104.00	3.82	0.05	53.0	0.9470	9.03	44.14	4.89			
160	100.00	4.07	0.06	56.6	0.9434	9.07	42.51	4.69			
170	92.00	4.33	0.06	60.1	0.9399	9.10	39.24	4.31			
180	83.00	4.58	0.06	63.6	0.9364	9.13	35.57	3.89			
190	75.00	4.84	0.07	67.2	0.9328	9.17	32.31	3.52			
200	69.00	5.09	0.07	70.7	0.9293	9.20	29.86	3.24			
Resistencia a la compresión no confinada :						$q_u =$	4.90	Kg/cm <sup>2</sup>			
Cohesión :						$q_u / 2 =$	2.45	Kg/cm <sup>2</sup>			

Fuente: Elaboración propia





**Figura 70** Esfuerzo versus deformación (Muestra 3-c con aditivo)



**Fuente:** Elaboración propia



**c) Comentario de los resultados obtenidos en la prueba**

La resistencia a la compresión no confinada obtenida se emplea para calificar la consistencia del suelo como muy blanda, blanda, mediana, firme, muy firme y dura de acuerdo con el valor obtenido en  $\text{cm}^2$ .

**Tabla 112** *Consistencia del suelo en función a valores de Resistencia a la compresión no confinada*

Consistencia del suelo	Resistencia a la compresión no confinada	
	$\text{Kg/cm}^2$	(kpa)
Muy blanda	$< 0,25$	(< 25)
Blanda	0,25 – 0,50	(25 - 50)
Mediana	0,50 – 1,00	(50 - 100)
Firme	1,00 – 2,00	(100 - 200)
Muy firme	2,00 – 4,00	(200 - 400)

**Fuente:** Manual de ensayo de Materiales del MTC.

Los resultados muestran el valor obtenido en promedio mediante el ensayo de:

Compresión Simple sin aditivo:  $3.993 \text{ Kg/cm}^2$

Compresión Simple con aditivo:  $4.791 \text{ Kg/cm}^2$

Incrementando el valor de mejora en un  $0.798 \text{ Kg/cm}^2$  según la tabla de Consistencia del suelo en función a valores de Resistencia a la compresión no confinada el suelo en estudio pasa de tener una consistencia firme a muy firme.



## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

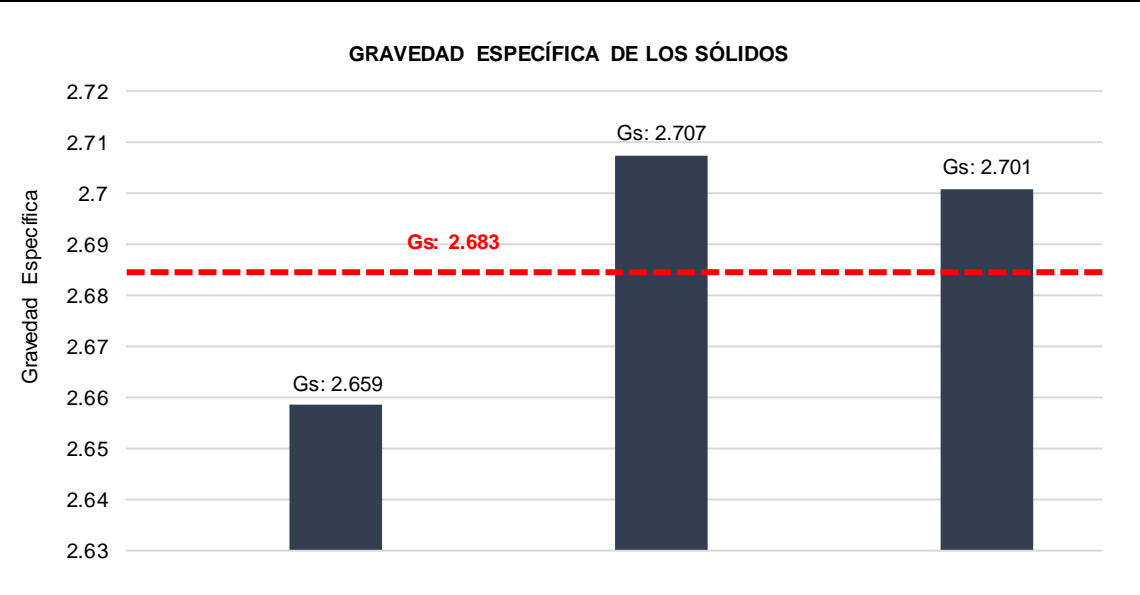
### 4.1. Características del suelo

#### 4.1.1. Tamaño de partículas

##### 4.1.1.1. Gravedad específica

**Tabla 113** Resultado de réplicas del ensayo de Gravedad específica de los sólidos.

 <b>GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS</b> MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208			
Nombre de la tesis :		"Evaluación de un aditivo natural en la estabilización de un suelo fino, bajo la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004"	
Tesista:	Judith Olivera Granada	N° de Prueba:	1,2,3
Ubic. de la Muestra:	Distrito de San Jerónimo.	Código:	ECM-GE
Provincia :	Cusco	Descripción:	Ensayo de caracterización de la muestra
Región :	Cusco		
Resultados : Ensayo de Gravedad específica de los sólidos			
Descripción		Gravedad Específica	
Gravedad específica - Réplica 1		2.659	
Gravedad específica - Réplica 2		2.707	
Gravedad específica - Réplica 3		2.701	
$\frac{\text{Mayor valor de } G_s}{\text{Menor valos de } G_s} = \frac{2.707}{2.659} = 1.0184 \leq 1.02 \text{ (Bowles, 1982)}$			
Gravedad específica promedio de los sólidos del suelo		Gs	2.683

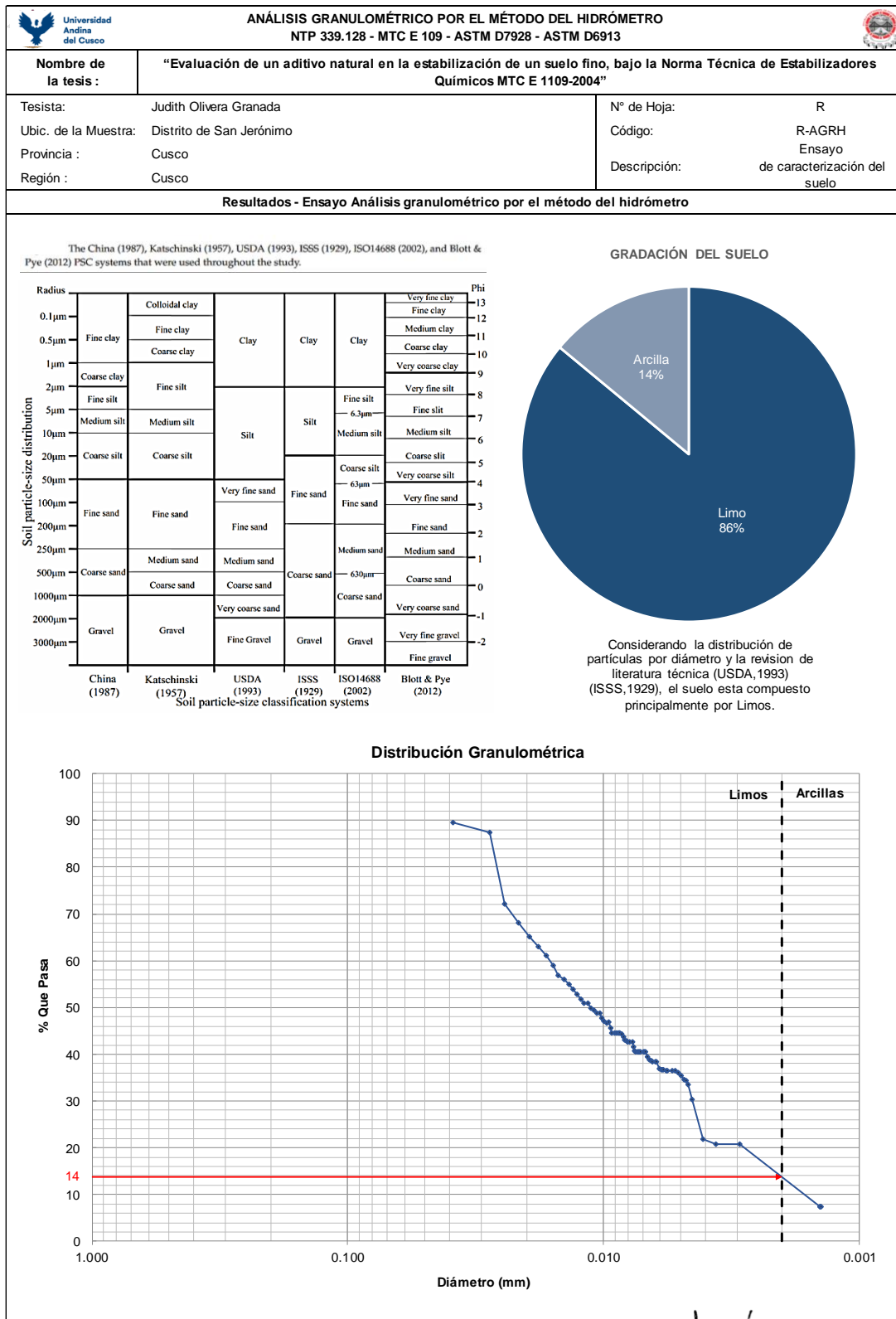
**Fuente:** Elaboración propia

Después de realizar los cálculos de las muestras del material en estudio se obtiene un promedio de 2.683 de gravedad específica.



### 4.1.1.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR HIDRÓMETRO

Tabla 114 Resultado del ensayo de granulometría del suelo por hidrómetro.



Fuente: Elaboración propia



El análisis granulométrico según la prueba de hidrómetro permite caracterizar suelos finos siendo el único método de ensayo con cierto grado de detalle para partículas de suelo de menor tamaño.

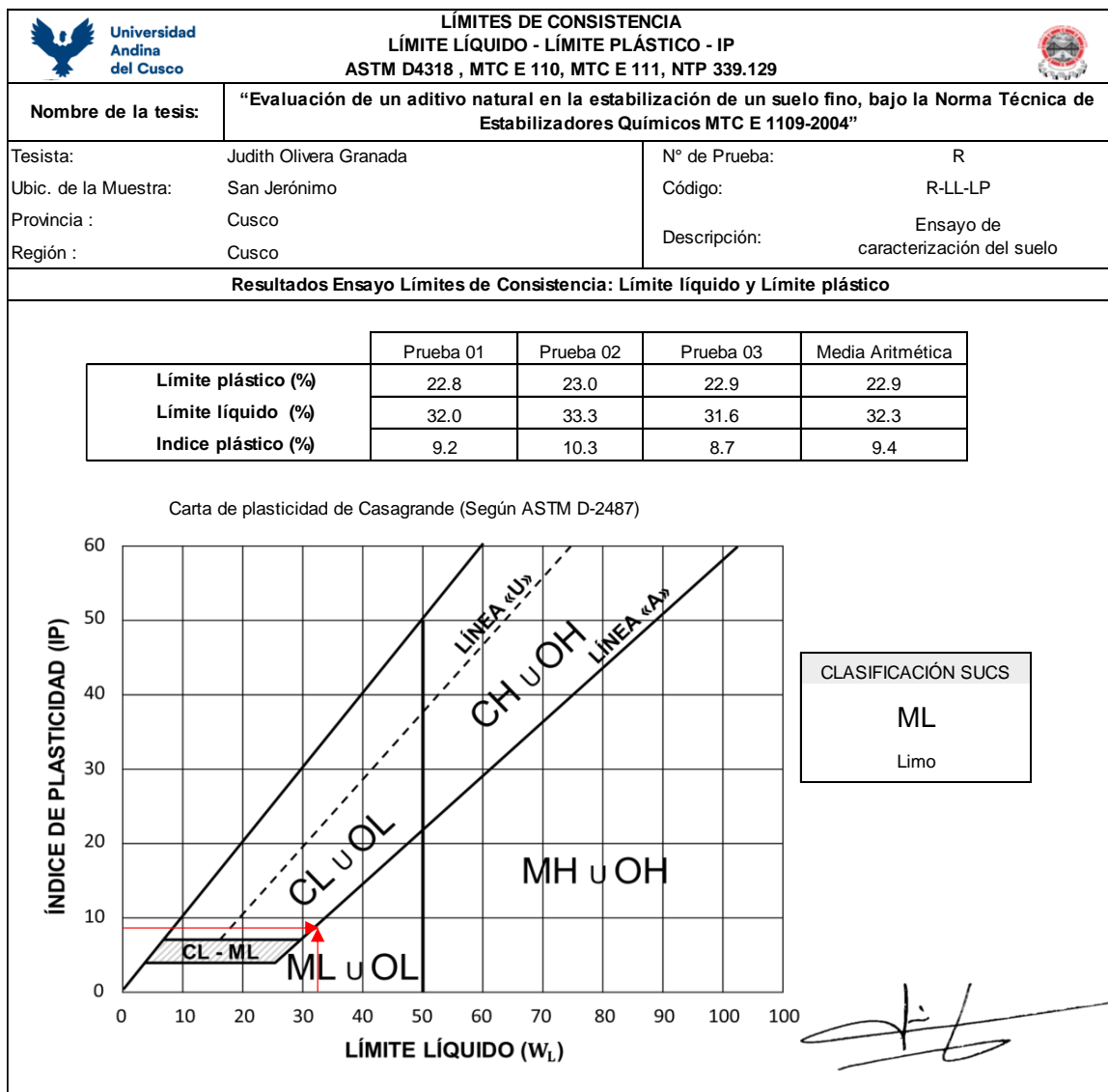
Los resultados obtenidos muestran que el suelo está compuesto por limos en un 86% y arcillas en un 14%.

Los resultados mencionados anteriormente son validados mediante los ensayos de límites líquido y plástico.

#### 4.1.1.2. Límites de consistencia.

##### 4.1.1.2.1. Límite líquido y Límite plástico

**Tabla 115** Resumen de resultados de los límites de Atterberg



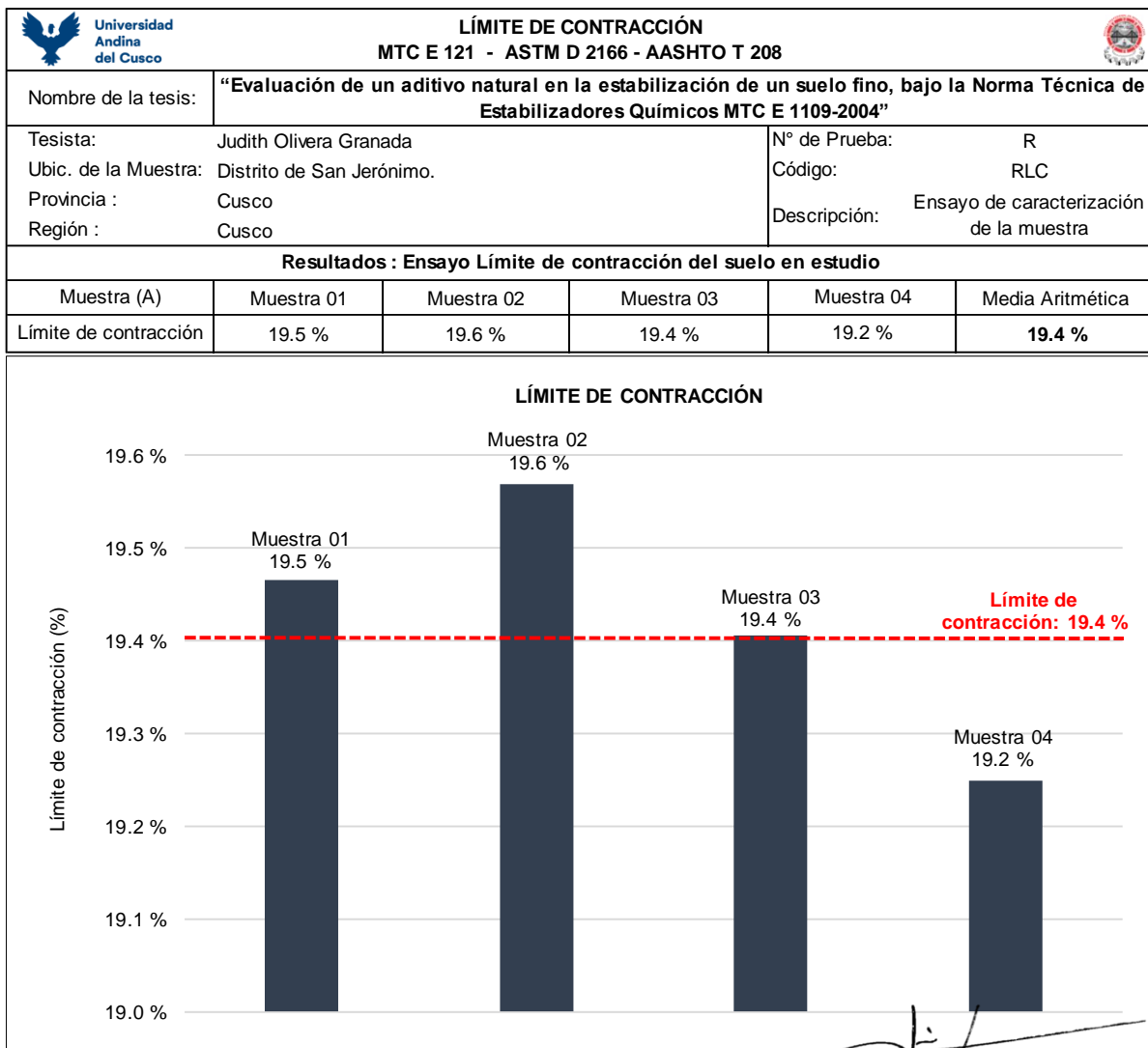
**Fuente:** Elaboración propia



Los resultados mostrados muestran de acuerdo a su clasificación SUCS en función a los ensayos de límites de Atterberg que el suelo en estudio se trata de una arcilla limosa de baja plasticidad CL. Resultados validados mediante las repeticiones realizadas a los valores y las mínimas variaciones existentes en cada uno de los valores obtenidos.

#### 4.1.1.2.2. Límite de contracción

**Tabla 116** Resultados de las réplicas del ensayo de Límite de Contracción



**Fuente:** Elaboración propia

El valor del límite de contracción permite establecer el parámetro sobre el cual el suelo en estudio no presenta un cambio adicional en su volumen siendo este valor en promedio de 19.4%.

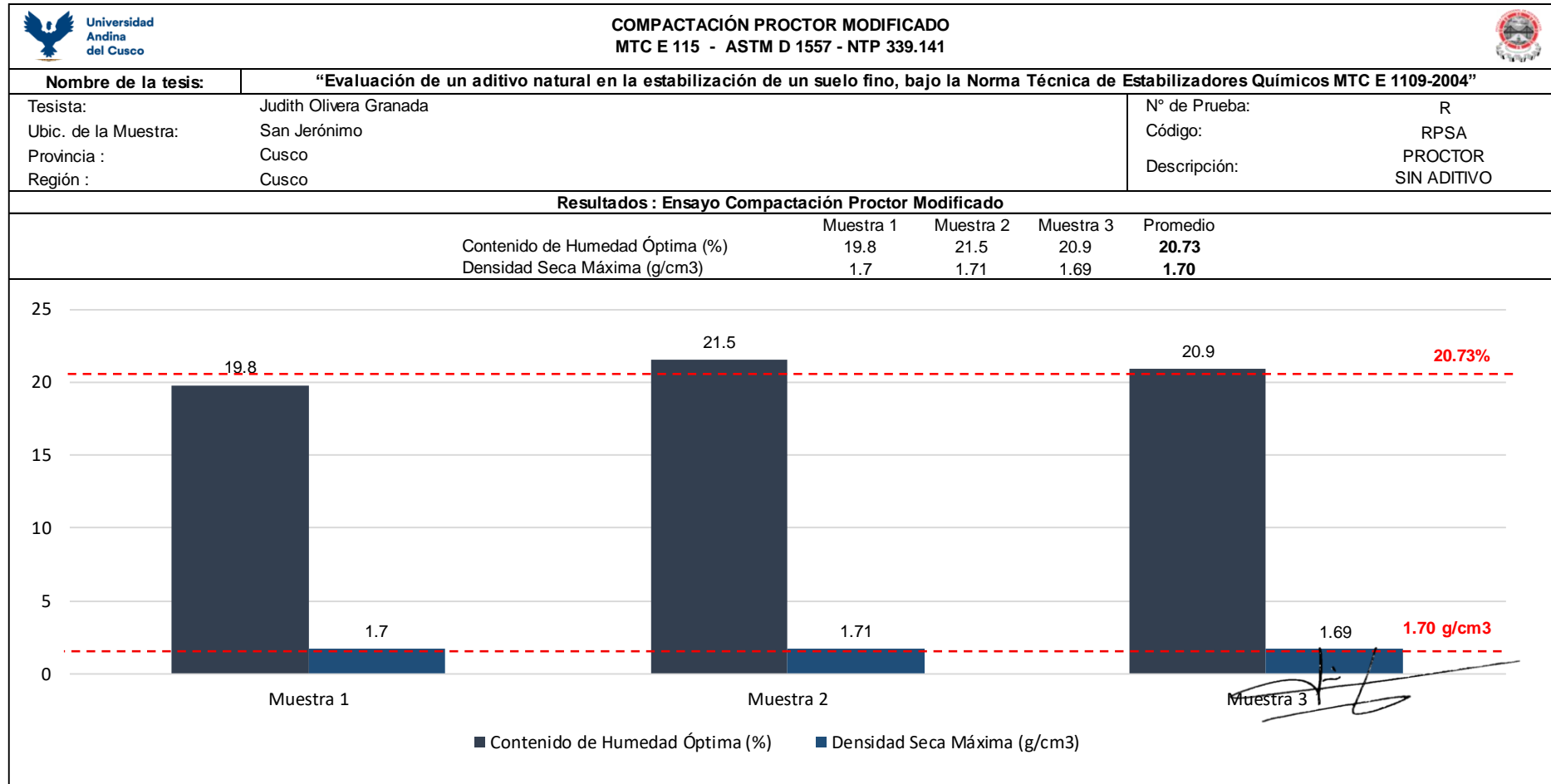
#### 4.2. Propiedades de desempeño

##### 4.2.1. Trabajabilidad



4.2.1.1. Proctor modificado

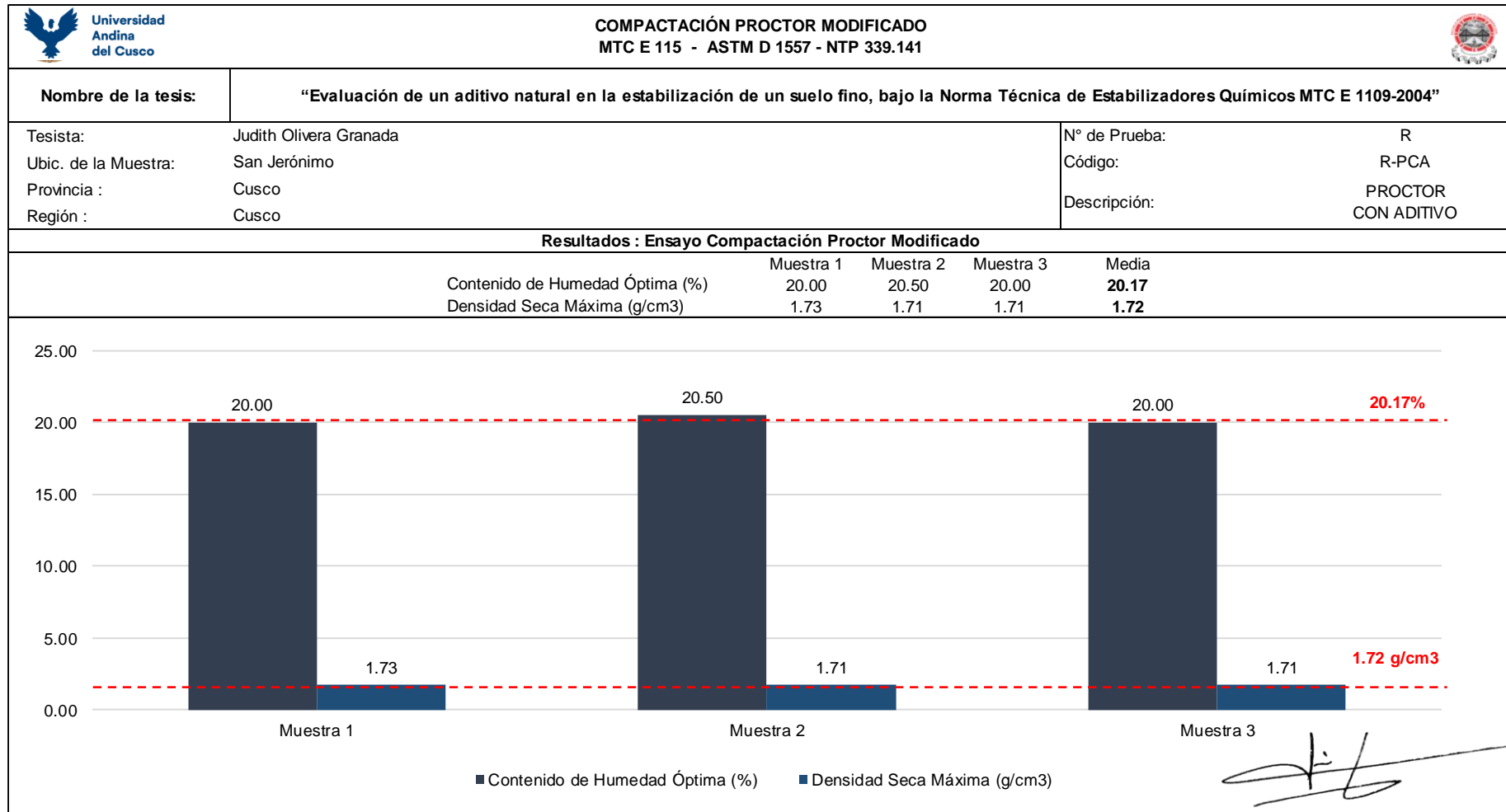
Tabla 117 Resultados del ensayo de Proctor modificado – Muestra sin aditivo



Fuente: Elaboración propia



**Tabla 118** Resultados del ensayo de Proctor modificado – Muestra con aditivo



**Fuente:** Elaboración propia





El control del contenido de humedad durante el ensayo de Proctor modificado en las réplicas de muestras con y sin aditivo permitieron la precisión en los datos obtenidos, para de esta forma poder establecer los contenidos óptimos y proseguir con la estabilización del suelo en la dosificación propuesta

El suelo en estudio presenta un reto en cuanto a la estabilización ya que, en este tipo de suelos tan complicados, pequeñas variaciones de humedad pueden hacer que sus valores se dispersen siendo imposibles analizar y poder concretar de ellos alguna conclusión provechosa como aporte de investigación.

Los valores obtenidos en cuanto a contenido de Humedad sin Aditivo y con aditivo difieren uno del otro mínimamente.

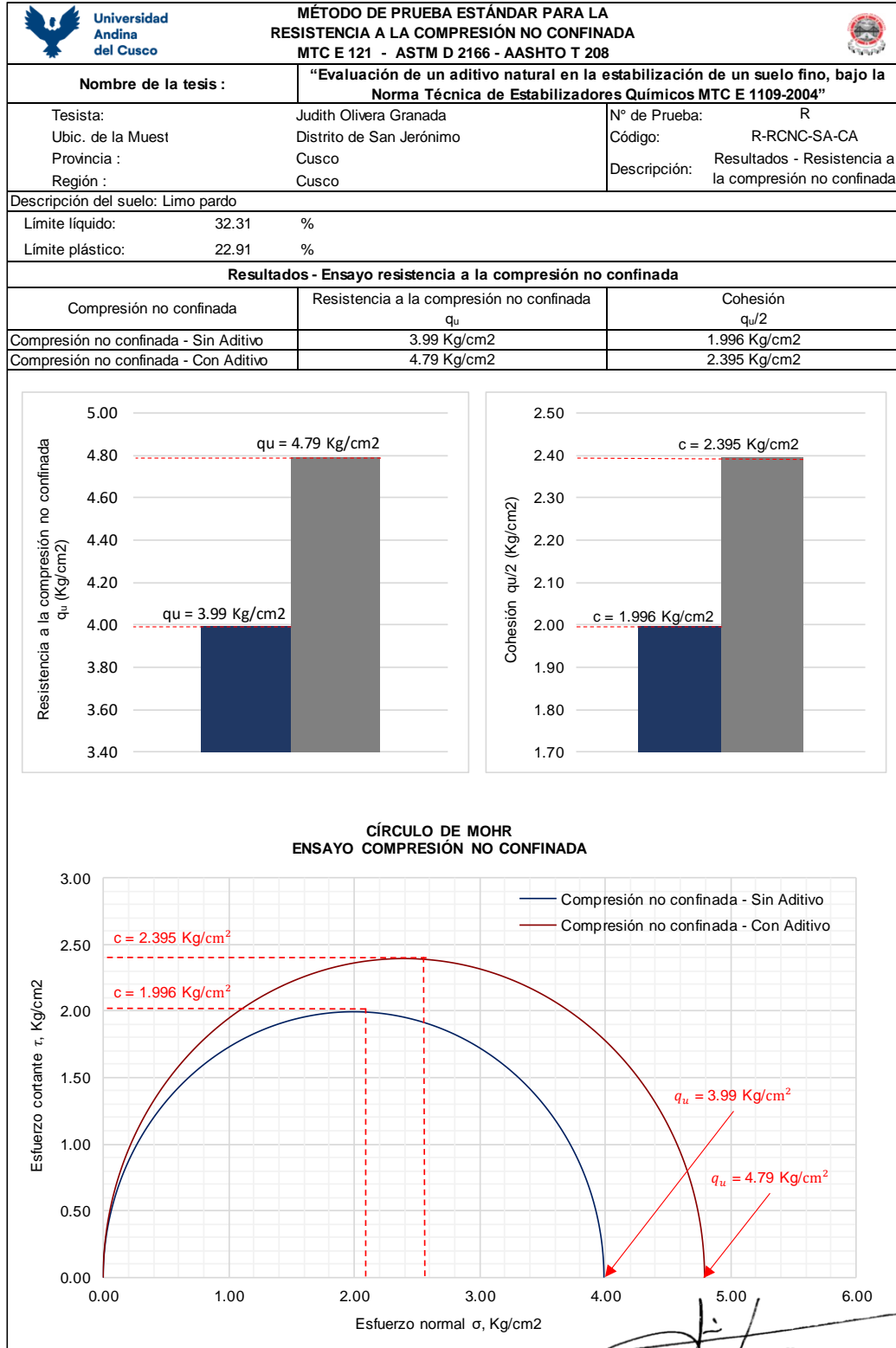
Se observa una reducción en el valor del contenido óptimo del agua en relación al suelo con aditivo y sin aditivo es de 0.56%

Densidad Seca Máxima ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ) se incrementa mínimamente en  $0.02 \text{ gr}/\text{cm}^3$

## 4.2.2. Capacidad de soporte

### 4.2.2.1. Resistencia a la compresión no confinada

**Tabla 119** Resultados del ensayo de compresión no confinada



Fuente: Elaboración propia



Los resultados muestran que la tendencia de barras es ascendente, esto refleja una mejora significativa de 20% de incremento en la resistencia a la compresión no confinada que aporta el aditivo propuesto en la estabilización de suelos.



## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

### **Discusión N° 01:**

**¿Cuál es el procedimiento a seguir para evaluar si un aditivo es o no recomendable para los trabajos de estabilización?**

En el estudio se utilizó la norma técnica de estabilizadores químicos que se describe en el Manual de ensayo de materiales del E 1109 – 2004 que además indica la caracterización del estabilizador y la evaluación de las propiedades de comportamiento del suelo mejorado.

Con el cual se pudo verificar que el aditivo propuesto cumple con las características necesarias como estabilizante sobre una o varias de las propiedades de desempeño.

En el estudio se definieron primeramente características propias del aditivo.

Luego se realizaron los ensayos de referentes a la caracterización del suelo para identificar las características iniciales del suelo en estudio.

Las propiedades de desempeño posteriormente permitirían poder observar los cambios que produce el aditivo propuesto en el material en estudio.

### **Discusión N° 02:**

**¿De acuerdo a los resultados obtenidos con la normativa utilizada se puede decir que el estabilizador es efectivo?**

- En la propiedad de desempeño: Trabajabilidad que se realiza mediante el ensayo Proctor Modificado se produce una mejora en la disminución del contenido de humedad optima en 0.56% que requiere el suelo para llegar a su máxima densidad seca. Lo que visto en un proyecto de infraestructura se resumiría en una disminución del costo de ejecución de obra.
- En la propiedad de desempeño: Capacidad de soporte evaluada por medio del ensayo de Resistencia a la compresión no confinada, los resultados obtenidos muestran un incremento del 20% en el esfuerzo principal que soporta la muestra.

Como indica la normativa que en ensayos realizados sobre probetas estabilizadas y sobre probetas no estabilizadas, si los resultados obtenidos sobre las primeras mejoran una propiedad de desempeño de las segundas, entonces se dice que el estabilizador es efectivo.



### **Discusión N° 03:**

#### **¿Cuál fue el mecanismo de elección del suelo en estudio y por qué se utiliza un solo tipo de suelo en todo el estudio?**

Para la validación de un estudio se utilizarían por lo menos 3 tipos de suelos a estabilizar sin embargo ello requiere una gran cantidad de muestra lo que era una limitante para el estudio ya que estamos hablando de aproximadamente 300 kg por tipo de suelo, en total se estaría hablando de 900 kg de muestra de suelo, cada una preparada de tal forma que permita que cada porción de muestra sea significativa, para la obtención de resultados desde la caracterización del suelo y principalmente en las propiedades de desempeño en las cuales se preparan probetas sin estabilizar y probetas estabilizadas con el aditivo con sus respectivas repeticiones para que puedan ser adecuadamente validadas y así evitar errores en los resultados obtenidos.

Por ello y siendo el principal objetivo de la investigación la demostración de que el aditivo propuesto funciona utilizando las propiedades de desempeño más significativas, se opta por hacer ensayos preliminares tomando tres muestras de suelo y escogiendo aquella que posea valores mínimos de resistencia, siendo esta muestra la que se utilizó durante todo el desarrollo de la investigación.

### **Discusión N° 04:**

#### **¿Por qué buscar nuevas alternativas de aditivos para estabilización de suelos?**

Ciertamente en la actualidad encontramos aditivos comerciales que pueden ser utilizados sin embargo eso no significa que se puedan encontrar otras alternativas de estabilizantes que puedan tener un mayor potencial de uso. Y ello solo se puede lograr con el estudio de nuevas propuestas que permitan satisfacer en mayor nivel las exigencias de diversos proyectos de infraestructura, muy aparte de ello la diversidad de flora de nuestro país y la cantidad de materia prima que tenemos a disposición puede abrir un camino a encontrar mejores propuestas que a largo o mediano plazo puedan incrementar la posibilidad de mejora de diversos tipos de suelos. Especialistas en el área indican que muchos de los aditivos comerciales, pese que sus manuales informativos contienen información sobre el mecanismo a implementar para el uso y mejora de suelos, realmente al ser aplicados en laboratorio y en campo no muestran los resultados que indican, he ahí la importancia de diferentes propuestas de nuevos aditivos que puedan suplir las exigencias de cada proyecto y sus variables respectivas.

### **Discusión N° 05:**

#### **¿Cuál fue el procedimiento de elección de la propuesta de aditivo utilizada en el estudio?**



Se realizó la evaluación de posibles materiales con potencial como estabilizadores de suelos que se hayan usado para similares usos en antiguas culturas peruanas y realizó la delimitación de uso de acuerdo a los siguientes criterios:

- Innovación y revalorización en el material a usar
- Que la materia prima este a disposición para el uso en la cantidad necesaria durante todo el proceso de investigación y no se encuentre en peligro de extinción para evitar la depredación del mismo.
- Que permita una mejora sustancial en referencia a las demás propuestas.
- La validación del proceso de obtención del aditivo el cual se registró en una patente propia.

El aditivo paso por cada una de estas facetas siendo estas los más trascendentales, hasta poder ser empleada en el presente estudio de investigación.

#### **Discusión N° 06:**

##### **¿Qué acción tiene el aditivo químico propuesto en la estabilización de suelos?**

La estabilización de suelos es un proceso de alteración de las propiedades de ingeniería de suelo in situ que toma un costo más bajo y con mejor control de calidad donde el aditivo mejora el comportamiento del suelo; cuando las arcillas son dispersas en el caso de la utilización de un aditivo químico este se utiliza para flocular las partículas dispersando ligeramente sus partículas y ayudando en el proceso con la adición de este agente u energía de unión de partículas ya que el aditivo utilizado tiene la característica de ser una sustancia viscosa similar a un goma (mucilago).

Se debe tener en cuenta que el aditivo utilizado en el presente estudio es un producto enzimático el cual se encuentra dentro de los estabilizadores químicos.

#### **Discusión N° 07:**

##### **¿Cuál es la importancia de rescatar tecnologías ancestrales y ponerlas a prueba desde el punto de vista de la Ingeniería?**

El hombre a lo largo de la historia ha ido proponiendo diferentes materiales de construcción, cada una de las practicas se fueron mejorando poco a poco bajo un sistema de prueba y error, hasta que se pudieron establecer parámetros de evaluación con los cuales se obtienen datos para estimar valores que son considerados en el diseño de infraestructuras como se realiza hoy en día, así mismo estos mecanismos irán mejorando y cambiando con el pasar del tiempo con el



estudio de nuevas alternativas de evaluación y la propuesta de otros materiales capaces de afrontar diferentes retos para satisfacer el ingenio y la necesidad humana de generar mayor desarrollo que satisfagan las necesidades de las nuevas generaciones.

Las culturas a lo largo de nuestro territorio y todo el mundo generaron conocimiento uso y aplicaciones de diferentes materias primas para diferentes usos, los cuales no necesariamente fueron registrados, pero sin embargo su utilización permitió la construcción de admirables obras de ingeniería, por ello la importancia de continuar investigando estos materiales o similares a ellos.

La ingeniería a diferencia del trabajo que realizan los arqueólogos permite poder cuantificar, evaluar y analizar estos materiales a través de pruebas mecánicas que brindan como resultado la resistencia y otras propiedades útiles aplicables a infraestructuras ingenieriles en el presente.

#### **Discusión N° 08:**

##### **¿Cómo fue la elección del procedimiento para la evaluación del suelo con el aditivo propuesto?**

Como primer paso se pensó en utilizar como principal parámetro el valor de la resistencia a la compresión mediante el valor de resistencia a la compresión que se obtiene como resultado del ensayo de relación de soporte California CBR sin embargo al comenzar a realizar las pruebas preliminares se pudo concluir que este no era el más adecuado para poder demostrar la utilidad del aditivo en suelos finos por ello se recurrió a la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos que brinda las indicaciones de los ensayos propicios a realizar de acuerdo al tipo de suelo sobre el cual se aplica el aditivo estabilizante la cual indica el uso del ensayo de resistencia a la compresión no confinada lo que permitió poder visualizar resultados que permitieran ser evaluados y comparados con referencia al suelo sin estabilizar y el suelo estabilizado.

#### **Discusión N° 09:**

##### **¿Qué aportes resultaron como producto de la investigación?**

Teniendo en cuenta teóricamente que el contenido de humedad es una propiedad importante para la clasificación de suelos finos y como determinante en su comportamiento ya que modifica su consistencia.

En la presente investigación se implementó la obtención del contenido de humedad de cada muestra ensayada para cada uno de los ensayos realizados desde aquellos referentes a las



características del suelo hasta los ensayos referidos a la evaluación de las propiedades de desempeño.

El control del contenido de humedad previa a cada uno de los ensayos fue muy riguroso ya que en un inicio se presentaron dificultades en replicar los resultados obtenidos, que al añadir esta sección como parte preliminar de cada ensayo permitió controlar variaciones mínimas de humedad en el suelo y hacer posible la réplica de los ensayos.

Solo el añadir este procedimiento permitió validar los resultados obtenidos.

Por ellos es importante mencionar que el contenido de humedad en suelos finos tiene una gran incidencia y puede hacer que los resultados tengan gran diferenciación unos de otros. Siendo este el principal factor que se tuvo que tener en cuenta para la precisión de los resultados obtenidos durante el estudio.

#### **Discusión N° 10:**

##### **¿Cuáles fueron los principales aportes de la investigación?**

Una de los aportes más importantes obtenidos de la presente investigación fue que se logró precisar el procedimiento a seguir para la validación en propuesta y aplicación para el uso de un aditivo para estabilización de suelos finos que es un aporte para futuras investigaciones que se deseen hacer en el área de materiales de la construcción.

#### **Discusión N° 11:**

##### **¿Qué temas nuevos se abordaron durante la investigación?**

Esta investigación es la primera que evalúa el aditivo con la materia prima Austrocyllindropuntia subulada y abre la posibilidad de seguir investigando las propiedades de esta como material de construcción incluyendo diferentes variables.





## GLOSARIO

- **Aglomerante:** Sustancias capaces de lograr adherencia entre diferentes materiales, además logra mayor cohesión para obtener resistencia con que soportar las cargas.
- **Anegamiento:** Acción de cubrir un lugar de agua, sumergir con agua un determinado objeto. Inundación.
- **Argamasa o mortero:** Destinado a procurar una distribución regular de las cargas sobre las hiladas, asegurando la pegadura de las piedras.
- **Capacidad de Soporte:** Carga por unidad de superficie que produce una deformación prevista para diferentes condiciones de carga.
- **Comportamiento ante cambios de humedad:** Capacidad del suelo de soportar variaciones importantes en una o más de sus propiedades de desempeño a consecuencia de fenómenos naturales (Cambios estacionales) o artificiales (anegamientos, drenaje u otros).
- **Compresibilidad:** Es la capacidad de un suelo de deformarse ante la transmisión de cargas.
- **Estabilización de suelos:** Concepto que hace referencia al mejoramiento de las propiedades físicas y/o mecánicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos y/o físico - químicos.  
Nota 1. La norma técnica peruana extiende esta definición a la estabilización de estructuras de suelo tipo base o subbase de pavimentos, suelos utilizados como carpetas de rodado y aquellos suelos que comprometen a una subrasante de un camino.
- **Estabilizador de suelos:** Producto químico, natural o sintético, que por su acción y/o combinación con el suelo, mejora una o más de sus propiedades de comportamiento.
- **Módulo Resiliente:** Es un estimativo del módulo elástico, basado en medidas de esfuerzo y deformación a partir de cargas rápidas repetidas, similares a las que experimentan los materiales del pavimento bajo la acción del tránsito. No es una medida de la resistencia, pues el material no se lleva a rotura, sino que retorna a su tamaño y forma originales.
- **Mordiente:** Dan mayor consistencia al mortero, compuesto por gravas pequeñas elementos vegetales, huesos quemados, fragmentos de cerámica, etc.
- **Mucílago:** Resina acuosa que se ubica en el mesófilo de las hojas.



- **Precisión:** Grado de concordancia entre los resultados de tres o varias pruebas independientes obtenidos bajo condiciones especificadas según normativa o criterios especificados y sustentados
- **Procesos Edáficos:** Procesos relacionados con la génesis, estructura, dinámica y evolución (desarrollo) de los suelos.
- **Propiedades de desempeño:** Características de comportamiento del suelo desde el punto de vista de la ingeniería.
- **Resistencia:** Se refiere a la capacidad de transmitir carga sin sufrir daños en su estado original, una de las formas más adecuadas para mejorar esta propiedad es por medio de la estabilización mecánica o física.
- **Sangrar agua:** Agua expulsada del suelo debido a la deformación o compactación.
- **Sedimentación:** Se trata de una operación de separación sólido-fluido en la que las partículas sólidas de una suspensión, más densas que el fluido, se separan de éste por la acción de la gravedad. Es una operación controlada por la transferencia de cantidad de movimiento.
- **Suelo y material:** Los términos se utilizan indistintamente en todas las normas.
- **Trabajabilidad:** Facilidad para mezclar el suelo, colocarlo, enrasarlo y compactarlo.



## CONCLUSIONES

### **Conclusión N° 01:**

Se logró demostrar la hipótesis General la cual menciona que “El aditivo natural tiene una gran influencia en la estabilización de un suelo fino, para su uso como material de construcción” ya que cumple todas las sub hipótesis, las cuales se refieren a la mejora sustantiva del suelo en estudio con respecto a la mejora de las propiedades de desempeño.

### **Conclusión N° 02:**

Se logró demostrar la Sub Hipótesis N° 01 la cual menciona que “El aditivo natural tiene una gran influencia en la trabajabilidad del suelo fino al ser estabilizado, para su uso como material de construcción”.

Debido a que mediante el ensayo de Proctor modificado se muestra una notable mejora en los resultados pues para llegar a la máxima densidad seca se reduce el contenido óptimo de agua.

### **Conclusión N° 03:**

Se logró demostrar la Sub Hipótesis N° 02 la cual menciona que el aditivo natural tiene una gran influencia en la humedad óptima del suelo fino al ser estabilizado, para su uso como material de construcción.

Ya que de acuerdo a la evaluación que se hizo a la muestra mediante el ensayo de Proctor modificado sin aditivo y con aditivo se demostró una disminución en el contenido de la humedad optima utilizada para llegar a la máxima densidad seca del suelo del 20.73% a 20.167%

### **Conclusión N° 04:**

Se logró demostrar la Sub Hipótesis N° 04 la cual menciona que “El aditivo natural tiene una gran influencia en la capacidad de soporte del suelo estabilizado, para su uso como material de construcción”.

Lo que se muestra en los resultados obtenidos mediante el incremento del valor de compresión simple sin aditivo de 3.993 Kg/cm<sup>2</sup> y con aditivo 4.791 Kg/cm<sup>2</sup>.



**Conclusión N° 05:**

Se logró demostrar la Sub Hipótesis N° 05 la cual menciona que “El aditivo natural tiene una gran influencia en la estabilidad bajo el agua del suelo estabilizado, para su uso como material de construcción”.

La cual se pone en evidencia al incrementar el valor obtenido mediante el ensayo de compresión inconfinaada.



## RECOMENDACIONES

### **Recomendación Nro. 01:**

Se recomienda que para la evaluación de propiedades de comportamiento del suelo mejorado en el caso del uso de la propuesta de un aditivo se tiene que haber establecido los lineamientos de uso y aplicación antes de poder hacer la pruebas que establece el ministerio de transportes y comunicaciones en la norma técnica de estabilizadores químicos.

### **Recomendación Nro. 02:**

Como recomendación principal para posteriores investigaciones en el tema, se sugiere superar la cantidad de datos, con el fin de obtener mayores resultados para cada grupo de suelo fino.

### **Recomendación Nro. 03:**

En el momento de analizar la confiabilidad y representatividad de los resultados encontrados, se debe tener en cuenta que la investigación es una prueba piloto y que sus resultados antes de utilizarlos necesitan de un mayor estudio que confirmen los resultados encontrados en esta investigación.

### **Recomendación Nro. 04:**

Se recomienda variar la proporción de aditivo para la obtención de mejores resultados ya que la ficha técnica proporciona una dosificación del 60% de aditivo y 40% de agua que se utiliza en función al contenido de humedad óptimo del suelo.

### **Recomendación Nro. 05:**

No existe una correlación apropiada para poder determinar el valor de CBR con muestras remoldeadas por lo que se sugiere poder abordar este tema en una futura investigación.

### **Recomendación Nro. 06:**

Se recomienda que el proceso a seguir para el estudio de un aditivo en suelos finos específicos en temas de investigación debe iniciar por definir un procedimiento propio para este tipo de suelos.

### **Recomendación Nro. 07:**

Las condiciones de remoldeo en el ensayo de compresión inconfiada son un factor muy incidente en los resultados por lo que es un punto a evaluar en futuros estudios.



**Recomendación Nro. 08:**

Ciertamente hay estudios que relacionan el valor de CBR con las capas de pavimento y afirmado pero este ensayo no se ajusta para poder evaluar suelos finos y en la norma de estabilización química de suelos es indicado para evaluar suelos granulares. Por ellos se recomienda seguir evaluando la metodología a emplear para la validación de aditivos y la correcta evaluación de las propiedades de comportamiento del suelo mejorado.



## REFERENCIAS

- Alger, M. S. (1997). *Polymer science dictionary*. Alemania: Springer Science and Business Media.
- Álvarez Zeballos, P. J. (03 de Febrero de 2016). *Usos e importancia de las cactáceas en la cultura Churajón*. Obtenido de [file:///E:/INVESTIGACIONES%20MUCILAGO/CULTURA%20CHURAJ%C3%93N%20\(DPTO.%20AREQUIPA\).pdf](file:///E:/INVESTIGACIONES%20MUCILAGO/CULTURA%20CHURAJ%C3%93N%20(DPTO.%20AREQUIPA).pdf)
- Álvarez, P. (28 de Agosto de 1999). *Usos e importancia de las cactaceas en la cultura churajón*. Obtenido de <http://cuminca.des.scix.net/data/contrib/att/b402.content.04567.pdf>
- Álvarez, P., & Cáceres, F. (2003). Usos e importancia de las cactáceas en la cultura Churajón. *Quepo* 17, 20-27.
- Anderson, E. F. (2001). *The Cactus Family*. Timber Press, 1.
- Apuntes Ingeniería Civil. (20 de Junio de 2017). Obtenido de Métodos de Estabilización de Suelos.: <http://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2011/03/metodos-estabilizacion-de-suelos.html>
- Araujo, W. (15 de Junio de 2016). *Ecuaciones de correlación del CBR con propiedades índice de suelos para la ciudad de Piura*. . Obtenido de Universidad de Piura, Perú: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/2192/ICI\\_208.pdf?Sequence=1](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/2192/ICI_208.pdf?Sequence=1)
- Bakshi, M., & Varma, A. (2011). Soil enzyme: The state-of-art. En G. Shukla, & A. Varma, *Soil enzymology* (págs. 1-23). Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Blasco, C., & Ramos, L. J. (1980). *Cerámica Nasca*. España: Valladolid.
- Calderón, J. F., Jackson, L. E., Scow, K. M., & Rolston, D. E. (2000). Microbial responses to simulated tillage in cultivated and un cultivated soils. *Soil Biol. Biochem.* 32, 1547-1559.
- Caral, A. D. (5 de Mayo de 2018). Utilización de mucílago en diferentes construcciones del antiguo Perú. (J. O. Granada, Entrevistador)
- Cervantes-Martínez, C. V., Medina-Torres, L., Gonzáles-Laredo, R. F., Calderas, F., Sánchez-Olivares, G., Herrera-Valencia, E. E., . . . Rodríguez-Ramírez, J. (2014). Study of spray drying of the Aloe vera mucilage (Aloe vera barbadensis Miller) as a function of



- its rheological properties. *LWT-Food Science and Technology*, 55. *LWT-Food Science and Technology*, 55, 426-435.
- Chen, H. H., Xu, S. Y., & Wang, Z. (2006). Gelation properties of flaxseed gum. *Journal of Food Engineering*, 295-303.
- Cheng, L., Dick, W. A., & Wang, P. (2000). Soil acid and alkaline phosphatase activity as pH adjustment indicators. *Soil Biol. Biochem.* 32, 1915-1919.
- Chenu, C., Bissonnais, L., & Arrouays., D. (2000). Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64, 1479-1486.
- Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones (4ta ed.)*. México: Limusa, S.A. de C.V.
- Cusco, P. D. (23 de Diciembre de 2016). Utilización de mucílago en construcciones del antiguo Perú en el departamento de Cusco. (J. O. Granada, Entrevistador)
- Dexter, A. R. (2004). Soil physical quality part I. Theory effect of soil texture, density, and organic matter, and effect on root growth. *Geoderma*, 201-214.
- Domene, C. (05 de Setiembre de 2017). *Opuntia Subulata – Alfileres de Eva*. Obtenido de <http://blogs.ua.es/cactus/2011/12/15/opuntia-subulata-alfileres-de-eva/>
- Doran, J. W., Drijber, R. A., Lyon, D. J., & Parkhurst, A. M. (2000). Changes in soil microbial community structure with tillage under long-term wheat–fallow management. *Soil Biol. Biochem.* 32, 1419-1430.
- Duru, B., & Turker, N. (2005). Changes in physical properties and chemical composition of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) during maturation. *J. Prof. Assoc. Cactus Develop.* 7, 22-33.
- Duwayne, A. (1969). Effects of temperature and heat on engineering behavior of soils., (pág. 309).
- El Comercio. (27 de Diciembre de 1995). Estabilizante para mezclas de tierra. *El Comercio*, pág. 1.
- Espino-Díaz, M., Ornelas-Paz, J. J., Martínez-Téllez, M. A., Santillán, C., Barbosa-Cánovas, G. V., Zamudio-Flores, P. B., & Olivas, G. I. (2010). Development and characterization of edible films based on mucilage of *Opuntia ficus-indica* (L). *Journal of Food Science* 75(6), E347-E352.
- Hernández, R. (2006). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.
- Juárez, E., & Rico, A. (2007). *Mecánica de suelos I, II Fundamentos de la mecánica de suelos (2da ed.)*. México: Limusa, S.A. de C.V.





- Kandeler, E., Nannipieri, P., & Ruggiero, P. (2002). Enzyme activities and microbiological and biochemical processes in soil. En R. G. Burns, & R. P. Dick, *Enzymes in the environment: Activity, ecology and applications*. Marcel Dekker. (págs. 1-33). New York, NY, USA.: Marcel Dekker.
- Koocheki, A., Mortazavi, S. A., Shahidi, F., Razavi, S. M., & Taherian, A. R. (2009). Rheological properties of mucilage extracted from *Alyssum Homolocarpum* seed as a new source of thickening agent. *Journal of Food Engineering*, 91(3), 490-496.
- León-Martínez, F. M., Méndez-Lagunas, L. L., & Rodríguez-Ramírez, J. (2010). Spray drying of nopal mucilage (*Opuntia ficus-indica*): Effects on powder properties and characterization. *Carbohydrate Polymers*, 81(4), 864-870.
- León-Martínez, F. M., Rodríguez-Ramírez, J., Medina-Torres, L. L., Lagunas, L. M., & Bernad-Bernad, M. J. (2011). Effects of drying conditions on the rheological properties of reconstituted mucilage solutions (*Opuntia ficus-indica*). *Carbohydrate Polymers* 84(1), 439-445.
- Martínez, W., Alonzo, E. M., Rubio, J. C., Bedolla, J. A., Velasco, F. A., & Torres, A. A. (2008). Comportamiento Mecánico de Morteros de Cal Apagada Artesanalmente, Adicionados con Mucílago de Cactácea y Ceniza Volcánica, para su uso en Restauración y Conservación de Monumentos Coloniales. *Revista de la construcción*, 93-101.
- Matsuhiro, B., Lillo, L. E., Sáenz, C., Urzúa, C. C., & Zárate, O. (2006). Chemical characterization of the mucilage from fruits of *Opuntia ficus indica*. *Carboh. Pol.* 63, 263-267.
- Mcgarvie, D., & Paloris, H. (1979b). The mucilage of *Opuntia ficus-indica*. Part 2. The degraded polysaccharide. *Journal of the Chemical Society, Perkin Transactions*, 1464-1466.
- Medina Torres, L., Brito de la fuente, E., Torrestiana Sanchez, B., & Katthain, R. (2000). Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). *Food Hydrocolloids*, 14(5), 417-424.
- Medina-Torres, L., García-Cruz, E. E., Calderas, F., González Laredo, R. F., Sánchez-Olivares, G., Gallegos-Infante, J. A., . . . Rodríguez-Ramírez, J. (2013). Microencapsulation by spray drying of gallic acid with nopal mucilage (*Opuntia ficus indica*). *LWT-Food Science and Technology*, 50, 642-650.



- Ministerio de Transportes y Comunicaciones . (25 de Marzo de 2017). *Dirección General de Caminos y Ferrocarriles DGC y F-Perú*. Obtenido de MTC E 1109-2004 Norma Técnica de Estabilizadores Químicos : <http://www.ageecovias.net/files/Norma-tecnica-de-estabilizadores-quimicos---MTC.pdf>
- Muñoz Bojorges, J. C., Quintero Lizaola, R., Pérez Nieto, J., Valdés Velarde, E., García Favela, B., & Rojas Acosta, M. (24 de Setiembre de 2016). *SCIELO ARTICLES*. Obtenido de Comportamiento de la actividad enzimática del suelo al aplicar mucílago de nopal ( *Opuntia spp.*): [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?Script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792015000200161](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?Script=sci_arttext&pid=S0187-57792015000200161)
- Muñoz López, C. N. (2016). *Caracterización reológica de mucílago de Opuntia ficus-indica en flujo cortante*. Yautepec: Instituto Politécnico Nacional, Centro de desarrollo de productos Bióticos.
- Muñoz, L. A., Cobos, A., Diaz, O., & Aguilera, J. M. (2012). Chia seeds: Microstructure, mucilage extraction. *Journal of Food Engineering 108 (1)*, 216-224.
- Ndjouenkeu, R., Goycoolea, F. M., Morrissa , E. R., & Akingbala, J. O. (1996). Rheology of okra (*Hibiscus esculentus L.*) And dika nut (*Irvingia gabonensis*) polysaccharides. *Carbohydrate Polymers*, 263-269.
- Obtenido de Apuntes Ingeniería Civil. (11 de Junio de 2017). *Métodos de Estabilización de Suelos*. Obtenido de <http://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2011/03/metodos-estabilizacion-de-suelos.html>
- Olivera Granada, J. (2017). *Perú Patente n° 002838*.
- Olivera Granada, J. (2019). Propuesta de un estabilizante ancestral modificado para la mejora de suelo fino en carreteras. *Asociación Nacional de Estudiantes de Ingeniería Civil del Perú-ANEIC PERÚ*, 57-64.
- Oztolaza, C. (1994). Horizonte Preagrícola. *Quepo 8*, 79-86.
- Ostolaza, C. (1995). El Periodo Formativo. *Quepo 9*, 73-82.
- Ostolaza, C. (1996). La Cultura Paracas. *Quepo 10*, 42-49.
- Ostolaza, C. (1997). La Cultura Nazca. *Quepo 11*, 79-86.
- Ostolaza, C. (1998). La Cultura Moche. *Quepo 12*, 62-68.
- Ostolaza, C. (1999). Culturas Wari y Chimú. *Quepo 13*, 32-37.
- Ostolaza, C. (2000). El Imperio de los Incas. *Quepo*, 14-23.
- Ostolaza Nano, C. (2014). *Todos los Cactus del Perú*. Lima: Ministerio del Ambiente.



- Pardo Briceño, O. (13 de Junio de 2019). *Chloris chilensis*. Obtenido de Revista chilena de flora y vegetación.: <http://www.chlorischile.cl/pardo/pardoppal.htm>
- Parra Craviotto, L. (24 de Junio de 2015).  
[https://elpais.com/elpais/2015/06/23/eps/1435058986\\_867319.html](https://elpais.com/elpais/2015/06/23/eps/1435058986_867319.html). Obtenido de [https://elpais.com/elpais/2015/06/23/eps/1435058986\\_867319.html](https://elpais.com/elpais/2015/06/23/eps/1435058986_867319.html)
- Pereira, C. (12 de Setiembre de 2017). *Opuntia subulata*. Obtenido de Naturaleza Espinosa: <http://naturalezaespinosa.blogspot.pe/2009/08/opuntia-subulata.html>
- Piacenza, L., & Ostolaza, C. (2002). Cahuachi y la Cultura Nazca. *Quepo 16*, 22-27.
- Pozzi, D. (2014). *Conservación en arquitectura de tierra*. Lima: Peru: Ministerio de Cultura.
- Quispe, Y., Chara Azurin, A., Latorre Llanos, C., Granilla Cora, Y., Poccori Puma, W., Quispe Ccalla, G., . . . Anaya Barrios, H. (2019). Raqchi el santuario de Wiracocha. *Atlantis*, 10-14.
- Reyna, V., & Flores, J. (2001). El uso del “San Pedro” (*Echinopsis pachanoi*) en medicina tradicional peruana. *Quepo 15*, 28-37.
- Rivera-Corona, J. L., Rodríguez-González, F., Rendón-Villalobos, R., García-Hernández, E., & Solorza-Feria, J. (2014). Thermal, structural and rheological properties of sorghum starch with cactus mucilage addition . *LWT-Food Science and Technology*, 59(2), 806-812.
- Saag., L. M., Sanderson, G. R., Moyna, P., & Ramos, G. (1975). Cactaceae mucilage composition. *Journal of the Science of food and Agriculture* 26(7), 993-1000.
- Sáenz, C. (2002). Cactus pear fruits and cladodes: A source of functional components for foods. *Acta Hortic.* 581, 253-263.
- Sáenz, C., Sepúlveda, E., & Matsuhiro, B. (2004). *Opuntia* spp. Mucilage's: A functional component with industrial perspectives. *J. Arid Environ.* 57, 275-290.
- Sepúlveda, E., Sáenz, C., Aliaga, E., & Aceituno, C. (2007). Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *J. Arid Environ.* 68, 534-545.
- Singer, F. A., Taha, F. S., Mohamed, S. S., Gibriel, A., & El-Nawawy, M. (2011). Preparation of mucilage/protein products from flaxseed. *American Journal of Food Technology*, 260-278.
- Snyman, H. A. (2006). A greenhouse study on root dynamics of cactus pears, *Opuntia ficus-indica* and *O. Robusta*. *J. Arid Environ* 65, 529-542.



- Tiessen, H., & Stewart, J. W. (1988). Light and electron microscopy of stained microaggregates: The role of organic matter and microbes in soil aggregation. *Biogeochemistry* 5, 312-322.
- Towle, M. (1961). *The ethnobotany of the pre-columbian Peru*. Chicago: Aldine Publishing Company.
- Trachtenberg, S., & Mayer, A. M. (1981a). A Stereological Analysis of the Succulent Tissue of *Opuntia ficus-indica* (L) Mill.: I. Development of mucilage cells. *Journal of Experimental Botany*, 32(130), 1091-1103.
- Velarde Nuñez , O. (2006). Algunos alcances sobre el origen de la Tuna en el Perú. *Zonas Áridas N°10*, 174-181.
- Yacovleff, E., & Herrera, F. L. (1934). El mundo vegetal de los antiguos peruanos. *Revista del Museo Nacional* 3, 243-322.



## ANEXOS



#### 4.3. Anexo 1. Artículo científico

XXVII Congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería Civil  
Concurso de Ponencias Estudiantiles  
Puno, Perú. 2019



### PROPUESTA DE UN ESTABILIZANTE NATURAL ANCESTRAL MODIFICADO PARA LA MEJORA DE SUELO COHESIVO EN CARRETERAS

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

Judith Olivera Granada<sup>1</sup>

**Área:** Suelos y Geotecnia

**Resumen:** La durabilidad de las carreteras está íntimamente relacionado con la calidad de los elementos que la componen: la subrasante, sub base y base, el entorno y las propiedades del suelo utilizado más aun cuando se trata de carreteras construidas sobre suelos cohesivos que son altamente susceptibles a daños prematuros, debido a agentes erosivos como el agua, el hielo, el viento, los cambios térmicos y condiciones de humedad, factores cambiantes y propios de cada región geográfica del país. La técnica más utilizada para mejorar las propiedades geotécnicas del suelo es mediante su estabilización con aditivos de tipo mecánico o químico lo que incrementa los costos de construcción de carreteras, por ello es de suma importancia proponer nuevos materiales que permitan economizar la inversión que implica la estabilización de este tipo de suelos. Este estudio se ocupa del tratamiento del suelo cohesivo con la propuesta de un aditivo estabilizante natural a base de mucilago obtenido como subproducto del cactus de nombre común Pataquisca y de nombre científico *Austrocylindropuntia Subulata* (denominado en adelante PT-AS), usado como estabilizante en suelo cohesivo de tipo limo de baja plasticidad (denominado en adelante SC-ML), en una dosificación en porcentaje de agua 40% y mucilago en 60% del contenido óptimo de agua o de la humedad de compactación propuesta cercana al contenido óptimo de agua; para ello se utilizó el ensayo del valor de soporte california (CBR) como principal indicador de la resistencia al esfuerzo cortante que alcanza el suelo estabilizado con relación al suelo sin estabilizar, encontrando por ejemplo en uno de los resultados un incremento en su resistencia de 9% de CBR en un suelo sin estabilizante, a valores de 21% y 54% de CBR en el suelo estabilizado, incrementando hasta en 6 veces su valor inicial, lo que indica de acuerdo al manual de carreteras del MTC que puede llegar a mejorar una subrasante de regular a buena o excelente si así lo ameritara el proyecto. Por ello se puede deducir que el aditivo estabilizante PT-AS posee un alto potencial como agente estabilizador de suelo cohesivo; es importante mencionar que la materia prima del aditivo estabilizante propuesto crece en zonas áridas y semiáridas a lo largo de todo el Perú, es de fácil crecimiento, de rápida adaptación a otros climas y su plantación posee bajos requerimientos agronómicos, lo que hace de la propuesta factible, además esta especie de cactus es considerada como maleza de carácter invasivo, la importancia de esta investigación es darle un uso proponiéndola en construcción de carreteras como aditivo estabilizante, un nuevo material que permita una notable mejora de la resistencia de este tipo de suelos, los resultados de esta investigación muestran un suelo, que al emplear el estabilizante se obtiene un amplio rango de diferencia entre el suelo sin estabilizar y el suelo estabilizado. Esta investigación muestra una propuesta un nuevo producto para la mejora de las propiedades geotécnicas de un suelo cohesivo y tiene su origen en una minuciosa investigación sobre el conocimiento ancestral producto de toda la impresionante herencia milenaria de las múltiples culturas del antiguo Perú, como la Cultura Inca y pre Incas, el conocimiento y el adecuado manejo de sus recursos, el dominio de su geografía para la construcción de sus edificaciones y medios de comunicación como el Qhapaq Ñan (asombrosa red de caminos que se extendió a lo largo de todo el imperio Incaico), asimismo el conocimiento de su territorio y la utilización de la gran biodiversidad de especies de plantas para diferentes fines como el uso del San Pedro en emboquillados de muros

1



en la cultura Chavín, el Jahuacollay en tarrajeo de edificaciones usado en la cultura Inca y el Pataquisca PT-AS como parte de la mezcla del mortero para mejorar de la consistencia y durabilidad del mismo en las edificaciones de la cultura Churajon, lo que llevo a una de las primeras hipótesis del uso del mucilago de Pataquisca como un potencial aditivo mejorador de las propiedades geotécnicas de suelos problemáticos para su uso como subrasante en carreteras, con el fin de que estos suelos cumplan con las solicitaciones mínimas de resistencia que indica la normativa; así como este conocimiento fue el punto de inicio para proponer un nuevo aditivo estabilizante para la mejora de suelo cohesivo SC-ML, esta investigación pretende inspirar en la investigación de otras plantas usadas en la antigüedad que pueden ser el punto de inicio para la innovación de nuevos productos que nos ayuden a dar mayor perpetuidad a nuestras construcciones ingenieriles. La labor del ingeniero Civil en el área de investigación es amplia ya que nosotros no solo nos podemos limitar a dar soluciones convencionales a las problemáticas que se presentan en obra, sino también podemos proponer mediante estudios, nuevos materiales para poder construir obras que cumplan con los requerimientos en calidad, durabilidad y normativa, para el beneficio de la población, además considerando que poseemos una gran variedad y riqueza de conocimiento ancestral que debe ser estudiado y utilizado. Ciertamente el Perú es un país mega diverso, posee 25000 especies de flora identificadas, de esta 4500 plantas nativas de usos conocidos, esta investigación muestra que especies de plantas que hoy en día para muchos de nosotros son conocidas y hasta son vistas como maleza sin ningún uso aparente pueden poseer una utilidad aparentemente relacionada a la construcción que podrían sorprendernos al momento de ser puestos a prueba como insumo en la mejora de las propiedades de diferentes geo materiales u otros materiales de construcción.

**Palabras Clave:** Suelo cohesivo, estabilización, aditivo, relación de soporte California, CBR, cactácea, Austrocyllindropuntia Subulata, mucilago.

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

### 1.1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el Perú es un país en continuo crecimiento, las ciudades se van expandiendo constantemente y con ella hay la necesidad de crear nuevas rutas de acceso.

El rápido crecimiento de la población y la importancia de la interconexión entre ciudades y pueblos han hecho que sea difícil evitar áreas cubiertas por suelos cohesivos (arcilla, arcilla limosa y limo-arcillosa) (MINISTERIO DE VIVIENDA, 2018) que según empresas especialistas en el área de estudios Geotécnicos indican que casi el 80% de estudios en la sierra peruana son suelos cohesivos, que es uno de los suelos problemáticos típicos extendidos en el Perú y en el mundo, en la actualidad se han desarrollado diferentes técnicas como extracción del suelo problemático y su sustitución por un material de buena calidad o mejorar sus propiedades geotécnicas mediante su estabilización química o mecánica siendo estas las soluciones más

comunes, teniendo en cuenta que la estabilización del suelo significa la modificación de las propiedades del suelo para cumplir con los requisitos de ingeniería especificados (Kumar & Mittal, 2019), en la práctica la estabilización con cal o cemento se utilizan con más frecuencia teniendo estos un valor elevado en su aplicación, sin embargo en los últimos años hay una tendencia de sustituir los estabilizadores tradicionales con otros industriales y sub productos agrícolas debido a los recursos económicos limitados, por lo que se realizan varios estudios en la aplicación de diversos materiales como ceniza de cascara de arroz, ceniza de bagazo, ladrillo molido, ceniza de cascara de café, entre otros; esta investigación propone el uso de un nuevo material para la estabilización de suelos cohesivos, que sea económico y promueva la construcción de caminos cuya vida útil sea más prolongada debido a los beneficios que este material le da al suelo, este aditivo esta hecho a base de un producto natural, la materia prima de este aditivo es principalmente el mucilago de Pataquisca de nombre científico Austrocyllindropuntia



Subulata, este sirve como aglomerante natural en el suelo ya que posee una goma natural que hace el suelo compactado sea menos propenso a cambios al estar en contacto con el agua, esta propuesta es una nueva alternativa ecológica y no contaminante, amigable con el medio ambiente, para extender la vida útil de caminos vecinales habilitados en suelos que no cumplen con los requerimientos especificados en la normativa. La dosificación planteada para su uso es de 60% de PT-AS y 40% de agua con respecto al contenido óptimo de agua y en otros casos al contenido de humedad de compactación propuesta, que se encuentra alrededor del contenido óptimo de agua, lo que dio un incremento en el valor de CBR de 5.52% del suelo cohesivo SC-ML sin aditivo PT-AS a un valor de CBR de 33.63% en el suelo cohesivo SC-ML con aditivo PT-AS, siendo este solo uno de los resultados encontrados en el estudio, que muestra un incremento de hasta seis veces su valor de relación de soporte California; la presente investigación es la primera en estudiar el aditivo a base de materia prima PT-AS por lo que para caracterizar correctamente el aditivo estabilizante empleado, se realizaron otros estudios complementarios como la obtención de los permisos respectivos del Servicio Nacional de Flora y Fauna silvestre para la colecta de la cactácea, su identificación y uso en la investigación, la identificación mediante el herbario Vargas CUZ del tipo de especie utilizada en la investigación para la correcta caracterización de la materia prima utilizada en el aditivo PT-AS, el análisis químico del aditivo y su análisis microbiológico, en cuanto al estudio del suelo SC-ML se realizó el estudio de su composición química.

## 1.2. OBJETIVOS

El objetivo principal de esta investigación es el análisis de un suelo cohesivo (SC-ML) al añadirle un aditivo estabilizante natural PT-AS y analizar la propuesta mediante la mejora con el ensayo de relación de soporte California CBR.

Identificar cada una de las variables incidentes en la dosificación del aditivo para

ser usados en futuros estudios para la mejora de suelo cohesivo y otros tipos de suelo.

## 2. DESARROLLO

### 2.1. HIPÓTESIS

El estabilizante ancestral modificado PT-AS propuesto tiene una gran influencia en el incremento del valor de soporte California (CBR) de un suelo cohesivo.

Las características de madurez de la materia prima del PT-AS tienen una gran influencia en el incremento del valor de soporte California (CBR) de un suelo cohesivo.

### 2.2. METODOLOGÍA

#### 2.2.2. EL SUELO COHESIVO

La cohesión es la atracción entre partículas, producida por las fuerzas moleculares y las capas de agua por lo que una variación en el contenido de humedad del suelo variaría la cohesión de las partículas de este. Los suelos cohesivos tienen la característica de que en estado natural conservan el equilibrio de sus fuerzas internas, pero con la variación de su humedad se modifica la resistencia a la erosión y la plasticidad, un aumento de humedad implicaría en un suelo cohesivo pasar del estado sólido al fluido. Según la clasificación AASHTO son suelos cohesivos A-4, A-5, A-6, A-7-5, A-7-6 o según la clasificación equivalente en SUCS son CL, ML, OL, CH, MH, OH, CL-ML, correspondientes a suelos arcillosos, arcillo limoso y limo-arcilloso, este tipo de suelos son característicos de varios sectores del departamento del Cusco y el Perú, el suelo utilizado en el presente estudio pertenece a la margen derecha del distrito de San Sebastián, el punto de extracción de las muestras de suelo posee las siguientes coordenadas UTM E: -13.552616° y N: -71.913836°.

El comportamiento de este tipo de suelos produce debilitamiento en las capas del pavimento, este efecto a corto o largo plazo produciría su deterioro o colapso de esta estructura, en muchos sectores de la ciudad se



ven este tipo de fallas, lo que afecta la correcta transitabilidad de vehículos como se observa en la Ilustración 1, la fotografía muestra fisuras características del daño en la estructura del pavimento rígido a causa de la presencia de suelo cohesivo en la sub rasante, esta fue tomada de un sector de un tramo de la vía Evitamiento ubicada entre la asociación patrón San Sebastián y la asociación IASD FEDETRAC, Cusco.



ILUSTRACIÓN 1. MUESTRA DAÑOS EN LA CARRETERA.

El criterio que se utilizó para la elección del suelo cohesivo a estudiar fue aquel que posea las características más desfavorables, es así que se extrajo tres tipos de suelos del cual solo se escogió el que poseía un menor valor de CBR.

El suelo usado en esta investigación de acuerdo a AASHTO M 145 y al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS se clasifica como A-4 y ML respectivamente, limos inorgánicos arcillosos de baja plasticidad con arenas muy finas.

TABLA 1. PROPIEDADES DEL SUELO

Límites de Atterberg	Límite líquido	33.255 %
	Límite plástico	23.630 %
	Índice de plasticidad	9.62
Clasificación del suelo	AASHTO M 145 (1991)	A-4
	SUCS	ML
	Color	Amarillo
Relación de rodamiento California, CBR	CBR (%)	5.52% - 9%
	Expansión	0.06%

TABLA 2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL SUELO

Silicio (%)	SiO <sub>2</sub>	35.52
Sulfatos (%)	SO <sub>4</sub>	0.23
Cloruros (%)	Cl <sup>-</sup>	0.15
Carbonatos (%)	CO <sub>3</sub>	33.1
Calcio (%)	Ca	20.3
Magnesio (%)	Mg	2.1

Hierro (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.74
Aluminio (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.1
Materia Orgánica (%)		0.55
Humedad u otros (%)		5.21

De acuerdo a la composición química se deduce que se trata de una caliza en polvo por poseer en mayor proporción carbonato de calcio en un 53.40%.



ILUSTRACIÓN 2. SUELO COHESIVO SC-ML.

#### 2.2.2. EL MUCÍLAGO DE PATAQUISCA AUSTROCYLINDROPUNTIA SUBULATA, PT-AS

La familia Cactaceae son plantas originarias de América, estas poseen la propiedad de almacenar agua en sus tejidos, por ello se les denomina suculentas, palabra proveniente del latín "succus" que significa "jugo", ya que son plantas turgentes carnosas, jugosas, por el agua que contienen. El Perú alberga una gran variedad de cactáceas a lo largo de todo su territorio debido a que posee características geográficas particulares que crean una gran variedad de ecosistemas propicia para el crecimiento de diversas variedades de cactáceas.

Debido a las investigaciones previas realizadas se identificaron cuatro especies de cactus utilizadas por los antiguos peruanos para diferentes fines relacionados con la construcción de obras de ingeniería según la información recolectada del laboratorio físico-químico de la dirección desconcentrada del Cultura Cusco, como se muestra en la figura 3, se validó el uso de Jahuacollay en tarrajeo de viviendas y otros usos, en el Monumento Chavín de Huantar se comprobó el uso del San Pedro en emboquillados de muros de piedra como se puede observar en la Ilustración 4, estos fueron los lugares que se visitaron durante la investigación para validar

el uso de las cactáceas en construcciones del antiguo Perú.



ILUSTRACIÓN 3. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN, CUSCO.



ILUSTRACIÓN 4. TRABAJOS EN CHAVÍN DE HUANTAR, ANCASH.

Sin embargo debido a que el Jahuacollay se encuentra en peligro de extinción se desestimó su uso en la propuesta, en cuanto al mucilago de San Pedro solo se conoce que es usado en emboquillados de muros de piedra sin embargo su uso es más que todo de carácter ceremonial por diferentes culturas pre Incas como la cultura Chavín, en cuanto a la penca de Tuna su uso es muy conocido en la mejora de adobes, muy usado antiguamente por las culturas Mexicanas, actualmente existen varios estudios sobre su composición y posee diferentes aplicaciones, esta investigación desde sus inicios en 2016 pensó en la importancia de generar un nuevo aporte por lo que no solo se pensó en que el material empleado como estabilizante sea el más adecuado para la mejora de las características geotécnicas sino también sea un material que nunca antes haya sido estudiado, la abundancia del cactus Pataquisca en diferentes zonas del Cusco aun encontrándose en situación vulnerable llevo a la creencia que este también tenía un uso en las construcciones Incas o pre Incas , como las cactáceas antes mencionadas, las investigaciones posteriores mostraron que esta hipótesis era correcta ya que esta especie de cactus si había sido usada por la cultura Pre Inca Churajon en la composición del mortero, siendo el artículo del Arqueólogo Paul J. Álvarez Zevallos el único que indicaba esta aplicación en un corto párrafo, esta

información fue muy valiosa por solo la idea de que esta especie de cactus tuvo este uso en la antigüedad y fue el punto de partida de esta investigación y la elaboración de la propuesta sobre la metodología, el planteamiento de la dosificación y otros que se muestran en esta investigación.

La visita a los centros arqueológicos y laboratorios validó el uso de las cactáceas en construcción y permitió conocer las metodologías que se utilizaron y emplean actualmente en el campo de la conservación de centros arqueológicos, de las especies que se identificaron en la presente investigación se utilizó la cactácea de nombre científico *Austrocylindropuntia Subulata* y de nombre común Pataquisca, la cual se decidió analizar para poder examinar los efectos del mucilago de PT-AS al añadirla como estabilizante a un suelo cohesivo con el fin de poder observar si logra mejorar la resistencia de este y pueda ser empleado como subrasante en la construcción de carreteras, y por consiguiente revalorar esta especie de cactus y darle un uso, esta investigación es el primer paso al estudio de las propiedades de esta cactácea de la cual se posee escasa información.

Antes de definir su empleo como propuesta de aditivo estabilizante se realizaron ensayos preliminares comparando el mucilago de penca de tuna en relación al mucilago de Pataquisca, el ensayo de CBR mostro que el aditivo PT-AS posee un mayor efecto en la mejora de suelo cohesivo lo que consolido la idea de emplearlo en la propuesta de aditivo estabilizante de esta investigación, los resultados de los ensayos preliminares se muestran en la ilustración 5, siendo la dosificación empleada el 60% de mucilago y 40% de agua del contenido óptimo de agua que requiere el suelo para su compactación.



ILUSTRACIÓN 5. MEJORA DE CBR DEL SUELO CON MUCILAGO DE PENCA DE TUNA Y PATAQUISCA.



ILUSTRACIÓN 6. CACTUS PATAQUISCA  
(AUSTROCYLINDROPUNTIA SUBULATA)

La especie de cactus utilizada en este estudio es la que se muestra en la Ilustración 6, esta se encuentra en estado vulnerable por lo que se obtuvo el permiso al Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre SERFOR para la colecta, necesaria para la fabricación del aditivo estabilizante PT-AS utilizada en el presente estudio, la materia prima se colectó del área urbana de Sacsayhuaman-Cusco, para posteriormente pasar a la etapa de extracción de mucilago y almacenamiento en un ambiente aislado durante una semana para luego ser utilizado en el ensayo de CBR (Relación de Soporte California).

TABLA 3. CARACTERIZACIÓN DE LA ESPECIE DE CACTUS UTILIZADA EN LA INVESTIGACIÓN.

Nombre Común	Pataquisca
Familia	Cactaceae
Especie	Austrocylindropuntia Subulata
Sub especie	Exaltata (A. Berger) DR Hunt
Región	Cusco
Provincia	Cusco
Localidad Exacta	Mollococha, Sacsayhuaman
Altitud	3573 msnm
Coordenadas Geográficas	13°30'24" S 71°58'36" W
Hábitat	Matorral espinoso
Tipo	Herbácea
Nombre del Colector	Judith Olivera Granada

TABLA 4. COMPOSICIÓN QUÍMICA POR CROMATOGRAFÍA LÍQUIDA EN PESO.

Peso 1ml de PT-AS	1029.1mg	100%
Peso agua en 1ml de PT-AS	995.9mg	96.7%
Peso seco de PT-AS en un 1ml de PT-AS	33.2mg	3.23%
Determinación de carbohidratos en 33.20mg de PT-AS seco	Peso de Glucosa	7.3mg 0.71%
	Peso de otros	25.9mg 2.52%

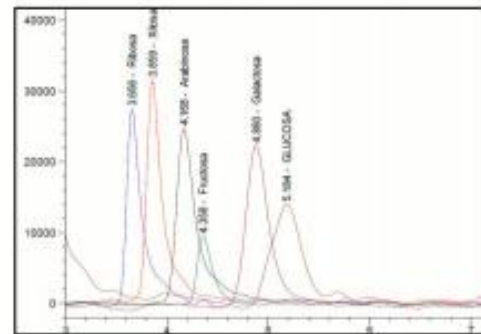


ILUSTRACIÓN 7. ESTÁNDARES DE CARBOHIDRATOS

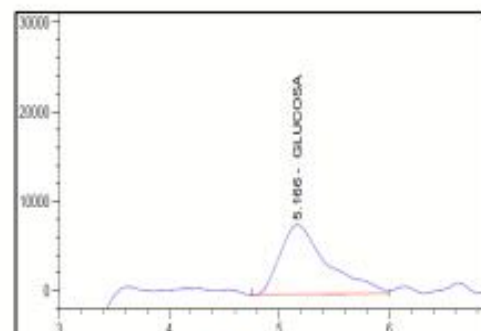


ILUSTRACIÓN 8. RESULTADOS DE CROMATOGRAFÍA DE PT-AS

TABLA 5. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE PT-AS.

Resultados	Unidades	Muestra
Examen microbiológico		
Enterobacterias	UFC/100mL	ausentes
Escherichia Coli	UFC/100mL	ausentes
Staphylococcus aureus	UFC/100mL	ausentes
Aeróbios mesófilos	UFC/100mL	ausentes
Hongos	UFC/100mL	ausentes

### 2.2.3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La investigación posee muchas variables a definir como son: el suelo cohesivo en estudio, el cual al poseer un comportamiento muy susceptible al cambio de humedad, que como consecuencia genera que los resultados varíen de uno a otro significativamente, además de existir muchas variedades de suelos cohesivos, por otra parte se tiene el aditivo estabilizante, del cual la formación de mucilago depende del tiempo de maduración del cactus, en la producción el aditivo



estabilizante PT-AS depende del tiempo y temperatura de almacenamiento debido a que se trata de un producto orgánico, la dosificación también es una variable a considerar para la optimización en el uso de esta propuesta. Otra de las variables a considerar y que es de amplio estudio es en sí, el suelo cohesivo y las consideraciones que se deben tomar en cuenta para su correcto estudio ya que al hacer los ensayos característicos se determinó que al trabajar con la humedad óptima y la máxima densidad seca para obtener el valor de CBR, de este tipo de suelo, se tienen que hacer correcciones en cuanto a estos dos valores muy significativos al momento de determinar el valor de CBR de un suelo sin y con estabilizante.

Por la cantidad de variables del estudio se delimito la investigación en comprobar los efectos del aditivo estabilizante PT-AS, en un suelo cohesivo SC-ML (Suelo cohesivo limoso de baja plasticidad) estabilizado con PT-AS preparado a una semana a condiciones aisladas, con una dosificación de 40% de agua y 60% de aditivo estabilizante PT-AS en función al contenido óptimo de agua resultado de la prueba de Proctor modificado y se realizaron pruebas a otros contenidos de humedad que se encuentran alrededor de la humedad óptima. En cuanto al comportamiento del suelo en esta investigación se mostrara el comportamiento del suelo cohesivo bajo el procedimiento de CBR mostrando las lecturas de penetración a 0.100" y 0.200" exponiendo así mismo la carga de ensayo a las diferentes número de golpes de compactación demostrando así que en cuanto a ensayos cohesivos los valores de penetración pueden ser crecientes a una compactación de 10 golpes e ir incrementando a 25 golpes pero disminuyendo su valor al aplicarle 56 golpes, lo que no ocurre en suelos granulares donde a 10, 25 y 56 golpes el suelo va incrementando su resistencia que se muestran a través de los valores obtenidos en el ensayo de CBR, más este comportamiento es característico en suelos cohesivos, por lo que la correcta interpretación del valor de CBR debe ser ampliamente estudiado para obtener el valor representativo de la relación de soporte California CBR, ya que aún en las

réplicas a las mismas condiciones los resultados difieren unos de otros.

## 2.3 RESULTADOS

### 2.3.1. RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA, CBR.

El ensayo de CBR (Relación de Soporte California) se emplea como criterio para evaluar la resistencia de los materiales del pavimento, subrasante, sub base y base en pavimentos ya que este valor permite medir la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo para evaluar la calidad del terreno en la construcción de carreteras, además se usa para medir el uso potencial de aditivos para la estabilización de suelos.

Se preparó el material con y sin estabilizante a la humedad óptima dejando 16 horas para la homogenización de la humedad del suelo como indica la normativa en caso de compactar muestras de suelo cohesivo, la prueba de CBR se realizó en función a la norma ASTM D 1883 16 (2016) y según el manual de ensayos de laboratorio del Ministerio de Transportes y comunicaciones, MTC-Perú, las pruebas se realizaron sumergiendo las muestras por 4 días con el nivel de agua constante antes de realizar la lectura de penetración los cuales se muestran en la investigación.

Los valores obtenidos en los ensayos difieren uno del otro a pesar de haberse realizado en las mismas condiciones, debido al comportamiento inestable del suelo cohesivo, por lo que se optó hacer mayores ensayos de CBR variando el contenido de humedad alrededor del óptimo para analizar el comportamiento del suelo sin estabilizar y con estabilizante, se analizaran los datos por número de golpes de compactación debido a que el análisis de CBR para suelos cohesivos es mucho más amplio y será desarrollado en una segunda parte de esta investigación. Los resultados obtenidos se muestran en las ilustraciones 9, 10, 11 y 12.



**TABLA 6. DATOS OBTENIDOS PARA EFECTUAR EL ENSAYO DE CBR DE DISEÑO (RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA)**

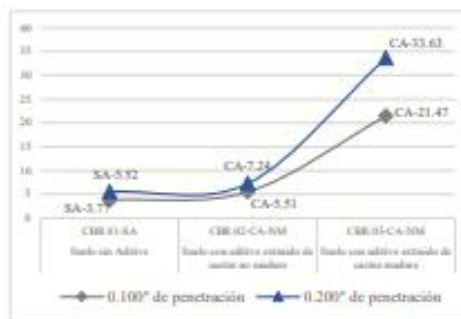
Datos de ensayo: CBR de diseño al 95% de la máxima densidad seca	
MDS (Máxima densidad seca)	1.65
% Humedad Óptima	20%
Dosificación en función a la Humedad Óptima del suelo	40% Agua
	60% Aditivo



**ILUSTRACIÓN 9. RESULTADOS DEL INCREMENTO DE CBR DE DISEÑO DEL SUELO SIN ADITIVO Y CON ADITIVO**

**TABLA 7. DATOS PARA EFECTUAR EL ENSAYO DE CBR**

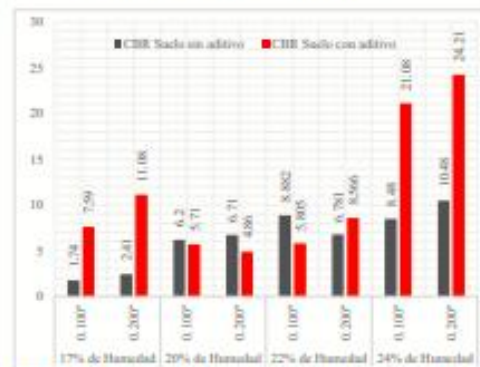
Nro. Golpes de compact.	26
% Humedad Óptima (Máxima densidad seca)	19.70% MDS = 1.636
Dosificación	40% Agua
	60% Aditivo



**ILUSTRACIÓN 10. RESULTADOS DEL INCREMENTO DEL VALOR DE CBR**



**ILUSTRACIÓN 11. RESULTADOS DEL INCREMENTO DEL VALOR DE CBR**



**ILUSTRACIÓN 12. RESULTADOS DE ENSAYOS DE CBR A DIFERENTES HUMEDADES DE COMPACTACIÓN**

### 3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 3.1. CONCLUSIONES

a) Se realizó el ensayo de valor de soporte California mediante el cual se determinó una notable mejora en el suelo sin estabilizar y el suelo estabilizado probando la hipótesis inicial que se tenía de que el aditivo propuesto podía incrementar el valor de soporte California (CBR) de un suelo cohesivo, los resultados obtenidos son los que se muestran a continuación:

- Los estudios mostraron que si hay una notable mejora a la humedad de 17% donde hay un incremento de CBR de 7.59% a una penetración de 0.100'' y un incremento de 2.41% a 11.08% a una penetración de 0.200'' a la misma humedad.
- A una humedad de 20% se pudo observar en los resultados una disminución en los valores de CBR de



6.2% a 5.71% a una penetración de 0.100" y de 6.71% a 4.86% a una penetración de 0.200" a la misma humedad.

- A la humedad de 22% se observa que se produce una disminución del valor de CBR de 8.882 a una penetración de 0.100" y un incremento del CBR de 6.781% a 8.566% a una penetración de 0.200" a la misma humedad.
  - A la humedad de 24% se observa que se produce un incremento en el valor de CBR de 8.48% a 21.08% a una penetración de 0.100" y de 10.48% a 24.21% a una penetración de 0.200".
- b) Se pudo comprobar que efectivamente la madurez de la materia prima del aditivo PT-AS influye en el incremento del valor de soporte California (CBR), siendo así que a mayor tiempo de madurez el incremento de valor de CBR será mayor que utilizando como materia prima en la elaboración del aditivo cactus no maduro.
- En los resultados de la investigación se pudo observar que se obtuvo una notable mejora en el valor de CBR usando como variable la madurez de la planta de la cual se obtiene el aditivo estabilizante lo que mostro fue que a una compactación de 25 golpes por capa incrementaba el valor de CBR en un suelo sin estabilizante de 3.77% a un CBR de 5.51% con aditivo estabilizante PT-AS de cactus no maduro, incrementando el valor de CBR a 21.47% con aditivo estabilizante PT-AS obtenido a base de cactus maduro a una penetración de 0.100".
  - A una penetración de 0.200" se incrementa el valor de CBR en un suelo sin estabilizante de 5.52% a un CBR de 7.24% con aditivo estabilizante PT-AS de cactus no maduro, incrementando el valor de CBR a 33.63% con aditivo estabilizante PT-AS obtenido a base

de cactus maduro, como se observa en las Ilustraciones 5 y 6.

Con respecto a los valores obtenidos de CBR al determinar las características del suelos cohesivo y siendo este un suelo de comportamiento variado a cambios de humedad y temperatura, entre otros factores que alteran los resultados al hacer replicas, esta investigación permite concluir que no se puede brindar toda la credibilidad a los resultados obtenidos en laboratorio cuando hay muchas variables intervinientes en los resultados obtenidos en el estudio de suelos cohesivos, los cuales se sugiere seguir ahondando en posteriores investigadores por la complejidad del estudio.

Estos resultados muestran que aún hay muchas variables a considerar en el estudio.

Durante los ensayos se identificaron mayores variables de las que se consideraron en un principio, sin embargo los resultados mostrados en esta investigación es un primer paso en el estudio de suelos cohesivos y su mejora con la propuesta de un aditivo estabilizante PT-AS para su uso en afirmados, y la mejora de la sub rasante de una carretera, mejorando considerablemente la resistencia de un suelo cohesivo.

Uno de los aportes de esta investigación es que da los primeros pasos en cuanto a la caracterización química del mucilago de *Austrocylindropuntia Subulata*, aunque se sugieren mayores estudios para poder determinar mayores componentes en su estructura que mejorarían las características geotécnicas de un suelo cohesivo, con equipos más sofisticados que no aún no se encuentran en nuestra región por lo que se sugiere hacer análisis de este, en el extranjero.

Se identificaron las principales variables incidentes en la mejora de suelo cohesivo y otros para ser considerados en futuras investigaciones las cuales son: el tiempo de madurez de la planta de la cual se extrae la materia prima para elaborar el estabilizante PT-AS, el contenido de humedad del suelo estudiado debe ser controlado, además debe



considerarse que el contenido óptimo de agua en un suelo cohesivo no es el que debe usarse para la compactación.

### 3.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda tener cuidado con los resultados que se obtienen de laboratorio del valor de soporte California (CBR) ya que más que un valor exacto se trata de un valor estadístico de la capacidad soporte del suelo en estudio.

El análisis bajo el cual se debe caracterizar la resistencia de un suelo cohesivo es mucho más complejo por lo que se recomienda realizar un estudio detallado y específico, siendo además importante identificar otros factores que pueden influenciar en datos no acertados para validar correctamente los resultados de futuras investigaciones.

Se recomienda hacer un factor de corrección de la humedad óptima del agua a ser utilizada en la compactación de suelos cohesivos.

### 4. AGRADECIMIENTOS

Agradezco por el apoyo brindado en esta investigación a la Universidad Andina del Cusco por financiar parte de esta investigación, a cada uno de mis docentes de mi casa de estudios quienes me apoyaron durante mi investigación alentándome y guiándome con consejos para encaminar correctamente mi investigación entre ellos están el Ing. Yimmy Chipana, Ing. Víctor Arangoitia, Ing. Edson Salas, Ing. Karim Sovero, al Ing. Alfredo de laboratorio de Geotecnia de la Universidad Andina del Cusco, y otros ingenieros, al laboratorio Físico Químico de la dirección desconcentrada de Cultura Cusco donde inicie mis primeras investigaciones, al gerente general de Geotest Perú S.A.C Ing. Abelardo Abarca Ancori por facilitarme el uso de su laboratorio en los ensayos que se realizaron en esta investigación y por sus consejos en la interpretación de resultados en cuanto al estudio del suelo cohesivo, a la bióloga Violeta Eugenia Zamalloa Acurio por brindarme el apoyo y dirección en los ensayos

referidos a la cactácea, a la Taxónoma Gloria Calatayud Hermosa por la caracterización de la especie de cactus en el Herbario Vargas CUZ, a mi amigo y colaborador en el área de arqueología Denis Rodrigo Cuba Estrada y a cada una de las personas que hizo posible esta investigación, amigos y familiares quienes me apoyaron y alentaron durante el proceso.

### 5. REFERENCIAS

- Akinwumi I., Ukegbu I. (2015). Soil modification by addition of cactus mucilage. *Geomechanics and Engineering*, Vol. 8, No. 5, pp 649-661.
- ASTM D1883-16 Standard test method for California bearing ratio (CBR) of laboratory-compacted soils. *West Conshohocken, USA*; ASTM International, 2016.
- Badillo J., Rodríguez R. (2011). *Mecánica de Suelos*. México: Editorial Limusa, S.A.
- Bakshi, M., & Varma, A. (2011). *Soil enzyme: The state-of-art*. pp. 1-23. G. Shukla and A. Varma (eds.). Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Calderon, J., Jackson, L., Scow, K., & Rolston, D. (2000). *Microbial responses to simulated tillage in cultivated and uncultivated soils*. *Soil Biol. Biochem.* 32, 1547-1559.
- Chenu, C., Le Bissonnais, Y., & Arrouays, D. (2000). *Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability*. *Soil Sci. Soc. Am.*, 1479 - 1486.
- Coronado Iturbe, J. (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*. USAID / SIECA.
- Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. México: Limusa. S.A.
- Dick, W., Cheng, L., & Wang, P. (2000). *Soil acid and alkaline phosphatase activity as pH adjustment indicators*. *Soil Biol. Biochem.* 32, 1915-1919.
- Duru, B., & Turkey, N. (2005). *Changes in physical properties and chemical*



- composition of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) during maturation. *J. Prof. Assoc. Cactus Develop.* 7, 22 - 23.
- Hunt, D., Taylor, N., & Charles, G. (2006). *The New Cactus Lexicon*. England.
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2004). *Mecánica de Suelos - Tomo 2*. México: Limusa.
- Kumar, A., & Mittal, A. (2019). Utilización de cenizas de residuos sólidos municipales para la estabilización de suelos cohesivos. *Conferencia en Ingeniería Civil* (págs. 133-139). Singapur: Springer.
- Matsuhira, b., Lillo, E., Saenz, E., Urzua, C., & Zarate, O. (2006). *Chemical characterization of the mucilage from fruits of Opuntia ficus indica Carboh*. Pol. 63, 263-267.
- Medina Torres, L., Brito de la Fuente, E., Torrestiana, B., & Katthain, R. (2000). *Rheological properties of the mucilage gum (Opuntia ficus-indica)*. *Food Hydrocol.* 14, 417 - 424.
- Ministerio de Transportes y comunicaciones. (2014). *Manual de Carreteras*. Lima: Viceministerio de Transportes.
- Ministerio de Transportes y comunicaciones. (2016). MTC E 110 Determinación del límite líquido de los suelos. *En Manual de ensayo de materiales* (1264). Lima: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.
- Ministerio de Transportes y comunicaciones. (2016). MTC E 111 Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.). *En Manual de ensayo de materiales* (1264). Lima: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.
- Ministerio de Transportes y comunicaciones. (2016). MTC E 115 Compactación de suelos en Laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor modificado). *En Manual de ensayo de materiales* (1264). Lima: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.
- Ministerio de Transportes y comunicaciones. (2016). MTC E 132 CBR de suelos laboratorio. *En Manual de ensayo de materiales* (1264). Lima: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.
- MINISTERIO DE VIVIENDA. (2018). Reglamento Nacional de Edificaciones. En M. D. VIVIENDA, Norma E.050 Suelos y Cimentaciones (pág. 83). Lima: Perú.
- Montenegro Gambini, J. (2011). *La compactación de Suelos*. Lima, Perú: *Estudios de Ingeniería Civil y Maestría en Ingeniería Hidráulica*.
- Olivera, G. (2018). *Procedimiento para la obtención de un aditivo para estabilización de suelos cohesivos a base de mucilago de Pataquisca (Austrocylindropuntia Subulata)*. Junio, 2019, de INDECOPI Sitio web: <http://servicio.indecopi.gob.pe/gacet a/>
- Ostolaza, C. (1992). Cactus y Etnobotánica. *Quepo* 6, 76 - 86.
- Ostolaza, C. (2014). Clasificación de los cactus del Perú. *En Todos los cactus del Perú* (pp 162-165). Lima. Perú: Editorial Franco. EIRL.
- Ravines Merino, M. A. (23 de agosto de 2010). *Pruebas con productos Enzimáticos como agente estabilizador de suelos para Carreteras*. Piura, Perú: PIRHUA.
- Saenz, C., Sepulveda, E., & Matsuhira, b. (2004). *Opuntia spp. mucilage's: A functional component with industrial perspectives*. *J. Arid Environ.* 57, 275 - 290.
- Snyman, H. (2006). A greenhouse study on root dynamics of cactus pears, *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta*. *J. Arid Environ.* 65, 529-542.
- Stewart, J., & Tiessen, H. (1988). Dynamics of soil organic phosphorus. *Biogeochemistry. Dordrecht.* 4, 41 - 60.





Tupia C. (2001). *Determinación de las Características de Soporte de un Terreno de Cimentación de un Pavimento por Medio de un Equipo Dinámico*. Universidad Nacional de Ingeniería: Consorcio Digital del conocimiento MebLatam.  
Recuperado de  
[http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/4310/1/tupia\\_cc.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/4310/1/tupia_cc.pdf)

Vásquez Cordano, A., & Bendezu Medina, L. (2008). *Ensayos Sobre el Rol de la Infraestructura Vial en la Economía del Perú*. Lima, Perú: Nova Print S.A.C.

---

<sup>1</sup> Egresada, [judith.olivera.granada@gmail.com](mailto:judith.olivera.granada@gmail.com)