

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Optimización de aditivos puzolánicos de origen vegetal  
para la mejora de la relación de soporte de california  
(CBR) en suelo limoso, con base en análisis relacional  
Taguchi-Grey Cusco - 2021**

Luigi Carlos Mendoza Tecsi  
Claudia Cristina Enriquez Arana

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Civil

Cusco, 2021

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

# Optimización de aditivos puzolánicos de origen vegetal para la mejora de la relación de soporte de california (CBR) en suelo limoso, con base en análisis relacional Taguchi-Grey Cusco - 2021

## INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://mriuc.bc.uc.edu.ve">mriuc.bc.uc.edu.ve</a> Fuente de Internet	2%
2	<a href="http://repositorio.continental.edu.pe">repositorio.continental.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
3	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	2%
4	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://etd.aau.edu.et">etd.aau.edu.et</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1%
7	<a href="http://repositorio.uchile.cl">repositorio.uchile.cl</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="http://core.ac.uk">core.ac.uk</a> Fuente de Internet	<1%

9	Michel Larini, Angela Barthes. "Multivariate Analyses", Wiley, 2018 Publicación	<1 %
10	repositorio.cinvestav.mx Fuente de Internet	<1 %
11	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	<1 %
12	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
13	dspace.uniandes.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
14	centrodeconocimiento.ccb.org.co Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	www.dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	Zuriñe Heramosilla Gomez. "Desarrollo metodológico para la correcta evaluación del estado ecológico de las aguas costeras de la Comunidad Valenciana, en el ámbito de la Directiva Marco del Agua, utilizando la clorofila a como parámetro indicador de la calidad.", 'Universitat Politecnica de Valencia', 2015 Fuente de Internet	<1 %

18	<a href="http://repositorio.urp.edu.pe">repositorio.urp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
19	<a href="http://repositorio.uptc.edu.co">repositorio.uptc.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
20	<a href="http://ojs.dpi.ulsu.mx">ojs.dpi.ulsu.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
21	<a href="http://www.revistaalconpat.org">www.revistaalconpat.org</a> Fuente de Internet	<1 %
22	<a href="http://tesis.ipn.mx">tesis.ipn.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
23	<a href="http://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
24	<a href="http://www.repositorio.upla.edu.pe">www.repositorio.upla.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
25	<a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	<1 %
26	<a href="http://repositorio.undac.edu.pe">repositorio.undac.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
27	<a href="http://uvadoc.uva.es">uvadoc.uva.es</a> Fuente de Internet	<1 %
28	<a href="http://repositorio.uniandes.edu.co">repositorio.uniandes.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
29	<a href="http://idus.us.es">idus.us.es</a> Fuente de Internet	<1 %

30	<a href="http://www.dgac.cl">www.dgac.cl</a> Fuente de Internet	<1 %
31	<a href="http://repositorio.upn.edu.pe">repositorio.upn.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
32	<a href="http://tesis.ucsm.edu.pe">tesis.ucsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
33	<a href="http://planbim.cl">planbim.cl</a> Fuente de Internet	<1 %
34	<a href="http://repositorio.unsch.edu.pe">repositorio.unsch.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
35	<a href="http://repositorio.upla.edu.pe">repositorio.upla.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
36	<a href="http://escher.puj.edu.co">escher.puj.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
37	<a href="http://polodelconocimiento.com">polodelconocimiento.com</a> Fuente de Internet	<1 %
38	<a href="http://www.dspace.uce.edu.ec">www.dspace.uce.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
39	MARÍA GUIJARRO GARCÍA. "Estudio de la literatura y modelos de negocio de la implantación de CRM -modelo cliente céntrico- como enfoque estratégico condicionante de la ventaja competitiva en la pyme: estudio empírico de la aplicación de un CRM -Modelo cliente céntrico- en agencias de	<1 %

# viajes", Universitat Politecnica de Valencia, 2010

Publicación

---

40	<a href="http://www.gekon.net.pl">www.gekon.net.pl</a> Fuente de Internet	<1 %
41	<a href="http://es.slideshare.net">es.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
42	<a href="http://joaquinamatrodrigo.github.io">joaquinamatrodrigo.github.io</a> Fuente de Internet	<1 %
43	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	<1 %
44	<a href="http://www.dspace.espol.edu.ec">www.dspace.espol.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
45	<a href="http://zagan.unizar.es">zagan.unizar.es</a> Fuente de Internet	<1 %

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 12 words

Excluir bibliografía

Activo

## **AGRADECIMIENTO**

Ante todo, agradecer a Dios por la vida por la salud de todas nuestras familias que nos permitieron lograr un peldaño más en nuestra existencia, agradecer a la universidad Continental por permitir continuar nuestro proceso estudiantil que es un paso muy significativo en nuestro desarrollo personal y a nuestra asesora Dra. Ing. Zadith Nancy Garrido Campaña por la paciencia y apoyo incondicional en este tiempo transcurrido.



## DEDICATORIA

A Dios por permitirme lograr mis metas y sueños, a mis padres Cesar Enriquez y Aida Arana, por ser mi gran ejemplo de perseverancia y ser pieza fundamental en mis logros y apoyarme siempre a pesar de todos los obstáculos, a mi hermano Lucas, por ser mi cómplice en mis decisiones y a mi compañero de tesis Luiggi, que me acompañó en toda la etapa universitaria, a quien aprecio mucho por su lealtad y verdadera amistad, “de esas que ya no existen”.

CLAUDIA C. ENRIQUEZ ARANA

#### DEDICATORIA

Esta tesis la dedico a Dios por encima de todo, a mi mayor tesoro que son mis padres Carlos Mendoza, Mariza Tecsi y hermanas, quienes fueron mi mayor inspiración para tomar la decisión. El proceso no fue fácil, pero tuve a mi compañera de tesis Claudia, a la que agradezco por los ánimos a no rendirme y continuar.

Y no quiero olvidarme de nadie, por eso lo resumo en un “GRACIAS FAMILIA”

LUIGGI C. MENDOZA TECSI

## INDICE

<b>1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....</b>	<b>14</b>
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	14
1.1.1. Problema general .....	16
1.1.2. Problemas específicos .....	16
1.2. Objetivos .....	16
1.2.1. Objetivo general.....	16
1.2.2. Objetivos específicos .....	17
1.3. Justificación e importancia de la investigación.....	17
1.3.1. Justificación teórica .....	17
1.3.2. Justificación Práctica .....	18
1.3.3. Justificación Metodológica.....	18
1.3.4. Importancia .....	19
1.4. Hipótesis y descripción de variables .....	19
1.4.1. Hipótesis .....	19
1.4.2. Descripción de variables .....	20
1.5. Operacionalización de variables.....	21
<b>2. CAPITULO II: MARCO TEORICO .....</b>	<b>22</b>
2.1. Antecedentes del problema .....	22
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	22
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	24
2.2. Bases teóricas .....	27
2.2.1. Reciclaje de material orgánico.....	27
2.2.2. Reciclaje de semilla de girasol y zapallo. ....	28
2.2.3. Suelo limoso.....	28
2.2.4. Análisis relacional Taguchi Grey.....	29
2.3. Definición de términos básicos .....	30
2.3.1. Puzolanas .....	30
2.3.2. Clasificación de suelos.....	32
2.3.3. Resistencia CBR del suelo .....	35
<b>3. CAPITULO III: METODOLOGÍA.....</b>	<b>37</b>
3.1. Métodos y alcance de la investigación.....	37
3.2. Diseño de la investigación.....	38

3.3.	Población y muestra .....	38
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	38
3.4.1.	Técnicas para análisis de datos. ....	39
3.4.2.	Instrumentos para la recolección de datos .....	39
3.4.3.	Programación de los ensayos de laboratorio.....	41
3.5.	Matriz de consistencia.....	51
<b>4.</b>	<b>CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>52</b>
4.1.	Presentación de resultados .....	52
4.1.1.	De las puzolanas naturales y suelo limoso.....	52
4.1.2.	Para resultados de CBR en correlación con DCP .....	52
4.2.	Prueba de hipótesis para ensayo de CBR.....	69
4.3.	Para resultados de ensayo de compresión simple.....	70
4.4.	Prueba de hipótesis para ensayo de compresión simple.....	81
4.5.	Resumen de las pruebas de normalidad para todas las variables dependientes: .....	83
4.6.	Discusión de los resultados .....	84
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>87</b>
<b>6.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>89</b>
<b>7.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>90</b>
<b>8.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>94</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1</b> Matriz operacional .....	<b>21</b>
<b>Tabla 2.1</b> Clasificación de puzolanas.....	<b>31</b>
<b>Tabla 2.2</b> Cuadro de granulometría de suelos.....	<b>32</b>
<b>Tabla 2.3</b> Clasificación de suelos según tamaño de partícula.....	<b>33</b>
<b>Tabla 2.4</b> Clasificación de suelo según índice de plasticidad.....	<b>34</b>
<b>Tabla 2.5</b> Clasificación de suelos según equivalente de arena .....	<b>34</b>
<b>Tabla 2.6</b> Clasificación de suelos según índice de grupo .....	<b>34</b>
<b>Tabla 2.7</b> Correlación entre CBR por método PDC y método tradicional .....	<b>36</b>
<b>Tabla 3.1:</b> Tabla para toma de datos Excel.....	<b>39</b>
<b>Tabla 3.2:</b> Porcentaje y cantidades de diseño .....	<b>41</b>
<b>Tabla 3.3:</b> Matriz de consistencia .....	<b>51</b>
<b>Tabla 4.1:</b> Lecturas de ensayo de DCP .....	<b>52</b>
<b>Tabla 4.2:</b> Resultado de ensayo DCP .....	<b>54</b>
<b>Tabla 4.3:</b> Resultado de CBR en correlación DCP.....	<b>54</b>
<b>Tabla 4.4:</b> Cálculo de CBR sumergido.....	<b>55</b>
<b>Tabla 4.5:</b> Estadísticos descriptivos.....	<b>56</b>
<b>Tabla 4.6:</b> Matriz de correlaciones .....	<b>57</b>
<b>Tabla 4.7:</b> Estadísticos de multicolinealidad .....	<b>57</b>
<b>Tabla 4.8:</b> Estadísticos de bondad del ajuste (CBR_Sum) .....	<b>58</b>
<b>Tabla 4.9:</b> Análisis de varianza (CBR_Sum).....	<b>58</b>
<b>Tabla 4.10:</b> Análisis Suma de Cuadrados Tipo I (CBR_Sum) .....	<b>59</b>
<b>Tabla 4.11:</b> Análisis Suma de Cuadrados Tipo III (CBR_Sum) .....	<b>59</b>
<b>Tabla 4.12:</b> Parámetros del modelo (CBR_Sum) .....	<b>60</b>
<b>Tabla 4.13:</b> Coeficientes estandarizados (CBR_Sum).....	<b>61</b>

<b>Tabla 4.14:</b> Predicciones y residuos .....	<b>62</b>
<b>Tabla 4.15:</b> Diagnósticos de influencia (CBR_Sum) .....	<b>65</b>
<b>Tabla 4.16:</b> Estadísticos de bondad del ajuste (Cohesión) .....	<b>71</b>
<b>Tabla 4.17:</b> Análisis de varianza (Cohesión).....	<b>71</b>
<b>Tabla 4.18:</b> Análisis Suma de Cuadrados Tipo I (Cohesión) .....	<b>72</b>
<b>Tabla 4.19:</b> Análisis Suma de Cuadrados Tipo III (Cohesión).....	<b>72</b>
<b>Tabla 4.20:</b> Parámetros del modelo (Cohesión) .....	<b>72</b>
<b>Tabla 4.21:</b> Coeficientes estandarizados (Cohesión).....	<b>73</b>
<b>Tabla 4.22:</b> Predicciones y residuos (Cohesión).....	<b>74</b>
<b>Tabla 4.23:</b> Diagnósticos de influencia (cohesion).....	<b>78</b>
<b>Tabla 4.24:</b> Resumen para todos los Ys.....	<b>84</b>

### **CONTENIDO DE FIGURAS**

<b>Figura 1.1:</b> Canteras de material de construcción a nivel nacional .....	<b>15</b>
<b>Figura 2.1</b> Limites de consistencia de suelos.....	<b>33</b>
<b>Figura 2.2</b> Formación San Sebastián .....	<b>35</b>
<b>Figura 3.1:</b> Investigacion cientifica .....	<b>37</b>
<b>Figura 3.2:</b> recolección de pepas de zapallo .....	<b>40</b>
<b>Figura 3.3:</b> Horno artesanal .....	<b>41</b>
<b>Figura 3.4:</b> Peso de suelo.....	<b>42</b>
<b>Figura 3.5:</b> Mezcla del material.....	<b>43</b>
<b>Figura 3.6:</b> Cuarteo de la mezcla.....	<b>43</b>
<b>Figura 3.7:</b> Compactación de la muestra .....	<b>44</b>
<b>Figura 3.8:</b> Prueba de penetración .....	<b>45</b>

<b>Figura 3.9:</b> Peso de capsulas.....	<b>45</b>
<b>Figura 3.10:</b> Peso de capsula con material .....	<b>46</b>
<b>Figura 3.11:</b> Colocado de capsulas al horno.....	<b>46</b>
<b>Figura 3.12:</b> Eliminación de material excedente .....	<b>47</b>
<b>Figura 3.13:</b> Moldeado del espécimen.....	<b>48</b>
<b>Figura 3.14:</b> Peso de espécimen húmedo .....	<b>48</b>
<b>Figura 3.15:</b> Peso de espécimen seco .....	<b>49</b>
<b>Figura 3.16:</b> Medición de diámetro del espécimen .....	<b>49</b>
<b>Figura 3.17:</b> Medición de altura del espécimen.....	<b>50</b>
<b>Figura 3.18:</b> Dispositivo de carga axial .....	<b>50</b>
<b>Figura 4.1:</b> Resultados de laboratorio % de CBR.....	<b>56</b>
<b>Figura 4.2:</b> Coeficientes estandarizados .....	<b>62</b>
<b>Figura 4.3:</b> Residuos estandarizados /CBR .....	<b>63</b>
<b>Figura 4.4:</b> Predicción CBR /CBR_SUM.....	<b>64</b>
<b>Figura 4.5:</b> Predicción (CBR_SUM) / Residuos estandarizados.....	<b>64</b>
<b>Figura 4.6:</b> Observaciones de Residuos estandarizados / (CBR_SUM).....	<b>65</b>
<b>Figura 4.7:</b> Residuos eliminados estandarizados / (CBR_SUM) .....	<b>67</b>
<b>Figura 4.8:</b> Distancias de Cook / (CBR_SUM).....	<b>68</b>
<b>Figura 4.9:</b> DFFits (Std) / (CBR_SUM).....	<b>68</b>
<b>Figura 4.10:</b> DFBetas (Std) / (CBR_SUM) .....	<b>69</b>
<b>Figura 4.11:</b> Cohesión / Coeficientes estandarizados.....	<b>74</b>
<b>Figura 4.12:</b> Cohesión / Residuos estandarizados .....	<b>76</b>
<b>Figura 4.13:</b> Pred(Cohesión) / Residuos estandarizados .....	<b>76</b>
<b>Figura 4.14:</b> Pred(Cohesión) / Cohesión .....	<b>77</b>
<b>Figura 4.15:</b> Residuos estandarizados / Cohesión .....	<b>77</b>

<b>Figura 4.16:</b> Residuos eliminados studentizados (Cohesión).....	<b>79</b>
<b>Figura 4.17:</b> Distancias de Cook(Cohesión).....	<b>80</b>
<b>Figura 4.18:</b> DFFits(Cohesión).....	<b>80</b>
<b>Figura 4.19:</b> DFBetas(cohesion).....	<b>81</b>
<b>Figura 4.20:</b> Resumen de las pruebas de normalidad para todas las variables dependientes .....	<b>83</b>



## RESUMEN

En este proyecto de investigación, se desea alcanzar nuevas opciones y/o alternativas que resulten económicas y no perjudiciales con la naturaleza, al reciclar y darle un nuevo uso a los residuos orgánicos (semilla de zapallo y semilla de girasol). Por lo cual, nuestro trabajo de investigación se desarrolló con una metodología deductiva, con un diseño experimental de nivel explicativo y relacional, empleando la filosofía de Taguchi Grey, mejorando la calidad a bajos costos sin el desperdicio de material; por lo que se realizó ensayos de laboratorio y un análisis estadístico para hallar el comportamiento de una variable en relación a otra, en el software XLSTAT. Llegando al resultado esperado, donde se vio que, al incorporar un porcentaje de ceniza de semilla de zapallo y ceniza de semilla de girasol, **mejora la Relación de Soporte de California, incrementando en un 1.43% su valor en un suelo limoso**, aunque presentó una disminución en los valores de cohesión, reduciéndose intrascendentemente su valor.

Se realizaron ensayos de CBR en correlación al PDC y ensayos de compresión simple. Para ambos ensayos se realizaron 13 pruebas, de las cuales se tomaron indicadores de 0%, 0.667%, 1%, 1.333%, 2%, 3%, 4%, con respecto al peso de nuestro suelo.

Los resultados que se observaron, fueron que nuestro suelo limoso tenía como valor de CBR inicial 5.81% promedio y agregando 24 gramos de ceniza de semilla de zapallo, el valor aumento a un 7.18% y con respecto a la semilla de girasol aumento a un 7.24%, demostrando que la ceniza de girasol es la más influyente.

**PALABRAS CLAVES:** Optimización de puzolanas, Mejora de CBR, Puzolanas naturales, Taguchi Grey, Regresión lineal.

## ABSTRACT

In this research project we want to achieve new options and/or alternatives that are economical and not harmful to nature, through the recycling and reuse of organic waste (pumpkin seeds and sunflower seeds). Therefore, our research work was developed with an inductive methodology, with an explanatory and relational experimental design, using the Taguchi Gray philosophy, improving quality at low costs without wasting material; For this reason, laboratory tests and a statistical analysis were carried out to analyze the behavior of one variable in relation to another, in the XLSTAT software. Arriving at the expected result, where it was seen that incorporating a percentage of pumpkin seed ash and sunflower seed ash improves the California Support Ratio, increasing its value by 1.4% in a silty soil, although it presented a decrease in the cohesion. values by inconsequentially reducing their value.

CBR tests were performed in correlation with the PDC and simple compression tests. For both tests, 13 tests were carried out, from which indicators of 0%, 0.667%, 1%, 1.333%, 2%, 3%, 4% were taken, with respect to the weight of our soil.

The results that were observed were that, our silty soil had an average initial CBR value of 5.81% and when adding 24 grams of pumpkin seed ash, the value increased to 7.18% and with respect to the sunflower seed it increased to 7.24%, showing that sunflower ash is the most influential.

**KEY WORDS:** Pozzolan optimization, CBR improvement, Natural pozzolans, Taguchi Grey, Linear regression.

## INTRODUCCION

El mundo de la tecnología es amplio, en todas sus ramas constructivas y con el avance de la ciencia y tecnología, se hizo posible mejorar la calidad en las construcciones y obtener beneficios para la sociedad, pero al mismo tiempo en el transcurso de los años este avance generó un daño en nuestro medio ambiente al realizar proyectos que no optan por cuidar la naturaleza y tampoco consideran nuevos métodos que mejoren las propiedades de todos aquellos materiales que son desechados a diario, por considerarse inservibles en los procesos constructivos; por lo que, esta tesis busca la concientización en los nuevos proyectos constructivos, en donde consideramos nuevas opciones de uso para un suelo limoso que es considerado inservible, para que este material tenga uso constructivo con la adición de puzolanas orgánicas que serán recicladas con este fin. Y al ser un proyecto innovador, tomamos como modelo la metodología de Genichi Taguchi Grey, que sería la más indicada para poder llegar a nuestros objetivos, donde lo más importante es tener la mejoría de la calidad, en este caso de un suelo limoso, a bajos costos y sin desperdicio alguno de los materiales, siendo así muy económico y ecológico para la sociedad.

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1. Planteamiento y formulación del problema**

El alto precio del cemento, la huella de carbono que origina su fabricación y el consumo masivo, hacen de este material una necesidad de la construcción y a su vez una causa de afectación al medio ambiente.

Los materiales puzolánicos minerales, han sido estudiados y aplicados satisfactoriamente en la mejora de los suelos, especialmente arcillas y limos. Entre las puzolanas estudiadas podemos encontrar el fly ash, la ceniza de altos hornos y otros derivados de la industria de los metales.

Actualmente hay un creciente interés en reemplazar los materiales industrializados por otros que provengan de fuentes más amigables con el medio ambiente. Este es el caso de las cenizas de origen vegetal, las cuales también han recibido atención en diversos estudios, podemos citar la cáscara de café, ceniza de hojas de palmera, cascarilla de arroz, entre otras.

La iniciativa de estos estudios, se realizó con el propósito de darle un nuevo uso a estos desechos orgánicos, por ejemplo, en Perú desde el año 2001 hasta el 2018 se produjo más de 3 millones 39 mil toneladas de arroz, y cada año se registra un aumento de hasta 8 % en promedio (MIDAGRI, 2022). Generando desechos como viene a ser la cascarilla de arroz, que en su mayoría es incinerada y desechada a los ríos generando mayor contaminación ambiental cada año de producción.

Por otro lado, a nivel internacional se puede observar el mismo problema con diferentes desechos orgánicos, como vienen a ser los desechos de la producción de café, anualmente en España se desecha más de 150 millones de kilos de desechos de café (Nestlé, 2021).

Tras una revisión exhaustiva de la bibliografía, se evidencia que las cenizas de semilla de girasol (CeGi) y cenizas de semilla de zapallo (CeZa), no han sido aplicadas aún en la mejora del CBR de suelos limosos.

Los suelos limosos suelen tener una resistencia CBR (Californian Bearing Ratio) baja, usualmente no superar en 10%, aunque se han visto suelos limosos con hasta 15% de CBR. En un escenario real de obra, el procedimiento preferido para solucionar la presencia de estos suelos es el reemplazo, el cual genera dos problemas ambientales: Primero, la búsqueda de lugares para la eliminación del material excedente “inservible” y segundo, la explotación de canteras, cada vez más lejanas y escasas por la expansión urbana de las ciudades. Como se observa en el siguiente cuadro, el aumento de los puntos de cantera se incrementó drásticamente, teniendo en cuenta que hasta el año 2016 se contabilizó la existencia de 700 canteras vigentes, tomando como inicio el año 1997 (J. Tejada, 2016) (1), teniendo un registro de estas, pero en realidad se evidencia que existen más canteras ilegales sin la debida supervisión y control, generando un daño en el medio ambiente.

Figura 1.1: Canteras de material de construcción a nivel nacional



Fuente: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET

Aquí cabe mencionar que la ciudad del Cusco tiene como estrato geológico la denominada formación San Sebastián, que tienen una gran superficie y esta mayormente constituida por suelos limo arenosos.

### **1.1.1. Problema general**

¿Cuáles son los resultados de la optimización de aditivos puzolánicos de origen vegetal para la mejora de CBR en suelo limoso para infraestructura vial, con base en análisis relacional Taguchi-Grey?

### **1.1.2. Problemas específicos**

¿Cuál es el comportamiento de la ceniza de semilla de girasol como aditivos puzolánicos para la mejora de CBR en un suelo limoso?

¿Cuál es el comportamiento de la ceniza de semilla de zapallo como aditivos puzolánicos para la mejora de CBR en un suelo limoso?

¿Cuál es el comportamiento de la ceniza del cemento sin aditivos puzolánicas de origen vegetal para la mejora de CBR en un suelo limoso?

¿Cuál es el comportamiento de la ceniza de semilla de zapallo con ceniza de semilla de girasol como aditivos puzolánicos más cemento para la mejora de CBR en un suelo limoso?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Optimizar aditivos puzolánicos de origen vegetal para la mejora de relación de soporte de california (CBR) en suelo limoso, con base en análisis relacional Taguchi-Grey.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Determinar el comportamiento de la ceniza de semilla de girasol como aditivos puzolánicos para la mejora de CBR en un suelo limoso con base en análisis relacional Taguchi-Grey.
- Determinar el comportamiento de la ceniza de semilla de zapallo como aditivos puzolánicos para la mejora de CBR en un suelo limoso con base en análisis relacional Taguchi-Grey.
- Determinar el comportamiento del cemento sin aditivos puzolánicas de origen vegetal para la mejora de CBR en un suelo limoso con base en análisis relacional Taguchi-Grey.
- Determinar el comportamiento de la ceniza de semilla de zapallo con ceniza de semilla de girasol, como aditivos puzolánicos más cemento para la mejora de CBR en un suelo limoso con base en análisis relacional Taguchi-Grey.

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

### **1.3.1. Justificación teórica**

Al paso de los años hemos visto como el conformismo y falta de criterios de muchos ingenieros y trabajadores en el rubro de la construcción, no han sabido valorar el material existente tachándolos como material inservible o como material de baja calidad, dando lugar a malos manejos como la explotación. Por lo cual, la presente tesis de investigación justifica y da razón a que se lograra el mejoramiento y garantizara la utilización de estas puzolanas naturales como son las cenizas de semilla de girasol (CeGi) y la ceniza de semilla de zapallo (CeZa) dando una óptima resistencia en los suelos limosos mejorando su calidad, sin desperdicios naturales y con bajos costos en su

producción aplicando el método Taguchi Grey como un gran aporte para futuros proyectos donde empleen los resultados de esta investigación.

### **1.3.2. Justificación Práctica**

Al paso de los años, se ha podido observar que los residuos orgánicos e inorgánicos se han incrementado sin ningún control, generando mayor contaminación. Por lo cual la presente tesis busca la mejora de los suelos limosos a base de ceniza de semilla de zapallo (CeZa) y ceniza de semilla de girasol (CeGi), que previamente fueron reciclados de los desperdicios de los mercados dándole un segundo uso a estos residuos para obtener beneficios con respecto a la subrasante de las obras de infraestructura vial y este aporte será una iniciativa para futuros proyectos viales.

### **1.3.3. Justificación Metodológica**

El siguiente trabajo de investigación justifica y da razón a que se encontrara un método innovador donde podamos mejorar costo, tiempo y que sea óptimo en calidad, debido a las constantes deficiencias, no solo en la ejecución sino también en el proceso de selección de materiales, personal y método. La presente tesis de investigación, busca mejorar la relación entre calidad y precio mediante el método de Taguchi Grey, siendo un método innovador y bastante eficaz, donde se destaca garantizar la calidad a un bajo costo sin desperdicio de materia, en este caso materia orgánica como son la ceniza de la semilla de girasol (CeGi) y la ceniza de la semilla de zapallo (CeZa), aplicado a un suelo limoso buscando la mejoría en su estabilidad.



### **1.3.4. Importancia**

Es de suma importancia tomar en cuenta el suelo natural como material de construcción, sin desperdiciarla a pesar que el suelo no tenga la resistencia esperada, es por ello que al ser natural y ser amigable con la naturaleza este mismo ira acompañado con puzolanas naturales como son la ceniza de semilla de girasol (CeGi) y la ceniza de semilla de zapallo (CeZa), como un factor de resistencia a los suelos limosos que en gran mayoría de situaciones son desperdiciados, mas no mejorados para poder garantizar buena utilidad en futuros proyectos constructivos.

## **1.4. Hipótesis y descripción de variables**

### **1.4.1. Hipótesis**

#### **1.4.1.1. Hipótesis general**

Los resultados de la optimización de aditivos puzolánicos de origen vegetal para la mejora de CBR en suelo limoso para infraestructura vial, con base en análisis relacional Taguchi-Grey son satisfactorios.

#### **1.4.1.2. Hipótesis específicas**

La ceniza de semilla de girasol como aditivos puzolánicos tiene un efecto significativo para la mejora de CBR en un suelo limoso.

La ceniza de semilla de zapallo como aditivos puzolánicos tiene un efecto significativo para la mejora de CBR en un suelo limoso.

El cemento sin aditivos puzolánicas tiene un efecto significativo para la mejora de CBR en un suelo limoso.

Las cenizas de semilla de girasol y cenizas de semilla de zapallo más cemento tiene un efecto significativo para la mejora de CBR en un suelo limoso.

## **1.4.2. Descripción de variables**

### **1.4.2.1. Variable independiente (VI): Aditivos puzolánicos de origen vegetal**

Materiales cuyo constituyente principal es materia orgánica, que al ser expuestas a altas temperaturas se pueda aprovechar las propiedades químicas.

### **1.4.2.2. Variable dependiente (VD): Mejora de CBR en suelo limoso**

Es la capacidad del suelo a resistir fuerzas de penetración, la resistencia cortante y otras.

## 1.5. Operacionalización de variables

Tabla: 1.1 Matriz operacional

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO	ESCALA
V1: Aditivos puzolánicos de origen vegetal	Materiales cuyo constituyente principal es materia orgánica, que al ser expuestas a altas temperaturas se pueda aprovechar las propiedades químicas	El aditivo de origen vegetal se operacionalizará mediante la cantidad en porcentaje que se le agregue al suelo limoso para ver los resultados en los ensayos.	D1: ceniza de cáscara de girasol  D2: ceniza de cáscara de zapallo  D3: cemento portland	0% 0.666% 1% 1.333% 2% 3% 4%  0% 1% 2% 3% 4%  0% 0.666% 1.333% 4%	Formatos de observación estructurada durante los ensayos.	Las características de la variable se medirán en cada ensayo dependiendo del tipo, por lo que la escala es de intervalo
V2: mejora de CBR en suelo limoso	Es la capacidad del suelo a resistir fuerzas de penetración, la resistencia cortante y otras. Cueva del Ingeniero	La mejora del suelo se operacionalizará con ensayos PDC	Suelo limoso	I1: CBR% medido por el método PDC	Instrumentos establecidos por la norma ASTM D-1883 y ASSTHO T-193	

## CAPITULO II: MARCO TEORICO

### 2.1. Antecedentes del problema

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

CAÑAR, E. 2017 (2) En la tesis titulada “Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinada con ceniza de carbón” tenía como objetivo el mejoramiento y la estabilización de dos suelos parcialmente idénticos en propiedades combinándolos con una puzolana en este caso puzolana volante llegando a la conclusión que añadiendo las cenizas de carbón obtuvo una mejora con respecto a su CBR y también mejorando su resistencia al corte donde los resultados de CBR mostraron una extensión del 4.6% al combinarlos con el 25% de ceniza de carbón teniendo como una conclusión que los suelos arcillosos si cumplen como una sub rasante.

IKEAGWUANI, C, AGUNWAMBA, J y ENEH, M, 2020. (3) Durante la temporada de lluvias los materiales que más absorben humedad potencialmente son las arcillas y los limos, lo que provoca cambios en el volumen de los suelos, generando problemas en la construcción de carreteras durante la ejecución, y estos problemas se ven reflejados en la estabilidad cuando se culmina los proyectos, ocasionando otro gasto en los mantenimientos. Por lo que la mayoría de las veces optan por el remplazo completo de todo el suelo, con otro que posea mejores propiedades, y tal motivo genera y amplifica el costo ya establecido inicialmente.

A pesar que ya se sabe sobre estos problemas frecuentes en la construcción no muchas personas tratan de investigar sobre el mejoramiento de estos suelos, por lo que la optimización de aditivos para la mejora de suelos, para muchos investigadores es un tema nuevo que fue planteado por primera vez por (OLGUN, 2013) (4). En su estudio sobre la “Optimización de aditivos para

mejorar las propiedades de arcillas expansivas sometidas a un ambiente de deshielo”. El único objetivo de emplear técnicas de optimización para puzolanas es lograr resultados deseados en las propiedades del suelo. Comúnmente para la optimización se utiliza la metodología de superficie de respuesta (RSM). OLGUN empleo el RMS para mejorar tres puzolanas que incluían cal, ceniza de cascara de arroz y fibra para el tratamiento de suelos expansivos.

MUÑOZ AVEDAÑO, L.2018 (5). En el trabajo de investigación titulada “Análisis de la capacidad de soporte (CBR) de suelos limo arenosos estabilizados con silicato de sodio, adicionado en un 70% de la humedad óptima de compactación” tuvo como propósito de investigación el comparar el antes y después de la capacidad de soporte (CBR) de suelos limo – arenosos en estado húmedo, entre suelos inalterados y suelos estabilizados con silicato de sodio. Como resultado, se demostró que los suelos no estabilizados limo – arenosos presentan una pérdida significativa en su capacidad de soporte (CBR) aproximadamente un 40 % cuando estos están en contacto con el agua, al contrario, de los suelos limo–arenosos con una estabilización con silicato de sodio el detrimento fue menor en cálculos generales un 10.31 % en su CBR; con esto se demostró una estabilización de porcentajes de suelos limo–arenosos si es posible con el silicato de sodio.

CABEZAS CHAVEZ, E y SERRATO CHAGUALA, Y. 2019 (6) . En el trabajo de investigación titulada “Evaluación de la resistencia de un suelo grueso reforzado con fibras de coco (cocotero, cocos nucifera)” tuvo como objetivo el mejoramiento de suelos arcillosos estabilizándolo con fibras de coco, para lo cual se realizó una semejanza de los indicadores de resistencia de un suelo arcilloso inalterado y un suelo arcilloso alterado con fibras de coco, mediante la prueba de CBR. La elección de este material, se dio ya que la fibra de coco siendo un material orgánico y no dañino

para el medio ambiente se le puede encontrar un segundo uso y aprovechar sus propiedades y como resultado de dicha comparación se llegó a confirmar que el suelo alterado con fibras de coco mejora el CBR en 1 %.

OJEDA FARIÁS, O. F., BALTAZAR ZAMORA, M. ÁNGEL, & MENDOZA RANGEL, J. M. 2018 (7) El presente trabajo tuvo como iniciativa la experimentación con respecto a la influencia que puede generar la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) como un remplazante parcial del cemento portland para optimizar las propiedades físicas de los suelos granulares arenosos, para lo cual se hicieron ensayos de compactación estándar AASHTO, ensayos de compresión simple y CBR; haciendo una comparación del suelo mezclado con cemento portland en porcentajes de 3%, 5% y 7%; y con suelo natural mezclado con ceniza de bagazo de caña de azúcar sustituyendo al cemento en porcentajes 0%, 25%, 50% y 100%. Dando como resultado mejoras significativas en características de compactación, compresión y CBR del suelo.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

PERES, C. 2014 (8) En la tesis titulada “Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada” tenía como principal objetivo analizar la influencia de la puzolana volante proveniente de la quema del carbón, con la finalidad de ser aplicada como un material para lograr una estabilización de suelos arcillosos. Teniendo como resultado que si cumple como un estabilizador de suelo arcilloso. La puzolana volante perfecciono la cohesión y las propiedades de resistencia, dando óptimos resultados en el ensayo CBR, aumentando su resistencia en 9%.

GOMEZ, D. y GONZALES, Y. (9) En el proyecto de investigación titulada “Mejoramiento del suelo utilizando cenizas de cáscara de arroz en la pavimentación AA. HH. Tahuantinsuyo, Nuevo Chimbote - Ancash - 2020”, tuvo por objetivo señalar el predominio de cenizas de la cascara de arroz, teniendo en cuenta 5 km de suelo sin estabilizar con una muestra de 5 calicatas por cada 1km, que fue evaluado con los instrumentos que el MTC indica como protocolo para la recolección de datos, que fue de ayuda en la evaluación de CBR (MTC E132-ASTM D1883) Y el ensayo de Proctor modificado (MTC E115-ASTM1557), teniendo como resultado que la cascara de arroz en 10%, benefició las propiedad física y mecánicas del suelo, el ensayo de CBR presento resultados favorables en un 20.70%; y 1.855 g/cm<sup>3</sup> en el ensayo de densidad máxima seca, teniendo en cuenta resultados más favorable a comparación de un terreno natural.

CASTRO, A. 2017. (10) En el proyecto de investigación titulada “Estabilización de suelos arcillosos con ceniza de cascara de arroz para el mejoramiento de subrasante”, tuvo como desarrollo utilizar un residuo orgánico como la partícula de quema de la cascara de arroz, los cuales causan daños ambientales por su abundante acumulación anualmente. La partícula de la quema de cascara de arroz tuvo como método alternativo la estabilización de suelos arcillosos, para ser utilizado a nivel de subrasante en un suelo de baja capacidad en soporte. Las muestras se obtuvieron en la región de San Martín y se realizó el estudio de propiedades mecánicas, químicas y físicas del material, para luego ser mezcladas con la partículas de la quema de cascara de arroz cada una en distintos porcentajes con la finalidad de ser evaluado su conducta geotécnica como un estabilizador primario, también se realizó la mezcla de cal, suelo arcilloso y partícula de la quema de cascara de arroz para la mejora de propiedades , los resultados fueron óptimos debido a la presencia de ceniza de arroz, se logró tener ventaja con la combinación de ceniza de cascara de

arroz y suelo arcilloso con un incremento del 5% de CBR hasta un 19.4% con una mezcla de 20 % de ceniza de cascara de arroz , se obtuvo mayor optimización con la combinación de cal ,ceniza de cascara de arroz y suelo arcilloso con un incremento del 5 % hasta 38.5% con 20% de ceniza de arroz . Dando como una buena solución utilizar este residuo orgánico, como un material estabilizante en suelos dando buenos resultados como un estabilizador secundario.

LANDA, J. y TORRES, M. 2019 (11) El presente trabajo de investigación titulada “Mejoramiento de Suelos Arcillosos en Subrasante mediante el uso de Cenizas Volantes de Bagazo de Caña de Azúcar y Cal “, tuvo como objetivo la utilización de la Cal combinándola con Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar (CBCA) un residuo agroindustrial. Se realizó el estudio del efecto de la cal en conjunto con la Ceniza de Bagazo de Azúcar (CBCA), para una mejora en las propiedad mecánicas del suelo arcilloso de una baja plasticidad, se realizó los siguientes ensayos: CBR y la compactación AASHTO estándar, para poder realizar la comparación de muestra natural de suelo con los siguientes porcentajes: 5%,15% y 25% que será aplicada en estado seco al material estabilizante, se realizó 4 combinaciones parciales con las proporciones de 100%CBCA; 75%CBCA + 25%Cal; 50%CBCA + 50%Cal; y 100%Cal , se obtuvieron mejoras de suelo en las propiedades de compactación y CBR, con la reducción de Cal en un 50% .los parámetros de material estabilizante que presento mejora eficiente y de manera rápida se obtuvo del 5% de material estabilizante con respecto al suelo seco de arcilla , con una mezcla del 50% de CBCA y 50% de Cal, teniendo como resultado el aumento en un 110.81% de CBR en suelo natural.

TERRONES, A. (2018), (12) En el trabajo de investigación titulada “Estabilización de suelos arcillosos adicionando cenizas de bagazo de caña para el mejoramiento de subrasante en el sector



Barraza, Trujillo – 2018”, esta tesis tiene como objetivo la estabilización de un suelo limoso – arcilloso, utilizando como aditivo las partículas de la quema de bagazo de caña de azúcar (CBCA), para lograr una construcción sostenible ,la ceniza de bagazo de caña de azúcar ( CBCA ) , fue obtenida por la empresa Agroindustrial Laredo , utilizando los siguientes porcentajes de bagazo de caña de azúcar (5%,10% y 15%) . En el proceso de los ensayos se consiguió los valores del porcentaje del valor máximo de la densidad seca, porcentaje de humedad, la resistencia a compresión simple no confinada y la muestra con adicción de CBCA como el valor del porcentaje de CBR del espécimen inalterado. Para obtener el porcentaje de CBCA para una subrasante se debe cumplir con los requerimientos según el Manual de Carreteras – Suelos, geología, geotecnia y pavimentos del MTC, por ellos se elaboró 36 especímenes cilíndricas de 4” de diámetro, procediendo a evaluar el comportamiento a la resistencia del ensayo de compresión simple no confinada a los 7 días de curado.

Para comprobar se hizo la elaboración de 6 probetas que fueron sometidas al ensayo CBR, se pudo determinar que al realizar una adición del 15% de CBCA a la muestra, se alcanzó un porcentaje del 23.67% en CBR y una resistencia de 150.60 kPa. De acuerdo a los resultados obtenidos se demuestra que, si es posible utilizar la CBCA para estabilizar un suelo, y adquirir mayores beneficios en las empresas de construcción en infraestructura vial, ya que, al ser un residuo, puede ser adquirido en menor costo y en la etapa de mantenimiento unos menores costos.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Reciclaje de material orgánico**

En los últimos años debido a la contaminación de residuos orgánicos e inorgánicos, el reciclaje viene tomando un papel muy importante en la sociedad, al reutilizar en gran mayoría estos

elementos dándole una nueva utilidad con la finalidad de obtener nuevos beneficios para la sociedad en relación con su estilo de vida.

Según Barrientos (2010) (13), define el reciclaje como un proceso mecánico que consiste en supeditar un producto ya utilizado a un nuevo ciclo para obtener un nuevo producto como materia prima.

Con respecto a desechos orgánicos, estos son originados doméstica y comercialmente, que al no ser controlados generan un gran impacto negativo medioambiental, contaminando agua, suelo y atmosfera. Por lo que el reciclaje de desechos orgánicos puede dar resultados positivos en la sociedad.

### **2.2.2. Reciclaje de semilla de girasol y zapallo.**

Las semillas de girasol y zapallo son utilizadas en su gran mayoría para fines medicinales por tener propiedades que ayudan al bienestar de la salud de las personas, y en el proceso para ser utilizadas, se desechan las cascaras de estas semillas.

Por lo tanto, el reciclaje de las cascaras pueden ser de gran utilidad en el campo de la investigación en ingeniería civil, dando futuras soluciones a las deficiencias en estructura vial.

### **2.2.3. Suelo limoso**

Bajo los conceptos de Castillo (2021) (14), un suelo limoso es aquel grano fino que se encuentra en la corteza terrestre. El suelo limoso posee una escasa plasticidad, está compuesto por el sedimento llamado limo y su tamaño no excede el 0.05 mm, comprende una granulometría entre arcilla y arena fina.

Un suelo limoso carece de múltiples propiedades para ser utilizada en una estructura y diseño vial, por el cual, siempre es desechada como material inservible para una construcción, produciendo contaminación ya que es desechado como desmonte en la mayoría de casos.

Pero este material puede tener otra finalidad y uso con los materiales indicados, y ser de gran ayuda en futuras construcciones aprovechando sus ventajas y generando menos explotación de suelo de la que hoy en día se observa.

#### **2.2.4. Análisis relacional Taguchi Grey**

Genichi Taguchi, fue un reconocido estadista e ingeniero japonés, recibió premios por mejorar la calidad y optimizar costos sin pérdidas de material, como fue el premio Deming en 1960 en ingeniería de calidad. El método Taguchi busca un modelo matemático de una causa y efecto para contribuir en la selección de efectos principales para tener la firmeza en cuanto al proceso y el diseño de un producto, metodológicamente Taguchi Grey sustenta el concepto de análisis de varianza y aleatorización para asegurar la calidad en un buen producto y con bajo costo en su producción. (Anad, K 2007) (15), (Bhote, K.1991) (16)

El objetivo de este método es diseñar productos con menos variabilidad en el proceso, es decir, un diseño robusto; para eso el método se define en tres etapas:

##### **-Diseño del sistema**

Primera etapa, de carácter conceptual en donde se determinan las características generales, parámetros, objetivos entre otros.

##### **-Diseño de parámetros**

Identificación de las variables clave del proceso que afectan la variación del producto y la definición de los niveles de los parámetros que producirán la menor cantidad de variación en el funcionamiento del producto.

##### **-Diseño de tolerancia**

Consiste en la determinación de cuáles son los factores que contribuyen a la eliminación de la variación de producto y en la determinación de los niveles de tolerancia apropiados en el producto final a fin de cumplir con las especificaciones.

#### **2.2.4.1. Usos en ingeniería**

El ingeniero Taguchi a lo largo de su trayectoria por su reconocimiento en mejorar la economía en su país e industria japonesa, con su método, dio enfoque a la reducción de costos y optimizar la calidad, desde el diseño de sí mismo en un producto, siendo un modelo reconocido a nivel mundial por marcas importantes, por tanto, sus métodos han sido aplicados en toda área empresarial, y sobre todo en la ingeniería en sus diferentes campos como son: Ingeniería industrial, Ingeniería aeronáutica, ingeniería mecánica e ingeniería civil, etc. (Zapata, A y Sarache, W. 2014) (17)

### **2.3. Definición de términos básicos**

#### **2.3.1. Puzolanas**

##### **2.3.1.1. Concepto**

Las puzolanas son materiales artificiales o naturales que contienen elementos como la sílice y/o alúmina, que al no ser aglomerantes por sí mismos (Stulz, R y Mukerji, k. 1981) (18); contiene elementos que pueden combinarse con la cal; en presencia de agua presentan propiedades aglomerantes.

##### **2.3.1.2. Clasificación puzolanas**

Según su origen las puzolanas son clasificadas en dos grupos:

- Puzolanas naturales

A su vez están divididos en: Puzolanas naturales de rocas volcánicas, puzolanas naturales de rocas o suelos.

- Puzolanas artificiales

A su vez están divididos en: Cenizas volantes, arcillas activadas o quemadas artificialmente, desechos de fundición y Puzolanas vegetales (19).

*Tabla 2.1 Clasificación de puzolanas*

TIPOS	CLASIFICACION	MATERIAL PUZOLANICO
Puzolanas naturales	P.N. de rocas volcánicas	Piedra pómez, tobas y obsidiana
	P.N. de rocas o suelos	Diatomeas o arcilla calcinada
Puzolanas artificiales	Cenizas volantes	Ceniza de carbón mineral (lignito)
	Arcillas activadas	Adoquines y Espacatos
	Escorias de fundición	Fundición de aleaciones ferrosas
	Puzolanas vegetales	Cascarilla de arroz, ceniza de maíz, ceniza de cáscara de semilla de girasol, ceniza de cáscara de semilla de zapallo

Fuente: Elaboración propia

### **2.3.1.3. Puzolanas vegetales**

Materiales cuyo constituyente principal es materia orgánica o de origen vegetal, cuya producción es utilizado para el consumo humano o la crianza de animales, que al ser expuestas a altas temperaturas y obtener las cenizas, se pueda aprovechar las propiedades químicas para el mejoramiento y resistencia de los suelos.

### **2.3.1.4. Producción de puzolanas naturales**

La cascara de café, cenizas de hojas de palmera, cascarilla de arroz, entre otras, cuando son expuestas a alta temperatura convenientemente, hasta llegar a la combustión (500°C. – 700°C.), se obtiene una ceniza mineral rico en sílice y alúmina.

### **2.3.1.5. Componentes químicos puzolanas vegetales**

Constituido esencialmente por sílice o aluminio en forma no cristalizada, compuestas especialmente por aluminosilicatos (Dióxido de Silicio, SiO<sub>2</sub> + Óxido de Aluminio, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), que según el tipo de puzolana pueden alcanzar entre 82% y 76%.

## 2.3.2. Clasificación de suelos

### 2.3.2.1. Granulometría de suelos

Tabla 2.2 Cuadro de granulometría de suelos

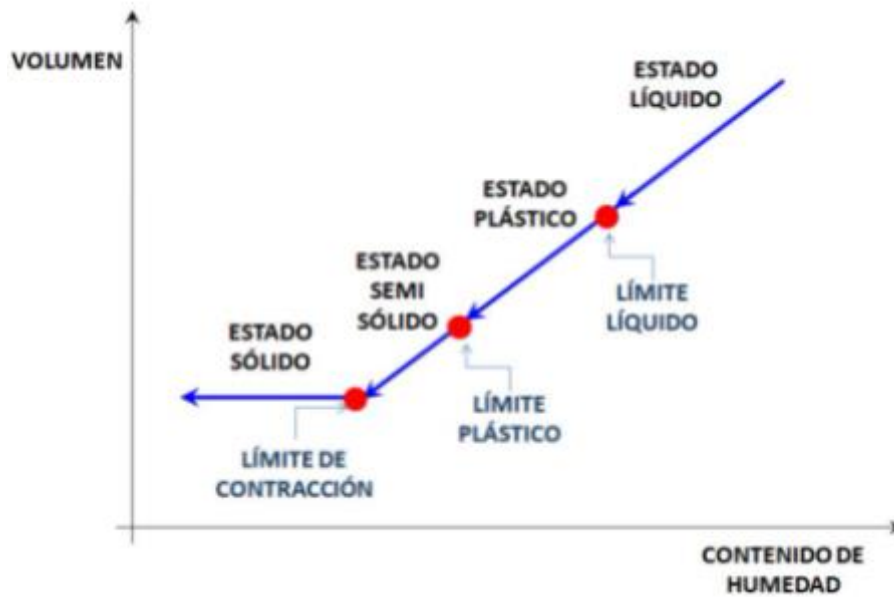
Dimensión de la partícula elemental (mm)	Atterberg – (Sistema Internacional)	U.S. Dep. De Agricultura	Ex – U.R.S.S.
<0,001	Arcilla	Arcilla	Arcilla
<0,002			Limo fino
0,005	Limo	Limo	Limo medio
0,01			Limo grueso
0,02			
0,05	Arena fina	Arena muy fina	
0,1			Arena fina
0,25		Arena fina	
0,2			Arena media
0,5	Arena gruesa		
1,0		Arena gruesa	
2,0		Arena muy gruesa	Arena gruesa
3,0	Grava fina	Grava fina	
5,0			
10,0	Grava	Grava	Grava
20,0	Grava gruesa y piedras	Grava gruesa y piedras	
>20,0			Grava gruesa y piedras

Fuente: Sistema Internacional Atterberg, U.S. Agricultura

### 2.3.2.2. Límites de consistencia de suelos

Atterberg, fue quien definió los cuatro estados de consistencia y también fue quien encadenó el grado de plasticidad con su humedad o contenido de agua (20).

Figura 2.1 Límites de consistencia de suelos



Fuente: Límites de Atterberg

### 2.3.2.3. Norma peruana de MTC para clasificar suelos

La clasificación de suelos según la norma peruana de MTC se basa en las siguientes propiedades (21):

- Clasificación de suelos según tamaño de partícula.

Tabla 2.3 Clasificación de suelos según tamaño de partícula

Tipo de Material		Tamaño de las partículas
Grava		75 mm – 4.75 mm
Arena		Arena gruesa: 4.75 mm – 2.00 mm
		Arena media: 2.00 mm – 0.425mm
		Arena fina: 0.425 mm – 0.075 mm
Material Fino	Limo	0.075 mm – 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones

- Clasificación de suelo según índice de plasticidad

Tabla 2.4 Clasificación de suelo según índice de plasticidad

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Característica
IP > 20	Alta	suelos muy arcillosos
IP ≤ 20 IP > 7	Media	suelos arcillosos
IP < 7	Baja	suelos poco arcillosos plasticidad
IP = 0	No Plástico (NP)	suelos exentos de arcilla

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones

- Clasificación de suelos según equivalente de arena

Tabla 2.5 Clasificación de suelos según equivalente de arena

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Característica
IP > 20	Alta	suelos muy arcillosos
IP ≤ 20 IP > 7	Media	suelos arcillosos
IP < 7	Baja	suelos poco arcillosos plasticidad
IP = 0	No Plástico (NP)	suelos exentos de arcilla

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones

- Clasificación de suelos según índice de grupo

Tabla 2.6 Clasificación de suelos según índice de grupo

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Característica
IP > 20	Alta	suelos muy arcillosos
IP ≤ 20 IP > 7	Media	suelos arcillosos
IP < 7	Baja	suelos poco arcillosos plasticidad
IP = 0	No Plástico (NP)	suelos exentos de arcilla

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones

#### 2.3.2.4. Definición de suelo limoso

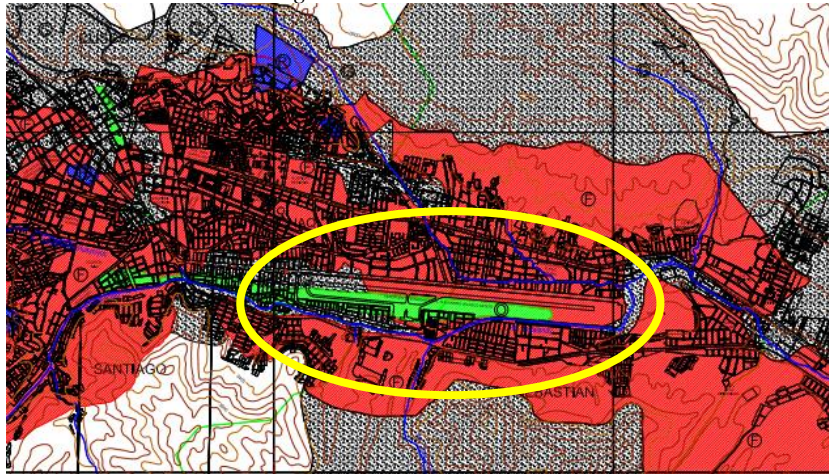
Un suelo limoso es aquel grano fino que se encuentra en la corteza terrestre. El suelo limoso posee una escasa plasticidad, está compuesto por el sedimento llamado limo y su tamaño no excede el 0.05 mm, comprende una granulometría entre arcilla y arena fina. El suelo limoso se caracteriza por ser pedregoso, estéril ya que el agua filtra con facilidad (14).

#### 2.3.2.5. Zona de suelo limoso en Cusco

En Cusco existen varios grupos y formaciones estratigráficas, entre estas donde predomina la presencia de areniscas, areniscas limotitas y limos viene a ser la formación de San Sebastián (22).



Figura 2.2 Formación San Sebastián



Fuente: Instituto Nacional de Defensa Civil

### 2.3.2.6. Uso de suelo limoso en la construcción

La presencia de suelos limosos en la construcción de obras viales, civiles, etc., presentan problemas por su baja calidad cuando están presentes en la subrasante, base o sub base, ya que no es un material cohesivo; por lo que usualmente obliga a la remoción y remplazo por un suelo seleccionado y de mejor calidad.

### 2.3.3. Resistencia CBR del suelo

#### 2.3.3.1. Métodos para determinar CBR in-situ.

Para la determinación de CBR in situ existen dos tipos de ensayos:

- Relación de soporte del suelo en el terreno (in situ) (ASTM D-4429). Con este procedimiento determinaremos el CBR mediante la confrontación entre la carga de penetración y la de un material estándar de referencia (23).
- Cono dinámico de penetración (PDC) (ASTM D-6159). Este método será utilizado en suelos no disturbados como compactados para determinar la resistencia en campo; las ventajas de esta prueba son la eficiencia y el bajo costo para su uso (24).

### 2.3.3.2. Métodos para determinar CBR en laboratorio

Para la determinación de CBR en laboratorio existen tres métodos (25):

- METODO I. Este método se empleará sobre suelos sin cohesión, gravas y arenas.
- METODO II. Este método es ensayado sobre suelos de plasticidad media o baja que carezcan de características expansivas.
- METODO III. Este método es ensayado sobre suelos con propiedades expansivas.

### 2.3.3.3. Método PDC para determinación de CBR

El método de PDC (Penetrómetro Dinámico de Cono) es utilizado para poder conocer la capacidad de carga, nivel de compactación y poder determinar el valor de CBR; este equipo comúnmente es utilizado para evaluar la cimentación superficial del pavimento.

### 2.3.3.4. Correlaciones entre CBR por método PDC y método tradicional

Existen varias correlaciones entre CBR por método PDC y método tradicional (26).

Tabla 2.7 Correlación entre CBR por método PDC y método tradicional

AUTOR	CORRELACION	OBSERVACIONES
Kleyn y Van Heerden	$CBR=428.5 * (PDC)^{-1.28}$	
TRL Overseas Road Note 8	$CBR=302 * (PDC)^{-1.057}$	
Cuerpo de Ingenieros (USA)	$CBR=292 * (PDC)^{-1.12}$	No aplica a suelos CL con $CBR < 10$ , ni a suelo CH
	$CBR=58.8 * (PDC)^{-2.0}$	Aplica a suelos CL con $CBR < 10$
	$CBR=348.3 * (PDC)^{-1.0}$	Aplica a suelos CH
MOPT Colombia (1992)	$CBR=567.0 * (PDC)^{-1.4}$	

Fuente: Normas Invias E – 172 – 13

### 2.3.3.5. Ensayo de Proctor modificado

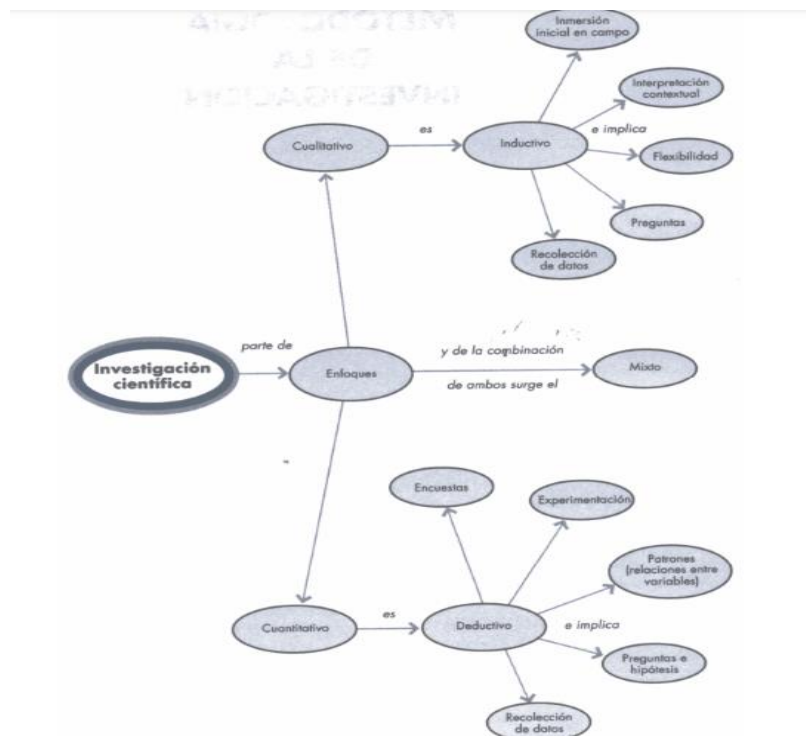
Este método se utiliza para determinar la relación densidad – humedad de suelos y también determinar las mezclas de suelo – agregado cuando estas sean compactadas en un molde con dimensiones ya establecidas y con un martillo de 10 lb (4.54 kg) que serán soltados desde una altura de 18 pulg (457 mm) simulando una compactación en campo.

## CAPITULO III: METODOLOGÍA

### 3.1. Métodos y alcance de la investigación

El presente trabajo de investigación se desarrolló con una metodología deductiva ya que partimos de afirmaciones en calidad de hipótesis deduciendo de ellas con conclusiones que deben ser reflejadas con cálculos formales (Bernal, 2006) (27); con método cuantitativo donde contrastamos hipótesis sugeridas en base a una recolección de datos para establecer patrones de comportamiento (Sampieri, 2003) (28); tipo explicativo con un diseño experimental de nivel explicativo y relacional, donde se emplea la filosofía de Taguchi Grey, mejorando la calidad de los productos a bajos costos sin desperdicio alguno, donde se podrá manipular una variable no comprobada, tomando en cuenta acciones estrictamente definidas y controladas donde se pretende pronosticar el futuro para encontrar la causa de un fenómeno (Santa Paella y Feliberto Martins, 2010) (29).

Figura 3.1: Investigación científica



Fuente: Sampieri Hernandez

### **3.2. Diseño de la investigación**

La investigación se hará con un diseño fraccional factorial, en el que se determinaran la variable independiente, como la dosis de ceniza vegetal y la variable dependiente como la resistencia CBR.

El diseño experimental es de tipo D – optimizado.

Tomando en cuenta las herramientas de la filosofía de la calidad de Taguchi Grey, específicamente el diseño robusto, donde el objetivo de tal diseño, es el de cumplir con las necesidades del cliente dentro de un estándar al que se le llama calidad aceptable donde se reducirán costos y se optimizara la productividad (Sukhdeve, V y Dr. Ganguly, S, 2015) (30).

### **3.3. Población y muestra**

#### **Población**

La población correspondiente de esta investigación será el suelo limoso de la zona de San Sebastián – Cusco, aunque no se desea generalizar los resultados de una muestra al comportamiento de todo el suelo presente en el distrito de San Sebastián por la alta variabilidad de sus suelos y de sus mezclas granulométricas.

#### **Muestra**

Para la muestra se extraerán 80 kilogramos de suelo según la facilidad de extracción, esta cantidad será utilizada en los 13 ensayos de laboratorio tomados por conveniencia los cuales serán requeridos para las conclusiones de esta investigación.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Para el presente trabajo se utilizó el siguiente instrumento para recopilar y posteriormente analizarlos:

**Experimentación:** esta técnica se utilizara para hacer un cambio de la variable independiente y verificar en cuanto varia la dependiente, es un evento controlado por el mismo investigador (Corbbeta, 2003) (31).

Para tales ensayos, se utilizó la recolección de información en una hoja de cálculo Excel la cual nos ayudara a controlar nuestros datos.

*Tabla 3.1: Tabla para toma de datos Excel*

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
N	CeZa %	CeGi %	Cem. %	suelo seco (g)	agua (g)	CeZa (g)	CeGi (g)	Cem. (g)	LEC. INICIAL (cm)	L2	L3	W CAPSULA	COD. CAPUSLA	W CAPSULA SUELO HUMEDO	W CAPSULA SUELO SECO	W ESPECIMEN HUMEDO	W ESPECIMEN SECO

*Fuente: Hoja de cálculo Excel*

### 3.4.1. Técnicas para análisis de datos.

Para los análisis de los datos recolectados se utilizó la hoja de cálculo Excel, la cual nos permite realizar operaciones de cálculo garantizados matemática y estadísticamente, así mismo, se hizo uso del software XLSTAT, el cual es un programa que nos permite procesar datos estadísticamente, utilizando el análisis de varianza ANOVA, para comprobar las hipótesis y contraste de grupos de varianza, de medias de uno o más factores.

### 3.4.2. Instrumentos para la recolección de datos

Para el presente trabajo de investigación se utilizaron instrumentos reglamentados en las normas ASTM, MTC. Por lo que se realizaron los siguientes procesos:

Como primer paso, fue la recolección del suelo limoso y de los materiales orgánicos, estos son la semilla de zapallo y la semilla de girasol. La recolección del suelo limoso se hizo en la zona de

san Sebastián, la parte que comprende de primer paradero de San Sebastián hasta séptimo paradero de San Sebastián.

Con respecto a los residuos orgánicos, se llevó a cabo la recolección en los mercados mayoristas de la ciudad del cusco (mercado de Vinocanchon, mercado central y tiendas aledañas a la zona).

*Figura 3.2: recolección de pepas de zapallo*



*Fuente: Fuente propia*

Como segundo paso, se realizó la quema en un horno artesanal dedicada a la elaboración de ladrillos de la empresa llamada LATESA SAC, la cual está ubicada en las afueras de la ciudad del Cusco, distrito de san Jerónimo, el cual nos dio el acceso a uno de sus hornos que superaba los 600° C, para llegar al punto por el cual nuestras semillas terminen siendo cenizas para el uso en los ensayos de laboratorio; al mismo tiempo, se hizo la preparación del suelo limoso el cual debía de estar en un estado seco como lo solicitaba los ensayos de laboratorio.

Figura 3.3: Horno artesanal



Fuente: fuente propia

### 3.4.3. Programación de los ensayos de laboratorio

#### 3.4.3.1. Ensayo de CBR por método de PDC en laboratorio

Para todos los ensayos se realizaron 7 pruebas, cada una con un indicador diferente de diseño de acuerdo a un porcentaje respecto a la cantidad de suelo; y para la comprobación de cada diseño se hicieron otras 6 pruebas que actuaran como replicas a las primeras pruebas mencionadas, por lo tanto, se realizaron 13 pruebas en total, las cuales se efectuaron de acuerdo a la normativa que se detallara a continuación:

#### Paso 1

Se peso la cantidad de 600 gramos de suelo limoso para cada diseño en un recipiente de plástico, la cual sea fácil de maniobrar, luego agregamos 84 ml de agua para cada diseño, tomando en cuenta que la cantidad de agua viene a ser 14 % con respecto a la cantidad de suelo.

Para los diseños que contengan un porcentaje de ceniza de semilla de zapallo y ceniza de semilla de girasol, se les adicionara a las cantidades ya establecidas anteriormente de acuerdo al tipo de diseño que corresponda las cuales serán mencionadas a continuación.

Tabla 3.2: Porcentaje y cantidades de diseño

N	CeZa %	CeGi %	Cem. %	suelo seco (g)	agua (g)	CeZa (g)	CeGi (g)	Cem. (g)
1	0	0	0	600	84	0	0	0
2	0	0	0	600	84	0	0	0

<b>3</b>	4	0	0	600	84	24	0	0
<b>4</b>	4	0	0	600	84	24	0	0
<b>5</b>	0	4	0	600	84	0	24	0
<b>6</b>	0	4	0	600	84	0	24	0
<b>7</b>	0	0	4	600	84	0	0	24
<b>8</b>	0	0	4	600	84	0	0	24
<b>10</b>	1.334	1.334	1.334	600	84	8	8	8
<b>11</b>	0.667	2	1.334	600	84	4	12	8
<b>12</b>	0.667	2	1.334	600	84	4	12	8
<b>13</b>	1.334	2	0.667	600	84	8	12	4
<b>14</b>	1.334	2	0.667	600	84	8	12	4

*Fuente: Fuente propia*

N: Número de diseño

CeZa %: Porcentaje de ceniza de semilla de zapallo

CeGi %: Porcentaje de ceniza de semilla de girasol

Cem %: Porcentaje de cemento

CeZa (g): Cantidad de ceniza de semilla de zapallo en gramos

CeGi (g): Cantidad de ceniza de semilla de girasol en gramos

Cem (g): Cantidad de cemento en gramos

*Figura 3.4: Peso de suelo*



*Fuente: Fuente propia*



## Paso 2

Luego de pesar el material para tener todas las medidas exactas según al diseño, se procede a realizar una mezcla uniforme a un solo ritmo de batido en un determinado tiempo que en este caso fue con un lapso de 1 min.

*Figura 3.5: Mezcla del material*



*Fuente: Fuente propia*

## Paso 3

Una vez obtenido la mezcla, se procedió a cuartear el material mezclado homogéneamente para tener cuatro partes iguales de material y así proceder al llenado en un molde de ensayo (Proctor) en cuatro capas.

*Figura 3.6: Cuarteo de la mezcla*



*Fuente: Fuente propia*

#### **Paso 4**

El molde será llenado por 4 capas y cada una de ellas será compactada por dos golpes con un pistón de (kg) y así obtener una compactación limpia de nuestro material.

*Figura 3.7: Compactación de la muestra*



*Fuente: Fuente propia*

#### **Paso 5**

Al estar compactado el material en nuestro molde, se procedió a realizar la prueba de penetración de cono dinámico (PDC para hallar el CBR con una correlación entre ambos, para este paso se procedió al posicionamiento de nuestro equipo llamado penetrómetro dinámico ligero, el cual consiste en colocar el cono del penetrómetro sobre el centro de la superficie de nuestro molde con el material compactado, el equipo tiene que estar lo más verticalmente posible, se realizó un golpe con el mazo de caída libre a una altura de 5 cm del yunque para poder obtener una lectura inicial, posteriormente se hizo 2 veces el mismo procedimiento, pero con la diferencia que la altura con la que se soltara el mazo sobre el yunque es de 57.5 cm, y tomamos nota de las medidas de profundidad que se obtuvieron de la regla de medición.

*Figura 3.8: Prueba de penetración*



*Fuente: Fuente propia*

### **Paso 6**

Para poder hallar el contenido de humedad, se realizó un pequeño procedimiento donde empezamos registrando el peso de las capsulas previamente identificadas con un código o número y de esta forma llevar un correcto y ordenado trabajo y evitar confusiones en las muestras.

*Figura 3.9: Peso de capsulas*



*Fuente: Fuente propia*

### **Paso 7**

Luego de obtener el peso de cada capsula identificada, le adicionamos una muestra pequeña obtenida del molde inicial donde se realizó la prueba de penetración de cono dinámico, la cantidad

de esta muestra extraída será de una cuchara y media aproximadamente, luego se procederá con registrar el peso de la capsula con la muestra húmeda.

*Figura 3.10: Peso de cápsula con material*



*Fuente: Fuente propia*

### **Paso 8**

Posterior al pesado de las cápsulas identificadas con nuestro suelo húmedo, pasamos a colocarlo en un horno a 250°C, para que en el lapso de un día nuestro suelo húmedo quede totalmente seco y podamos pesarlo; con los datos obtenidos se podrá realizar la prueba de contenido de humedad que será una información determinante para nuestro proyecto.

*Figura 3.11: Colocado de cápsulas al horno*



*Fuente: Fuente propia*

### **3.4.3.2. Ensayo de compresión simple**

Teniendo nuestro suelo mezclado con las cenizas de zapallo y girasol en la proporción indicada, inicialmente procedemos con el ensayo de compresión simple para lo cual se realizó 7 ensayos,

cada uno con su respectiva replica continuamente al anterior ensayo mencionado CBR en correlación al PDC.

### **Paso 1**

Después de realizar el ensayo de PDC (penetración dinámica de cono) en el equipo de compactación Proctor se retira la extensión del molde para luego con una cuchilla hacer el corte del suelo al ras del primer collarín del equipo.

*Figura 3.12: Eliminación de material excedente*



*Fuente: Fuente propia*

### **Paso 2**

Retiramos el collarín con nuestro suelo compactado de la base del equipo, para ser colocado en una gata hidráulica modificada, la cual terminara de moldear el suelo compactado de acuerdo a las dimensiones recomendadas por la normativa ASTM D2166-06, para así obtener el testigo o espécimen diseñado.

*Figura 3.13: Moldeado del espécimen*



*Fuente: Fuente propia*

### **Paso 3**

Una vez obtenida el testigo o muestra, se tomará nota del peso de cada una de los especímenes previamente identificados con una numeración.

*Figura 3.14: Peso de espécimen húmedo*



*Fuente: Fuente propia*

### **Paso 4**

Una vez pesado cada uno de los especímenes, se deja por un lapso de 24 hrs. en la intemperie hasta su secado, para así obtener los datos requeridos que será de suma importancia para nuestro proyecto.

*Figura 3.15: Peso de espécimen seco*



*Fuente: Fuente propia*

### **Paso 5**

Una vez tomada nota de los nuevos pesos de los especímenes identificados, se procede a realizar la medición del diámetro del espécimen por su parte superior e inferior para luego obtener un promedio de ambas medidas, la cual será utilizada en los cálculos de investigación.

*Figura 3.16: Medición de diámetro del espécimen*



*Fuente: Fuente propia*

### **Paso 6**

De igual forma se procede a realizar dos medidas diferentes de altura de cada uno de los especímenes identificados, para posteriormente obtener un promedio que será utilizada en los cálculos de investigación.

*Figura 3.17: Medición de altura del espécimen*



*Fuente: Fuente propia*

### **Paso 7**

Después de registrar los datos de los especímenes, se procede a colocar el espécimen o testigo en un dispositivo de carga axial, para luego proceder con la prueba de compresión simple, la cual consiste en aplicar una carga controlada sobre el espécimen o testigo hasta que el espécimen llegue a un punto de fractura; la presión ejercida será progresiva a un solo ritmo hasta que el espécimen falle y se tomara nota de la carga ejercida en kN/m, la cual será la resistencia del espécimen a una presión ejercida.

*Figura 3.18: Dispositivo de carga axial*



*Fuente: Fuente propia*



### 3.5. Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA			
	PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS
<b>GENERAL</b>	¿Cuáles son los resultados de la optimización de aditivos puzolánicos de origen vegetal para la mejora de CBR en suelo limoso para infraestructura vial, con base en análisis relacional Taguchi-Grey?	Optimizar aditivos puzolánicos de origen vegetal para la mejora de relación de soporte de califomia (CBR) en suelo limoso, con base en análisis relacional Taguchi-Grey.	Los resultados de la optimización de aditivos puzolánicos de origen vegetal para la mejora de CBR en suelo limoso para infraestructura vial, con base en análisis relacional Taguchi-Grey son satisfactorios.
<b>ESPECIFICO 1</b>	¿Cuál es el comportamiento de la ceniza de semilla de girasol como aditivos puzolánicos para la mejora de CBR en un suelo limoso?	Determinar el comportamiento de la ceniza de semilla de girasol como aditivos puzolánicos para la mejora de CBR en un suelo limoso con base en análisis relacional Taguchi-Grey.	La ceniza de semilla de girasol como aditivos puzolánicos tiene un efecto significativo para la mejora de CBR en un suelo limoso.
<b>ESPECIFICO 2</b>	¿Cuál es el comportamiento de la ceniza de semilla de zapallo como aditivos puzolánicos para la mejora de CBR en un suelo limoso?	Determinar el comportamiento de la ceniza de semilla de zapallo como aditivos puzolánicos para la mejora de CBR en un suelo limoso con base en análisis relacional Taguchi-Grey.	La ceniza de semilla de zapallo como aditivos puzolánicos tiene un efecto significativo para la mejora de CBR en un suelo limoso.
<b>ESPECIFICO 3</b>	¿Cuál es el comportamiento de la ceniza del cemento sin aditivos puzolánicas de origen vegetal para la mejora de CBR en un suelo limoso	Determinar el comportamiento del cemento sin aditivos puzolánicas de origen vegetal para la mejora de CBR en un suelo limoso con base en análisis relacional Taguchi-Grey.	El cemento sin aditivos puzolánicas tiene un efecto significativo para la mejora de CBR en un suelo limoso.
<b>ESPECIFICO 4</b>	¿Cuál es el comportamiento de la ceniza de semilla de zapallo con ceniza de semilla de girasol como aditivos puzolánicos mas cemento para la mejora de CBR en un suelo limoso?	Determinar el comportamiento de la ceniza de semilla de zapallo con ceniza de semilla de girasol como aditivos puzolánicos más cemento para la mejora de CBR en un suelo limoso con base en análisis relacional Taguchi-Grey.	Las cenizas de semilla de girasol y cenizas de semilla de zapallo mas cemento tiene un efecto significativo para la mejora de CBR en un suelo limoso.

*Tabla 3.3: Matriz de consistencia*

*Fuente: Elaboración propia*

## CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Presentación de resultados

A continuación, se presentará los resultados de los siguientes ensayos que se realizaron, relación de soporte de california (CBR) en correlación al ensayo de penetración dinámica de cono (PDC) para lo cual se utilizaron la normativa ASTM D-6951 y la norma ASTM D-1883 los cuales se realizaron en el laboratorio.

Para el análisis de datos se utilizó el programa XLSTAT que es software que se emplea como un complemento para Excel, debido a su gran capacidad de sus funciones estadísticas avanzadas y estándar, se hace la regresión lineal para encontrar la ecuación por la cual podamos analizar a cualquier porcentaje menor al 4%. Por ello se utilizó el siguiente porcentaje en variables (0%, 0666%,1%,1.333%,2%,3%,4%)

#### 4.1.1. De las puzolanas naturales y suelo limoso

Se realizó la recolección de nuestras puzolanas naturales como vienen a ser las semillas de zapallo, las semillas de girasol en los siguientes entornos: mercados mayoristas, tiendas aledañas a la zona, así mismo se realizó la recolección de suelo limoso de la zona de san Sebastián que comprende del 1er paradero al 7mo de San Sebas Sebastián.

#### 4.1.2. Para resultados de CBR en correlación con DCP

Tabla 4.1: Lecturas de ensayo de DCP

N	CeZa %	CeGi %	Cem. %	LEC. INICIAL (cm)	L2	L3
1	0.0	0.0	0.0	9.72	11.5	12.9
2	0.0	0.0	0.0	9.45	11	12.3
3	4.0	0.0	0.0	8.33	9.41	10.3
4	4.0	0.0	0.0	8.11	9.34	10.4
5	0.0	4.0	0.0	8.40	9.45	10.35
6	0.0	4.0	0.0	8.35	9.65	10.6
7	0.0	0.0	4.0	9.75	11.1	12.25

8	0.0	0.0	4.0	8.80	10.05	11
10	1.3	1.3	1.3	8.40	9.5	10.6
11	0.7	2.0	1.3	8.10	9.5	10.61
12	0.7	2.0	1.3	8.60	10	11
13	1.3	2.0	0.7	8.50	9.3	10.3
14	1.3	2.0	0.7	8.30	10	11

*Fuente: Elaboracion propia*

- N: Número de diseño
- CeZa %: Porcentaje de ceniza de semilla de zapallo
- CeGi %: Porcentaje de ceniza de semilla de girasol
- Cem %: Porcentaje de cemento
- LEC, INICIAL: Lectura inicial de penetrómetro a 5 cm
- L2: Segunda lectura de penetrómetro a 57.5 cm
- L3: Tercera lectura de penetrómetro a 57.5 cm

Del ensayo Penetración de cono dinámico ASTM D-6951 se hallará la medida de penetración del penetrómetro de cono dinámico que tendrá las unidades de mm/golpe para lo cual se utilizara la siguiente formula:

$$DCPI = PROMEDIO((-LEC\ INI + L2) * 10, (-L2 + L3) * 10)$$

- LEC. INICIAL: Lectura inicial de penetrómetro a 5 cm
- L2: Segunda lectura de penetrómetro a 57.5 cm
- L3: Tercera lectura de penetrómetro a 57.5 cm

Tabla 4.2: Resultado de ensayo DCP

N	LEC. INICIAL (cm)	L2	L3	DCPI PROM (mm)
1	9.72	11.5	12.9	15.9
2	9.45	11	12.3	14.3
3	8.33	9.41	10.3	9.9
4	8.11	9.34	10.4	11.5
5	8.40	9.45	10.35	9.8
6	8.35	9.65	10.6	11.3
7	9.75	11.1	12.25	12.5
8	8.80	10.05	11	11.0
10	8.40	9.5	10.6	11.0
11	8.10	9.5	10.61	12.6
12	8.60	10	11	12.0
13	8.50	9.3	10.3	9.0
14	8.30	10	11	13.5

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro anterior se ve los resultados de la prueba de penetración; luego de tener los resultados se buscará obtener el CBR tomando en cuenta la correlación de ambas pruebas según la siguiente formula del cuerpo de ingenieros de Estados Unidos (USACE):

$$CBR = 292 * (DCPI)^{-1.12}$$

Tabla 4.3: Resultado de CBR en correlación DCP

N	DCPI PROM (mm)	CBR PDC ASTM D6951 (USACE) (%)
1	15.9	13.2
2	14.3	14.9
3	9.9	22.5
4	11.5	19.0
5	9.8	22.8
6	11.3	19.4
7	12.5	17.3

8	11.0	19.9
10	11.0	19.9
11	12.6	17.2
12	12.0	18.1
13	9.0	24.9
14	13.5	15.8

Fuente: Elaboración propia

Teniendo el valor de un CBR en correlación del PDC hallamos el valor en porcentaje del CBR, en un CBR de laboratorio sumergido por lo que se usó la siguiente ecuación de la normativa ASTM D-1883 referencia 1:

$$CBR_{Sum} = 10^{-(500 \times \log_{10}(DCP PROM (mm)) - 12.19) / 825}$$

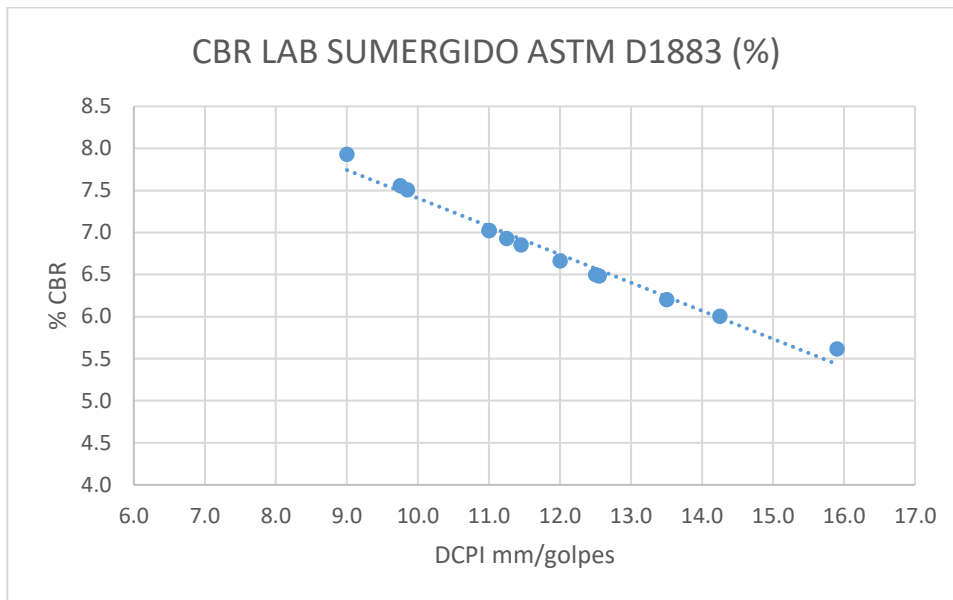
Por lo que tenemos los siguientes resultados:

Tabla 4.4: Cálculo de CBR sumergido

N	DCPI PROM (mm)	CBR PDC ASTM D6951 (USACE) (%)	CBR LAB SUMERGIDO ASTM D1883 (%) Ref. 1
1	15.9	13.2	5.6
2	14.3	14.9	6.0
3	9.9	22.5	7.5
4	11.5	19.0	6.9
5	9.8	22.8	7.6
6	11.3	19.4	6.9
7	12.5	17.3	6.5
8	11.0	19.9	7.0
10	11.0	19.9	7.0
11	12.6	17.2	6.5
12	12.0	18.1	6.7
13	9.0	24.9	7.9
14	13.5	15.8	6.2

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1: Resultados de laboratorio % de CBR



Fuente: resultado de laboratorio

Teniendo los valores de CBR sumergido a un 0%, 0.666%, 1%, 1.333%, 2%, 3%, 4% y teniendo el valor de 4% como valor máximo se pudo realizar una regresión lineal por el cual se podrá hallar la ecuación general del ensayo de CBR con variables de ceniza de semilla de zapallo y ceniza de semilla de girasol y así poder encontrar el valor del CBR con cualquier porcentaje de variables con la única condición que sea menor a 4%.

Para ello se utilizó el software XLSTAT y teniendo los siguientes resultados:

## ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS

Tabla 4.5: Estadísticos descriptivos:

Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
CBR_Sum	13	0	13	5.616	7.930	6.790	0.650
Cohesión	13	0	13	3.526	7.284	5.490	1.166

CeZa %	13	0	13	0.000	4.000	1.026	1.430
CeGi %	13	0	13	0.000	4.000	1.333	1.491
Cem. %	13	0	13	0.000	4.000	1.026	1.430

Fuente: Resultados XLXSTAT

En el cuadro se observa un resumen de los datos a analizar para poder evaluar la regresión lineal, donde nos muestra las cantidades máximas y mínimas de las variables a utilizar.

## MATRIZ DE CORRELACIONES

Tabla 4.6: Matriz de correlaciones

	CeZa %	CeGi %	Cem. %	CeZa %*CeGi %	CeZa %*Cem. %	CeGi %*Cem. %	CBR_Sum	Cohesión
CeZa %	1	-0.313	-0.340	0.068	0.045	-0.030	0.347	0.027
CeGi %	-0.313	1	-0.313	0.280	0.226	0.280	0.356	-0.467
Cem. %	-0.340	-0.313	1	-0.030	0.045	0.068	-0.014	-0.083
CeZa %*CeGi %	0.068	0.280	-0.030	1	0.836	0.738	0.156	-0.491
CeZa %*Cem. %	0.045	0.226	0.045	0.836	1	0.836	0.112	-0.572
CeGi %*Cem. %	-0.030	0.280	0.068	0.738	0.836	1	-0.003	-0.742
CBR_Sum	0.347	0.356	-0.014	0.156	0.112	-0.003	1	-0.487
Cohesión	0.027	-0.467	-0.083	-0.491	-0.572	-0.742	-0.487	1

Fuente: Resultados XLXSTAT

El cuadro de matriz de correlaciones nos indica que tanta relación tiene una variable con otra, la cual nos indica si es un análisis funcional o no.

## ESTADÍSTICOS DE MULTICOLINEALIDAD

Tabla 4.7: Estadísticos de multicolinealidad:

	CeZa %	CeGi %	Cem. %	CeZa %*CeGi %	CeZa %*Cem. %	CeGi %*Cem. %
Tolerancia	0.652	0.600	0.652	0.285	0.194	0.285
VIF	1.534	1.667	1.534	3.512	5.157	3.512

Fuente: Resultados XLXSTAT

## Regresión de la variable CBR\_Sum:

Tabla 4.8: Estadísticos de bondad del ajuste (CBR\_Sum):

Observaciones	13
Suma de los pesos	13
GL	6
R <sup>2</sup>	0.580
R <sup>2</sup> ajustado	0.159
MEC	0.355
RMSE	0.596
MAPE	4.597
DW	2.520
Cp	7.000
AIC	-9.510
SBC	-5.556
PC	1.402
Press	8.523
Q <sup>2</sup>	-0.682

Fuente: Resultados XLXSTAT

La determinación del factor R<sup>2</sup> es muy importante por la cual nosotros indicamos cuanta relación tiene todas las variables como una sola; por lo que se puede decir que tenemos una relación media entre todas las variables, lo que el modelo nos permitirá analizar nuestro CBR\_SUM con bastante seguridad.

## ANALISIS DE VARIANZA

Tabla 4.9: Análisis de varianza (CBR\_Sum):

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	6	2.937	0.489	1.378	0.353
Error	6	2.131	0.355		
Total corregido	12	5.068			

Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$

Fuente: Resultados XLXSTAT

El análisis de la varianza CBR\_Sum nos indica cuanto riesgo o cuanto error puede tener nuestro modelo de análisis.



Determinamos con el valor F ( $Pr > F$ ), el cual nos indicara el valor de error, en nuestro caso el valor de error es de 0.353 la cual nos dará una relación positiva y negativa dependiendo los variables.

#### ANALISIS SUMA DE CUADRADOS TIPO I

*Tabla 4.10: Análisis Suma de Cuadrados Tipo I (CBR\_Sum):*

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
CeZa %	1	0.610	0.610	1.718	0.238
CeGi %	1	1.209	1.209	3.406	<b>0.115</b>
Cem. %	1	0.750	0.750	2.112	0.196
CeZa %*CeGi %	1	0.041	0.041	0.116	0.745
CeZa %*Cem. %	1	0.025	0.025	0.069	0.801
CeGi %*Cem. %	1	0.302	0.302	0.850	0.392

*Fuente: Resultados XLXSTAT*

La suma de cuadrados tipo I se utiliza para probar hipótesis de medias ponderadas, por la cual se deduce las hipótesis y se encuentra los variables que aportan información significativa.

#### ANALISIS SUMA DE CUADRADOS TIPO III

*Tabla 4.11: Análisis Suma de Cuadrados Tipo III (CBR\_Sum):*

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
CeZa %	1	1.880	1.880	5.293	<b>0.061</b>
CeGi %	1	2.048	2.048	5.767	<b>0.053</b>
Cem. %	1	0.904	0.904	2.545	0.162
CeZa %*CeGi %	1	0.006	0.006	0.016	0.902
CeZa %*Cem. %	1	0.038	0.038	0.108	0.754
CeGi %*Cem. %	1	0.302	0.302	0.850	0.392

*Fuente: Resultados XLXSTAT*

Parámetros del modelo (CBR\_Sum)

Tabla 4.12: Parámetros del modelo (CBR\_Sum):

Fuente	Valor	Error estándar	t	Pr >  t	Límite inferior (85%)	Límite superior (85%)
Intercepción	5.809	0.136	42.612	<b>&lt;0.0001</b>	5.584	6.034
CeZa %	0.343	0.067	5.105	<b>0.002</b>	0.232	0.454
CeGi %	0.358	0.065	5.496	<b>0.002</b>	0.250	0.465
Cem. %	0.238	0.057	4.135	<b>0.006</b>	0.143	0.332
CeZa %*CeGi %	0.039	0.369	0.105	0.920	-0.570	0.647
CeZa %*Cem. %	0.218	0.279	0.782	0.464	-0.243	0.679
CeGi %*Cem. %	-0.279	0.106	-2.627	<b>0.039</b>	-0.454	-0.104

Fuente: Resultados XLSTAT

En este cuadro se determina cuanta variación tendrá nuestro CBR\_Sum al momento de tener un incremento o decrecimiento con respecto al porcentaje de nuestros 6 variables (CeZa %, CeGi %, Cem. %, CeZa %\*CeGi %, CeZa %\*Cem. %, CeGi %\*Cem. %).

Ecuación del modelo (CBR\_Sum)

De la cual hallamos la ecuación general de CBR para el cálculo de cualquier porcentaje menor a 4% de nuestros diseños.

$$\begin{aligned}
 \text{CBR\_Sum} = & \mathbf{5.80917512436701} + \mathbf{0.342753685934717*CeZa\%} + \\
 & \mathbf{0.357772724750252*CeGi\%} + \mathbf{0.237645177953101*Cem.\%} + \\
 & \mathbf{3.87240021810878E-02*CeZa\%*CeGi\%} + \\
 & \mathbf{0.218385724524361*CeZa\%*Cem.\%} - \mathbf{0.279146583739816*CeGi\%*Cem.\%}
 \end{aligned}$$

## Coefficientes estandarizados (CBR\_Sum)

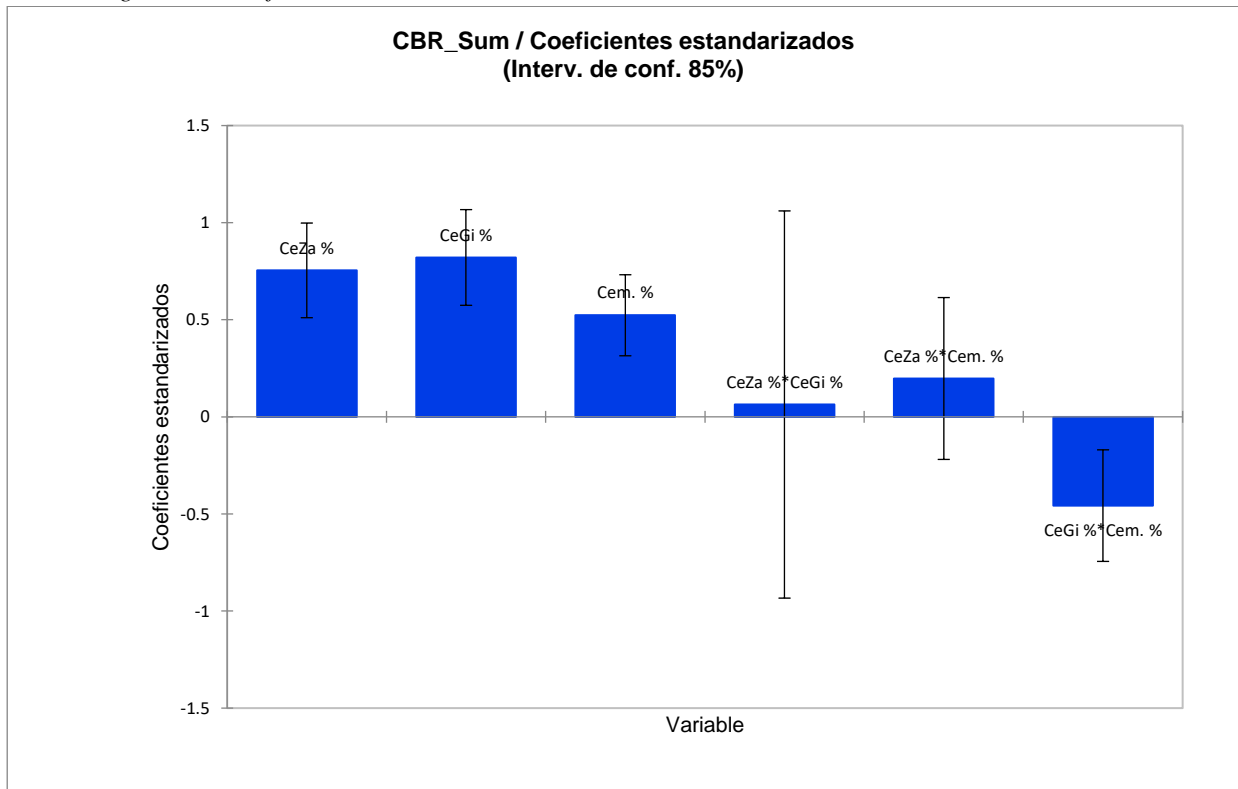
Tabla 4.13: Coeficientes estandarizados (CBR\_Sum)

Fuente	Valor	Error estándar	t	Pr >  t	Límite inferior (85%)	Límite superior (85%)
CeZa %	0.754	0.148	5.105	<b>0.002</b>	0.511	0.998
CeGi %	0.821	0.149	5.496	<b>0.002</b>	0.574	1.067
Cem. %	0.523	0.126	4.135	<b>0.006</b>	0.314	0.732
CeZa %*CeGi %	0.063	0.604	0.105	0.920	-0.933	1.060
CeZa %*Cem. %	0.197	0.253	0.782	0.464	-0.219	0.614
CeGi %*Cem. %	-0.457	0.174	-2.627	<b>0.039</b>	-0.745	-0.170

Fuente: Resultados XLSTAT

Se analizó independientemente cuanta influencia tiene los porcentajes de las 6 variables (CeZa %, CeGi %, Cem. %, CeZa %\*CeGi %, CeZa %\*Cem. %, CeGi %\*Cem. %) Con respecto al CBR\_Sum; siempre tomando en cuenta el intervalo inicial de 85%.

Figura 4.2: Coeficientes estandarizados



Fuente: Resultados XLSTAT

Predicciones y residuos (CBR\_Sum):

Tabla 4.14: Predicciones y residuos

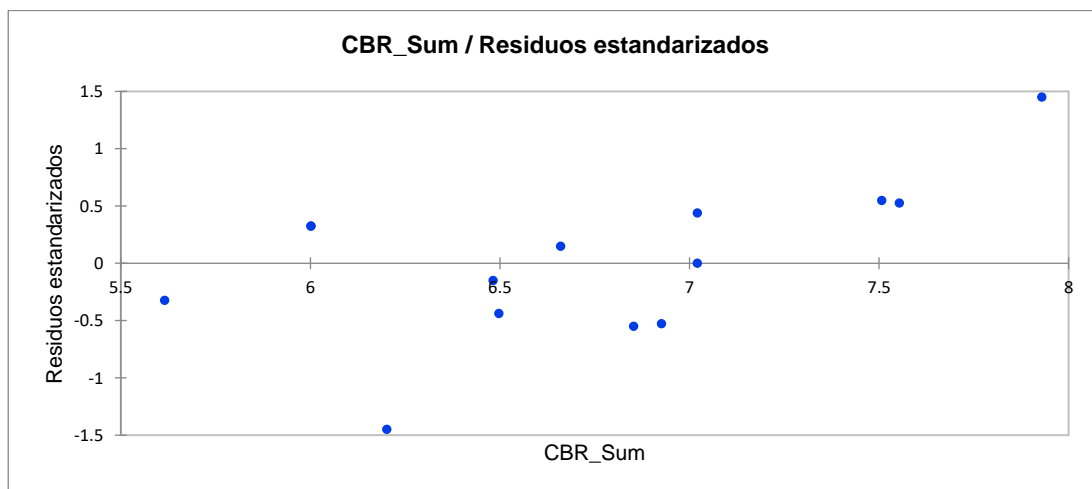
Observación	Peso	CeZa %	CeGi %	Cem. %	CBR_Sum	Pred(CBR_Sum)	Residuo	Residuo estd.
Obs1	1	0.000	0.000	0.000	5.616	5.809	-0.193	-0.324
Obs2	1	0.000	0.000	0.000	6.002	5.809	0.193	0.324
Obs3	1	4.000	0.000	0.000	7.507	7.180	0.327	0.549
Obs4	1	4.000	0.000	0.000	6.853	7.180	-0.327	-0.549
Obs5	1	0.000	4.000	0.000	7.554	7.240	0.314	0.527
Obs6	1	0.000	4.000	0.000	6.926	7.240	-0.314	-0.527
Obs7	1	0.000	0.000	4.000	6.498	6.760	-0.262	-0.439
Obs8	1	0.000	0.000	4.000	7.021	6.760	0.262	0.439
Obs10	1	1.334	1.334	1.334	7.021	7.021	0.000	0.000
Obs11	1	0.667	2.000	1.334	6.482	6.572	-0.089	-0.150
Obs12	1	0.667	2.000	1.334	6.661	6.572	0.089	0.150
Obs13	1	1.334	2.000	0.667	7.930	7.066	0.864	1.450
Obs14	1	1.334	2.000	0.667	6.202	7.066	-0.864	-1.450

Observación	Des. estd. sobre la pred. (Media)	Límite inferior 85% (Media)	Límite superior 85% (Media)	Des. estd. sobre la pred. (Observación)	Límite inferior 85% (Observación)	Límite superior 85% (Observación)	Pred. ajustada
Obs1	0.421	5.114	6.505	0.730	4.605	7.014	6.002
Obs2	0.421	5.114	6.505	0.730	4.605	7.014	5.616
Obs3	0.421	6.485	7.876	0.730	5.976	8.385	6.853
Obs4	0.421	6.485	7.876	0.730	5.976	8.385	7.507
Obs5	0.421	6.545	7.936	0.730	6.036	8.445	6.926
Obs6	0.421	6.545	7.936	0.730	6.036	8.445	7.554
Obs7	0.421	6.064	7.455	0.730	5.555	7.964	7.021
Obs8	0.421	6.064	7.455	0.730	5.555	7.964	6.498
Obs10	0.596	6.038	8.005	0.843	5.631	8.412	-1.7977E+308
Obs11	0.421	5.876	7.267	0.730	5.367	7.776	6.661
Obs12	0.421	5.876	7.267	0.730	5.367	7.776	6.482
Obs13	0.421	6.370	7.761	0.730	5.861	8.270	6.202
Obs14	0.421	6.370	7.761	0.730	5.861	8.270	7.930

Fuente: Resultados XLXSTAT

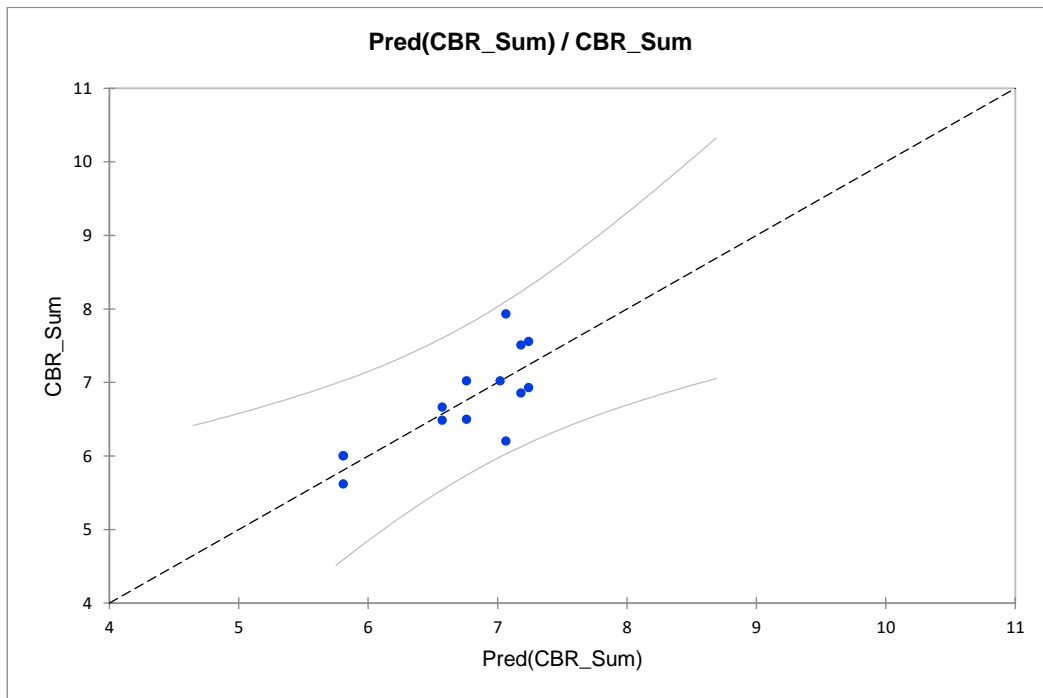
Se puede analizar por ejemplo en nuestro primer dato observado que son CBR\_Sum de 5.616 ; el valor predictorio nos indica 5.809 con una diferencia de -0.193; esto es dado por el margen de error que representa el problema y de esta manera podemos determinar cuanta diferencia hay entre el dato observado y nuestra predicción.

Figura 4.3: Residuos estandarizados /CBR



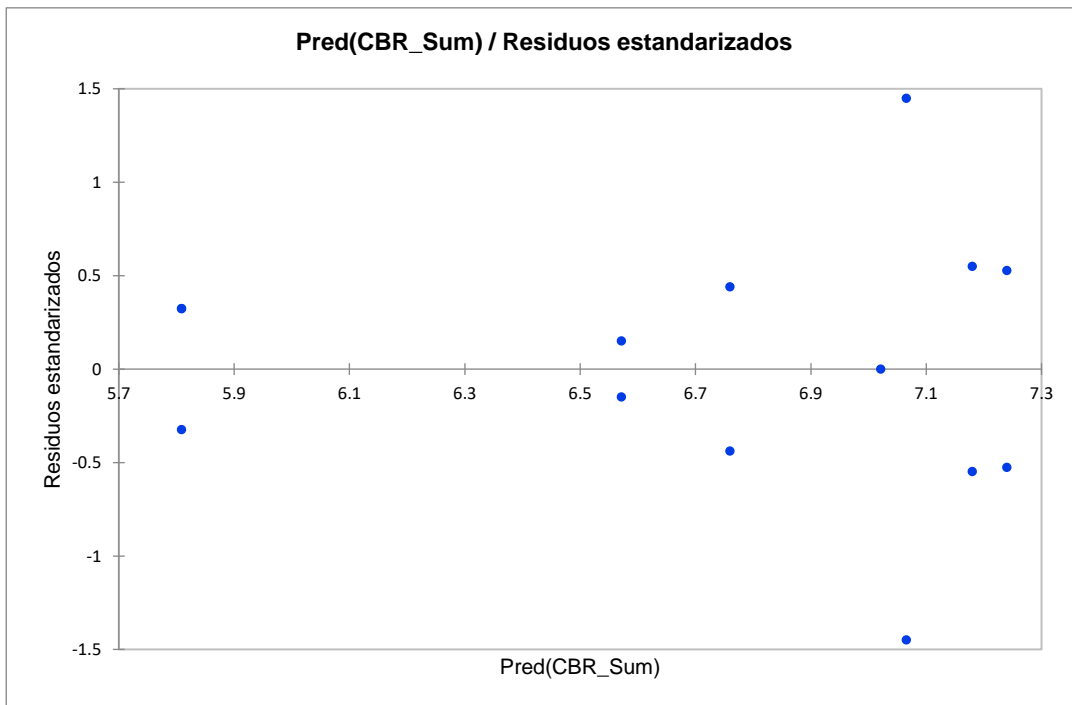
Fuente: Resultados XLXSTAT

Figura 4.4: Predicción CBR / CBR\_SUM



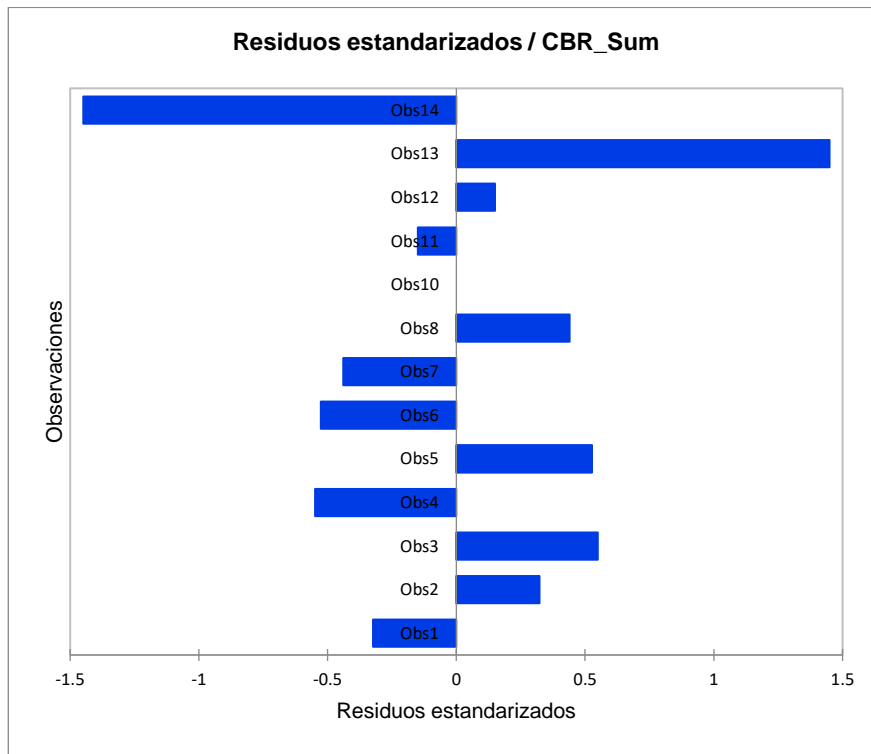
Fuente: Resultados XLSTAT

Figura 4.5: Predicción (CBR\_SUM) / Residuos estandarizados



Fuente: Resultados XLSTAT

Figura 4.6: Observaciones de Residuos estandarizados / (CBR\_SUM)



Fuente: Resultados XLSTAT

Nuestros límites van desde -1.86 hasta 1.86 de acuerdo a nuestro intervalo de confianza desde un inicio que es de 85%; por lo que se ve las variables está dentro de los límites permitidos lo que significa que las variables tienen mucha relación.

Diagnósticos de influencia (CBR\_Sum):

Tabla 4.15: Diagnósticos de influencia (CBR\_Sum)

Observación	Peso	Residuo	Residuo estd.	Residuos de Student	Deleted	StuDeleted	Leverage centrado	Mahalanobis	D de Cook	CovRatio
Obs1	1.000	-0.193	-0.324	-0.458	-0.386	-0.601	0.423	5.077	0.030	5.589
Obs2	1.000	0.193	0.324	0.458	0.386	0.601	0.423	5.077	0.030	5.589
Obs3	1.000	0.327	0.549	0.777	0.655	1.057	0.423	5.077	0.086	3.413
Obs4	1.000	-0.327	-0.549	-0.777	-0.655	-1.057	0.423	5.077	0.086	3.413
Obs5	1.000	0.314	0.527	0.745	0.628	1.009	0.423	5.077	0.079	3.635
Obs6	1.000	-0.314	-0.527	-0.745	-0.628	-1.009	0.423	5.077	0.079	3.635
Obs7	1.000	-0.262	-0.439	-0.621	-0.523	-0.829	0.423	5.077	0.055	4.501
Obs8	1.000	0.262	0.439	0.621	0.523	0.829	0.423	5.077	0.055	4.501

Obs10	1.000	0.000	0.000				0.923			
Obs11	1.000	-0.089	-0.150	-0.212	-0.178	-0.274	0.423	5.077	0.006	6.800
Obs12	1.000	0.089	0.150	0.212	0.178	0.274	0.423	5.077	0.006	6.800
Obs13	1.000	0.864	1.450	2.050	1.728	4.835	0.423	5.077	0.600	0.002
Obs14	1.000	-0.864	-1.450	-2.050	-1.728	-4.835	0.423	5.077	0.600	0.002

Observación	DFFits	DFFits(Std)	DFBETA (intercepcion)	DFBeta_CeZa %	DFBeta_CeGi %	DFBeta_Cem. %
Obs1	-0.193	-0.425	-0.193	0.048	0.048	0.048
Obs2	0.193	0.425	0.193	-0.048	-0.048	-0.048
Obs3	0.327	0.748	0.000	0.082	0.000	0.000
Obs4	-0.327	-0.748	0.000	-0.082	0.000	0.000
Obs5	0.314	0.714	0.000	0.000	0.078	0.000
Obs6	-0.314	-0.714	0.000	0.000	-0.078	0.000
Obs7	-0.262	-0.586	0.000	0.000	0.000	-0.065
Obs8	0.262	0.586	0.000	0.000	0.000	0.065
Obs10						
Obs11	-0.089	-0.194	0.000	0.000	0.000	0.000
Obs12	0.089	0.194	0.000	0.000	0.000	0.000
Obs13	0.864	3.419	0.000	0.000	0.000	0.000
Obs14	-0.864	-3.419	0.000	0.000	0.000	0.000

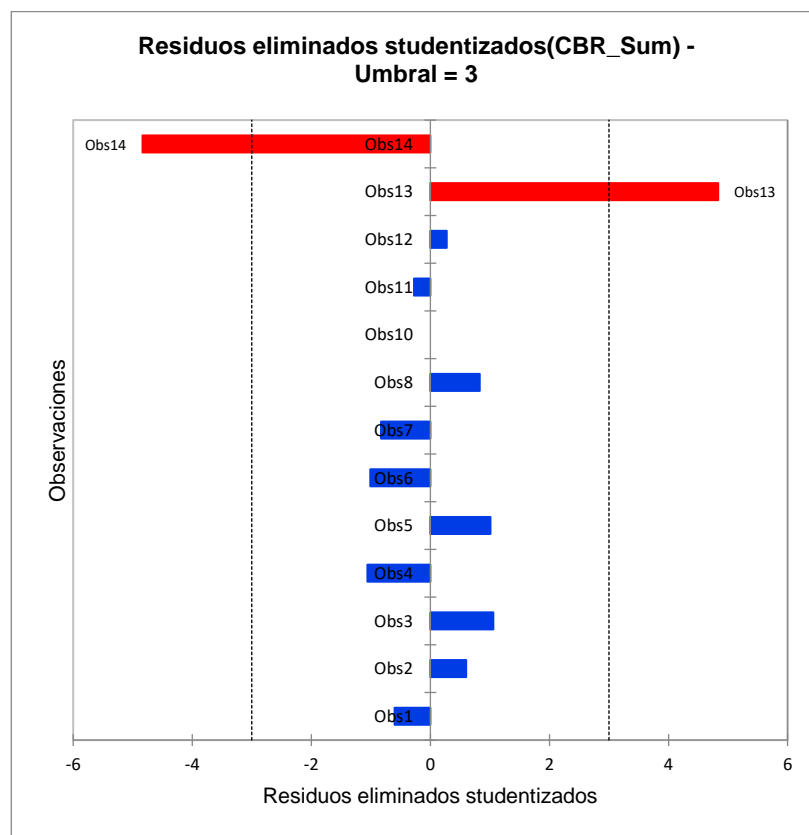
Observación	DFBeta_ CeZa %*CeGi %	DFBeta_ CeZa %*Cem. %	DFBeta_ CeGi %*Cem. %	DFBetaStd(Inte rcepción)	DFBetaStd (CeZa %)	DFBetaSt d(CeGi %)	DFBetaStd (Cem. %)
Obs1	0.000	0.000	0.000	-0.425	0.301	0.301	0.301
Obs2	0.000	0.000	0.000	0.425	-0.301	-0.301	-0.301
Obs3	-0.033	-0.037	0.008	0.000	0.529	0.000	0.000
Obs4	0.033	0.037	-0.008	0.000	-0.529	0.000	0.000
Obs5	-0.047	0.035	-0.047	0.000	0.000	0.505	0.000
Obs6	0.047	-0.035	0.047	0.000	0.000	-0.505	0.000
Obs7	-0.007	0.029	0.026	0.000	0.000	0.000	-0.414
Obs8	0.007	-0.029	-0.026	0.000	0.000	0.000	0.414
Obs10							
Obs11	0.013	0.040	-0.054	0.000	0.000	0.000	0.000
Obs12	-0.013	-0.040	0.054	0.000	0.000	0.000	0.000
Obs13	0.518	-0.389	-0.129	0.000	0.000	0.000	0.000
Obs14	-0.518	0.389	0.129	0.000	0.000	0.000	0.000



Observación	DFBetaStd(CeZa %*CeGi %)	DFBetaStd(CeZa %*Cem. %)	DFBetaStd(CeGi %*Cem. %)
Obs1	0.000	0.000	0.000
Obs2	0.000	0.000	0.000
Obs3	-0.104	-0.053	0.026
Obs4	0.104	0.053	-0.026
Obs5	-0.149	0.051	-0.149
Obs6	0.149	-0.051	0.149
Obs7	-0.020	0.042	0.082
Obs8	0.020	-0.042	-0.082
Obs10			
Obs11	0.040	0.055	-0.162
Obs12	-0.040	-0.055	0.162
Obs13	2.853	-0.975	-0.713
Obs14	-2.853	0.975	0.713

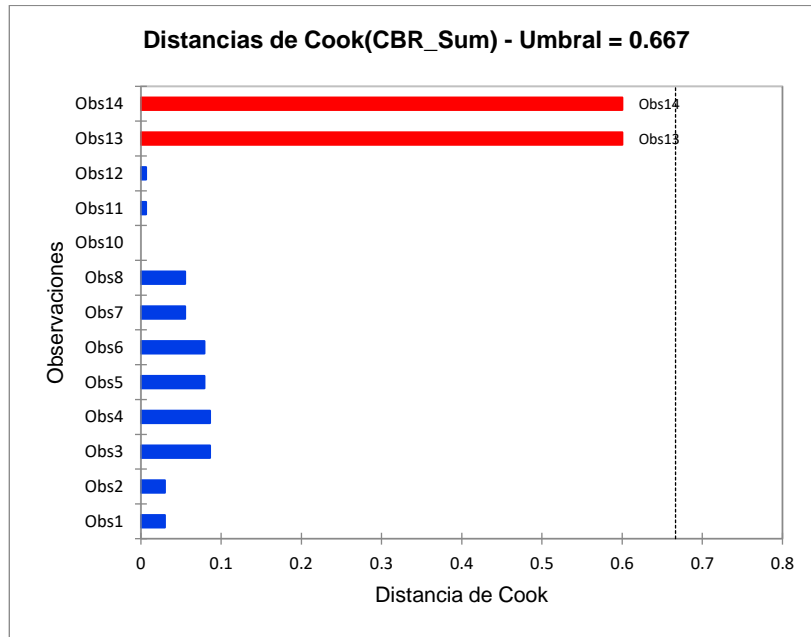
Fuente: Resultados XLXSTAT

Figura 4.7: Residuos eliminados estandarizados / (CBR\_SUM)



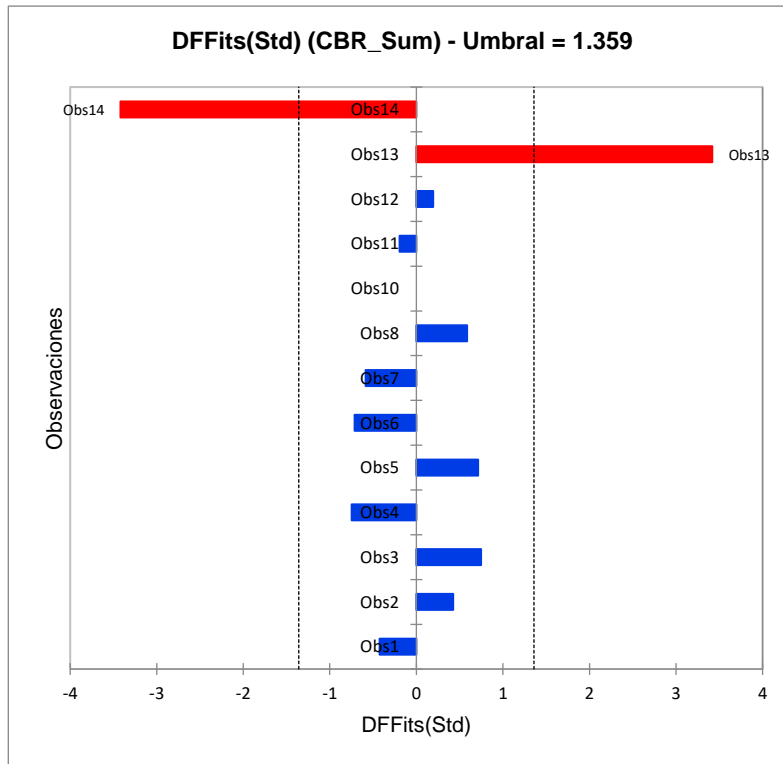
Fuente: Resultados XLXSTAT

Figura 4.8: Distancias de Cook / (CBR\_SUM)



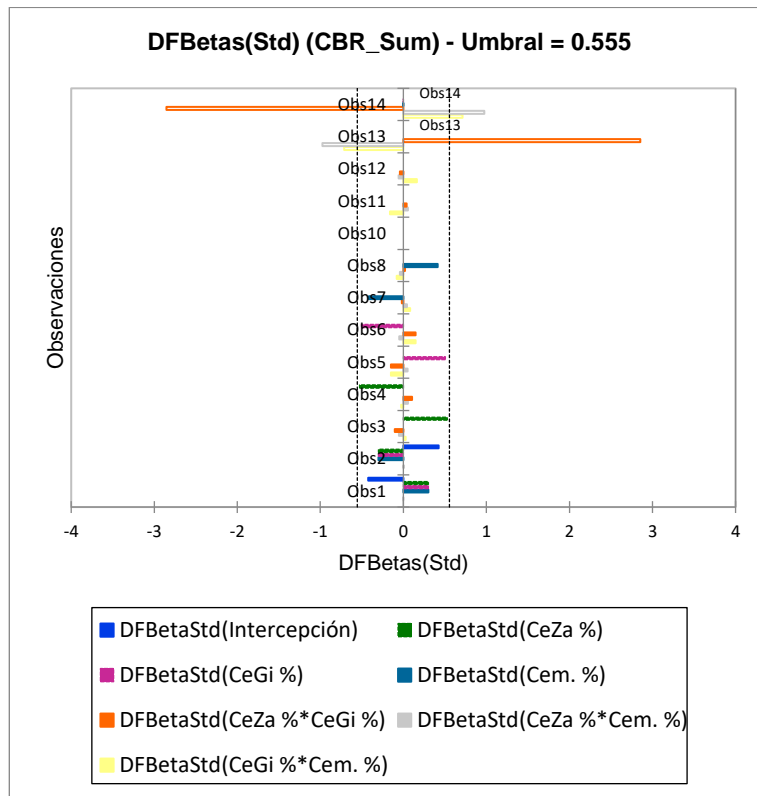
Fuente: Resultados XLXSTAT

Figura 4.9: DFFits (Std) / (CBR\_SUM)



Fuente: Resultados XLXSTAT

Figura 4.10:  $DFBetas(Std) / (CBR\_SUM)$



Fuente: Resultados XLSTAT

#### 4.2. Prueba de hipótesis para ensayo de CBR

Prueba sobre la normalidad de los residuos (Shapiro-Wilk). (CBR\_Sum):

W	0.968
valor-p (bilateral)	0.868
alfa	0.15

Interpretación de la prueba:

H0: Los residuos siguen una distribución normal.

Ha: Los residuos no siguen una distribución normal.

Puesto que el valor P calculado es mayor que el nivel de significación  $\alpha = 0.15$ , no se puede rechazar la hipótesis nula H0.

Interpretación (CBR\_sum):

Dado el valor  $R^2$ , las 6 variables explicativas explican el 58% de la variabilidad de la variable dependiente CBR\_Sum.

Dado el valor p asociado al estadístico F calculado en la tabla ANOVA, y dado el nivel de significación del 15%, la información aportada por las variables explicativas no es significativamente mejor que la que podría aportar únicamente la media. El hecho de que las variables no aporten información significativa al modelo puede interpretarse de diversos modos: o bien las variables no contribuyen a la explicación del modelo, o bien faltan algunas covariables que podrían explicar la variabilidad, o el modelo es erróneo, o los datos contienen errores.

Sobre la base de la suma de cuadrados Tipo III, las siguientes variables aportan información significativa para explicar la variabilidad de la variable dependiente CBR\_Sum:

CeZa %, CeGi %.

#### **4.3. Para resultados de ensayo de compresión simple**

Para los resultados del ensayo de compresión simple se tomaron en cuenta la normativa ASTM – 2166 06 donde se hallará la resistencia a la compresión, para tal ensayo se llegaron a los siguientes resultados.

## Estadísticos de bondad del ajuste (Cohesión)

Tabla 4.16: Estadísticos de bondad del ajuste (Cohesión)

Observaciones	13
Suma de los pesos	13
GL	6
R <sup>2</sup>	0.691
R <sup>2</sup> ajustado	0.382
MEC	0.840
RMSE	0.917
MAPE	7.712
DW	2.669
Cp	7.000
AIC	1.687
SBC	5.642
PC	1.030
Press	20.168
Q <sup>2</sup>	-0.236

Fuente: Resultados XLXSTAT

La determinación del factor R<sup>2</sup> es muy importante por la cual nosotros indicamos cuanta relación tiene todas las variables como una sola; por lo que se puede decir que tenemos una relación media entre todas las variables, lo que el modelo nos permitirá analizar nuestra Cohesion con bastante seguridad.

## Análisis de varianza (Cohesión)

Tabla 4.17: Análisis de varianza (Cohesión)

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	6	11.281	1.880	2.237	0.175
Error	6	5.042	0.840		
Total corregido	12	16.323			

Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$

Fuente: Resultados XLXSTAT

El analisis de la varianza Cohesion nos indica cuanto riesgo o cuanto error puede tener nuestro modelo de análisis.

Determinamos con el valor F ( $Pr > F$ ), el cual nos indicara el valor de error, en nuestro caso el valor de error es de 0.175 la cual nos dará una relación positiva dependiendo los variables.

#### Análisis Suma de Cuadrados Tipo I (Cohesión)

Tabla 4.18: Análisis Suma de Cuadrados Tipo I (Cohesión)

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
CeZa %	1	0.012	0.012	0.014	0.910
CeGi %	1	3.800	3.800	4.522	<b>0.078</b>
Cem. %	1	1.950	1.950	2.320	0.179
CeZa %*CeGi %	1	1.521	1.521	1.810	0.227
CeZa %*Cem. %	1	1.152	1.152	1.371	0.286
CeGi %*Cem. %	1	2.846	2.846	3.387	<b>0.115</b>

Fuente: Resultados XLSTAT

La suma de cuadrados tipo I se utiliza para probar hipótesis de medias ponderadas, por la cual se deduce las hipótesis y se encuentra los variables que aportan información significativa.

#### Análisis Suma de Cuadrados Tipo III (Cohesión)

Tabla 4.19: Análisis Suma de Cuadrados Tipo III (Cohesión)

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
CeZa %	1	0.638	0.638	0.759	0.417
CeGi %	1	2.140	2.140	2.547	0.162
Cem. %	1	0.708	0.708	0.843	0.394
CeZa %*CeGi %	1	0.133	0.133	0.158	0.705
CeZa %*Cem. %	1	0.015	0.015	0.018	0.898
CeGi %*Cem. %	1	2.846	2.846	3.387	<b>0.115</b>

Fuente: Resultados XLSTAT

#### Parámetros del modelo (Cohesión)

Tabla 4.20: Parámetros del modelo (Cohesión)

Fuente	Valor	Error estándar	t	Pr >  t	Límite inferior (85%)	Límite superior (85%)
Intercepción	6.848	0.308	22.238	<b>&lt;0.0001</b>	6.340	7.356
CeZa %	-0.200	0.077	-2.593	<b>0.041</b>	-0.327	-0.073
CeGi %	-0.366	0.083	-4.387	<b>0.005</b>	-0.503	-0.228

Cem. %	-0.210	0.080	-2.631	<b>0.039</b>	-0.342	-0.078
CeZa %*CeGi %	0.185	0.632	0.293	0.780	-0.858	1.229
CeZa %*Cem. %	0.136	0.481	0.284	0.786	-0.658	0.930
CeGi %*Cem. %	-0.857	0.193	-4.440	<b>0.004</b>	-1.176	-0.539

Fuente: Resultados XLXSTAT

En este cuadro se determina cuanta variación tendrá nuestro Cohesion al momento de tener un incremento o decrecimiento con respecto al porcentaje de nuestros 6 variables (CeZa %, CeGi %, Cem. %, CeZa %\*CeGi %, CeZa %\*Cem. %, CeGi %\*Cem. %).

Ecuación del modelo (Cohesión):

$$\text{Cohesión} = 6.84826312812213 - 0.199662684325965 * \text{CeZa\%} - 0.365747439419154 * \text{CeGi\%} - 0.210387981388914 * \text{Cem.\%} + 0.1851754406136 * \text{CeZa\%} * \text{CeGi\%} + 0.136402694812457 * \text{CeZa \%} * \text{Cem.\%} - 0.857382212757982 * \text{CeGi\%} * \text{Cem.\%}$$

Coefficientes estandarizados (Cohesión)

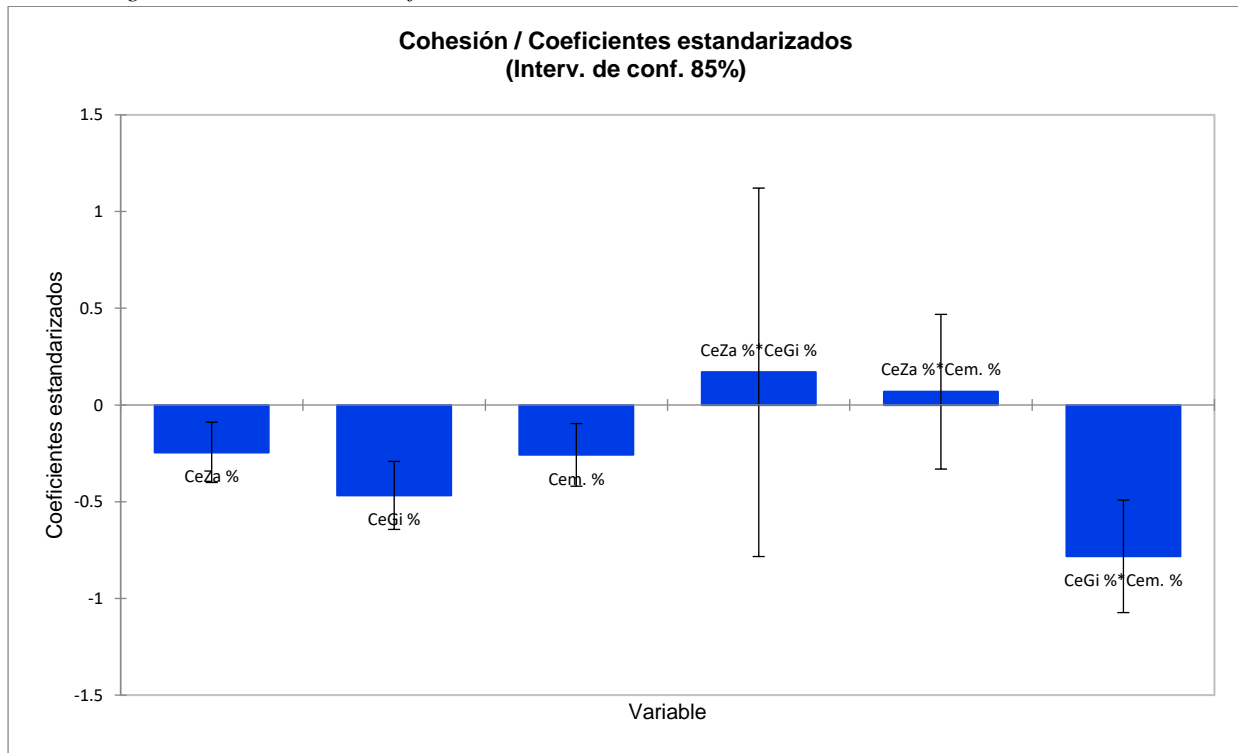
Tabla 4.21: Coeficientes estandarizados (Cohesión)

Fuente	Valor	Error estándar	t	Pr >  t	Límite inferior (85%)	Límite superior (85%)
CeZa %	-0.245	0.094	-2.593	<b>0.041</b>	-0.401	-0.089
CeGi %	-0.467	0.107	-4.387	<b>0.005</b>	-0.643	-0.292
Cem. %	-0.258	0.098	-2.631	<b>0.039</b>	-0.420	-0.096
CeZa %*CeGi %	0.169	0.577	0.293	0.780	-0.783	1.122
CeZa %*Cem. %	0.069	0.242	0.284	0.786	-0.331	0.469
CeGi %*Cem. %	-0.783	0.176	-4.440	<b>0.004</b>	-1.073	-0.492

Fuente: Resultados XLXSTAT

Se analizó independientemente cuanta influencia tiene los porcentajes de las 6 variables (CeZa %, CeGi %, Cem. %, CeZa %\*CeGi %, CeZa %\*Cem. %, CeGi %\*Cem. %) con respecto al Cohesión; siempre tomando en cuenta el intervalo inicial de 85%.

Figura 4.11: Cohesión / Coeficientes estandarizados



Fuente: Resultados XLSTAT

### Predicciones y residuos (Cohesión)

Tabla 4.22: Predicciones y residuos (Cohesión)

Observación	Peso	CeZa %	CeGi %	Cem. %	Cohesión	Pred(Cohesión)	Residuo	Residuo estd.
Obs1	1	0.000	0.000	0.000	7.284	6.848	0.436	0.475
Obs2	1	0.000	0.000	0.000	6.413	6.848	-0.436	-0.475
Obs3	1	4.000	0.000	0.000	6.060	6.050	0.011	0.012
Obs4	1	4.000	0.000	0.000	6.039	6.050	-0.011	-0.012
Obs5	1	0.000	4.000	0.000	5.566	5.385	0.181	0.197
Obs6	1	0.000	4.000	0.000	5.204	5.385	-0.181	-0.197
Obs7	1	0.000	0.000	4.000	5.884	6.007	-0.122	-0.133
Obs8	1	0.000	0.000	4.000	6.129	6.007	0.122	0.133
Obs10	1	1.334	1.334	1.334	4.860	4.860	0.000	0.000
Obs11	1	0.667	2.000	1.334	3.526	3.784	-0.258	-0.281
Obs12	1	0.667	2.000	1.334	4.042	3.784	0.258	0.281
Obs13	1	1.334	2.000	0.667	3.693	5.182	-1.489	-1.624
Obs14	1	1.334	2.000	0.667	6.671	5.182	1.489	1.624

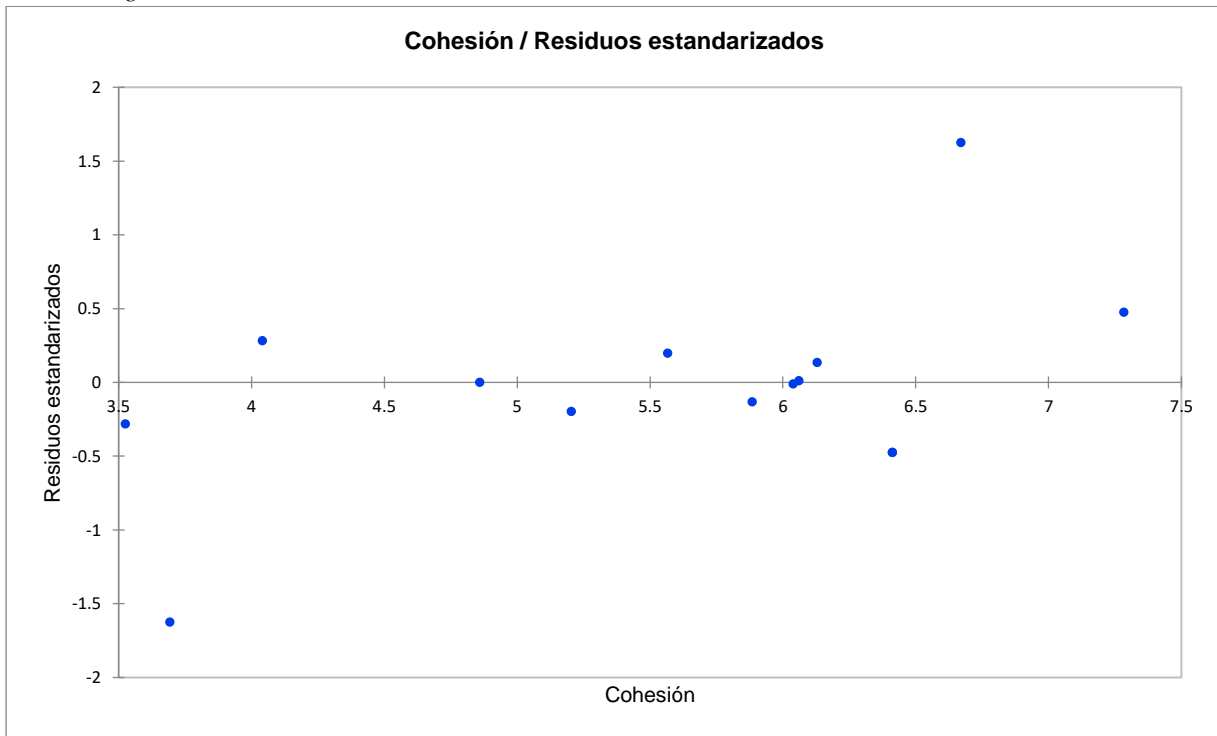


Observación	Des. estd. sobre la pred. (Media)	Límite inferior 85% (Media)	Límite superior 85% (Media)	Des. estd. sobre la pred. (Observación)	Límite inferior 85% (Observación)	Límite superior 85% (Observación)	Pred. ajustada
Obs1	0.648	5.779	7.918	1.123	4.996	8.701	6.413
Obs2	0.648	5.779	7.918	1.123	4.996	8.701	7.284
Obs3	0.648	4.980	7.119	1.123	4.197	7.902	6.039
Obs4	0.648	4.980	7.119	1.123	4.197	7.902	6.060
Obs5	0.648	4.316	6.455	1.123	3.533	7.238	5.204
Obs6	0.648	4.316	6.455	1.123	3.533	7.238	5.566
Obs7	0.648	4.937	7.076	1.123	4.154	7.859	6.129
Obs8	0.648	4.937	7.076	1.123	4.154	7.859	5.884
Obs10	0.917	3.347	6.373	1.296	2.721	6.999	-1.7977E+308
Obs11	0.648	2.714	4.853	1.123	1.931	5.637	4.042
Obs12	0.648	2.714	4.853	1.123	1.931	5.637	3.526
Obs13	0.648	4.112	6.251	1.123	3.329	7.034	6.671
Obs14	0.648	4.112	6.251	1.123	3.329	7.034	3.693

*Fuente: Resultados XLXSTAT*

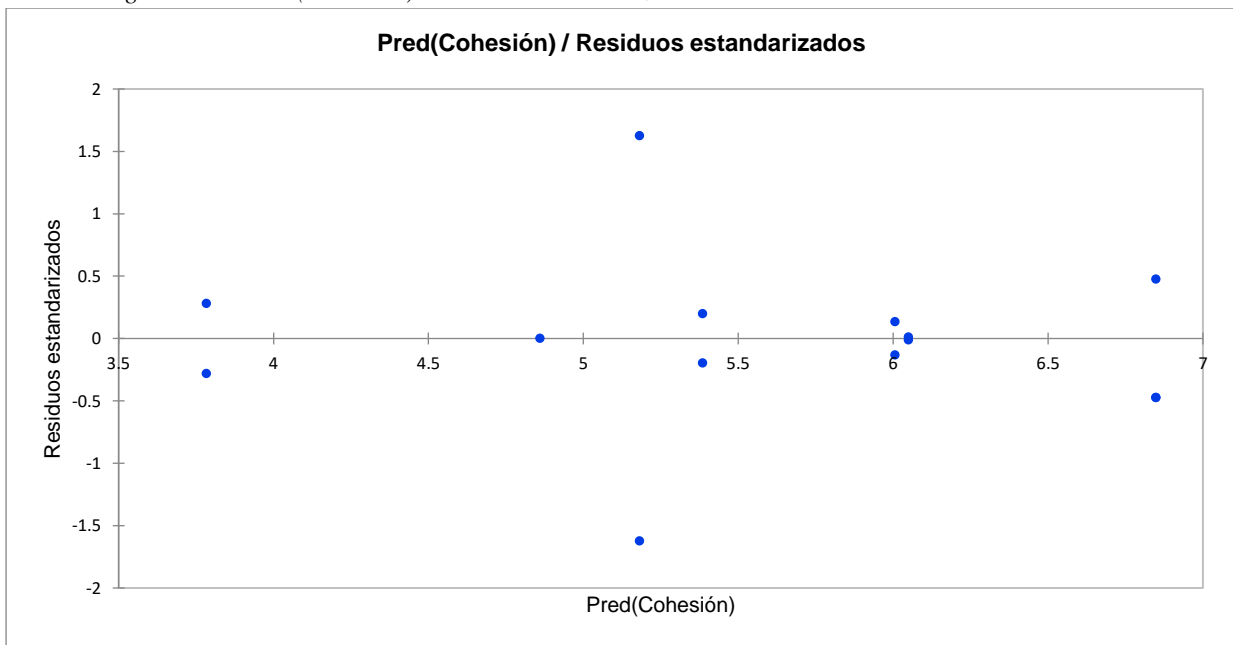
Se puede analizar por ejemplo en nuestro primer dato observado que son Cohesión de 7.284; el valor predictorio nos indica 6.848 con una diferencia de 0.436; esto es dado por el margen de error que representa el problema y de esta manera podemos determinar cuanta diferencia hay entre el dato observado y nuestra predicción.

Figura 4.12: Cohesión / Residuos estandarizados



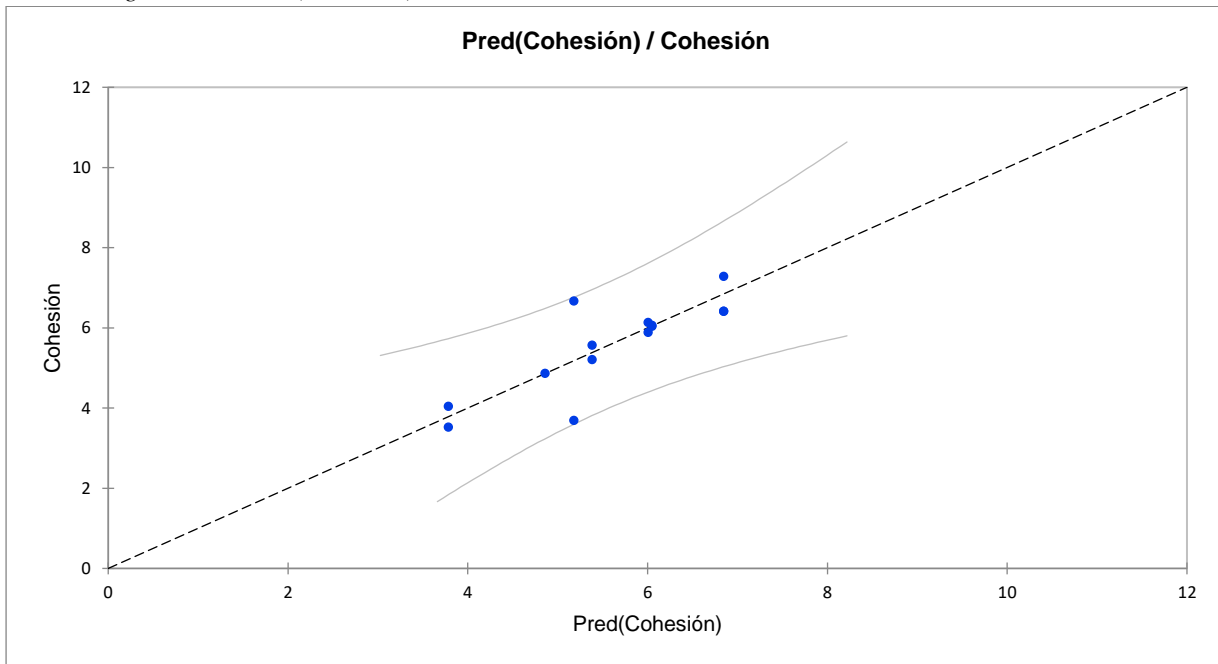
Fuente: Resultados XLSTAT

Figura 4.13: Pred(Cohesión) / Residuos estandarizados



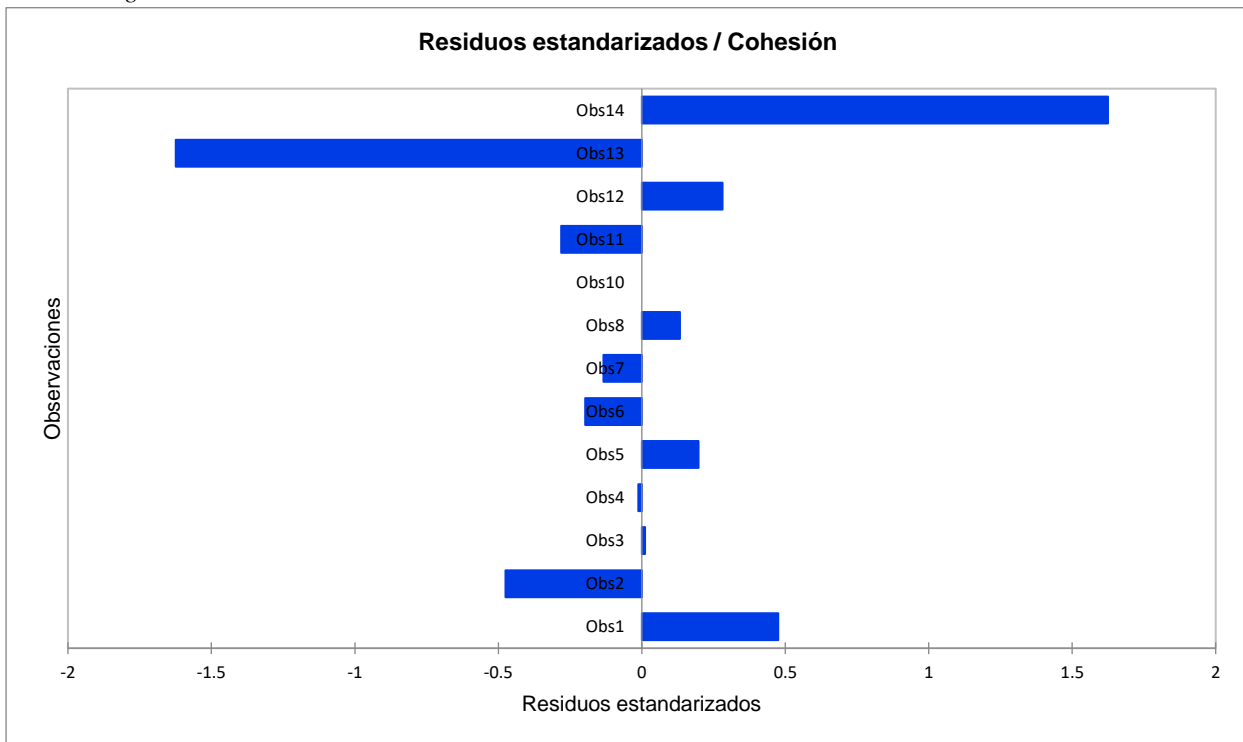
Fuente: Resultados XLSTAT

Figura 4.14:  $Pred(Cohesión) / Cohesión$



Fuente: Resultados XLXSTAT

Figura 4.15: Residuos estandarizados / Cohesión



Fuente: Resultados XLXSTAT

Nuestros límites van desde -1.86 hasta 1.86 de acuerdo a nuestro intervalo de confianza desde un inicio que es de 85%; por lo que se ve las variables está dentro de los límites permitidos lo que significa que las variables tienen mucha relación.

#### Diagnósticos de influencia (cohesion)

Tabla 4.23: Diagnósticos de influencia (cohesion)

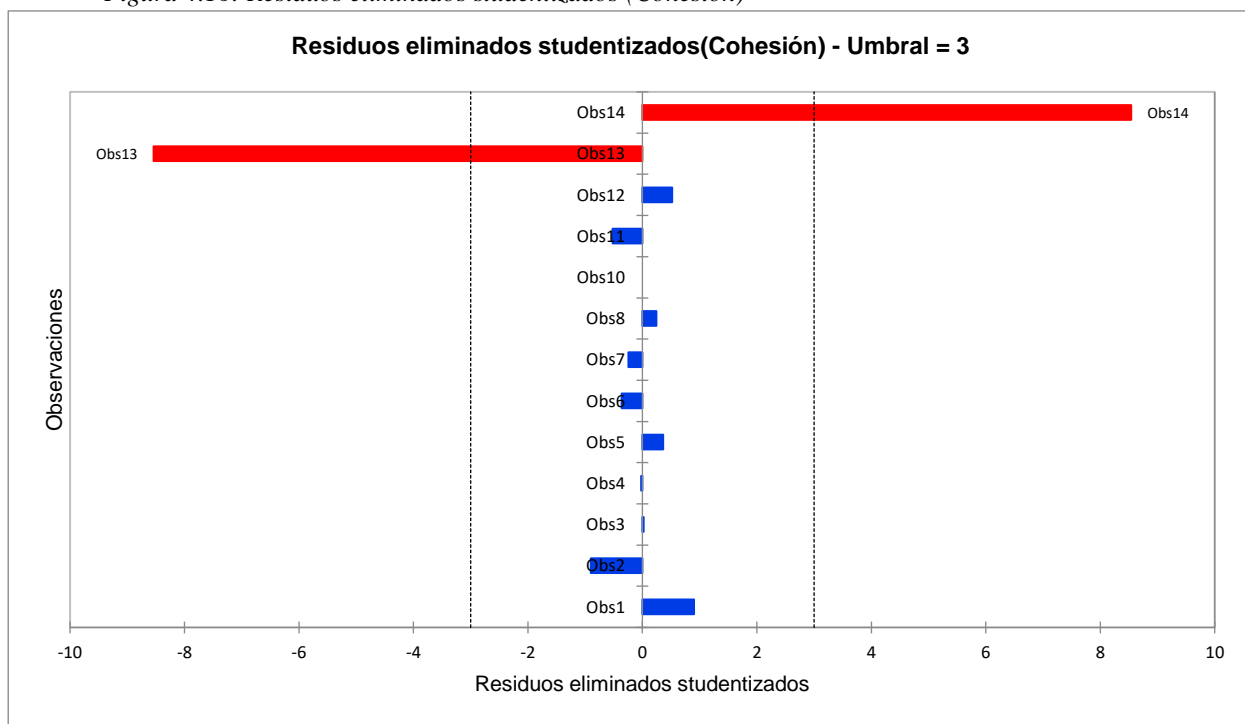
Observación	Peso	Residuo	Residuo estd.	Residuos de Student	Deleted	StuDeleted	Leverage centrado	Mahalanobis	D de Cook
Obs1	1.000	0.436	0.475	0.672	0.871	0.902	0.423	5.077	0.064
Obs2	1.000	-0.436	-0.475	-0.672	-0.871	-0.902	0.423	5.077	0.064
Obs3	1.000	0.011	0.012	0.017	0.022	0.022	0.423	5.077	0.000
Obs4	1.000	-0.011	-0.012	-0.017	-0.022	-0.022	0.423	5.077	0.000
Obs5	1.000	0.181	0.197	0.279	0.362	0.363	0.423	5.077	0.011
Obs6	1.000	-0.181	-0.197	-0.279	-0.362	-0.363	0.423	5.077	0.011
Obs7	1.000	-0.122	-0.133	-0.189	-0.245	-0.244	0.423	5.077	0.005
Obs8	1.000	0.122	0.133	0.189	0.245	0.244	0.423	5.077	0.005
Obs10	1.000	0.000	0.000				0.923		
Obs11	1.000	-0.258	-0.281	-0.398	-0.516	-0.520	0.423	5.077	0.023
Obs12	1.000	0.258	0.281	0.398	0.516	0.520	0.423	5.077	0.023
Obs13	1.000	-1.489	-1.624	-2.297	-2.978	-8.541	0.423	5.077	0.754
Obs14	1.000	1.489	1.624	2.297	2.978	8.541	0.423	5.077	0.754

Observación	CovRatio	DF Fits	DF Fits(Std)	DFBeta(Intercepción)	DFBeta_CeZa %	DFBeta_CeGi %	DFBeta_C em. %	DFBeta_CeZa %*CeGi %	DFBeta_CeZa %*Cem. %
Obs1	4.145	0.436	0.638	0.436	-0.109	-0.109	-0.109	0.000	0.000
Obs2	4.145	-0.436	-0.638	-0.436	0.109	0.109	0.109	0.000	0.000
Obs3	7.164	0.011	0.015	0.000	0.003	0.000	0.000	-0.001	-0.001
Obs4	7.164	-0.011	-0.015	0.000	-0.003	0.000	0.000	0.001	0.001
Obs5	6.540	0.181	0.257	0.000	0.000	0.045	0.000	-0.027	0.020
Obs6	6.540	-0.181	-0.257	0.000	0.000	-0.045	0.000	0.027	-0.020
Obs7	6.874	-0.122	-0.173	0.000	0.000	0.000	-0.031	-0.003	0.014
Obs8	6.874	0.122	0.173	0.000	0.000	0.000	0.031	0.003	-0.014
Obs10									
Obs11	5.944	-0.258	-0.368	0.000	0.000	0.000	0.000	0.039	0.116
Obs12	5.944	0.258	0.368	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.039	-0.116
Obs13	0.000	-1.489	-6.039	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.893	0.670
Obs14	0.000	1.489	6.039	0.000	0.000	0.000	0.000	0.893	-0.670

Observación	DFBeta_C eGi %*Cem. %	DFBetaStd (Intercepci ón)	DFBetaStd (CeZa %)	DFBetaStd (CeGi %)	DFBetaStd (Cem. %)	DFBetaStd( CeZa %*CeGi %)	DFBetaStd( CeZa %*Cem. %)	DFBeta Std(Ce Gi %*Cem. %)
Obs1	0.000	0.638	-0.451	-0.451	-0.451	0.000	0.000	0.000
Obs2	0.000	-0.638	0.451	0.451	0.451	0.000	0.000	0.000
Obs3	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	-0.002	-0.001	0.001
Obs4	0.000	0.000	-0.011	0.000	0.000	0.002	0.001	-0.001
Obs5	-0.027	0.000	0.000	0.181	0.000	-0.054	0.018	-0.054
Obs6	0.027	0.000	0.000	-0.181	0.000	0.054	-0.018	0.054
Obs7	0.012	0.000	0.000	0.000	-0.122	-0.006	0.012	0.024
Obs8	-0.012	0.000	0.000	0.000	0.122	0.006	-0.012	-0.024
Obs10								
Obs11	-0.155	0.000	0.000	0.000	0.000	0.077	0.105	-0.307
Obs12	0.155	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.077	-0.105	0.307
Obs13	0.223	0.000	0.000	0.000	0.000	-5.040	1.722	1.259
Obs14	-0.223	0.000	0.000	0.000	0.000	5.040	-1.722	-1.259

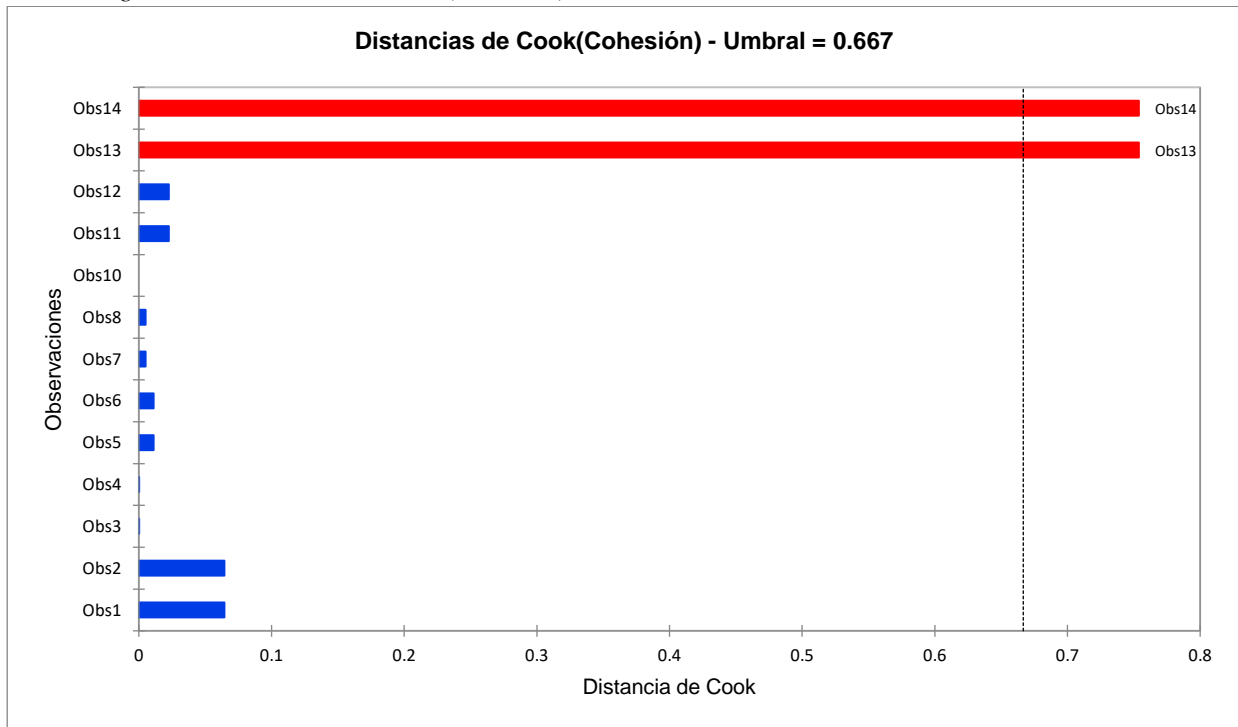
Fuente: Resultados XLXSTAT

Figura 4.16: Residuos eliminados studentizados (Cohesión)



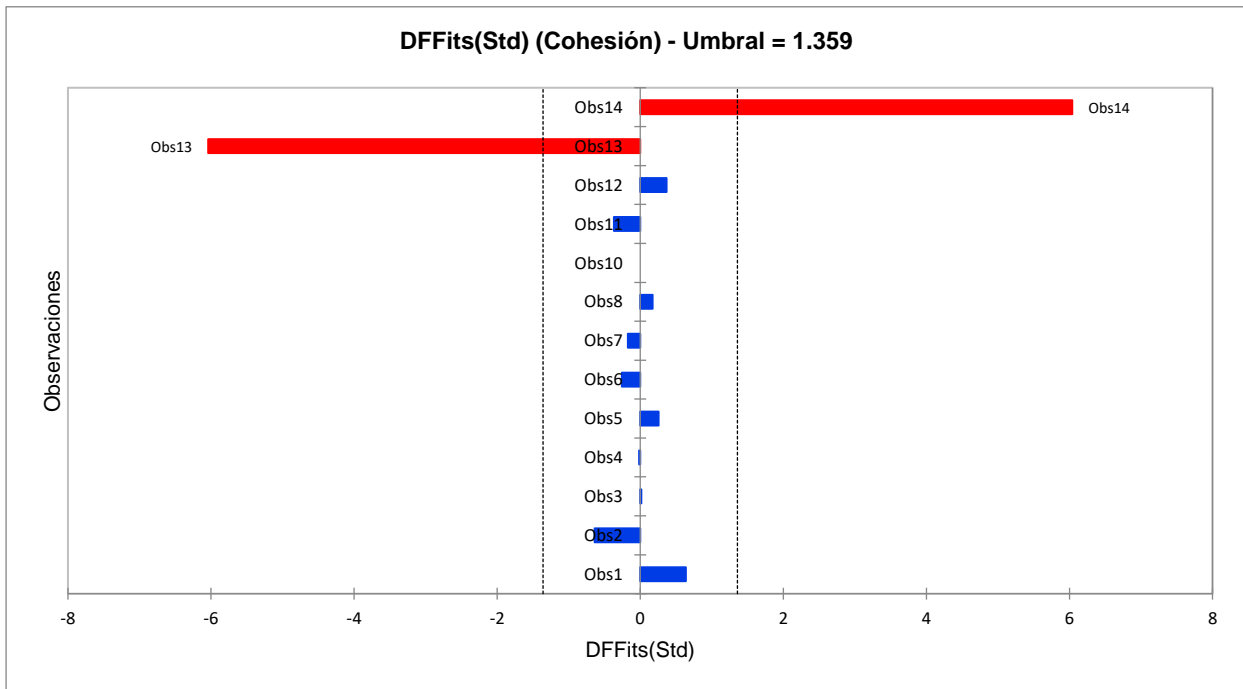
Fuente: Resultados XLXSTAT

Figura 4.17: Distancias de Cook(Cohesión)



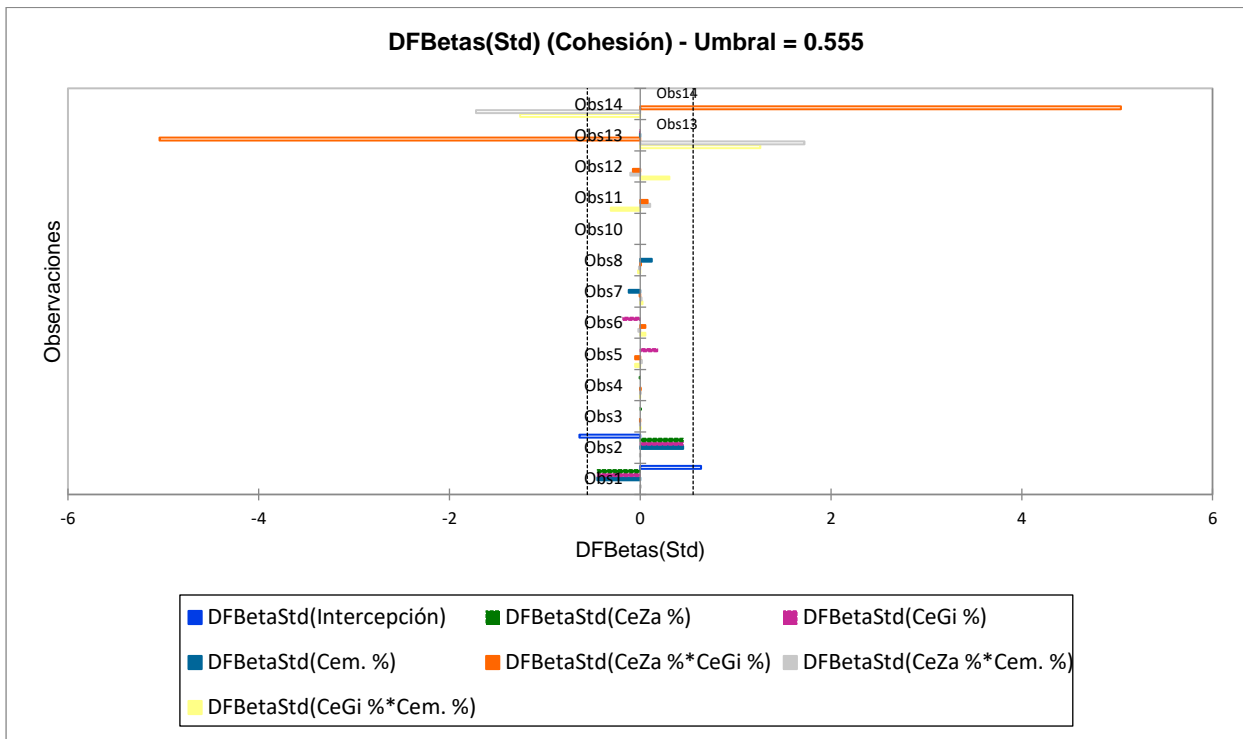
Fuente: Resultados XLXSTAT

Figura 4.18: DFFits(Cohesión)



Fuente: Resultados XLXSTAT

Figura 4.19: *DFBetas(cohesion)*



Fuente: Resultados XLSTAT

#### 4.4. Prueba de hipótesis para ensayo de compresión simple

Prueba sobre la normalidad de los residuos (Shapiro-Wilk). (Cohesión):

W	0.874
valor-p (bilateral)	0.060
alfa	0.15

Interpretación de la prueba:

H0: Los residuos siguen una distribución Normal.

Ha: Los residuos no siguen una distribución Normal.

Puesto que el valor-p computado es menor que el nivel de significación  $\alpha=0.15$ , se debe rechazar la hipótesis nula H0, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.

Interpretación (Cohesión):

Dado el valor  $R^2$ , las 6 variables explicativas explican el 69% de la variabilidad de la variable dependiente Cohesión.

Dado el valor  $p$  asociado al estadístico  $F$  calculado en la tabla ANOVA, y dado el nivel de significación del 15%, la información aportada por las variables explicativas no es significativamente mejor que la que podría aportar únicamente la media. El hecho de que las variables no aporten información significativa al modelo puede interpretarse de diversos modos: o bien las variables no contribuyen a la explicación del modelo, o bien faltan algunas covariables que podrían explicar la variabilidad, o el modelo es erróneo, o los datos contienen errores.

Sobre la base de la suma de cuadrados Tipo III, las siguientes variables aportan información significativa para explicar la variabilidad de la variable dependiente Cohesión: CeGi %\*Cem. %.

Sobre la base de la suma de cuadrados Tipo III, las siguientes variables no aportan información significativa para explicar la variabilidad de la variable dependiente Cohesión: CeZa %,CeGi %,Cem. %,CeZa %\*CeGi %,CeZa %\*Cem. %. Usted podría eliminarlas del modelo.

Entre las variables explicativas, sobre la base de la suma de cuadrados Tipo III, la variable CeGi %\*Cem. % es la más influyente.

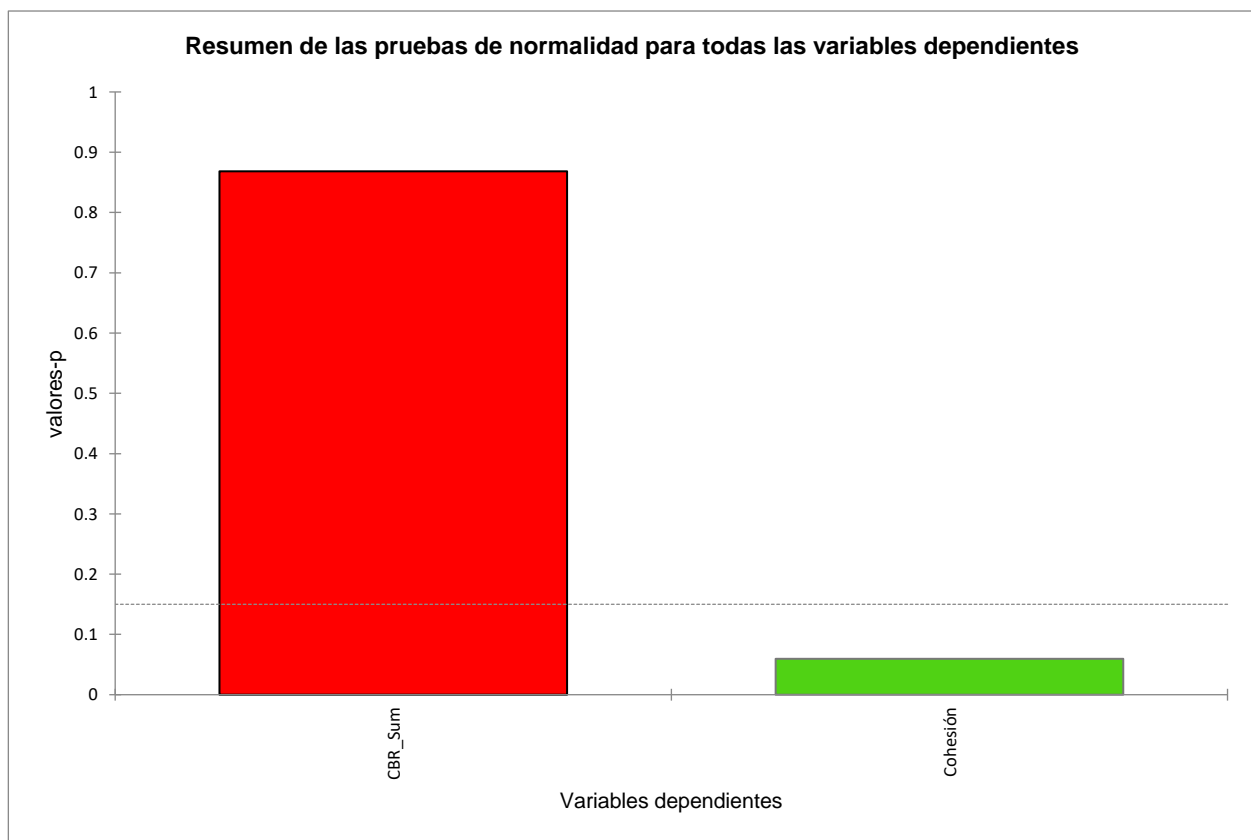


#### 4.5. Resumen de las pruebas de normalidad para todas las variables dependientes:

	valor-p
CBR_Sum	0.868
<b>Cohesión</b>	<b>0.060</b>

Los valores en negrita corresponden a las pruebas en las que la hipótesis nula no se acepta con un nivel de significación  $\alpha = 0.15$

Figura 4.20: Resumen de las pruebas de normalidad para todas las variables dependientes



Fuente: Resultados XLSTAT

Resumen para todos los Ys:

Tabla 4.24: Resumen para todos los Ys

	CBR_Sum	Cohesión
R <sup>2</sup>	0.580	0.691
F	1.378	2.237
Pr > F	0.353	0.175
CeZa %	5.293	0.759
	0.061	0.417
CeGi %	5.767	2.547
	0.053	0.162
Cem. %	2.545	0.843
	0.162	0.394
CeZa %*CeGi %	0.016	0.158
	0.902	0.705
CeZa %*Cem. %	0.108	0.018
	0.754	0.898
CeGi %*Cem. %	0.850	3.387
	0.392	0.115

Fuente: Resultados XLSTAT

#### 4.6. Discusión de los resultados

De acuerdo a los resultados presentados anteriormente podemos llegar a un punto de vista en la que se cumple con los objetivos presentados anteriormente, donde llegando a un análisis con otros proyectos de investigación enfocados en la mejora de los suelos arenosos, limosos y limo-arcillosos y en el uso de lo puzolanas artificiales y naturales.

Siendo nuestro proyecto el primer trabajo de investigación donde se recicla y se reutilizan los desechos orgánicos como es la semilla de zapallo y dándole un nuevo uso a la semilla de girasol muy aparte de que es utilizado con fines comestibles, con el objetivo de que estos sean transformados en puzolanas naturales para la mejora de los suelos, por tanto no se encontró antecedentes referentes a puzolanas naturales en este caso (ceniza de semilla de girasol y ceniza

de semilla de zapallo) para la optimización de suelos limosos, no se podrá hacer alguna comparación de resultados que reflejen la mejora de nuestro suelo, pero si se puede corroborar con proyectos que utilizaron puzolanas naturales como son los siguientes.

CABEZAS CHAVEZ, E y SERRATO CHAGUALA, Y. 2019 (6). En su trabajo de investigación titulada “Evaluación de la resistencia de un suelo grueso reforzado con fibras de coco (cocotero, cocos nucifera)”. Llego a la conclusión que las fibras de coco mejoran en un 1 %, de igual forma nuestro trabajo de investigación mostro óptimos resultados con una mejora aumentando un 1.9% al porcentaje inicial con respecto al CBR. Por lo que se puede decir que coincide con nuestra tesis en que la utilización de las puzolanas naturales mejora las propiedades de los suelos; en nuestro caso combinar la ceniza de semilla de girasol con suelo limoso da mayor porcentaje de CBR, pero también se pudo observar que al combinar la ceniza de semilla de girasol con cemento y nuestro suelo da como resultado una disminución de CBR.

OLGUN (2013) (4), siendo la primera persona en planificar la mejora de suelos arcillosos en su estudio “Optimización de aditivos para mejorar las propiedades de arcillas expansivas sometidas a un ambiente de deshielo”, nos explica sobre técnicas para la optimización de puzolanas naturales, de igual manera nosotros con nuestro proyecto de investigación somos los primeros en mencionar el tema optimización de puzolanas vegetales empleando el método Taguchi Grey mejorando la calidad evitando costos innecesarios.

OJEDA FARIÁS, O. F., BALTAZAR ZAMORA, M. ÁNGEL, & MENDOZA RANGEL, J. M. 2018 (7). En su trabajo tuvo como iniciativa la experimentación para mejorar los suelos granulares

arenosos con ceniza de bagazo de azúcar para optimizar las propiedades físicas por lo que tuvo resultados favorables en su investigación, por lo tanto nos dio una iniciativa para experimentar con otras puzolanas naturales para mejorar las propiedades físicas y mejorar la resistencia de soporte en los suelos limosos por lo que también tuvimos resultados favorables que demuestran que nuestro trabajo de investigación puede ser tomada como ejemplo en futuros proyectos.

CAÑAR, E. 2017 (2). En su trabajo de investigación “Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinada con ceniza de carbón”, tuvo como objetivo tener un mejoramiento al CBR y la estabilización en suelos arcillosos y finos, al combinar estos suelos con una puzolana volante en este caso las cenizas de carbón , logrando una mejora en la resistencia al corte donde se logró una extensión del 4.6% de CBR al combinarlos con la ceniza de carbón , así mismo nuestro proyecto de investigación logro una mejora en su resistencia y una extensión del 1.9% en CBR al ser combinadas con puzolanas naturales como las que son ceniza de semilla de girasol y ceniza de semilla de zapallo .

## CONCLUSIONES

- Respecto al objetivo general: Optimizar aditivos puzolánicos de origen vegetal para la mejora de relación de soporte de california (CBR) en suelo limoso, con base en análisis relacional Taguchi-Grey, después de hacer los ensayos respectivos incluyendo la regresión lineal de estos resultados se llegó a concluir que: las puzolanas naturales (ceniza de semilla de girasol y ceniza de semilla de zapallo), **mejora la relación de soporte de california (CBR), incrementando en un 1.43% el valor del CBR en un suelo limoso**, donde se obtuvo un valor inicial de CBR libre de puzolanas, 5.81 % y al incrementar en la mezcla puzolanas naturales se llegó a un valor de 7.24 %; llegando a un rotundo éxito con respecto a nuestro objetivo general, es por ello que se puede afirmar que si podemos tener soluciones frente a un suelo limoso para su utilización en diferentes construcciones.
- Respecto al objetivo específico 1: Determinar el comportamiento de la ceniza de semilla de girasol como aditivos puzolánicos para la mejora de CBR en un suelo limoso con base en análisis relacional Taguchi-Grey, de acuerdo a los resultados obtenidos en donde la mezcla del diseño entre el suelo limoso y la ceniza de semilla de girasol se obtuvo un resultado máximo de CBR 7.24% en promedio, siendo la puzolana vegetal más influyente sobre las propiedades de un suelo limoso.
- Respecto al objetivo específico 2: Determinar el comportamiento de la ceniza de semilla de zapallo como aditivos puzolánicos para la mejora de CBR en un suelo limoso con base en análisis relacional Taguchi-Grey, de acuerdo a los resultados obtenidos en donde la mezcla del diseño entre el suelo limoso y la ceniza de semilla de zapallo se obtuvo un resultado de CBR 7.18% en promedio, siendo superado por la ceniza de semilla de girasol en 0.06%.

- Respecto al objetivo específico 3: Determinar el comportamiento de la ceniza del cemento sin aditivos puzolánicas de origen vegetal para la mejora de CBR en un suelo limoso con base en análisis relacional Taguchi-Grey. De acuerdo a los resultados obtenidos en donde la mezcla del diseño entre el suelo limoso y cemento, se obtuvo un resultado de CBR 6.8% en promedio, siendo superado por las puzolanas naturales en 0.44 % CBR en ceniza de semilla de girasol por y 0.38 % de CBR en ceniza de semilla de zapallo en promedio.
- Respecto al objetivo específico 4: Determinar el comportamiento de la ceniza de semilla de zapallo con ceniza de semilla de girasol como aditivos puzolánicos más cemento para la mejora de CBR en un suelo limoso con base en análisis relacional Taguchi-Grey. De acuerdo a los resultados obtenidos en donde la mezcla del diseño entre el suelo limoso, cemento y puzolanas naturales, se obtuvo un resultado de CBR 7.07% en promedio, demostrando que la mezcla de todos los elementos no es recomendable ya que no demuestra mayor mejoría, en donde incluso realizando diferentes diseños de mezcla solo obtendremos una baja resistencia y no lograr la optimización de suelo limoso como se esperaba.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda que ante cualquier inconveniente como lo es encontrarse con suelos limosos en una construcción no se opte por descartarlos en cambio se puede encontrar alguna solución en la que no implique la eliminación de este material o la explotación de canteras ya que genera un daño al medio ambiente.
- Se recomienda reutilizar aquellos desechos orgánicos que con su debido estudio, puedan darle una mejora a la calidad de vida de las personas, como se demostró que si es posible en un proceso constructivo, siendo el caso de las puzolanas naturales; con el fin de cuidar el medio ambiente y que a la vez resulte económico para todo proyecto.
- Se recomienda ampliar los ensayos de laboratorio de suelos, en donde el objetivo del ensayo sea la utilización de elementos orgánicos reciclados para futuros proyectos de construcción independientemente a la rama que pertenezca.
- Se recomienda tomar como ejemplo esta tesis para futuros trabajos de investigación y también tomar como precedente para futuros proyectos constructivos donde se tome a consideración nuestros resultados y pueda servir como un avance en el pensamiento de los ingenieros.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **Tejada Gurmendi, Jaime.** Afectación de canteras por el Estado para la ejecución de obras de infraestructura y su impacto cuando se. Lima : Advocatus, 2017. Vol. 035. ISSN 1996-4773.
2. **CAÑAR TIVIANO, E.** Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinada con ceniza de carbón. *Tesis para la obtencion del titulo de ingeniero civil.* Ecuador : Universidad Tecnica de Ambato, 2017.
3. **IKEAGWUANI, C, AGUNWAMBA, J y ENEH, M.** Additives optimization for expansive soil subgrade modification based on Taguchi grey relational análisis. International Journal of Pavement Research and Technology. Nigeria : Springer, 2020, Vol. 14, págs. 138-152.
4. **OLGUN, M.** The effects and optimization of additives forexpansive clays under freeze-thaw conditions. 2013, Vol. 93, págs. 36-43.
5. **MUÑOZ AVEDAÑO, L.** Análisis de la capacidad de soporte (CBR) de suelos limo arenosos estabilizados con silicato de sodio, adicionado en un 70% de la humedad óptima de compactación. *Tesis para obtener el titulo de ingeniero civil.* Bogota, Colombia : Universidad distrital Francisco Jose de Caldas, 2018.
6. **CABEZAS CHAVEZ, E y SERRATO CHAGUALA, Y.** Evaluación de la resistencia de un suelo grueso reforzado con fibras de coco (cocotero, cocos nucifera). *Tesis para la obtencion del titulo de ingeniero civil.* Colombia : Universidad piloto de Colombia seccional del alto Magdalena, 2019.
7. **OJEDA FARIAS, O, BALTAZAR ZAMORA, M y MENDOZA RANGEL, J.** Influence of sugar cane bagasse ash inclusion on compacting, CBR and unconfined compressive strength of a subgrade granular material. s.l. : ALCONPAT, 2018. Vol. 8(2), págs. 194-208. ISSN 2007-6835.



8. **PEREZ COLLANTES, C.** Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada. *Tesis para obtener el título de ingeniero civil*. Lima-Peru : Universidad Nacional de Ingeniería, 2014.
9. **GOMEZ, D y GONZALES, Y.** Mejoramiento del suelo utilizando cenizas de cáscara de arroz en la pavimentación AA. HH. Tahuantinsuyo, Nuevo Chimbote - Ancash – 2020. *Tesis para obtener título de ingeniero civil*. Ancash-Peru : Universidad Cesar Vallejo, 2020.
10. **CASTRO CUADRA, A.** Estabilización de suelos arcillosos con ceniza de cascara de arroz para el mejoramiento de subrasante. *Tesis para obtener título de ingeniero civil*. Lima-Peru : Universidad Nacional de Ingeniería, 2017.
11. **LANDA, J y TORRES, M.** Mejoramiento de Suelos Arcillosos en Subrasante mediante el uso de Cenizas Volantes de Bagazo de Caña de Azúcar y Cal. *Trabajo de investigación para obtener el grado de bachiller en ingeniería civil*. Lima-Peru : Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2019.
12. **TERRONEZ CRUZ, A.** Estabilización de suelos arcillosos adicionando cenizas de bagazo de caña para el mejoramiento de subrasante en el sector Barraza, Trujillo – 2018. *Tesis para obtener el título de ingeniero civil*. Trujillo-Peru : Universidad Peruana del Norte, 2019.
13. **BARRIENTO, J.** El reciclaje en Venezuela: Muchas iniciativas y pocos resultados. Venezuela : Universidad Nacional Experimental de las Fuerzas Armadas, 2010.
14. **CASTILLO, SAUL.** Tipos de suelo en la construcción. [En línea] 2021. [Citado el: 28 de octubre de 2021.] <https://www.fultum.com.mx/tipos-de-suelo-en-la-construccion>.
15. **ANAD, K.** Improving Paraffin Wax Yield Through Process Optimization Using Taguchi Method of Experimentation. USA : Quality Engineering, 2007. Vol. 6. ISSN 0898-2112.

16. **BHOTE, K.** Word class quality using desing of experiments to make it happen. USA : American Management Association, 1991. Vol. 8. ISBN 0-8144-0427.
17. *Improving the quality of soluble coffee using the Taguchi method.* **ZAPATA GOMEZ, A y SARACHE CASTRO, W.** 0718-3305, Chile : Revista Chilena de Ingenieria, 2014, Vol. 22(1). ISSN 0718-3305.
18. **STULZ, ROLAND y MUKERJI, KIRIAN.** Appropriate Construcccion Materials. [En línea] 1981. [Citado el: 28 de Octubre de 2021.] <http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/spanish/sk01ms/sk01ms00.htm#Contents>. ISBN 3-908001-55-2.
19. **SALAZAR JARAMILLO, ALEJANDRO.** *Informacion tecnica sobre puzolanas.* Colombia : s.n., 2018.
20. **BRAJA, DAS.** Fundamentos de Ingenieria de Cimentaciones. Mexico : Braja M, 2012. Vol. 7. ISBN 987-607-481-823-9.
21. **Plataforma digital del estado, Peruano.** Ministerio de Transportes y Comunicaciones Lima 2014. Lima-Peru : Manual de carreteras seccion suelos y pavimentos, 2014.
22. **Instituto Nacional de Defensa, Civil.** Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Cusco-Peru : Mapa de tipos de suelo de la ciudad del cusco, 2014.
23. **CAMPOS SIGUENZA, y VASQUEZ HUAMANI, O.** taller de mecánica de suelos y exploración geotécnica (ASTM Designación D 4429). *Seminario de taller indeita.* Lima-Peru : Universidad Nacional de Ingenieria, 1992.
24. **CAMPOS SIGUENZA, A y VASQUEZ HUAMANI, O.** taller de mecánica de suelos y exploración geotécnica (ASTM Designación D 6159). *Seminario de taller inedita.* Lima-Peru : Universidad Nacional de Ingenieria, 1992.

25. **SANCHEZ SABOGAL, F.** *Guía para la ejecución e interpretación de los resultados.* Bogota-Colombia : EPN, 1990.
26. **Plataforma digital del estado, colombiano.** [ed.]. *Normas de ensayo de materiales para carretera R.N. 3290-07.* Bogota-Colombia : Instituto Nacional de Vias, 2007.
27. **BERNAL TORRES, CESAR AUGUSTO.** Metodología de la investigación. tercera Colombia : PEARSON, 2010. págs. 58-62. ISBN 978-958-699128-5.
28. **SAMPIERI HERNANDEZ, ROBERTO.** Metodología de la investigación. 4 Mexico : McGraw-Hill Interamericana, 2006. Vol. 4, págs. 98-120. ISBN 970-10-5753-8.
29. **Martins, Santa Paella Stracuzzi y Feliberto.** Metodología de la investigación cualitativa. Caracas-Venezuela : FEDUPEL, 2010. Vol. 2, págs. 95-110. ISBN 980-273-445-4.
30. **Vikas Sukhdeve, Dr. S.K.Ganguly.** UTILITY OF TAGUCHI BASED GREY RELATIONAL ANALYSIS TO OPTIMIZE ANY PROCESS OR SYSTEM. India : Innovations In Mechanical Engineering For Sustainable Development, 2015. ISSN 2249-8974.
31. **CORBETA, PIERGIORGIO.** Metodología y Técnicas de Investigación social. Madrid : McGraw-Hill, 2003. págs. 115-210 Y 289-319. ISBN 978-84-481-8399-8.

# ANEXOS

Toma de datos

N	CeZa %	CeGi %	Cem. %	suelo seco (g)	agua (g)	CeZa (g)	CeGi (g)	Cem. (g)	LEC. INICIAL (cm)	L2	L3
1	0	0	0	600	84	0	0	0	9.72	11.5	12.9
2	0	0	0	600	84	0	0	0	9.45	11	12.3
3	4	0	0	600	84	24	0	0	8.33	9.41	10.3
4	4	0	0	600	84	24	0	0	8.11	9.34	10.4
5	0	4	0	600	84	0	24	0	8.40	9.45	10.35
6	0	4	0	600	84	0	24	0	8.35	9.65	10.6
7	0	0	4	600	84	0	0	24	9.75	11.1	12.25
8	0	0	4	600	84	0	0	24	8.80	10.05	11.00
9											
10	1.3	1.3	1.3	600	84	8	8	8	8.40	9.5	10.60
11	0.7	2.0	1.3	600	84	4	12	8	8.10	9.5	10.61
12	0.7	2.0	1.3	600	84	4	12	8	8.60	10.0	11.00
13	1.3	2.0	0.7	600	84	8	12	4	8.50	9.30	10.30
14	1.3	2.0	0.7	600	84	8	12	4	8.30	10.0	11.00

N	CeZa (g)	CeGi (g)	Cem. (g)	W ESPECIMEN HUMEDO	W ESPECIMEN SECO	Diametro N°1	Diametro N°2	ALTURA 1	ALTURA 2	CARGA
1	0	0	0	627.30	568.5	61.26	61.35	106.34	107.6	430
2	0	0	0	643.20	561.9	61.49	61.35	105.44	105.71	380
3	24	0	0	638.90	556.7	61.62	61.37	106.22	105.92	360
4	24	0	0	633.60	552.0	61.41	61.80	106.52	106.74	360
5	0	24	0	629.10	548.0	61.30	61.57	105.77	107.05	330
6	0	24	0	627.80	542.5	61.54	61.62	105.27	105.73	310
7	0	0	24	649.20	568.7	61.61	61.46	108.51	109.62	350
8	0	0	24	651.30	571.1	61.18	61.12	108.39	110.11	360
9										
10	8	8	8	635.90	561.6	61.66	61.61	108.10	108.64	290
11	4	12	8	638.60	560.4	61.60	61.55	107.8	106.00	210
12	4	12	8	633.10	557.7	61.86	61.11	109.59	111.36	240
13	8	12	4	630.40	556.1	61.74	61.43	107.28	107.78	220
14	8	12	4	631.40	556.9	61.74	61.83	106.24	105.7	400

# CÉSAR EDILBERTO ARBULÚ JURADO

MBA. Ing. Civil CIP 115764

RUC 10239763681

Consultor en geotecnia, con laboratorio propio.

## Informe 107-CEAJ-2021

### Informe de resultado de laboratorio:

#### Datos generales:

Solicitante: BACH. LUIGGI CARLOS MENDOZA TECSI. BACH. CLAUDIA CRISTINA ENRIQUEZ ARANA.

Fecha del ensayo: del 14 de Diciembre al 14 de enero de 2022.

Dirección del laboratorio: Av. Micaela Bastidas 258, Wanchaq, Cusco, Perú.

Muestreo, procedencia y manipulación del suelo hasta llegar al laboratorio: hecha por el solicitante.

#### Resultados:

##### Tabla 1.

Resultados de ensayos múltiples en la fase de experimentación.

N	CeZa %	CeGl %	Cem. %	CBR PDC ASTM D6951 (USACE) (%)	CBR LAB SUMERGIDO ASTM D1683 (%) Ref. 1	Cohesión (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0	0	0	13.2	5.6	7.28
2	0	0	0	14.9	6.0	6.41
3	4	0	0	22.5	7.5	6.06
4	4	0	0	19.0	6.9	6.04
5	0	4	0	22.8	7.6	5.57
6	0	4	0	19.4	6.9	5.20
7	0	0	4	17.3	6.5	5.88
8	0	0	4	19.9	7.0	6.13
9*	<del>1.3</del>	<del>1.3</del>	<del>1.3</del>	<del>16.5</del>	<del>6.3</del>	<del>3.23</del>
10	1.3	1.3	1.3	19.9	7.0	4.86
11	0.7	2	1.3	17.2	6.5	3.53
12	0.7	2	1.3	18.1	6.7	4.04
13	1.3	2	0.7	24.9	7.9	3.69
14	1.3	2	0.7	15.8	6.2	6.67

- Valor atípico que no debe ser considerado.

Fuente: ensayos de laboratorio, elaboración: consultor responsable.

Es todo cuanto se informa al respecto.

  
CÉSAR EDILBERTO ARBULÚ JURADO  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 115764

Cusco, 25 de Enero de 2022



Extracción del suelo limoso



Extracción del suelo limoso



Extracción del suelo limoso



Secado de la semilla de zapallo



Secado de la semilla de zapallo



Semilla de girasol



ceniza de girasol y zapallo



muestras de suelo y ceniza de semilla



peso de suelo limoso



agua para los ensayos



Agregado de agua a la mezcla



suelo limoso y ceniza de zapallo





agregado de ceniza de girasol



mezcla de los materiales



cuarteo de la mezcla



llenado de molde Proctor



llenado de molde para ensayo



prueba de ensayo Proctor



golpes con el pistón



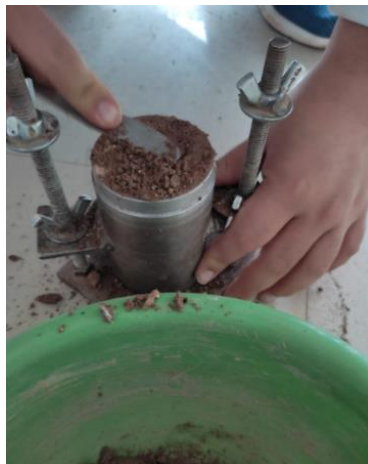
Prueba de penetración de cono dinámico



caída libre del martillo



retiro de collarín del molde



enrazado de la muestra



enrazado de la muestra



desarmado del molde



colocación de la muestra en la prensa



tallado del espécimen con la prensa



especimen tallado para laboratorio



peso del espécimen humedo (1)



Peso del especimen humedo (6)



los especímenes pesados



secado de los especímenes



peso de espécimen seco (1)



peso de espécimen seco (2)



peso de espécimen seco (7)



peso de espécimen seco (8)



medida de diámetro de base



medida de diámetro de base 2



medida de largo de altura



medida de largo de altura 2



especimen en dispositivo de carga axial



especimen en dispositivo de carga axial



calculo de carga de espécimen (13)



fractura de espécimen (11)



calculo de carga de espécimen (2)



calculo de carga de espécimen (10)