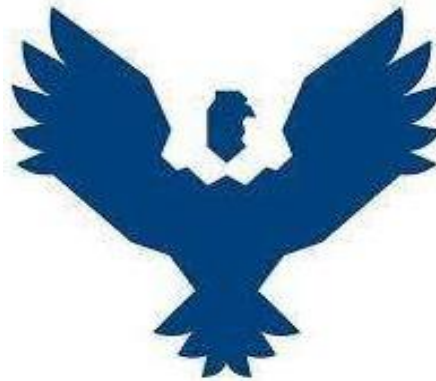




UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UAC

TESIS

“EFECTO DE INCORPORACIÓN DE DESPERDICIO AVÍCOLA EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS, EN SUELO LIMO-ARCILLOSO DE LA SUBRASANTE, CALLE CIRO ALEGRÍA, SAN SEBASTIÁN, CUSCO-2022”

Presentado por:

Bach. Luwi Gilbert, MENDOZA GONZALES

Bach. Fredy Américo, MENDOZA VILLALOBOS

Título a optar:

Ingeniero Civil

Asesor:

Ing. Civil Julio Benjamín DEZA CAVERO

CUSCO - PERÚ

2022



AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi agradecimiento a mi asesor de tesis y a todos los docentes que me han brindado su apoyo y conocimientos durante mi formación académica. También quiero agradecer a la Universidad Andina por la excelencia en la educación que recibí en sus aulas.

DEDICATORIA

A mi hijo THIAL, por ser el motor que me impulsa a seguir adelante a mis padres y hermanos, por estar siempre pendientes de mí y estar siempre alentándome para no rendirme en esta etapa de mi vida.

Luwi MENDOZA GONZALES



AGRADECIMIENTO

*Agradezco a mi madre que en paz
descansé, con su inmenso amor y darme la
vida es suficiente.*

*A mi padre y hermanos por la confianza
que me dieron, en cada paso de mi vida.*

*A la Universidad Andina del Cusco
por la enseñanza brindada y sentar las
bases del conocimiento en la
ingeniería, en mi persona.*

DEDICATORIA

*A mi padre y hermanos, con su soporte
incondicional, me motivaron, para seguir
con mi formación profesional, por ello mi
gratitud y consideración.*

Fredy A. MENDOZA VILLALOBOS

Asesor:

Ing. Civil Julio Benjamín DEZA CAVERO



Índice

Resumen.....	13
Summary.....	14
Capitulo I: Introducción	15
1.1. Planteamiento del Problema	16
1.1.1. Identificación del Problema.....	16
1.2. Formulación del Problema.....	19
1.2.1. Problema General.....	19
1.2.2. Problemas Específicos.....	19
1.3. Justificación.....	20
1.3.1. Conveniencia.....	20
1.3.2. Relevancia social.....	20
1.3.3. Implicancia Práctica	20
1.3.4. Valor Teórico	20
1.3.5. Utilidad Metodológica.....	21
1.4. Objetivos de investigación.....	21
1.4.1. Objetivo general:.....	21
1.4.2. Objetivo específico:.....	21
1.5. Delimitación del estudio.....	22
1.5.1. Delimitación espacial.....	22
1.5.2. Delimitación temporal.....	22
Capitulo II: Marco Teórico.....	23
2.1. Antecedentes de la investigación	23
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	23
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	26
2.1.3. Antecedente local.....	28
2.2. Bases Teóricas.....	29
2.2.1. Suelo.....	29
2.2.3. Principales tipos de suelos.....	35
2.2.4. Perfil estratigráfico.....	37
2.2.5. Propiedades físicas y mecánica del suelo	37
2.2.6. Sub rasante.....	42
2.3. Marco conceptual.....	44
2.3.1. Ensayos fundamentales.....	44
2.3.2. Estabilización de suelos.....	48
2.3.3. Desperdicio avícola	48
2.3.4. Diseño experimental en ingeniería	51



2.3.5.	Análisis de varianza o ANOVA (análisis estadístico).....	53
2.3.6.	Análisis comparativo de promedios.	54
2.4.	Hipótesis.	54
2.4.1.	Hipótesis general.	54
2.4.2.	Sub hipótesis.	54
2.5.	Variables e indicadores.....	54
2.5.1.	Identificación de variables.	54
2.5.2.	Operacionalización de variables.	55
Capítulo III:	Método.....	56
3.1.	Alcance del estudio	56
3.1.1.	Enfoque de la investigación.....	56
3.1.2.	Nivel de la investigación	56
3.1.3.	Método de investigación.....	56
3.2.	Diseño de la Investigación.....	56
3.2.1.	Diseño metodológico.....	56
3.2.2.	Diseño experimental (Ingeniería).....	57
3.3.	Población.	58
3.3.1.	Descripción de la población.....	58
3.3.2.	Cuantificación de la población.....	58
3.4.	Muestra.	59
3.4.1.	Descripción de la muestra.....	59
3.4.2.	Cuantificación de la muestra.....	59
3.4.3.	Método de muestreo.	59
3.4.4.	Criterios de evaluación de muestra.	59
3.4.5.	Criterios de inclusión.....	60
3.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	61
3.5.1.	Clasificación de suelos	61
3.5.2.	Determinación del Contenido de Humedad Natural.	61
3.5.3.	Análisis Granulométrico por Tamizado.	62
3.5.4.	Determinación del Limite Liquido.....	62
3.5.5.	Determinación del Limite Plástico e Índice de plasticidad	63
3.5.6.	Proctor Modificado	63
3.5.7.	Determinación del CBR con PDC.....	64
3.5.8.	Determinación de Resistencia a la compresión Simple.....	64
3.5.9.	Ensayo de densidad seca.....	64
3.5.10.	Ensayo de Cohesión	64
3.6.	Validez y confiabilidad de los instrumentos.....	65



3.6.1.	Muestreo de Suelo.....	65
3.6.2.	Texturización y caracterización del suelo.....	65
3.6.3.	Para determinación de porcentaje de cascara de huevo y pluma.	65
3.6.4.	Determinación de Contenido de Humedad Natural.	65
3.6.5.	Análisis Granulométrico por Tamizado.	65
3.6.6.	Determinación del Límite Líquido	66
3.6.7.	Determinación del Limite Plástico e Índice de Plasticidad	66
3.6.8.	Compactación de suelo usando Energía Modificada (Proctor Modificado). ..	66
3.6.9.	Determinación de Capacidad de Soporte CBR con PDC.....	67
3.6.10.	Determinación de Resistencia Compresiva	67
3.6.11.	Determinación de Densidad Seca.....	67
3.6.12.	Determinación de la Cohesión.	67
3.6.13.	Determinación del porcentaje de cascara de huevo y pluma	67
3.7.	Procedimientos de Diseño Experimental -D Optimal.	68
3.8.	Plan de análisis de datos.	70
3.8.1.	Procedimiento de Recolección de Datos	70
3.9.	Calculo procedimental de datos.	94
3.9.1.	Caracterización del suelo.	94
3.9.2.	Determinación de Contenido de Humedad.....	95
3.9.3.	Análisis granulométrico por tamizado.....	96
3.9.4.	Determinación del Limite Liquido.....	99
3.9.5.	Determinación de Límite Plástico e Índice de Plasticidad	101
3.9.6.	Clasificación de los suelos.....	103
3.9.7.	Ensayo de Proctor Modificado.....	106
3.9.8.	Ensayo de CBR mediante el PDC.....	109
3.9.9.	Ensayo de Compresión Simple (Fv).....	111
3.9.10.	Ensayo de Densidad Seca.	115
3.9.11.	Ensayo de Cohesión.	120
Capítulo IV:	Resultados de la investigación.	125
4.1.	Resultados respecto a los objetivos específicos.....	125
4.1.1.	Resistencia compresiva, cohesión y densidad seca.....	125
4.1.2.	Para CBR con PDC.	129
4.2.	Resultados respecto al objetivo General.....	130
Capítulo V:	Discusión	133
Conclusiones.	137
Recomendaciones	139
Bibliografía....	141



Glosario:.....	143
Anexos.....	144
Apéndice.....	170



Índice de Figuras

Figura 1	Mapa de tipos de suelos de la ciudad del Cusco.	17
Figura 2	Ubicación geográfica del distrito de San Sebastián- Cusco 2022.....	18
Figura 3	Zona de estudio calle Ciro Alegría -distrito San Sebastián-Cusco (Google Earth-2022).	19
Figura 4	Distribución de espacios vacíos, suelo y microorganismos.....	30
Figura 5	Mapa geológico del cuadrículo Cusco 28-s.	31
Figura 6	Componentes del suelo	38
Figura 7	Ensayo de límite líquido-Cuchara de Casagrande.....	44
Figura 8	Ensayo limite plástico.....	45
Figura 9	Desperdicio avícola-plumas	50
Figura 10	Desperdicio avícola, cascara de huevo.	51
Figura 11	Esquema Diseño experimental, Humberto Gutiérrez Pulido-Román de la Vera. Salazar.	57
Figura 12	Flujograma de diseño experimental.	58
Figura 13	Determinación del Diseño experimental.....	69
Figura 14	Poder del diseño.	69
Figura 16	Zona de estudio y recojo de muestra	71
Figura 15	Zona de estudio y recojo de muestra.	71
Figura 17	Los pozos exploratorios o calicatas de 1.90 m de profundidad.	71
Figura 18	Determinación de la textura del suelo IN SITU.....	72
Figura 19	Calita N°1, extracción de muestra 1.	72
Figura 20	Calicata N° 2, extracción de muestra 2.....	73
Figura 21	Muestra C-3, extraída	73
Figura 22	Muestras representativas, precintada en valdes para su sellado y transporte.....	73
Figura 23	Calicata N° 01 ubicada en km 00+310, calle Ciro Alegría, 1.90 m de profundidad.....	74
Figura 25	Calicata N° 02 ubicada en km 00+410, calle Ciro Alegría, con 1.90 m de profundidad. ..	74
Figura 24	Calicata N° 03 ubicada en km 00+510, calle Ciro Alegría, con 1.90 m de profundidad. ..	75
Figura 26	Texturización mediante prueba de la botella y de manipulación.	75
Figura 27	Proceso de cuarteo de muestras.....	77
Figura 28	Contenido de humedad natural.....	77
Figura 29	Muestra obtenida.	78
Figura 30	Clasificación de partículas para el análisis granulométrico por tamizado.	79
Figura 31	Ensayo Límite Líquido.	81
Figura 32	Muestras pesadas y equipos.	81
Figura 34	Muestras resultadas de la prueba de límite	82
Figura 33	Muestra y equipo de ensayo	82
Figura 35	Pesado de la muestra seca	85



Figura 36 Compactación con energía modificada y moldeado de espécimen	86
Figura 37 Mezclado de muestra dosificada para CBR con PDC.	88
Figura 38 Moldeado de espécimen para CBR con PDC.....	88
Figura 39 Equipo estándar PDC.....	88
Figura 40 Preparación y dosificación de muestras	91
Figura 41 Moldeo y eyección de especímenes.....	91
Figura 42 Secado de muestras.....	91
Figura 43 Especimen obtenido para la compresión.....	91
Figura 44 Ensayo a la compresión simple	92
Figura 45 Determinación del porcentaje de volúmenes.	95
Figura 46 Triangulo textural de suelos	95
Figura 47 Gráfico del porcentaje de contenido de humedad natural del suelo.	96
Figura 48 Gráfico resultarte de límite líquido.....	100
Figura 49 Cuadro compartido del ensayo.	101
Figura 50 Cuadro comparativo de muestras.	102
Figura 51 Resultados del ensayo de IP.	103
Figura 52 Gráfico de clasificación – AAHSTO.....	105
Figura 53 Suelo clasificado.....	105
Figura 54 Clasificación del suelo por SUCS.	105
Figura 55 Gráfico de la curva de densidad seca máxima	108
Figura 56 Correlación de H.O y DSM.....	108
Figura 57 Curva de CBR con PDC con Pluma	110
Figura 58 Curva de CBR con PDC con cascara de huevo.....	110
Figura 59 Comparación de efectos significativos de variables	113
Figura 60 Predicción y regresión líneas de observaciones.	114
Figura 61 Medida de discrepancia entre los valores observados y predichos en el modelo..	114
Figura 62 Comparación de efectos significativos de variables	118
Figura 63 Predicción y regresión lineal de observaciones.....	118
Figura 64 Medida de discrepancia entre los valores observados y predichos en el modelo..	119
Figura 65 Comparación de efectos significativos de variables	122
Figura 66 Predicción y regresión lineal	123
Figura 67 Medida de discrepancia entre los valores observados y predichos en el modelo..	124
Figura 68 Comparación de resultados de las variables.....	126
Figura 69 Predicción y residuos.	126
Figura 70 Comparación de resultados de las variables.....	127
Figura 71 Predicción y residuos	127
Figura 72 Comparación de variación de variables	128



Figura 73 Predicción y residuos.....	128
Figura 74 CBR con PDC Plumas	129
Figura 75 CBR con PDC cascara de huevo.	130
Figura 76 Caracterización del suelo.	166
Figura 77 Límites de consistencia	166
Figura 78 Dosificación	167
Figura 79 Dosificación y mezclado	167
Figura 80 Sellado de especímenes.....	168
Figura 81 Proceso de eyección.....	168
Figura 82 Marcado	168
Figura 83 Reposo y secado	169
Figura 84 Secado al horno	169
Figura 85 Compresión simple	169



Índice de tablas

Tabla 1	Clasificación de suelo	32
Tabla 2	Clasificación del suelo según SUCS.....	33
Tabla 3	Clasificación general del suelo.	34
Tabla 4	Número de tamices para la granulometría.....	40
Tabla 5	Clasificación de suelos	40
Tabla 6	Categorías de Sub rasante	43
Tabla 7	Tres métodos electivos para usar la compactación Según el MTC (2016).	46
Tabla 8	Producción de huevo de gallina.	49
Tabla 9	Consumo de Pollo	49
Tabla 10	Operacionalización de variables.	55
Tabla 11	Cantidad de ensayos programados.....	60
Tabla 12	Hoja de trabajo para clasificación de suelos.....	61
Tabla 13	Hoja de trabajo para contenido de humedad del suelo natural.	61
Tabla 14	Hoja de trabajo para determinar granulometría del suelo por tamizado.	62
Tabla 15	Hoja de trabajo para determinar limite líquido.....	62
Tabla 16	Hoja de trabajo para límite plástico e índice plasticidad.....	63
Tabla 17	Hoja de trabajo para determinar Proctor Modificado.	63
Tabla 18	Hoja de toma de datos para CBR con PDC.	64
Tabla 19	Hoja de toma de datos para Resistencia Compresiva.	64
Tabla 20	Hoja de toma de datos para Densidad Seca.....	64
Tabla 21	Hoja de toma de datos para Cohesión.	64
Tabla 22	Características del suelo natural.	75
Tabla 23	Humedad de la muestra.	76
Tabla 24	Datos obtenidos del contenido de humedad del suelo natural.....	77
Tabla 25	Datos obtenidos de granulometría del suelo por tamizado.....	79
Tabla 26	Datos obtenidos para Limite Liquido del suelo natural	81
Tabla 27	Registro datos para límite plástico e índice de plasticidad.....	83
Tabla 28	Porcentaje de retenidos de la muestra.	84
Tabla 29	Muestra secado y dosificación de desperdicios avícolas	84
Tabla 30	Recopilación de datos para el contenido de humedad en suelos naturales.	86
Tabla 31	Dosificación de aditivos para los ensayos.....	87
Tabla 32	Datos del ensayo CBR con PDC.....	89
Tabla 33	Dosificación de desperdicios avícolas para los ensayos.	89
Tabla 34	Datos del ensayo para Resistencia Compresiva.....	92
Tabla 35	Ensayo para determinar Densidad Seca.	93
Tabla 36	Datos obtenidos para la Cohesión.....	94



Tabla 37	Resultados de caracterización suelo natural	94
Tabla 38	Resultados de Humedad natural	94
Tabla 39	Resultados de contenido de humedad SN	95
Tabla 40	Resultados de análisis granulométrico	98
Tabla 41	Diagrama granulométrico del ensayo	98
Tabla 42	Resultados de coeficientes uniformidad y de curvatura	99
Tabla 43	Resultado de Limite Líquido	100
Tabla 44	Resultado Limite Plástico	102
Tabla 45	Clasificación de suelos para suelo natural	104
Tabla 46	Clasificación para suelo natural- SUCS	104
Tabla 47	Datos de calificación del suelo natural	105
Tabla 48	Gráfico de clasificación -SUCS	106
Tabla 49	Gráfico de clasificación -SUCS	106
Tabla 50	Resultados del Proctor Modificado del suelo natural	107
Tabla 51	Resultados del CBR con PDC	109
Tabla 52	Resultados de resistencia a la compresión simple	111
Tabla 53	Estadística de bondad	111
Tabla 54	Valor crítico de la varianza	112
Tabla 55	Suma de cuadrados	112
Tabla 56	Suma de cuadrados tipo III	112
Tabla 57	Parámetros de modelo	113
Tabla 58	Los coeficientes estandarizados	113
Tabla 59	Predicciones y residuos	114
Tabla 60	Prueba sobre la normalidad de los residuos (Shapiro-Wilk, para tratamientos menos de 50). (Fv (kg/cm ²))	115
Tabla 61	Resultados de densidad seca	116
Tabla 62	Resultados de estadística de bondad	116
Tabla 63	Valor crítico de la varianza	116
Tabla 64	Análisis de suma de cuadrados	117
Tabla 65	Análisis d suma de cuadrados Tipo III	117
Tabla 66	Análisis d suma de cuadrados Tipo III	117
Tabla 67	Coefficientes estandarizados	118
Tabla 68	Predicciones y residuos	118
Tabla 69	Prueba sobre la normalidad de los residuos	119
Tabla 70	Resultado de la Cohesión	120
Tabla 71	Estadística de Bondad de la cohesión	120
Tabla 72	Valor crítico de la varianza	121
Tabla 73	Análisis Suma de Cuadrados	121



Tabla 74	Análisis Suma de Cuadrados Tipo III	122
Tabla 75	Parámetros del modelo	122
Tabla 76	Coefficientes estandarizados.....	122
Tabla 77	Predicciones y residuos.	123
Tabla 78	Medida de discrepancia entre los valores observados y predichos en el modelo. ...	124
Tabla 79	Resultados obtenidos de Fv, Cohesión, Ds.	125
Tabla 80	Matriz de correlación	125
Tabla 81	Estadística de multicolinealidad	125
Tabla 82	Prueba sobre la normalidad de los residuos (Shapiro-Wilk). (Fv (kg/cm ²))	126
Tabla 83	Prueba sobre la normalidad de los residuos (Shapiro-Wilk). (Ds (g/cm ³)).....	127
Tabla 84	Prueba sobre la normalidad de los residuos (Shapiro-Wilk). Cohesión (Kg/cm ²). ...	129
Tabla 85	Cuadro de correlación del CBR con PDC.	130
Tabla 86	Matriz de consistencia.	164
Tabla 87	Profesionales.....	170
Tabla 88	Gastos operativos.....	170
Tabla 89	Oficina.....	170
Tabla 90	Total, de gastos	170



Resumen

La presente investigación, titulada "Efecto de incorporación de desperdicio avícola en las propiedades físicas y mecánicas, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco-2022", está enfocada en determinar los efectos significativos causantes por la incorporación de desperdicios avícolas (cáscara de huevo y plumas avícolas) en suelos de tipo limo-arcilloso que, sometidos a tratamientos diseñados en laboratorio, buscan mejorar tales propiedades. En tal sentido, la presente investigación tiene como finalidad demostrar los efectos significativos en las propiedades físicas y mecánicas del suelo de sustratos limo-arcilloso al incorporar desperdicios avícolas. Para ello, se realizó un programa de evaluación mediante TRES (03) pozos o calicatas de exploración para la extracción de muestras representativas alteradas en la calle Ciro Alegría, distrito de San Sebastián, con la finalidad de realizar ensayos en laboratorio como la determinación de los Límites de Consistencia, Relación Humedad, Proctor Modificado, Esfuerzo de Compresión, Cohesión y Capacidad de Soporte CBR con PDC, según los parámetros del Manual de Ensayo de Materiales (2016). Para esto, se obtuvo el suelo natural, así como el suelo incorporado con los desperdicios avícolas considerados. Lográndose confirmar la hipótesis, de que los desperdicios avícolas (cáscara de huevo y plumas avícolas) causan efectos significativos a través de experimentos con un número moderado de variables, dada la cantidad de suelo en su estado natural y, finalmente, el suelo de la subrasante con agregados de desperdicios avícolas. Esta investigación se desarrolló con un diseño experimental de tipo D-Optimizado y un método cuantitativo (con un nivel explicativo causal), teniendo un diseño óptimo de DIECISÉIS (16) tratamientos o ensayos obtenidos de manera aleatoria. La experimentación en laboratorio tuvo variables de respuesta (VD) influenciadas por variables de entrada (VI). Asimismo, para el procesamiento de datos se utilizó como herramienta el análisis estadístico (análisis de variable-ANOVA) que nos permitió determinar la Correlación, regresión de variables, parámetros del modelo y ecuaciones o modelos matemáticos que dentro de un parámetro establecido nos ayudó a determinar resultados óptimos para determinar la hipótesis estadístico, sin perder el poder o robustez estadístico del diseño.

Palabras clave: Suelo, CBR, PDC, DCPI, muestra representativa, propiedades físicas y mecánicas, limo-arcilla, subrasante, cáscara de huevo, pluma de ave, tratamientos, robusto, cohesión, resistencia a la compresión, correlación, regresión, límites de consistencia, resistencia a la compresión, seco densidad, correlación, regresión lineal.



Summary

The present investigation, entitled "Effect of incorporating poultry waste on the physical and mechanical properties, in silt-clay soil of the subgrade, Ciro Alegría street, San Sebastián, Cusco-2022", is focused on determining the significant effects caused by the incorporation of poultry waste (egg shell and poultry feathers) in silt-clay soils that, subjected to treatments designed in the laboratory, seek to improve such properties. In this sense, the purpose of this research is to demonstrate the significant effects on the physical and mechanical properties of the soil of silt-clay substrates when incorporating poultry waste. For this, an evaluation program was carried out using THREE (03) wells or exploration test pits for the extraction of altered representative samples in Ciro Alegría street, San Sebastián district, with the purpose of carrying out laboratory tests such as the determination of the Limits of Consistency, Moisture Ratio, Modified Proctor, Compressive Effort, Cohesion and Support Capacity CBR with PDC, according to the parameters of the Materials Testing Manual (2016). For this, the natural soil was obtained, as well as the soil incorporated with the considered poultry waste. Being able to confirm the hypothesis that poultry waste (egg shell and poultry feathers) cause significant effects through experiments with a moderate number of variables, given the amount of soil in its natural state and, finally, the soil of the subgrade. with aggregates of poultry waste. This research was developed with a D-Optimized experimental design and a quantitative method (with a causal explanatory level), having an optimal design of SIXTEEN (16) treatments or trials obtained randomly. Laboratory experimentation had response variables (VD) influenced by input variables (VI). Likewise, for data processing, statistical analysis (analysis of variables-ANOVA) was used as a tool, which allowed us to determine the Correlation, regression of variables, model parameters and equations or mathematical models that within an established parameter helped us to determine optimal results to determine the statistical hypothesis, without losing the power or statistical robustness of the design.

Keywords: Soil, CBR, PDC, DCPI, representative sample, physical and mechanical properties, silt-clay, subgrade, eggshell, poultry feather, treatments, robust, cohesion, compressive strength, correlation, regression, limits of consistency, strength compressive, dry density, correlation, linear regression.




Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	Fredy Americo Mendoza Villalobos
Título del ejercicio:	EFFECTO DE INCORPORACIÓN DE DESPERDICIO AVÍCOLA EN L...
Título de la entrega:	EFFECTO DE INCORPORACIÓN DE DESPERDICIO AVÍCOLA EN L...
Nombre del archivo:	ESIS_EFECTO_DE_INCORPORACI_N_DE_DESPERDICIOS_MEND...
Tamaño del archivo:	5.95M
Total páginas:	144
Total de palabras:	43,102
Total de caracteres:	223,743
Fecha de entrega:	21-may.-2023 04:50p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre...	2098580358




CIP 68073
Julio B. DEZA C



EFECTO DE INCORPORACIÓN DE DESPERDICIO AVÍCOLA EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS, EN SUELO LIMO- ARCILLOSO DE LA SUBRASANTE, CALLE CIRO ALEGRÍA, SAN SEBASTIÁN, CUSCO-2022

Fecha de entrega: 21-may-2023 04:50p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 507 Fredy Americo Mendoza Villalobos - Luwi G. Mendoza

Nombre del archivo: ESIS_EFECTO_DE_INCORPORACION_DE_DESPERDICIOS_MENDOZA-MENDOZA.pdf
(5.95M)

Total de palabras: 43102

Total de caracteres: 223743

CIP 68073
Luwi B. DEZA C



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UAC

TESIS

“EFECTO DE INCORPORACIÓN DE DESPERDICIO AVÍCOLA EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS, EN SUELO LIMO-ARCILLOSO DE LA SUBRASANTE, CALLE CIRO ALEGRÍA, SAN SEBASTIÁN, CUSCO-2022”

Presentado por:

Bach. Luwi Gilbert, MENDOZA GONZALES

Bach. Fredy Américo, MENDOZA VILLALOBOS

Título a optar:

Ingeniero Civil

Asesor:

Ing. Civil Julio Benjamín DEZA CAVERO

CUSCO - PERÚ

2022

CIP 68073

JULIO B. DEZA C

3

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS



LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS, EN SUELO LIMO-ARCILLOSO DE LA SUBRASANTE, CALLE CIRO ALEGRÍA, SAN SEBASTIÁN, CUSCO-2022

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	6%
2	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	1996rosacelta.blogspot.com Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	1%
5	mriuc.bc.uc.edu.ve Fuente de Internet	1%
6	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	<1%
8	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1%

[Handwritten signature]
CIP 68073
Julio B. DEZA C



9

en el área de lavado y rectificado en la empresa Sandvik Hyperon de México, SA", TESIUNAM, 2016

Publicación

< 1 %

10

Limón Montalvo Karla Itzel. "Implementación de una mega tirolesa en la región de Acapulco, Guerrero", TESIUNAM, 2018

Publicación

< 1 %

11

Submitted to Universidad San Francisco de Quito

Trabajo del estudiante

< 1 %

12

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

< 1 %

13

Hidalgo Navarro Marcos. "Metodología para la validación de datos de calidad del aire generados por una red de monitoreo automático", TESIUNAM, 2011

Publicación

< 1 %

14

repositorio.unj.edu.pe

Fuente de Internet

< 1 %

15

vsip.info

Fuente de Internet

< 1 %

16

1library.co

Fuente de Internet

< 1 %

CIP 68073
Julio B. DEZA C



17

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, 2009

Publicación

< 1 %

18

repositorio.unap.edu.pe

Fuente de Internet

< 1 %

19

dspace.uazuay.edu.ec

Fuente de Internet

< 1 %

20

planbim.cl

Fuente de Internet

< 1 %

21

repositorio.upn.edu.pe

Fuente de Internet

< 1 %

22

ri.ues.edu.sv

Fuente de Internet

< 1 %

23

repositorio.uncp.edu.pe

Fuente de Internet

< 1 %

24

repositorio.uns.edu.pe

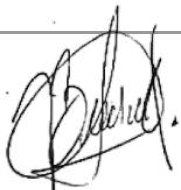
Fuente de Internet

< 1 %

25

Submitted to Universidad Continental

Trabajo del estudiante


CIP 68073
JULIO B. DEZA C

< 1 %



26

Fuente de Internet

< 1 %

27

CONSULRORIA CARRANZA E.I.R.L.. "PMA del Proyecto de Construcción y Funcionamiento de la Base de Operaciones Kiteni-IGA0005729", R.D. N° 47-2010-MEM/AAE, 2020

Publicación

< 1 %

28

Submitted to Universidad Alas Peruanas

Trabajo del estudiante

< 1 %

29

Gutiérrez Ávila Juan César. "Manual de ensayos de laboratorio de mecánica de suelos", TESIUNAM, 2010

Publicación

< 1 %

30

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

< 1 %

31

repositorio.uandina.edu.pe

Fuente de Internet

< 1 %

32

Tinajero Fonseca Diana Gabriela. "Desarrollo de una barra saludable para pacientes con diabetes", TESIUNAM, 2019

Publicación

< 1 %

33

docplayer.es

Fuente de Internet

< 1 %

34

repositorio.upse.edu.ec

Fuente de Internet

< 1 %

CIP 68073
Julio B. DEZA C



35

Fuente de Internet

< 1 %

36

repositorio.upao.edu.pe

Fuente de Internet

< 1 %

37

Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD

Trabajo del estudiante

< 1 %

38

Castillo Galván Ilce Nallely. "Efecto de NanoSiO2 sobre los límites de consistencia en arcillas del exLago de Texcoco", TESIUNAM, 2018

Publicación

< 1 %

39

repositorio.unc.edu.pe

Fuente de Internet

< 1 %

40

Rivera Carmona Delfino. "Diseño de pavimentos en obras de urbanización", TESIUNAM, 2009

Publicación

< 1 %

41

www.dspace.uce.edu.ec

Fuente de Internet

< 1 %

42

"Proceedings of the 6th Brazilian Technology Symposium (BTSym'20)", Springer Science and Business Media LLC, 2021

Publicación

< 1 %

43

Nico Ramón Moisés. "Propiedades índice y mecánicas de los suelos, en la comunidad de

< 1 %

[Handwritten signature]

CIP 68073

JULIO B. DEZA



TESIUNAM, 2011

Publicación

44

repositorio.unsaac.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

45

Fernando Naranjo Palacios, Armando Javier Rios Lira, Yaquelin Verenice Pantoja Pacheco, Moises Tapia Esquivias. "Diseños ortogonales de Taguchi fraccionados", Ingeniería Investigación y Tecnología, 2020

Publicación

<1 %

46

Morales Sotelo Tania Angélica, Loza Pluma César. "Manual de pruebas elaboradas en campo y laboratorio, aplicadas en el ámbito laboral de la ingeniería civil", TESIUNAM, 2011

Publicación

<1 %

47

edoc.pub

Fuente de Internet

<1 %

48

repositorio.usmp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

49

Bingxue Jiang, Shuai Li, Yuanyuan Wu, Jingxin Song, Shanshan Chen, Xinxin Li, Huimin Sun. "Preparation and characterization of natural corn starch-based composite films reinforced by eggshell powder", CyTA - Journal of Food, 2018

Publicación

<1 %

CIP 68073

Julio B. DEZA C



50

EDILBERTO. "EIA del Proyecto Planta de Tratamiento y Disposición Final de Residuos Sólidos Añaspampa - Huancayo-IGA0003682", R.D. N° 0126-2010/DIGESA/SA, 2020

Publicación

< 1 %

51

#N/A. "EIA para el Proyecto Tratamiento de Residuos Semisólidos Peligrosos - Lodos Orgánicos-IGA0000567", R.D. N° 1385-2013/DEPA/DIGESA/SA, 2020

Publicación

< 1 %

52

Sanchez de la Vega García Alicia Susana. "Diseño de un biocatalizador para la remoción de clorofenoles en agua", TESIUNAM, 1996

Publicación

< 1 %

53

Valle Puga Erika Berthila. "Consideraciones geotécnicas en el diseño de lagunas de estabilización", TESIUNAM, 2005

Publicación

< 1 %

54

idoc.pub

Fuente de Internet

< 1 %

55

FERNANDO GARRIGÓS SANCHIS. "Estudios de degradación y alterabilidad de rocas blandas y su aplicación a la estabilidad de taludes en facies TAP dentro de la Comunidad Valenciana", Universitat Politecnica de Valencia, 2015

Publicación

< 1 %


CIP 68073
Julio B. DEZA ©



56

Estudio del comportamiento de suelos
potencialmente expansivos en zonas
forestales estabilizados con cenizas FBC",
Pontificia Universidad Católica de Chile, 2016

Publicación

< 1 %

57

Cerón Galindo Leslie. "Normatividad aplicable
a los procesos de laboratorio para el
aseguramiento de la calidad de los materiales
en la industria de la construcción", TESIUNAM,
2015

Publicación

< 1 %

58

Raquel Monge Ortiz. "Efecto de la sustitución
de la harina y el aceite de pescado por
fuentes vegetales y animales en la
alimentación de la seriola (*Seriola dumerili*.
Risso, 1810)", Universitat Politecnica de
Valencia, 2020

Publicación

< 1 %

59

Elvira del Carmen Benjamin Hugo. "Análisis,
diseño y construcción de torres de telefonía
celular", TESIUNAM, 2005

Publicación

< 1 %

60

HERRERA VILLAVICENCIO JUVENAL.
"Programa de Reconversión y Manejo de
Áreas Degradadas del Proyecto Construcción
del Relleno Sanitario de Echarati - Cercado -
Provincia de La Convención - Cusco,

< 1 %

CIP 68073
Julio B. DEZA C



61

Vega Samano Heriberto. "Estudio de la degradacion de la aleacion de Zn-21wt%Al-2wt%Cu expuesta a la atmosfera y a condiciones severas de salinidad", TESIUNAM, 2006

Publicación

<1 %

62

Barrera Cervantes Carlos Eduardo. "Diseño y construcción de pavimentos tipo stone mastic asphalt en México", TESIUNAM, 2008

Publicación

<1 %

63

Hipólito Carbajal Morán. "Sistema electrónico de recuperación de aguas grises por fotocátalisis solar para riego de cultivos", Revista Científica, 2021

Publicación

<1 %

64

López Cabrera Diana Erisbe. "El filtro de Kalman en el crecimiento demografico de Mexico", TESIUNAM, 1996

Publicación

<1 %

65

Tania Mariel Godoy Reyes. "Neurotransmitters recognition based on gold nanoparticles and mesoporous silica nanoparticles for sensing and controlled release applications", Universitat Politecnica de Valencia, 2020

<1 %

CIP 68073
Julio B. DEZA C



66

Submitted to Universidad Nacional de San
Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

<1 %

67

dspace.unl.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

68

repositorio.uap.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

69

Miguel Ángel Ospina-García, Saieth Baudilio
Chaves-Pabón, Luis Miguel Jiménez-Sicachá.
"Mejoramiento de subrasantes de tipo
arcilloso mediante la adición de escoria de
acero", Revista de Investigación, Desarrollo e
Innovación, 2020

Publicación

<1 %

70

Rodríguez Zuñiga Vladimir. "Depresión y
funcionalidad familiar en el adulto mayor",
TESIUNAM, 2014

Publicación

<1 %

71

SANTA MARIA FLORES MIGUEL SANTOS. "EIA
del Proyecto de Planta de Tratamiento de
Residuos Orgánicos e Inorgánicos de
Chimbote-IGA0003590", R.D. N°
2994/2008/DIGESA/SA, 2020

Publicación

<1 %

72

repositorio.uta.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

CIP 68073
Julio B. DEZA C



tecnologías de información y comunicación en la enseñanza-aprendizaje : aplicación en el área de ciencias naturales en enseñanza básica", Pontificia Universidad Católica de Chile, 2013

Publicación

< 1 %

74

Abdullin Fanis. "Estudio termotectónico y de procedencia de sedimentos de la sierra de Chiapas mediante trazas de fisión y geoquímica en apatitos", TESIUNAM, 2016

Publicación

< 1 %

75

Camacho Palacios Marco Antonio. "Pavimentos aeronáuticos : diseño y revisión", TESIUNAM, 2017

Publicación

< 1 %

76

Coliente Tlaxcalteca Alfredo. "Inestabilidad de laderas y taludes", TESIUNAM, 2010

Publicación

< 1 %

77

Covarrubias Robles Alejandra Alicia. "Caracterización de la región glnA-glnG de Escherichia coli K12", TESIUNAM, 2002

Publicación

< 1 %

78

Diego Moitre. "Maximum Likelihood Estimation of Variance Components in a Competitive Electricity Market", IEEE Latin America Transactions, 12/2008

Publicación

< 1 %

CIP 68073

Julio B. DEZA C



79

Dinámica de Sismos Mexicanos", TESIUNAM, 2012

Publicación

< 1 %

80

Hernández Ortiz Cynthia Danesa. "Estudio de geotecnia para la ampliación de una nave industrial, para empaque de fruta en Uruapan, Michoacán", TESIUNAM, 2013

Publicación

< 1 %

81

JADER RODRIGUEZ CORTINA. "CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LA INTENSIFICACION DEL PROCESO DE SECADO DE TOMILLO (Thymus Vulgaris L.): APLICACIÓN DE ULTRASONIDOS DE POTENCIA Y SECADO INTERMITENTE", Universitat Politecnica de Valencia, 2013

Publicación

< 1 %

82

Olalde Chavarría Fernando José. "Desarrollo de un sistema experimental de extracción de vapores para suelos contaminados con gasolina", TESIUNAM, 2010

Publicación

< 1 %

83

Orozco Calderon Marcos. "Contenido de agua y limite liquido de suelos : una revision de tecnicas", TESIUNAM, 1994

Publicación

< 1 %

84

SOLUGRIFOS S.A.C.. "PAD del Establecimiento Gasnorte-IGA0018808", R.D. N° 316-2021-

< 1 %

CIP 68073
Julio B. DEZA C



85 Salas García Carlos Enrique. "Emergencia y desarrollo de plantulas de mezquite [prosopis laevigata (humb. & bompl. ex willd.) m.c. johnst.] bajo gradientes de mezclas salinas", TESIUNAM, 2003 $<1\%$
Publicación

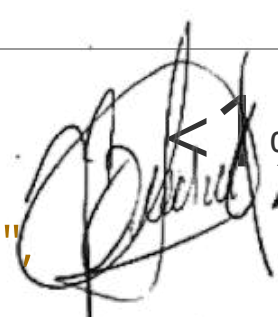
86 Yañez Chávez Benjamín. "Efecto del enterramiento por el transporte litoral de arenas en la comunidad bentónica asociada a ecosistemas rocosos litorales", TESIUNAM, 2015 $<1\%$
Publicación

87 documentop.com $<1\%$
Fuente de Internet

88 fr.scribd.com $<1\%$
Fuente de Internet

89 "Encyclopedic Dictionary of Landscape and Urban Planning", Springer Science and Business Media LLC, 2010 $<1\%$
Publicación

90 PRIETO INGENIEROS CONSULTORES S.A .. "DIA del Proyecto Ampliación de la Subestación Cotaruse 220 kV-IGA0010970", R.D. N° 132-2013-MEM/AAE, 2020 $<1\%$
Publicación


CIP 68073
Julio B. DEZA C



91

Fuente de Internet

< 1 %

92

Submitted to Universidad San Ignacio de
Loyola

Trabajo del estudiante

< 1 %

Excluir citas


Activo

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo



CIP 68073
Julio B. DEZA C



Capítulo I: Introducción

Desde hace mucho tiempo, en el ámbito de la ingeniería geotécnica, se sabe que los suelos con característicos limo-arcillosos son propensos a hincharse al entrar en contacto con la humedad, lo que los hace expansivos y provoca defectos significativos en las estructuras situadas encima de ellos, con consecuencias graves y daños considerables. La amplitud de las oscilaciones en el contenido de agua, que son causadas por las condiciones climáticas y las variaciones en las precipitaciones, agrava la contracción y la hinchazón. Dado que los suelos limo-arcillosos se encuentran ampliamente en gran parte de la superficie terrestre, esto ha resultado en importantes pérdidas económicas y de seguridad, lo que ha llevado a buscar soluciones sostenibles para estabilizar estos suelos. Una de estas soluciones es la incorporación de residuos de la industria avícola.

En los últimos años, ha habido un interés creciente en la incorporación de fibras en la mezcla de suelos con el fin de mejorar su capacidad de resistencia. Sin embargo, debido a que la interacción entre estas fibras y los suelos es compleja y depende de las características específicas de cada caso, es necesario contar con un modelo adecuado para su estudio. Se ha observado que la fuerza de unión entre la fibra y el área de contacto de las partículas del suelo es un factor importante en la resistencia al corte interfacial. La fricción interfacial también está influenciada por la resistencia de reordenamiento y rotación de las partículas de suelo en el momento del corte. En el caso de suelos expansivos, el comportamiento del agua es un parámetro crítico que también debe considerarse al evaluar la resistencia al corte interfacial.

El uso de residuos de la industria avícola en la construcción puede ser un campo de investigación prometedor, ya que se trata de materiales que se consideran desechos y que pueden tener un impacto ambiental negativo. En particular, la cascara de huevo y las plumas son residuos comunes que pueden causar problemas ambientales graves. Además, la región en cuestión es un importante consumidor de aves de corral.

El objetivo de este proyecto de investigación es determinar los efectos de la incorporación de residuos de la industria avícola en el suelo limo-arcilloso de una subrasante. Se utilizará un diseño experimental de tipo D-Optimal y un análisis de varianza (ANOVA) para procesar los datos obtenidos en el laboratorio y evaluar los efectos en las propiedades físicas y mecánicas del suelo. El objetivo final es utilizar estos residuos como base y soporte para la estructura de pavimento, siguiendo las recomendaciones de los artículos científicos para la dosificación de los residuos avícolas. En resumen, este proyecto busca contribuir al desarrollo de la construcción sostenible y reducir el impacto ambiental de la industria avícola.



1.1. Planteamiento del Problema

1.1.1. Identificación del Problema.

Descripción del Problema.

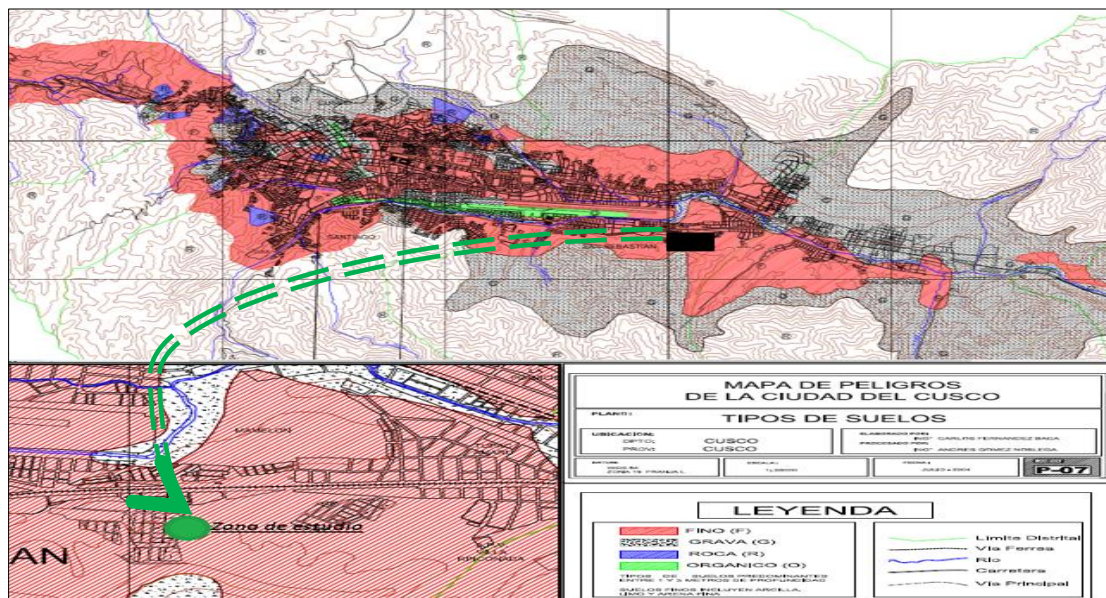
- a. Dignostico: De conformidad a los antecedentes y efectuado el reconocimiento de la zona de estudio: Calle Ciro Alegría, Asoc. Pro-Vivienda Uvimas -1, del distrito San Sebastián donde se evidencia presencia de suelo de subrasante de características limo-arcillosas, que se corrobora con los estudios realizados por el *Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI (2004)* y *mapa de peligros de la ciudad del Cusco*, además de ratificarlo mediante ensayos de campo inmediatos, para determinar la textura del suelo, conociendo el perfil estratigráfico y con la caracterización geotécnica de suelos mediante ensayos de laboratorio, se ha determinado que en nuestra zona de estudio predominan suelos de subrasante limo-arcilloso con baja capacidad de soporte, para obras de infraestructura vial que requieren necesariamente ser estabilizados.
- b. Pronostico: Dentro de nuestra región y las dificultades que se ostentan dentro del proceso constructivo, en específico la zona de estudio, se pudo observar la presencia de suelos de tipo limo-arcilloso, con baja capacidad de soporte, evidenciandose deficiencias a nivel de la infraestructura vial, mas en periodos de lluvia, donde se genera mayor saturación del suelo, consecuentemente debilitamiento y deformación de la configuración de la superficie pavimentada, que implica altos costos de mantenimiento.
- c. Control de pronostico: Hasta el momento, se han realizado estudios de investigación que han demostrado resultados significativos en las propiedades físicas y mecánicas de suelos limo-arcillosos con baja capacidad de soporte para subrasante al agregar residuos vegetales o animales en cantidades específicas. Actualmente, se están utilizando aditivos industriales para estabilizar o mejorar las propiedades del suelo de subrasante, pero estos pueden ser costosos y limitados en sus alternativas.



En este contexto, se lleva a cabo una investigación que consta de tres fases bien definidas, titulada “*Efecto de incorporación de desperdicio avícola en las propiedades físicas y mecánicas, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco-2022*”, consta de tres fases definidas apropiadamente, que permiten avanzar de forma ordenada y coherente en la concepción de nuevos conocimientos, posterior aplicación y aprovechamiento, para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante: **PRIMERO**, proponer una alternativa sostenible con la incorporación de desperdicio avícola (cascara de huevo y plumas avícolas) para solucionar o disminuir las deficiencias del suelo con características no aptas ni recomendables y así obtener un adecuada conformación de la infraestructura vial a desarrollarse según corresponda. **SEGUNDO**, evaluar el método investigativo aplicado, el enfoque, los objetivos que se orienten a mejorar el suelo de la subrasante limo-arcillosa con la incorporación de elementos de desperdicio avícola. **TERCERO**, determinar los efectos significativos al incorporar desperdicio avícola (cascara de huevo y plumas avícolas), en las propiedades **físicas y mecánicas** (CBR haciendo uso del Penetrómetro Dinámico de Cono, la Cohesión, Densidad Seca y Resistencia Compresiva), en ese entender se planteó elaborar el proyecto de investigación.

Figura 1

Mapa de tipos de suelos de la ciudad del Cusco.



Nota. Según la información de los estudios señalados por Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), los suelos arcillosos de diferentes tipos abarcan gran cantidad del territorio de la ciudad del Cusco. Tomada de Geología del Cuadrángulo Cusco 28-s [Imagen], INGEMMET, 2011.

Ubicación geográfica

El distrito de San Sebastián, forma parte de la provincia de Cusco, esta bordea por el norte a la provincia Calca, por el este con el distrito San Jerónimo, por el oeste con Santiago, Cusco y Wánchaq y por el sur con Paruro provincia.

Ámbito de influencia teórica.

La tesis de investigación experimental “*Efecto de incorporación de desperdicio avícola en las propiedades físicas y mecánicas, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco-2022*”, está enfocado en el Área de Geotecnia y Carreteras de Ingeniería Civil, con ello se pretende aportar nuevos conocimientos de tipo experimental, con la aplicación de desperdicios avícolas, con la adecuada dosificación, en suelos de la subrasante, de tipo limo-arcillosa.

Figura 2

Ubicación geográfica del distrito de San Sebastián- Cusco 2022

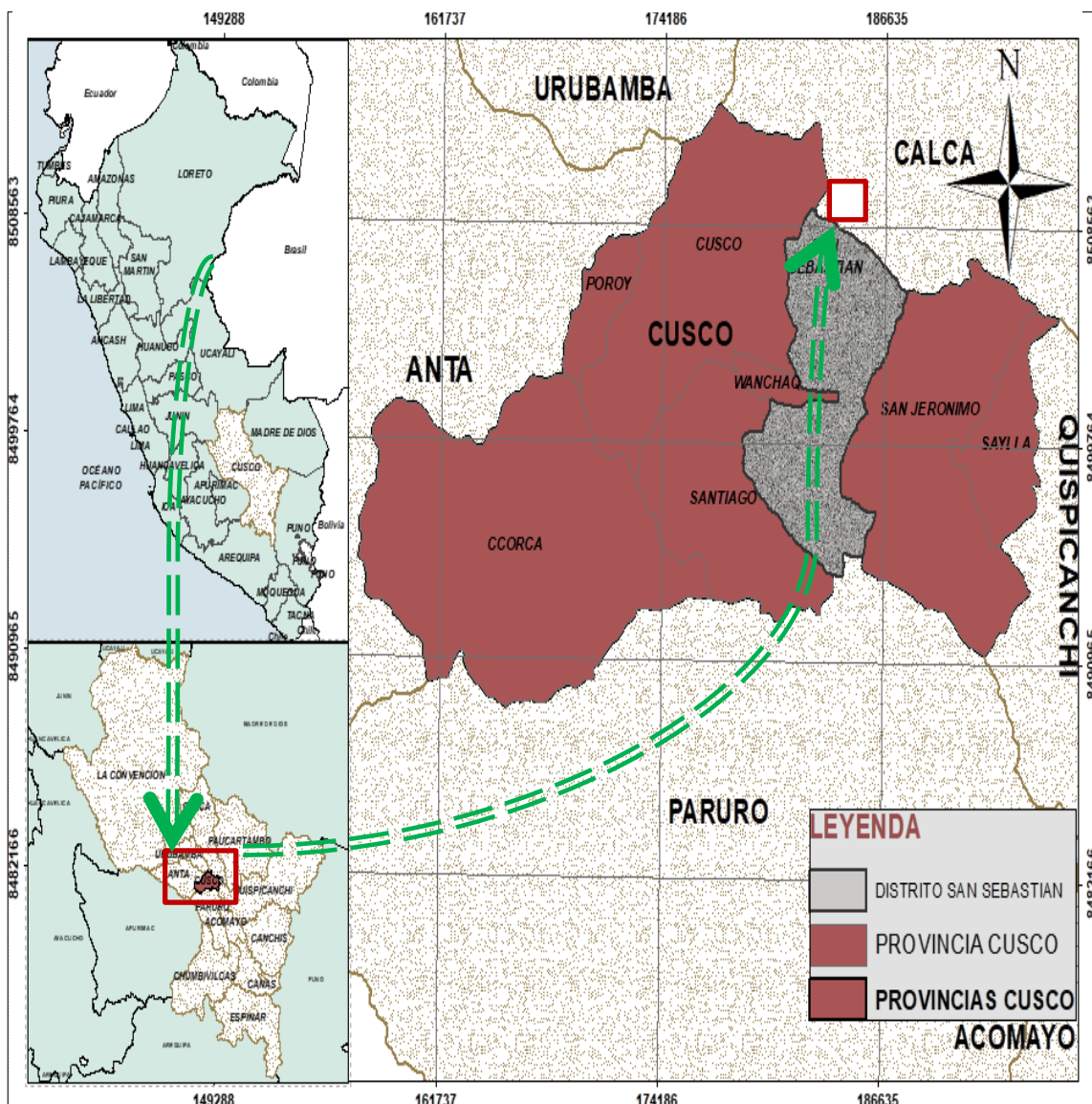


Figura 3

Zona de estudio calle Ciro Alegría -distrito San Sebastián-Cusco (Google Earth-2022).



Nota: Información obtenido del Google Earth 2022.

Características técnicas de la calle Ciro Alegría.

- Longitud de la vía: 300.10 m.
- Coordenadas UTM (1.84404.27, 8500824.59).
- Elevación: Punto de inicio 3324 y final 3329 msnm.
- Ancho de la vía: 8.24 m.
- Suelo predominante: limo- arcillosa.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿En qué medida la incorporación de desperdicio avícola influye, en las **propiedades físicas y mecánicas**, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco- 2022?

1.2.2. Problemas Específicos

Primero: ¿En qué medida la incorporación de desperdicio avícola afecta, la **cohesión** en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco- 2022?

Segundo: ¿En qué medida la incorporación de desperdicio avícola afecta, la **resistencia compresiva** en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco- 2022?



Tercero: ¿En qué medida la incorporación de desperdicio avícola afecta, la **densidad seca** en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco- 2022?

Cuarto: ¿En qué medida la incorporación de desperdicio avícola afecta, el **CBR** en suelo limo -arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco- 2022?

1.3. Justificación.

1.3.1. Conveniencia

Se busca encontrar alternativas para determinar los efectos causados al incorporar desperdicios avícolas en el suelo de sustratos de tipo limo-arcilloso. De esta manera, se buscan opciones viables y sustentables para su aplicación en el campo de la ingeniería civil.

1.3.2. Relevancia social

La investigación se orienta a encontrar una solución sostenible con alternativas ambientalmente amigables, mediante la incorporación de desperdicios avícolas. Esta práctica representa un gran aporte para futuros proyectos viales en la industria de la construcción, al ofrecer una mejor calidad de servicio vial y relevancia social.

1.3.3. Implicancia Práctica

El suelo predominante en el distrito de San Sebastián es limo-arcilloso y presenta una capacidad de soporte menor a la requerida. Por tanto, se buscarán opciones técnicas que reemplacen los aditivos convencionales empleados para mejorar la capacidad de soporte de este suelo en la construcción de infraestructura vial. Dichas opciones deben ser factibles económicamente, ya que la investigación no contempla inversiones costosas.

1.3.4. Valor Teórico

El principal problema en la zona de estudio radica en que el suelo existente es de tipo limo-arcilloso, considerado como suelo inadecuado para el soporte de carpetas asfálticas o pavimentos, los cuales son componentes de la infraestructura vial. En tal sentido, no existen antecedentes específicos sobre el uso de desperdicio avícola para mejorar o estabilizar la subrasante de infraestructura vial. Por ello, es importante considerar el uso y la correcta dosificación de desperdicio avícola para mejorar significativamente las propiedades mecánicas y físicas del suelo, sin utilizar aditivos industriales tradicionales y costosos. Además, las autoridades se ausentan aplicando de



forma incorrecta las normativas necesarias para regular el estudio de suelos, por ende, se necesita un marco teórico que pueda explicar el correcto estudio de suelos utilizando desperdicios avícolas, relacionado con la infraestructura vial.

1.3.5. Utilidad Metodológica

El presente trabajo de investigación es relevante porque quedará como precedente y permitirá demostrar que la incorporación de desperdicio avícola influye en las propiedades físicas y mecánicas del suelo limo-arcilloso de la subrasante de la calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco-2022, para ello se utilizó el Diseño Experimental de tipo D-Optimal, un algoritmo adecuado para experimentos multifactoriales, y como herramienta el análisis de varianza (ANOVA) para cuantificar el efecto significativo, la correlación y regresión de los tratamientos, así como un modelo matemático para un diseño experimental eficiente, óptimo, económico y en el menor tiempo posible. Esta investigación representa una nueva alternativa para mejorar este tipo de suelos de la subrasante de una infraestructura vial.

1.4. Objetivos de investigación.

1.4.1. Objetivo general:

Determinar efectos al incorporar desperdicio avícola, en las propiedades físicas y mecánicas, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco- 2022.

1.4.2. Objetivo específico:

Primero: Determinar la medida, en qué la incorporación de desperdicio avícola afecta, la **cohesión** en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco- 2022.

Segundo: Determinar la medida, en que la incorporación de desperdicio avícola afecta, la **resistencia compresiva** en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco- 2022.

Tercero: Determinar la medida, en que la incorporación de desperdicio avícola afecta, la **densidad seca** en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco- 2022.

Cuarto: Determinar la medida, en que la incorporación de desperdicio avícola afecta, el **CBR** (capacidad de soporte), en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco- 2022.



1.5. Delimitación del estudio.

1.5.1. Delimitación espacial.

La investigación que se está llevando a cabo se centra en el suelo de la subrasante de la calle Ciro Alegría, situada en el distrito de San Sebastián, Cusco-2022. Hasta ahora, no ha habido ningún estudio geotécnico o de suelos en la zona, y tampoco hay un Plan de Desarrollo Urbanístico o un Catastro Urbano disponible.

1.5.2. Delimitación temporal.

La presente investigación tendrá una duración de 8 meses, iniciando el 10 de enero del 2022 al 09 de Octubre del 2022.



Capítulo II: Marco Teórico.

2.1. Antecedentes de la investigación

Se investigan los efectos de la incorporación de desperdicio avícola como aditivo en los suelos de subrasante, a fin de determinar su influencia en las características físicas y mecánicas, en tal efecto se considera la optimización y el diseño de experimentos a escala real como pilares determinantes en la investigación. Para ello, se cuenta con los antecedentes necesarios:

2.1.1. Antecedentes internacionales

Por: Anoop SP, Hizana Beegom, Jwoleena PJohnson, Midhula J, Tharis MuhammedTN, Prasanth S., (2017), UKF College of Engineering & Technology, Kollam, Kerala, India” POTENCIAL DEL POLVO DE CÁSCARA DE HUEVO COMO REEMPLAZO DE CAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS”, Revista Internacional de Investigación en Ingeniería Avanzada and Science (IJAERS), concluye con la siguiente:

Se descubrió que el polvo de cáscara de huevo es una muy buena alternativa en la sustitución de la costosa CAL utilizada para la estabilización del suelo. De esta manera la eliminación de estos residuos fue utilizados como estabilizador de suelos, económico y sostenible. Desde el estudio, se vio que el polvo de cáscara de huevo puede reemplazar hasta un 25% de la cal utilizada para el proceso de estabilización. Este el reemplazo también aumentó la resistencia del suelo tratado.

Por lo tanto, el polvo de cáscara de huevo es material ideal que reemplaza la cal en procesos de estabilización de suelos debido a sus composiciones químicas y propiedades similares.

Por: N. MANOJ, G. MADHUSUDHANRAO, B. SAIRAM (2017) Universidad KL, Distrito Guntur-India “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS BLANDOS UTILIZANDO PLUMAS DE POLLO COMO BIOPOLIMERO”, Revista de Ingeniería Civil y Tecnología, con los resultados siguientes:

Los siguientes resultados se extraen del trabajo experimental llevado a cabo.

- Resistencia a la compresión del suelo blando acrecienta con aumento de biopolímeros hasta un 5% y después de eso, eventualmente la resistencia a la compresión del suelo disminuye.



- Vacíos en suelos blandos pueden ser llenados con incorporación de plumas de pollo. Si hay más plumas de pollo agregado, la resistencia a la compresión del suelo blando disminuye porque se descomponen en el suelo y se vuelven afectados por microorganismos.
- Estos son menos preferidos para la estabilización según los resultados.
- Se concluye que las plumas de pollo son buenas hasta un cierto punto, siendo propensas a fallar de acuerdo a la dosificación en la incorporación al suelo.

Por Bernardo José GARCIA ARAUJO y Daniel Mauricio MORALES DELGADO (2021) "ANÁLISIS DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO ARCILOSO, CON CÁSCARA DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS", Universidad La Salle, Bogotá D.C.

El objetivo general: El objetivo del estudio consistió en examinar y contrastar el desempeño de las características físico-mecánicas de un suelo arcilloso expansivo, al agregarle diferentes porcentajes de cáscara de huevo y cal. Los resultados obtenidos permitieron establecer conclusiones relevantes:

- Después de realizar ensayos para medir los límites de consistencia (límite líquido y límite plástico), se puede observar que la inclusión de cáscara de huevo y cal como aditivos disminuyó el índice de plasticidad del suelo arcilloso expansivo. Los resultados indican que la combinación de 4.5% de cal y 1% de cáscara de huevo produjo el mejor resultado, con un índice de plasticidad de 22.
- Además, es importante destacar que, al observar el desempeño de cada aditivo por separado, se evidencia que la CHP no es tan eficaz como la cal. Sin embargo, con una proporción específica de CHP, que es menor que la cantidad de cal utilizada, la CHP complementa la función de la cal para reducir el índice de plasticidad del suelo.
- Los resultados obtenidos en los ensayos de CBR indican que la cáscara de huevo pulverizada tiene un mejor desempeño en la reducción de la expansión del suelo, ya que la muestra con un 1.73% de expansión fue la que presentó el mejor comportamiento, en comparación con la muestra de suelo natural que tuvo una expansión del 2.5%.
- En base a los experimentos realizados de CBR y compresión inconfiada, se puede concluir que la cáscara de huevo pulverizada por sí sola no mejora la resistencia del suelo de la misma manera que lo hace la cal. Se observó que las muestras con mayor porcentaje de cal tuvieron una mayor resistencia, lo que indica que la cáscara de huevo



no es capaz de reemplazar completamente a la cal en términos de mejorar la resistencia del material.

- La evaluación de la expansión mostró que es recomendable utilizar la cal y la CHP en cantidades similares, con una diferencia no mayor de 0.5%, ya que las muestras que contenían estos aditivos en proporciones similares obtuvieron un comportamiento positivo frente al cambio volumétrico. Por ejemplo, se obtuvieron valores de expansión del 1.95% para la muestra con 5.5% de cal, 1.73% para la muestra con 5.5% de CHP, y 1.97% para la muestra con la combinación de 3.0% de cal y 2.5% de CHP.
- En resumen, se puede concluir que la mejor combinación de aditivos para mejorar el comportamiento del suelo arcilloso expansivo en términos de propiedades índice y resistencia es la de 4,5% de cal y 1% de CHP. Además, se demostró que la CHP por sí sola no aporta mejoras significativas en estas propiedades del suelo.

Por *Anupama Krishnan, Dra. Agnes Anto C. (2019) universidad de ingeniería privada Jyothi Engineering College, Chelakkara Thrissur de Kerala, India “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE CON PLUMAS DE POLLO (FIBRA)”*. Revista Internacional de Nuevas Tecnologías e Investigación (IJNTR) ISSN:

Objetivo General: El proyecto es un intento de comprender la fuerza de la subrasante en términos de valores CBR:

Se encontró que el tratamiento con fibra de pluma de pollo (CFF) era una opción para mejorar las propiedades del suelo, según las pruebas realizadas con porcentajes variables (0,1 %, 0,25 % y 0,5 %) de plumas. Se encontró que, con la adición de estabilizadores, es decir, CFF, el CBR aumentó hasta cierto límite porque el CFF sirvió como refuerzo en el suelo, pero luego el CBR disminuyó debido al reemplazo del suelo por CFF. Este proyecto es un intento de comprender la fuerza de la subrasante en términos de valores CBR. Se encontró que el tratamiento con fibra de pluma de pollo (CFF) era una opción para mejorar las propiedades del suelo, según las pruebas realizadas con porcentajes variables (0,1 %, 0,25 % y 0,5 %) de plumas. Se encontró que, con la adición de estabilizadores, es decir, CFF, el CBR aumentó hasta cierto límite porque el CFF sirvió como refuerzo en el suelo, pero luego el CBR disminuyó debido al reemplazo del suelo por CFF. Este proyecto es un intento de comprender la fuerza de la subrasante en términos de valores CBR. Se encontró que el tratamiento con fibra de pluma de pollo (CFF) era una opción para mejorar las propiedades del suelo, según las pruebas realizadas con



porcentajes variables (0,1 %, 0,25 % y 0,5 %) de plumas. Se encontró que, con la adición de estabilizadores, es decir, CFF, el CBR aumentó hasta cierto límite porque el CFF sirvió como refuerzo en el suelo, pero luego el CBR disminuyó debido al reemplazo del suelo por CFF.

Por NikenSilmi Surjandari1, RadenHarya Dananjaya1, y Elyjauharoto s2 (2018), Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia “EL EFECTO DEL POLVO DE CÁSCARA DE HUEVO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL SUELO DE GRANO FINO” . Departamento de Ingeniería Civil, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia.*

Objetivo general: El propósito de esta investigación es estudiar el efecto del polvo de cáscara de huevo (ESP) sobre arcilla de alta plasticidad.

Este estudio investiga el uso de polvo de cáscara de huevo (ESP) para estabilizar la arcilla de alta plasticidad, que presenta problemas como un alto índice de plasticidad y baja capacidad de carga. Se utiliza una muestra de suelo de Jenggrik Village, Ngawi Regency, East Java, y se mezcla con diferentes porcentajes de ESP. Se realizaron pruebas de laboratorio para examinar los efectos de las mezclas, como propiedades de índice, resistencia a la compresión no confinada y microscopía electrónica de barrido (SEM). Los resultados indican que el índice de liquidez afecta la capacidad del suelo con ESP, y que una mezcla que contiene 10% ESP cambia la estructura del suelo y lo vuelve más denso. La conclusión del estudio es que, a medida que aumenta el índice de liquidez, disminuye la fortaleza del suelo estabilizado con ESP.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Por, Bach. Dany Daniel RUIZ MARTÍNEZ, “APLICACIÓN DE LA BOLSA DE POLIETILENO FUNDIDO RECICLADO EN LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE DE LA PROVINCIA DE CHUPACA – JUNÍN” (2021), Universidad Peruana Los Andes.

Investigación con objetivo central de analizar el resultado de aplicar polietileno fundido reciclado, en la estabilización de la subrasante en la vía Laive Vista Alegre – Yanacancha, en Junín, exactamente en la provincia denominada Chupaca; concluyendo que:

- Dicho concentrado en efecto estabiliza la subrasante de tal vía, ya que mejora las particularidades físicas y mecánicas de la superficie. Con una dosis adecuada de 4%



del BPF; bajo ello se logra que la plasticidad disminuya en 8.26% e incrementa el CBR en 14.39 %, sin embargo, se incrementan los costos por m² a (S/. 57.70) mayor a los tratamientos convencionales.

- El polietileno fundido reciclado estabiliza la subrasante de la mencionada vía, concretamente con granulometría, acrecentando la arena y reduciendo los finos presentes en la superficie. Asimismo, la plasticidad y el límite de liquidez son reducidos con el incremento de la cantidad de BPF, con un 12% de concentración máxima en su nivel mínimo. Además, se hizo un análisis del potencial del hidrógeno, que sufrió modificaciones con BPF de 4%, luego de esto se obtuvo un nivel continuo.
- La BPF reciclada incrementan la estabilidad de las particularidades de índole mecánico de la subrasante en la mencionada carretera, evidenciando aumentos de 21.62%, 16.89%, 7.43% y 4.73%; con una densidad máxima seca al aumentar la BPF en 15%, 12%, 8% y 4% respectivamente; de forma similar, la CBR con un nivel de 95% aumenta en 5.49% (superficie patrón) con 11.93% (si se tiene BPF en 12%). No obstante, en el cumplimiento de lo que se establece en las normas en vigencia tan solo se necesita añadir 4% del BPF.
- Resultados que manifiestan que la cantidad de BPF reciclado inciden de modo significativo en la estabilización de la denominada subrasante, con BPF en cantidades de 15%, 12%, 8% y 4%; obteniendo costos del tratamiento en cada metro cuadrado de S/276.22, S/212.95, S/131.42 y S/57.7 respectivamente, resultando algo caros a comparación de tratamientos comunes.

Por, Axel Franco CASTRO CUADRADO (2017) "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE" Lima -Perú, Universidad Nacional de Ingeniería.

Tesis que propone el uso de cenizas de cáscara de arroz como técnica alternativa para estabilizar superficies arcillosas con poca capacidad de soporte. El estudio se realiza en la región San Martín y se analizan las propiedades químicas, mecánicas y físicas de las muestras obtenidas en el laboratorio. Se realizan combinaciones de las cenizas en distintas proporciones en la superficie para analizar su eficacia como agente estabilizador primario, así como mezclas con cal y la ceniza para evaluar su capacidad como agente secundario. Este trabajo puede tener un impacto positivo en la utilización de residuos



agrícolas para mejorar la calidad de las superficies arcillosas y aumentar su capacidad de soporte.

- Esta ceniza puede estabilizar las superficies arcillosas de la subrasante del lugar mencionado en el título, añadiendo 15% y 10% se obtuvo 10.3% y 8.5% de CBR, siendo regular para la subrasante.
- Se logró consistencia definitiva en la superficie arcillosa a través de experimentos de límite líquido a 25%, 12% de límite plástica, 13% de índice plástico, encontrando que la superficie es arcillosa con poca plasticidad o CL, con una coloración beige clara de baja humedad, plasticidad intermedia en ausencia de cuerpos extraños en la superficie.
- La permeabilidad se obtuvo con el experimento Proctor previamente alterado, compactando las superficies, consiguiendo mucha densidad seca junto a 9.4% de humedad, en tal sentido, llevando a cabo las mezclas correspondientes con dichas cenizas a 15% y 10%, arrojando iguales resultados, ya que el elemento que estabiliza es insuficiente y no asimila fácilmente la humedad.
- La resistencia se obtuvo a través del experimento CBR, considerando la superficie natural cuya CBR es 6.2% con una concentración del 95%, 0.1 de penetración y adicionando 15% de cenizas, se obtuvo 10.3% de índice máximo con 95% del CBR y 0.1 de penetración.

2.1.3. Antecedente local.

Por, Christian Alexander DELGADO RIVERA, "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON ADICIÓN DE CENIZA DE MAZORCA DE MAÍZ Y CAL (2021), Cusco -Perú, Universidad Andina del Cusco.

La investigación se enfocó en mejorar las propiedades físico-mecánicas de un suelo arcilloso de baja calidad para convertirlo en una subrasante adecuada. Se utilizó la estabilización con cal y ceniza de mazorca de maíz, y se llevaron a cabo pruebas de laboratorio para evaluar la mejora en las propiedades, incluyendo los límites de consistencia, la relación humedad-densidad y la capacidad de soporte CBR. Se descubrió que las cenizas volantes son un complemento significativo para la cal en la estabilización de suelos arcillosos. La investigación sugiere un análisis de las propiedades físico-mecánicas del suelo en diferentes condiciones, y se demostró una mejora progresiva en las propiedades a medida que se incrementa la ceniza de mazorca de maíz. La mejor mezcla resultó ser la del suelo natural + 5% de cal + 3% de CMM, lo que permitió que el suelo fuera re-categorizado como una buena subrasante. Se destaca la composición



química de la ceniza de mazorca de maíz, que tiene un alto porcentaje de sílice, magnesio, calcio y otros elementos beneficiosos para la estabilización del suelo. La investigación se realizó con un enfoque cuantitativo, utilizando un total de 72 pruebas de laboratorio.

2.2. Bases Teóricas.

2.2.1. Suelo.

a. Definición Conceptual.

El suelo sólido, puede definirse desde dos puntos de vista: **geológico e ingenieril**, clasificados de acuerdo a sus propiedades mecánicas y físicas, como la consistencia y el tamaño de sus partículas.

Para el geólogo, “suelo” describe las capas de material suelto sin consolidar que se extienden desde la superficie hasta la roca sólida, y que sean formado por el intemperismo y la desintegración de las propias rocas.

Por otra parte, para el ingeniero, el concepto de “suelo” está relacionado con la obra que puede hacer sobre él, con él o con él. (Whitlow, 1999, pág. 1)

Y para propósitos de ingeniería, el suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) con líquido y gas en los espacios vacíos entre las partículas sólidas.

El suelo se utiliza como material de construcción en diversos proyectos de ingeniería civil y con cimientos estructurales. (Das B. M., 2013, pág. 1).

Por tanto, se define el suelo como una acumulación de sedimentos, materia orgánica y minerales sin cohesión que se depositan sobre la superficie de la roca. Debido a su composición mineral o componentes orgánicos, estas superficies se desintegran o seccionan fácilmente. Además, los componentes estructurales del suelo tienen características específicas en ingeniería, ya que están organizados según las dimensiones y la forma en que interactúan entre sí las partículas. En general, estas superficies tienen una composición heterogénea y anisotrópica, lo que significa que no son consistentes al 100%. También son materiales que no pueden ser conservados, lo que significa que no pueden volver a su estado original una vez deformados.

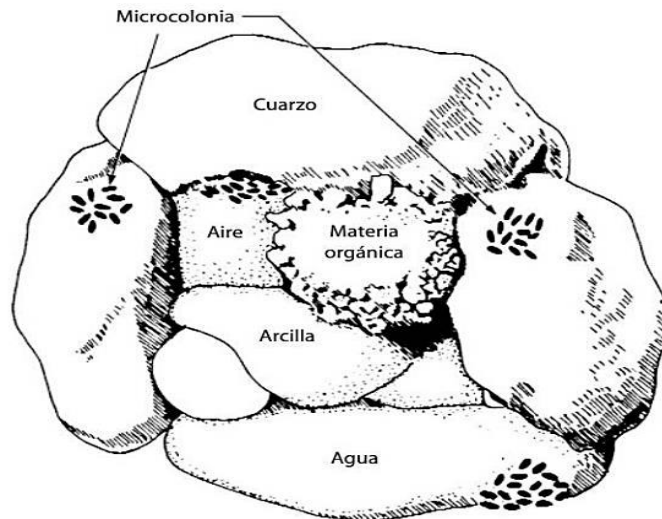
Para los fines de la presente investigación, se define el término "suelo" como todo material natural terroso, conformado en su gran mayoría por capas o estratos no determinados, los cuales pueden ser suelos finos, grava, roca u orgánico, dependiendo de



la edad de acumulación que se tenga. Asimismo, estos suelos pueden ser naturales, alterados o de relleno.

Figura 4

Distribución de espacios vacíos, suelo y microorganismos.



Nota: La figura fue extraída del libro de Microbiología (Brock 1979)

b. Origen del suelo.

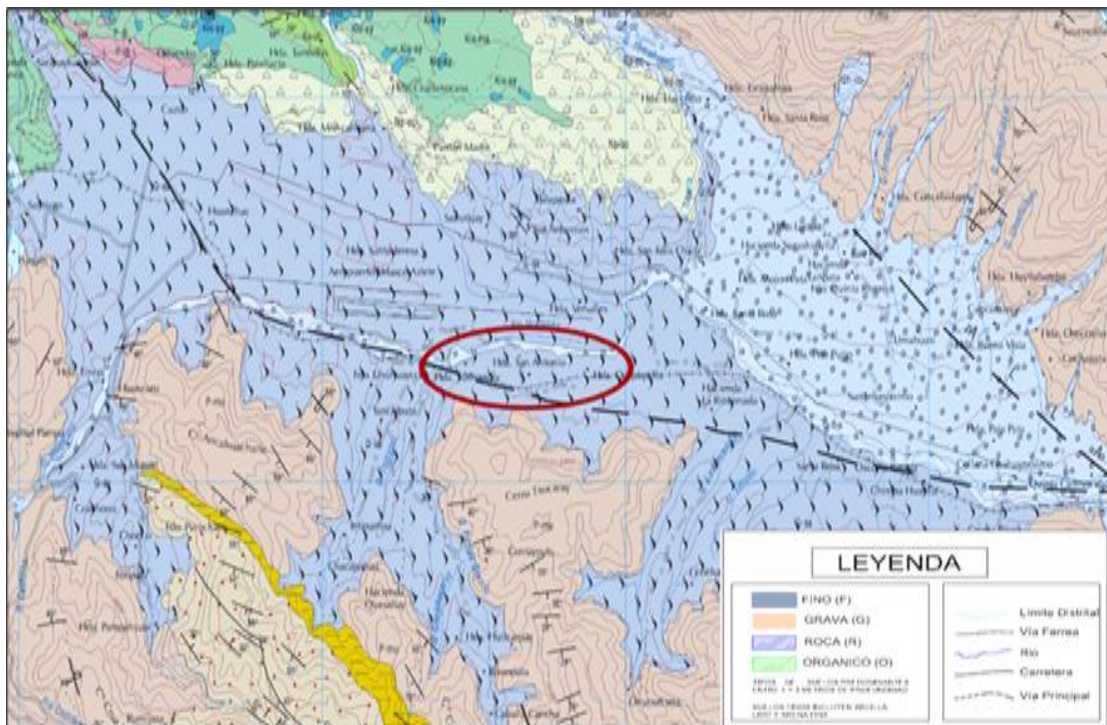
El origen del suelo es producto de erosión y descomposición de roca madre, dando como resultado unidades litoestratigráficas y según información de estudios dentro de la región Cusco, gran parte de su territorio está conformado por suelos limo arcillosos, que se consideran como residuales y transportados.

Los **Suelos residuales**, se producen debido a fuerzas biológicas, físicas y químicas, se componen por el resultado de la interpelación de rocas, son también considerados los más antiguos. Se encuentran a poca profundidad pueden ser estables, confiables y firmes en ambientes semiáridos y templados, así como estas conformados por materiales de alta compresibilidad y contar con gran trabajo y complicaciones en su cimentación. (Perez Alama, 2016).

Y los **suelos transportados**, tienen orígenes orgánicos, debido a las rocas descompuestas cuyo contenido era vegetal. Se trata de superficies sueltas y blandas que por lo general es complicado construir encima de estos. (Perez Alama, 2016).

Figura 5

Mapa geológico del cuadrículo Cusco 28-s.



Nota: La figura extraída de los archivos de INGEMMET (2011)

c. Clasificación de suelos.

Existen diversos sistemas utilizados en la ingeniería para clasificar los suelos, en el país se utilizan dos sistemas: el Sistema AASHTO, empleado en la construcción de terraplenes y vías; y el Sistema SUCS, utilizado en la mayoría de proyectos geotécnicos. Ambos sistemas utilizan los resultados de la evaluación granulométrica y la definición de límites de acuerdo a Atterberg (IP, LP, LL) para determinar las clases de suelos:

- Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Arthur Casagrande, lo diseñó a fin de realizar la descripción de las dimensiones y textura de la superficie. Este sistema se puede aplicar en gran parte de las materias no consolidadas y es posible tipificar superficies más pequeñas que 3 pulgadas; es representada a través de la simbología de un par de caracteres. (Das B. M., 2013).

Sistema que describe el tamaño y textura de sus partículas, de uso constante en geología e ingeniería, hay que tener en cuenta que para efectuar la clasificación se realizan previamente los ensayos de granulometría ya sea por tamizado u otros; conocido también como clasificación modificada de Casagrande.

Dicha clasificación está dividida en superficies gruesas y finas:



Suelos gruesos.

- ✓ Gravas y arenas, se separan con el tamiz N°4, grava > 50%, arena < 50% retenido en tamiz N°4.

Suelos finos. Pueden ser:

- ✓ Arcillas inorgánicas (C).
- ✓ Limos inorgánicos (M).
- ✓ Limos y arcilla orgánica (O).

Estas superficies cuentan con subdivisión propia de acuerdo al límite de liquidez, en un par de grupos con frontera de LL igual a 50%. Para ello, si se tiene un límite inferior a 50%, se debe agregar el carácter L que significa baja compresibilidad, de tratarse de una cantidad superior al 50%, se agrega el carácter H que significa alta compresibilidad. Consiguendo así las clases de superficie que siguen:

ML: Limos Inorgánicos de baja compresibilidad.

CL: Arcillas inorgánicas de baja compresibilidad.

OL: Limos y arcillas orgánicas.

OH: arcillas y limos orgánicas de alta compresibilidad

MH: Limos inorgánicos de alta compresibilidad.

CH. Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad.

Suelos orgánicos. Conformado por materiales orgánicos, no sirven para ser cimentados.

La clasificación del suelo, se realiza mediante los símbolos por grupo, consistente en el prefijo que define como está compuesta la superficie y el sufijo matizador de sus particularidades, conforme al cuadro que sigue:

Tabla 1

Clasificación de suelo

TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUFIJO
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobrementemente graduado	P
Limo	H	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Limite liquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Limite liquido bajo (<50)	H

Nota: Datos tomados Bañón Blázquez & Bevía García, (1999).



Tabla 2

Clasificación del suelo según SUCS.

DIVISIONES MAYORES		SIMBOLO DE GRUPO	NOMBRES TIPICOS	CRITERIOS DE CLASIFICACION PARA SUELOS GRANULARES		
Suelos de grano grueso (más del 50 % del material es mayor en tamaño que el tamiz No 200)	Gravas (más de la mitad de la fracción gruesa es mayor que el tamiz No 4)	GW	Gravas bien gradadas, mezclas gravosas, poco o ningún fino	Cu > 4 1 < Cc < 3		
		GP	Gravas pobremente gradadas, mezclas grava-arena, pocos o ningún fino	No cumple todos los requisitos de gradación para GW		
		GM	Gravas limosas, mezcla grava- arena-limo	Límites de Atteberg por debajo de la línea A o Ip < 4	A los materiales sobre la línea A con 4 < Ip < 7 se considera de frontera y se les asigna doble símbolo	
		GC	Gravas arcillosas, mezcla gravo-arena-arcillosas	Límites de Atteberg por encima de la línea A ó Ip > 7		
	Arenas (más de la mitad de la fracción gruesa es menor que el tamiz No 4)	Arenas Limpias (poco o ningún fino)	SW	Arenas bien gradadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino	Cu > 6 1 < Cc < 3	
			SP	Arenas pobremente gradadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino	No cumple todos los requisitos de gradación para SW	
		Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)	SM	Arenas limosas mezcla de arena-limo	Límites de Atteberg por debajo de la línea A ó Ip < 4	Si el material está en la zona sombreada con 4 < Ip < 7 se considera de frontera y se les asigna doble símbolo.
			SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla	Límites de Atteberg por encima de la línea A ó Ip > 7	
Suelos de grano fino (más del 50 % del material pasa el tamiz No 200)	limos y arcillas (Límite líquido wL < 50)	ML	Limos inorgánicos y arena muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas, o limos arcillosos con poca plasticidad	1. Determinar el porcentaje de arenas y gravas de la curva granulométrica. 2. Dependiendo del porcentaje de fino (fracción menor que el tamiz No 200) los suelos gruesos se clasifican como sigue: Menos del 5% - GW, GP, SW, SP Mas del 12 % - GM, GC, SM, SC De 5 a 12 % - casos frontera que requieren doble símbolo		
		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras.			
		OL	Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad			
	limos y arcillas (Límite líquido wL > 50)	MH	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceas, suelos elásticos.			
		CH	Arcillas orgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas.			
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos			
	Suelos Altamente orgánicos	Pt	Turba o otros suelos altamente orgánicos			

Nota: Unified Soil Classification System (USCS)



- **American Association of State Highway Officials (AASHTO).**

- ❖ La institución diseñó su propio sistema clasificador después de revisar varias veces el sistema Bureau of Public Roads de los Estados Unidos. Este sistema clasifica las superficies en conjuntos según su comportamiento como soporte o asiento del suelo. El sistema de clasificación de la institución es especialmente adecuado para clasificar las superficies de las vías y es uno de los más utilizados.
- ❖ La clasificación se da en 7 conjuntos, considerando la plasticidad y la granulometría. En concreto, de acuerdo a la proporción pasado en tamices 10, 200 y 40; y el Límite Atterberg atravesada en el tamiz 40. Los 7 conjuntos representan a un par de tipos de superficies, las limo – arcillosas (el 35% como mínimo atraviesa el tamiz 200) y las granulares (el 35% como máximo atraviesa el tamiz 200). Las superficies granulares; zahorras, gravas y arenas; se componen por los primeros 3 conjuntos, y se comportan de forma buena hasta excelente, a excepción de subconjuntos que se desprenden del segundo (A-2-7 y A-2-6), cuyo comportamiento es igual al de las superficies arcillosas a causa de la gran plasticidad de fines que alberga, cuando la proporción sea mayor a 15%. Los conjuntos que incluyen superficies granulares se tratan de los que siguen:

Tabla 3

Clasificación general del suelo.

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% o menos pasa por el tamiz N° 200)						MATERIALES LIMOSO ARCILLOSO (más del 35% pasa el tamiz N° 200)				
	A-1		A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Grupo:	A-1-a	A-1-b									
Porcentaje que pasa:											
N° 10 (2mm)	50 máx 30 máx	- 50 máx	- 51 mín	-			-				
N° 40 (0,425mm)				-			-				
N° 200 (0,075mm)	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx			36 mín				
Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40:											
Límite líquido	-		-	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín (2)
Índice de plasticidad	6 máx		NP (1)	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Constituyentes principales	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa			Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Características como subgrado	Excelente a bueno						Pobre a malo				

Nota: American Association of State Highway Officials (AASHTO).

(1): No plástico

(2): El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor al LL menos 30
El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL menos 30



Índice de grupo.

$$IG = (F - 35) - [0.2 + 0.005 * (LL - 40)] + 0.01 * (F - 15) * (IP - 10)$$

Donde:

F: % que pasa el tamiz ASTM N° 200.

IP: Índice de plasticidad.

LL: Limite líquido.

EL indicador de conjuntos para las superficies en los subconjuntos A -2 -7 y A -2 -6, se halla utilizando: $IG = 0.01 * (F - 15) * (IP - 10)$.

- La ASTM D653 indica la terminología para 7 tipos de suelo los cuales son:

- a. Arena gruesa: partícula de suelo o roca que atraviesa el tamiz de 2mm (10) y los retiene el tamiz de 425 μ m (#40). (ASTM, 2011).
- b. Arena fina: partículas suelo o roca que atraviesa el tamiz de 425 μ m (40) y los retiene el tamiz de 200 (75 μ m). (ASTM, 2011).
- c. Cantos: fragmento de roca, normalmente redondeado debido a la abrasión, los retiene el tamiz de 7.5 centímetros. (ASTM, 2011).
- d. Material limo-arcilloso: partículas finas de roca y suelo que atraviesan el tamiz 200 (75 μ m). (ASTM, 2011).
- e. Grava: partículas de roca que atraviesan el tamiz 7.5 cm y los retiene el tamiz 10 (2 mm). (ASTM, 2011).
- f. Arcilloso: materia fino-granular cuyo índice de plasticidad es $< 0 = a 11$. (ASTM, 2011).
- g. Limoso: materia fino-granular cuyo índice de plasticidad es $< 0 = a 10$. (ASTM, 2011).

La clasificación ASTM:

- ✓ Con un límite al 50% de materias que atraviesan el tamiz 200, a fin de disgregar las superficies granulares de las fino-granulares, un 35% de ellas está establecida en el sistema AASHTO por ser la de mayor realismo. Los dos sistemas están basados en experimento, es interesante usarlos simultáneamente para obtener una tipificación de mayor exactitud de la superficie, en la cual se representa la interrelación de los sistemas ASTM y AASHTO.

2.2.3. Principales tipos de suelos.

Conforme al origen de su elemento, las superficies son divididas en un par de conjuntos de enormes dimensiones: las superficies de orígenes orgánicos (turba) y las



superficies con orígenes por descomposición química o física de las rocas, en otras palabras, no orgánicos (grava, arena, limo, arcilla). (Crespo Villalaz, Mecanica de Suelos y Cimentación, 2004).

- **Gravas:** Aglomeraciones de pedazos de rocas, cuyo diámetro supera los 2 milímetros. Debido a su origen, al ser trasladadas por el agua están se desgastan en sus esquinas y por ello toman una forma redonda, es usual encontrarse en lechos, conos y márgenes de deyección de las corrientes de agua y en sitios donde fueron retransportados, ocupan extensiones gigantescas; la mayoría de las veces se encuentra en cantos con arcillas, arenas y limos a su alrededor.

De acuerdo al MTC en su “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos” (2014), las partículas de grava tienen una dimensión que va desde los 75 milímetros hasta los 4.75 milímetros” (pág. 31).

- **Arenas:** resultados del proceso de erosión de las rocas o como consecuencia de la acción del hombre (trituración), siempre se encuentran con presencia de gravas, en tal sentido, usualmente se hallan en esos depósitos, se consideran como no plásticos, comprimiéndose fácilmente a la solicitación de cargas.

De acuerdo al MTC en su “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos” (2014), Las partículas de arena son: Fina de 0.425mm a 0.075mm, Media de 2.00mm a 0.425mm y Gruesa de 4.75 mm a 2.00mm (pág. 31).

- **Limos:** Superficies finas con la mínima plasticidad, puede tratarse de limos no orgánicos generados en canteras o limos orgánicos ubicados en ríos. Sus partículas poseen diámetros de 0.05mm a 0.00 mm. Aquellos limos saturados y sueltos no son adecuados para lidiar pesos mediante zapatas, poseen una coloración gris clara u oscura. Cuentas con una permeabilidad baja y, por el contrario, alta comprensibilidad. Al no estar densos, suelen considerarse pobres en las labores de cimentación.

De acuerdo al MTC en su “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos” (2014), “Sus partículas tienen una dimensión que va desde los 0.075mm a 0.005mm (pág. 31).

- **Arcillas:** Las partículas de este material son extremadamente pequeñas, con un diámetro menor a 0.005 mm, y tienen la capacidad de adquirir propiedades plásticas al combinarse con agua. Desde una perspectiva química, se trata de un tipo de silicato hidratado de alúmina, aunque en algunos casos también puede contener silicatos de magnesio o hierro hidratado. Su estructura cristalina es compleja y laminar, con una disposición de átomos en capas. Se identifican tres tipos de arcillas en su composición:



- a. Caolinitas, son relativamente estables en presencia del agua, presentan una estructura laminar superpuestas a nivel microscópicas, impidiendo la penetración del agua en las retículas, conocido como la absorción.
- b. Montmorillonitas, permite el ingreso de agua fácilmente, generando la expansión de la superficie a causa del incremento del tamaño de sus cristales, convirtiéndolo en una superficie no estable cuando existe agua alrededor.
- c. Ialitas, tiene una estructura similar a las montmorillonitas, con la diferencia que se forman aglomerados de materia, debido a lo cual el agua se expone menos para la penetración, es decir, menos expansión, que favorece a los proyectos de edificación.

De acuerdo al MTC en su “Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos” (2014), “Sus partículas tienen una dimensión inferior a los 0.005 mm” (págs. 30-31)

- **Turba:** considerado como suelo orgánico, que se forma in situ, que contiene en su mayoría, tejidos vegetales en proceso de descomposición, generalmente de color negro marrón, considerado con un suelo ineficiente para solicitación de todo tipo de infraestructura.

2.2.4. Perfil estratigráfico.

El perfil estratigráfico se aplica al área de suelo o roca del sitio de perforación o calicata, detallando únicamente el contenido que se requiere para el proyecto específico en discusión. Se asume que la interpolación entre capas es tentativa y que la información proporcionada tiene cierta subjetividad. Sin embargo, esto permite parametrizar la información de manera sistemática para que el usuario pueda interactuar y condicionar los criterios preestablecidos según su propia experiencia y consideraciones.

En este sentido, la correlación estratigráfica implica la aplicación simultánea de varios criterios, como profundidad, material y color, para sondeos contiguos, con el objetivo de encontrar similitudes entre las distintas características de los materiales y su disposición geométrica entre perfiles del suelo. (MTC, Manual de Carreteras, 2014)

2.2.5. Propiedades físicas y mecánica del suelo

a. Propiedades físicas

Posee una estructura porosa que combina partículas de origen inorgánico y orgánico con diferentes grados de desintegración y cantidades imprecisas. La mezcla de estos elementos le otorga profundidad, porosidad y drenaje efectivo. A partir de esto, es

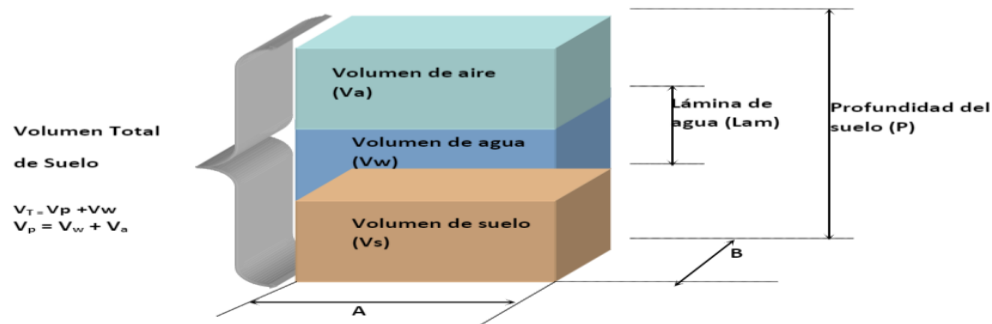


posible definir lineamientos para su uso y encontrar el nivel de rendimiento que se espera. (Guerra Torralbo, 2018).

Las particularidades físicas de la superficie, otorgan ciertos lineamientos técnicos para la diferenciación de la clase de superficies, además de los parámetros necesarios en su descripción técnica.

Figura 6

Componentes del suelo



Nota: Elaborado por el Ing. Carlos A. Gonzales Murillo.

Las particularidades físicas de cada partícula de la superficie son las siguientes:

- Porosidad

“Porcentaje de volumen no ocupado por las partículas sólidas en el suelo” (Gregorich, Turchenek, Cartes, & Angers, 2001, pág. 278).

Medio por donde circulan el agua y/o los gases, dependiendo del tamaño de los poros, los cuales se clasifican en macroporos y en microporos. Los macroporos permiten la libre difusión de los gases y el rápido drenaje del agua por ser grandes, y son típicos de suelos arenosos. En contraste, los microporos presentan reducido espacio entre partículas, lo que dificulta el movimiento del aire y retiene el agua en la superficie; esta porosidad es típica de **suelos arcillosos**. Asimismo, la porosidad del suelo no es únicamente función de la textura, sino también de su estructura, por lo que suelos de textura media como los limosos y con adecuada estructuración, son los ideales. (Eash et al., 2016, pág. 31; Foth, 1990, pags. 34-36).

- Densidad

“Una propiedad importante de una sustancia, es el cociente entre su masa y su volumen, llamado densidad” (Tipler & Mosca, 2005, pág. 366).

La densidad es la relación del peso por unidad de volumen, considerando como la máxima densidad de un suelo cuándo los espacio entre las partículas de un diámetro determinado se llenarán con partículas de diámetro menor.



- **Peso específico**

Se refiere a la conexión entre la masa y el volumen del suelo, que se emplea para describir la porción sólida del suelo. Para esto, es necesario calcular la densidad del suelo (dividiendo el peso entre el volumen) y establecer la cantidad de tensión que una cantidad específica del suelo puede resistir a una profundidad dada.

$$Gs = \gamma_s = \frac{Ws}{Vs}$$

Donde:

$Vs = Wfw + Ws - Wfsw$.

$\gamma_s =$ *Peso específico.*

$Ws =$ *Peso del suelo seco.*

$Wfw =$ *Peso del frasco lleno de agua.*

$Wfsw =$ *Peso del frasco con suelo y agua.*

- **Tamaño**

El suelo está conformado por partículas de tamaño variable que componen su parte sólida. Para determinar la composición granulométrica, se realiza el análisis de separación de partículas del suelo en distintos tamaños a través de tamices de diferentes medidas.

- **Forma**

El suelo presenta una interrelación entre sus características superficiales y la presencia de fragmentos de rocas, los cuales pueden tener diferentes formas, tamaños y texturas. Estos fragmentos pueden ser angulares o redondeados, dependiendo de la forma en que se originaron y del grado de erosión al que han estado expuestos. Además, la presencia de estos fragmentos puede influir en las propiedades del suelo, como su resistencia y capacidad de soporte, y en su comportamiento ante la erosión y el transporte de sedimentos. Por lo tanto, es importante considerar la presencia y las características de los fragmentos de roca al realizar la caracterización y el análisis del suelo en un proyecto de ingeniería. (Crespo Villalaz, Mecánica de Suelos y Cimentación, 2004).

- **Granulometría**

La determinación de la cantidad y distribución de las partículas del suelo es esencial para su caracterización y análisis. Esto se realiza a través de un análisis de granulometría, el cual permite medir los tamaños de las partículas y expresarlos en porcentajes en distintas dimensiones. En este proceso, se utilizan tamices de diferentes tamaños para separar las partículas según su tamaño, y se realiza un tamizado hasta llegar al tamiz N° 200 (0.075). La distribución granulométrica resultante del análisis de granulometría puede influir en las propiedades físicas del suelo, como su permeabilidad, capacidad de retener agua y capacidad de soporte, entre otros. Es por eso que este análisis



es importante en la planificación y diseño de proyectos de ingeniería y construcción. (Das B. , 2011).

Tabla 4

Número de tamices para la granulometría.

Nº de tamiz	Abertura de orificios (mm)
3"	76.1
2"	50.8
1 ½"	38.1
1"	25.4
¾"	19.1
½"	12.5
3/8"	9.51
Nº 4	4.76
Nº 10	2
Nº 20	0.84
Nº 30	0.58
Nº 40	0.42
Nº 60	0.25
Nº 200	0.075

Considerándose en tal sentido la clasificación de suelos:

Tabla 5

Clasificación de suelos

Nombre	Diámetro
Grava	75 a 5 mm
Arena	5 a 0,06
Limo	0,06 a 0,002
Arcilla	Menor a 0,002

- **Contenido de humedad (ω)**

Es el vínculo entre la masa de agua retenida en la superficie y la masa de la superficie seca expresada en porcentajes, que se efectúa con calentamiento de horno eléctrico, el total de líquido por volumen retenida en cierto instante en la superficie que la cantidad de humedad de la superficie puede cambiar rápidamente y la fase del secado puede demorar semanas. (Duque E. & Escobar, 2002)

La medición se lleva a cabo mediante la gravimetría, la muestra se pesa y luego se seca por 30 minutos, mediante métodos no estandarizados (hornalla).

$$W = \frac{W_a}{W_{ss}} * 100\%$$

Siendo:

$W =$ Contenido de humedad, en %



W_a = Peso del agua presente en el suelo.

W_{ss} = Peso del suelo después de secado al horno.

b. Propiedades mecánicas.

La mecánica de los suelos, se encarga de estudiar las particularidades y conductas físicas de la superficie al existir agentes y fuerzas externas en su masa. Esta disciplina toma en cuenta la configuración de la superficie, las partículas constituyentes y sus fases, que se concentran en las particularidades de la ingeniería (Das B. M., 2013).

Las características mecánicas de la superficie del suelo son de gran importancia para la selección y estimación de los valores adecuados en la solución de problemas en el campo de la mecánica de suelos. Estas particularidades pueden ser básicas o compuestas, como la cohesión y la resistencia a la penetración, respectivamente. Es fundamental conocer la relación entre estas características para poder entender y manejar adecuadamente la superficie del suelo. A lo largo del tiempo, el conocimiento teórico y empírico de la mecánica de la superficie ha avanzado considerablemente, lo que ha permitido a los profesionales del campo diseñar estructuras que abarcan grandes extensiones de superficie.

- La cohesión del suelo

La cohesión es un atributo crucial en los suelos, debido a que denota la habilidad de las partículas de permanecer juntas a través de las fuerzas internas que actúan entre ellas. La cohesión se determina principalmente por los puntos de contacto entre las partículas, y puede tener un impacto en propiedades físicas del suelo, como su capacidad de carga y su permeabilidad.

- La resistencia a la penetración

Muestra el nivel de compactación de suelo, que restringe el crecimiento radicular de espacios vacíos.

- Presión lateral de tierra

Presión ejercida por la tierra de forma horizontal, dependiendo de la forma del recipiente se ejercen las presiones laterales de la tierra, se mide en Pa/m² o N/m².

- Consolidación

El proceso por el cual el suelo disminuye su volumen y se compacta para resistir cargas es conocido como compactación del suelo. Durante este proceso, las partículas del suelo se agrupan más juntas, reduciendo el espacio vacío entre ellas y aumentando la densidad del suelo. La compactación del suelo puede ser realizada de forma artificial,



utilizando maquinaria pesada, o de forma natural, a través del efecto de la carga de los diferentes elementos sobre la superficie del suelo.

- **Capacidad de carga**

Capacidad del suelo relacionada a cierta estructura, en su resistencia ante cargas impuestas, se mide en Pa/m² o N/m².

- **Permeabilidad y filtración**

Se trata de cuan fácil fluye el líquido a lo largo de sus poros; por otro lado, la filtración es la velocidad con la que los líquidos se transportan a lo largo de la masa de la superficie.

2.2.6. Sub rasante

a. Definición

Se trata de una capa que conforma el conjunto de estructuras del pavimento, pudiendo ser flexible o rígido de una carretera en cierto sitio. Gracias a la geotecnia es posible analizar la capacidad de una carretera de cierto lugar y peso a aguantar, además se determina cuan resistente es ante deformaciones debido al esfuerzo por soportar a todo vehículo. (Montejo Fonseca, 2002).

La subrasante es una capa superficial de gran importancia en la construcción de pavimentos, ya que su calidad y características están directamente relacionadas con el tipo de pavimento y su espesor, así como con otros factores relevantes en el campo de la geotecnia. Esta capa se encuentra ubicada en la parte superior de una vía, y está conformada por suelos naturales o modificados con la adición de materiales externos. Sobre ella se coloca la capa de afirmado o pavimento. Es fundamental que la subrasante cumpla con ciertas condiciones para garantizar su correcto desempeño y contribuir a la durabilidad y seguridad del pavimento.

Conforme al MTC “Manual de Carreteras” Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (2014), es considerada también como el lugar donde reposa el pavimento, las superficies ubicadas en la parte bajan de su subrasante, con profundidad de 0.60 metros como mínimo, tienden a ser superficies estables y adecuadas con CB mayor a 6%. Si la superficie está situada debajo de su subrasante con CBR menor a 6%, se debe estabilizar la superficie, esto se realiza analizando la naturaleza de la superficie con opciones para resolver el problema, como el cambio del trazo vial, elevar la rasante, estabilizar la geosintética o estabilizar la química de la superficie, al final se elige la opción de mayor conveniencia en lo técnico y económico.



Esta membrana superficial, de terreno natural, es analizada con 0.45 metros de su espesor. La cabida de aguante cuando se encuentra en uso, el tránsito y las particularidades de los componentes para su edificación, son variables elementales para diseñar pavimentos. Existen 5 tipos de subrasantes:

Tabla 6

Categorías de Sub rasante

Categorías de Sub rasante		CBR	
S0:	Subrasante muy pobre	CBR	< 3%
S1:	Subrasante pobre	CBR	3% - 5%
S2:	Subrasante regular	CBR	6% - 10%
S3:	Subrasante buena	CBR	11% -20%
S4:	Subrasante muy buena	CBR	> 20%

Nota: Cuadro obtenido del Manual de Carreteras-MTC, (2014).

Los elementos adecuados para coronar la subrasante pueden ser:

Superficies cuya CBR sea superior o igual a 6%. Si se tiene una proporción inferior se procede a quitar la membrana de elementos no adecuados y se añade mezclas granulares cuya CBR sea superior a 6%, a fin de estabilizarlo. (MTC, Manual de DG-2018, 2018).

b. Etapas preliminares

Para llevar a cabo un proyecto vial, es importancia de llevar a cabo un análisis detallado de las características del suelo para la construcción de proyectos viales, especialmente su capacidad de soporte. Este análisis es fundamental para garantizar que la estructura del pavimento pueda soportar adecuadamente las cargas del tráfico sin sufrir deformaciones excesivas. En caso de que el suelo no cumpla con los requisitos necesarios, se deben considerar opciones para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas. Una posible solución es la incorporación de residuos de aves en suelos con contenido de limo y arcilla para mejorar su capacidad de soporte. El estudio describe los métodos utilizados para recopilar la información necesaria para realizar el diseño preliminar de un proyecto vial.

c. Recolección de muestras

La práctica de obtención de suelo, ya sea alterado o no alterado, tiene como objetivo la extracción de muestras representativas del lugar de estudio, tras verificar el perfil estratigráfico y las variaciones en profundidad a través de calicatas o pozos de



exploración. Para ello, se realizan pruebas de campo que permiten determinar las propiedades físicas del suelo, incluyendo la identificación visual de estratos y la prueba de texturización mediante manipulación y botella.

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Ensayos fundamentales.

- Caracterización de suelos.

Son caracterizados gracias a sus carbonatos, rocas, raíces, textura, consistencia, coloración y conformación.

- Determinación del contenido de humedad de un suelo.

Según el MTC (2016) asegura que “La humedad de una superficie se representa en porcentajes, que resulta del vínculo entre el peso del líquido en una masa de dicha superficie, con el peso de sus partículas solidificadas” (pág. 49)

Experimento que nos ayuda a determinar cuánta agua guarda la superficie considerando el peso en estado seco, expresándolo de la manera que sigue:

$$W = \frac{Ww}{Ws} * 100(\%)$$

Siendo:

W_s = Peso de sólidos en la muestra suelo,

W_w = Peso del agua en la muestra de suelo,

W = Porcentaje del Contenido de Humedad en el suelo.

- Límites de Consistencia (Atterberg).

La Normativa de ASTM D 4318 (2017) establece que tanto el experimento de límites de Atterberg como el de granulometría por tamizado son importantes en la caracterización y clasificación de los suelos. Ambos experimentos permiten determinar la consistencia del suelo y la cantidad de humedad presente en las zonas de transición entre estados, llamados límites de Atterberg.

Figura 7

Ensayo de límite líquido-Cuchara de Casagrande.





- ✓ Limite Líquido (LL): la transición del suelo, de un estado semi líquido a uno plástico, para moldearlo.
- ✓ Limite plástico (LP): la transición del suelo, de un estado plástico a uno semi sólido, originándose fractura o rompimiento entre partículas.

Figura 8

Ensayo limite plástico.



- ✓ Límite de contracción o retracción:

Es la transición del suelo, de un estado semisólido a uno sólido, dejando las contracciones por la pérdida de humedad. (AASHTO, 2014).

- **Determinación de granulometría, por tamizado para suelos.**

Ensayo que consiste en clasificar las dimensiones de las partículas de un suelo de conformidad a las normas (ASTM, Normas ASTM Internacional, 2016).

Previamente el suelo debe de estar seco y pulverizado, continuando con hacer pasar por diferentes tamices de múltiples dimensiones puestos de forma decreciente.

- **Clasificación de suelos**

Está referido a la formación de conjuntos en función a las particularidades compartidas (biológicas, químicas o físicas), en forma individual donde se puedan mapear y geo referenciarse.

Distintas superficies con particularidades parecidas se agrupan en conjuntos y subconjuntos conforme a la función que desempeñan en la ingeniería, las diferentes clasificaciones otorgan una manera para expresar concisamente las particularidades comunes de las superficies, que se hallan en innumerables variedades.

- **Proctor modificado**

Ensayo para la determinación del vínculo entre el peso por unidad seca y la cantidad de aguas o humedad en una superficie compactada, su finalidad es encontrar el nivel óptimo de humedad para la compactación de una porción de tierra (ASTM, 2016)

- **Relación de humedad y densidad (Proctor Estándar y/o Proctor Modificado)**



Experimento que ayuda a encontrar la máxima densidad o compactación de un agregado o superficie respecto a la humedad contenida. Se hallan un par de clases de experimentos Proctor: el Modificado, conforme a ASTM D 1557 / AASTHO T 180, con técnica D y el Estándar, conforme a ASTM D 698 / AASTHO T 99, con técnica C. Estos se diferencian por la energía usada, la altura de desprendimiento del Proctor y el peso que posee el pisón.

- Compactación del suelo

Proceso mecánico donde se busca disminuir la cantidad de aire atrapado en los poros, con ello se aumenta la resistencia al corte, disminuye la compresibilidad, reduce a relación de vacíos, considera densificación de un material, mediante el aminoramiento del aire atrapado en los poros, ello nos permite el mejoramiento del terreno o superficie, incrementando su cabida a los cortes, disminuir la compresibilidad, reducir el vínculo de vacío, considerando para ello dos métodos: Proctor normal y modificado, conforme al MTC (2016), existen tres técnicas electivas, la usada se debe especificar según la materia experimentada

Tabla 7

Tres métodos electivos para usar la compactación Según el MTC (2016).

Descripción	Método A	Método B	Método C
Molde	101,6 mm (4") de diámetro	101,6 mm (4") de diámetro	152,4 mm (6 ") de diámetro
Material	Muestra que pasa el tamiz N°4 (4.75 mm)	Muestra que pasa el tamiz 3/8" (9,5 mm)	Muestra que pasa el tamiz 3/4" (19 mm)
Capas	5	5	5
Golpes	25	25	25
Uso	Cuando el 20 % o menos del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (N°4)	Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (N°4) y 20% o menos de peso del material es retenido en el tamiz 9,5 mm (3/8 pulg.).	Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 9,5 mm (3/8 pulg.) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz 19,0 mm (3/4 pulg.).
Otros usos	Si el método no es especificado; los materiales que cumplen estos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método B o C	Si el método no es especificado, y los materiales entran en los requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método C.	Este método de prueba generalmente producirá un Peso Unitario Seco Máximo bien definido para suelos que no drenan libremente.

- Densidad seca



Se considera al vínculo entre el volumen de la tierra y sus partículas, considerando para ello como factor importante la humedad óptima aplicada al suelo del piloto.

- **Cohesión**

Unión de partículas, originada por fuerzas internas, humedad y características de las formas de cada partícula. La unidad de medida de su cohesión es kg/cm². La superficie arcillosa posee una cohesión de alto nivel con 0.25 kg/cm² como mínimo. Las superficies limosas poseen reducida cohesión, y en las arenosas se tiene una cohesión cercana a cero.

- **CBR (Californian Bearing Ratio) en laboratorio.**

Conforme al ASTM D 1883/AASHTO T 193, Ayuda a encontrar la carga de soporte de una superficie (vínculo de aguante de California, en español), donde se calcula su resistencia respecto a la fuerza cortante de una superficie (subrasante), base o sub base granulada de ciertos pavimentos, en ambientes donde se controla la densidad y humedad.

$$CBR = \text{Carga unitaria del ensayo} / \text{Carga unitaria patron} * 100$$

Se considera categorías para la subrasante, cuando el índice de la CBR este más cerca cero, clasificándolos como superficies “pobres” (de deficiente calidad), los índices cercanos a cien son definidos como superficies buenas (de buena calidad).

- **Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP).**

Método que sirve para analizar cuan resistencia posee una superficie compactada e inalterada, un DCP que sea 8 kg se usa en la estimación de la CBR de ensayos, en la identificación de volumen de membranas, su carga a los cortes, entre otros. (Barquero & Fernandez, 2000).

- **Resistencia compresiva simple.**

Tiene la finalidad de encontrar el esfuerzo o resistencia última de una superficie cohesiva con compresión sin confinamiento, aplicando fuerzas axiales en supervisión de la deformación, además del uso de porciones de tierra alterada y moldeada cilíndricamente; por lo general, la razón del alto con el diámetro es 2. La prueba es sencilla a comparación de ensayos triaxiales, para llegar a mecanismos que fallan; al contrario, se consiguen resultados que se pueden aplicar fácilmente en labores rutinarias, aparentemente. (MTC, Manual de Ensayo de Materiales, 2016).

$$F_v = \frac{q}{A} \text{ kg/cm}^2$$

Donde:

F_v = Resistencia compresiva.

q = Carga



A = Sección

2.3.2. Estabilización de suelos

a. Consideraciones Generales.

Procedimientos que se usan a fin de incrementar las bondades de la superficie, a través de procedimientos físico, mecánicos y químicos, incorporando material estabilizador buscando una combinación estable o cuando se añade un elemento de estabilización a la superficie a fin de penetrar sus zonas más profundas. (Abood, Kasa, & Chilk, 2012).

El suelo o terreno natural, en función del tipo de proyecto de ingeniería, puede presentar problemas en sus propiedades que dificultan su uso. En este sentido, se han llevado a cabo estudios de estabilización de suelos para aumentar su resistencia y durabilidad bajo cargas externas, teniendo en cuenta la importancia de la economía. Una forma de mejorar las propiedades mecánicas del suelo es mediante la adición de otros suelos o aditivos industriales.

La estabilización del suelo implica la implementación de medidas para aumentar su densidad, capacidad de carga y reducir su porosidad y permeabilidad mediante la adición de compuestos.

b. Tipos de estabilización.

Se hallan diferentes tipos de estabilización y mejoramiento de superficies (subrasante), ya sea por medios físico, mecánicos, químicos y hasta biológicos, siempre teniendo conocimientos teóricos, prácticos y experimentales, sobre las características y propiedades del suelo a tratarse, en especial el de los finos, para obtener buenos estabilizadores, además se debe tener en cuenta factores climatológicos, económicos, así como criterios técnicos de resistencia y durabilidad. (MTC, Manual de Carreteras, 2014). En ese entender se presentan tres tipos de estabilización:

- Cemento, material bituminoso, elementos de origen químico (resinas, sodio, silicato, cloruro férrico, sal, cloruro de calcio, hidróxidos y óxidos de calcio)

Previstas y avaladas por la Normas ASTM D698, D1557, D4320 y D4609.

2.3.3. Desperdicio avícola

En la actualidad, en Perú se produce una gran cantidad de huevos y carne de pollo al año, lo que resulta en un alto consumo per cápita. Este aumento en la producción y consumo puede generar grandes cantidades de residuos avícolas en hogares y otros



establecimientos, lo que podría llevar a un manejo inadecuado de los mismos. Se incluyen gráficos que muestran la cantidad de huevos y carne de pollo producidos anualmente en el país:

Tabla 8
Producción de huevo de gallina.



Nota: Elaborado por Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2021)

Tabla 9
Consumo de Pollo



Nota: Elaborado por Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2021)

Tal como se mencionó previamente, los desechos de cáscaras de huevo y plumas de aves son muy comunes en hogares, restaurantes, mercados y otros establecimientos. En Perú, la producción y consumo de carne y huevos de pollo es bastante elevada. Si estos residuos no son manejados adecuadamente, pueden causar un impacto negativo en el medio ambiente.



Además, es común que los suelos limo-arcillosos presenten un alto índice de plasticidad, lo que se traduce en una elevada capacidad de expansión y contracción, y una resistencia a la carga relativamente baja. (MIDAGRI, 2021)

En este sentido, un suelo limo-arcilloso no es adecuado para la construcción de muchas obras civiles debido a que su volumen cambia en función del agua que retiene, lo que puede provocar daños en las estructuras. Por ello, se recurre a tratamientos químicos que buscan disminuir la plasticidad del suelo y aumentar su resistencia.

- **Las plumas de pollo**

Se obtiene como desecho de las granjas avícolas, están compuestas principalmente por queratina aviar de 90 %, una proteína fibrilar del 70% a 80% de estructura compleja e importante con propiedades como durabilidad, hidrofobicidad y dependiendo de la función específica puede cambiar su morfología y estructura interior, Este estudio aprovecha estas características para mejorar la subrasante de suelos limo arcilloso. (Manoj, Maghusudhanrao, & Sairam, 2017)

Figura 9

Desperdicio avícola-plumas



- **Las cascaras de huevo**

Desperdicio avícola orgánico, por tal motivo nuestra inquietud de generar materiales que solucionen diferentes demandas y al mismo tiempo aminorar el costo de utilización, el actual estudio intenta utilizar cáscaras de huevo, para encontrar efectos, particularidades de carácter mecánico y físico en la subrasante de las superficies limo arcillosas (cabida al esfuerzo de corte, compresión, posesividad), por tal motivo es de prioridad determinar sus propiedades:

Estas cáscaras, cubren al huevo y son entre el 9% y 12% del total de peso de dicho alimento, cuya evaluación está comprendida entre los 5 a 7 gramos. Se encuentra principalmente compuesto por carbonato de calcio y demás elementos, el calcio



representa el 93.3% (2.21 gr), proteínas 29.30% (0.92 gr), magnesio en el 0.85% (0.02 gr), fósforo en el 0.85% (0.02 gramos) y algo de hierro. (Intituto Tecnológico Superior de Misantla, 2016).

Figura 10

Desperdicio avícola, cascara de huevo.



Usos del cascarón de huevo, la cáscara de este alimento en la ingeniería es milenaria por el mismo hecho que refiere el Puente Ortiz y el acueducto en Querétaro en 1738, el cual se ubica en Colombia. La edificación empezó en el año 1834 con el Fray Francisco Ortiz como director, en esta obra se usó la cáscara para otorgarle a dicho puente más resistencia.

Asimismo, la cáscara del huevo es utilizado para abonar la tierra gracias a ciertos componentes que posee, además de su largo tiempo de descomposición ya que ayuda a los cultivos a asimilar sus bondades. (Díaz Saldaña & Huamán Acha, 2012).

En el aumento de la rigidez o resistencia plástica de índole mecánico, es usada en la fabricación de vehículos, telas, embalajes y equipos electrónicos. Mejorando la fuerza de típicos minerales usados. (Arias Bautista, Quijada Abarca, Toro Estay, & Mehrdad Yazdani, 2007-2009)

2.3.4. Diseño experimental en ingeniería

En ingeniería, el diseño experimental, desempeña un rol fundamental en el inicio de nuevas investigaciones, que buscan desarrollar los procesos, de tal manera que sean eficientes, que cumplan con el plan, estrategias y objetivos a alcanzar., haciendo uso de procesos robustos, que sean afectados en forma imperceptible por fuentes de variabilidad externa.

Existen muchos diseños experimentales, donde se debe tomar en cuenta cinco aspectos:

1. Objetivo del ensayo.



2. Cantidad de niveles probados en los factores.
3. Cantidad de factores a estudiar.
4. Costos del ensayo, precisión y tiempo deseado.
5. Efectos que interesa investigar (relación factores-respuesta).

a. Diseño D-Optimal.

Se trata de un algoritmo útil en la búsqueda de órdenes de ensayos robustos en distintas clases de tendencias mediante este diseño. Considerando las dimensiones del prototipo vinculado a factores, comparados con el obtenido en libre tendencia, permitiendo realizar análisis de la idoneidad de un diseño para eliminar la tendencia. (Atkinson & Donev, 1996).

Los diseños D-Óptimos, son una forma de diseño proporcionada por un algoritmo informático. Estos tipos de diseños asistidos por computadora son particularmente útiles cuando no se aplican los diseños clásicos.

A diferencia de los diseños clásicos estándar, como las factoriales y las factoriales fraccionadas, las matrices de diseño D-Óptimas, no suelen ser ortogonales y las estimaciones del efecto están correlacionadas.

El criterio de optimización utilizado en la generación de diseños D-Óptimos es el de maximizar $|X'X|$, el determinante de la matriz de información $X'X$.

Un criterio popular es D-Optimalidad, que busca minimizar $|(X'X)^{-1}|$, o equivalentemente maximizar el determinante de la matriz de información $X'X$ del diseño. Este criterio da como resultado la maximización del contenido de información diferencial de Shannon de las estimaciones de los parámetros. (Montgomery, 2017)

En otras palabras, el conjunto de candidatos es una colección de combinaciones de tratamientos de las cuales el algoritmo D-óptimo elige las combinaciones de tratamientos para incluir en el diseño. El algoritmo informático generalmente utiliza un proceso de paso e intercambio para seleccionar el conjunto de ejecuciones de tratamiento.

Las razones para usar diseños D-óptimos en lugar de diseños clásicos estándar generalmente se dividen en dos categorías:

- Los diseños factoriales estándar o factoriales fraccionados requieren demasiadas ejecuciones para la cantidad de recursos o tiempo permitido para el experimento.
- El espacio de diseño está restringido (el espacio de proceso contiene configuraciones de factores que no son factibles o son imposibles de ejecutar).



2.3.5. Análisis de varianza o ANOVA (análisis estadístico).

Técnica estadística utilizada para determinar la significancia de los resultados de cierto análisis, en otras palabras, ayudan a encontrar la necesidad de denegar una hipótesis nula o, por el contrario, de aceptarla.

Es una técnica utilizada para determinar una significancia de interrelación entre un par de variables, dentro de uno o dos grupos, niveles

Las condiciones para realizar análisis de varianza:

- Obtención de muestras de manera aleatorios o al azar
- Independencia de variables.
- Normalidad de las distribuciones.
- Igualdad de varianza entre grupos.

a. Tipos de prueba ANOVA.

- ANOVA unidireccional: con variable no dependiente, técnica usada en la comparación de medias de un par de conjuntos no dependientes (sin relación) usando la tabla de frecuencias. La hipótesis nula afirma que las medias compartan valores. En tal sentido, resulta de gran significancia de dichas medias obtengan valores distintos.
- ANOVA bidireccional: resulta de la extensión del primer tipo de prueba. No obstante, posee dos variables no dependientes. Usualmente, es usada al tener una de las variables con características medibles, en otras palabras, un par de variables nominales y una cuantitativa.
- MANOVA: Técnica empleado al tener diferentes variables no dependientes. Tiene el objetivo de encontrar si la de tipo dependiente es alterada a través de la alteración de la no dependiente.

b. Correlación.

La correlación consiste en determinar la relación existente entre dos o más variables que intervienen en un proyecto de investigación, siempre y cuando dichas variables sean cuantificables y estén relacionadas entre sí, es decir, cuando los valores de una variable varían regularmente con respecto a la otra.

c. Regresión lineal.

Ayuda a encontrar la dependencia de los conjuntos de índices de Y y X, con la predicción de valores y estimando uno que se encuentre fuera de la distribución.



Esta técnica ayuda en la predicción de la conducta de cierta variable, entre una predicha o dependiente con una predictora o no dependiente. (Centeno Rubio, 2019).

La regresión intentar dar explicación a la interrelación existente entre cualquier variable de índole dependiente con una serie de variables no dependientes o explicativas $X_1... X_n$.

2.3.6. Análisis comparativo de promedios.

Se trata de un método de investigación que posibilita la recolección, evaluación e interpretación de información con el fin de explicar comportamientos tanto normales como anormales en un hecho o investigación de carácter aplicado. Este método se basa en la comparación de dos o más procesos, documentos, conjuntos de datos u otros objetos para tomar decisiones o dar explicaciones.

2.4. Hipótesis.

2.4.1. Hipótesis general.

La incorporación de desperdicio avícola tiene un **efecto significativo** en las propiedades físicas y mecánicas, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco- 2022.

2.4.2. Sub hipótesis.

Primero: La incorporación de desperdicio avícola **afecta significativamente** la **cohesión**, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco- 2022.

Segundo: La incorporación de desperdicio avícola **afecta significativamente** la **resistencia compresiva**, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco- 2022

Tercero: La incorporación de desperdicio avícola **afecta significativamente** la **densidad seca**, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco- 2022.

Cuarto: La incorporación de desperdicio avícola **afecta significativamente** el **CBR**, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco- 2022.

2.5. Variables e indicadores.

2.5.1. Identificación de variables.



a. Variables independientes.

- Desperdicio avícola (cascara de huevo y pluma)

b. Variables dependientes.

- Propiedades Físicas.
- Propiedades Mecánicas.

2.5.2. Operacionalización de variables.

Efecto de incorporación de desperdicio avícola tiene un efecto significativo en las particularidades mecánicas y físicas en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco- 2022.

Tabla 10

Operacionalización de variables.

VARIABLES	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN (*)	INDICADORES	UNIDADES	NATURALEZA DE LA VARIABLE	TÉCNICA/ INSTRUMENTO	
INDEPENDIENTES							
Desperdicio avícola	Peso de plumas avícolas, medido en proporción del suelo	Plumas avícolas	Dosis de plumas, con respecto al	%	Cuantitativas de tipo razón	Técnica: es la experimentación y medición	
	Peso de cascara de huevo, medido en proporción del agua	Cáscara de huevo	Dosis de cascara de huevo, con respecto al agua.	%			
INTERVINIENTE	Volumen de agua, medido en proporción del suelo.	Agua	Dosis de agua en porcentaje del peso seco del suelo	%			
DEPENDIENTES							
Propiedades físicas		Densidad	Densidad seca.	g/cm ³			Instrumentos: Los formatos o fichas de toma de datos de laboratorio.
Propiedades mecánicas		Cohesión (C = 1/2 * fv) fv: resistencia última a la compresión	Cohesión	kg/cm ²			
		Resistencia	Resistencia compresiva	kg/cm ²			
		Resistencia	Resistencia CBR con PDC	%			



Capítulo III: Método

3.1. Alcance del estudio

3.1.1. Enfoque de la investigación

Esta investigación se define como **CUANTITATIVA**, debido a que se determina en cantidades físicas que se **miden en escala de razón**, se caracteriza por un punto 0 absoluto, lo que indica es que no hay valores negativos en los niveles de las variables. (Monje Álvarez, 2011)

3.1.2. Nivel de la investigación

Tiene un nivel **EXPLICATIVO CAUSAL**, debido a que intenta determinara los rasgos, particularidades y características más relevantes de cualquier hecho analizado, además es posible generalizar resultados de manera amplia, brinda control de los hechos; asimismo, es posible emitir réplicas y comparación de estudios.

En tal sentido, esta investigación hipotético -deductivo, va a determinar cuantificar y observar el incremento de las particularidades de carácter mecánico y físico de conformidad a la incorporación de los residuos de la industria avícola que se hará en el suelo de la subrasante limo-arcillosa, que se formulará con la deducción, verificando su veracidad con procesos investigativos experimentales.

3.1.3. Método de investigación.

Primer método: El **HIPOTÉTICO-DEDUCTIVO**, cuando se hacen afirmaciones de alguna problemática, se establecen hipótesis, para definir las o verificarlas. Es importante recordar que se volverá saber científico al ser validado adecuadamente, de no ser así se procede a formular una nueva afirmación. (Hernández, Fernández, & Baptista, 2006, pág. 9).

Segundo método: El análisis comparativo de promedios es un método que permite comparar información o procesos para explicar la posible relación que puedan tener entre sí. Este método ofrece un espacio de evaluación donde se pueden identificar las similitudes y diferencias entre la información de manera clara. La evaluación también puede proporcionar información detallada sobre las características y la historia de los datos, lo que permite comparar su rendimiento. (Kothari, 2004)

3.2. Diseño de la Investigación.

3.2.1. Diseño metodológico.

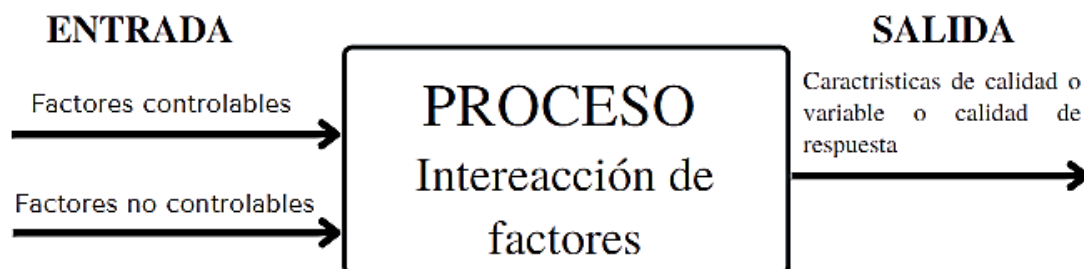


Se utiliza el **experimental**, usado debido a la imposibilidad de controlar totalmente ciertos hechos; no obstante, los investigadores intentar conservar el mayor control, aunque ya se tengan plenamente definidos los conjuntos a estudiar. El diseño se caracteriza por introducir conjuntos intactos, en otras palabras, conjuntos constituidos anteriormente (Jiménez, 1991).

Tal diseño se encarga de alterar de forma intencional diferentes variables no dependientes, a fin de evaluar cómo afecta dicha alteración en las distintas variables de índole dependiente, en un ambiente controlado (Dr. Hernández Sampieri, Dr. Fernández Collado, & Dra. Baptista Lucio, 2014, p. 121).

Figura 11

Esquema Diseño experimental, Humberto Gutiérrez Pulido-Román de la Vera. Salazar.



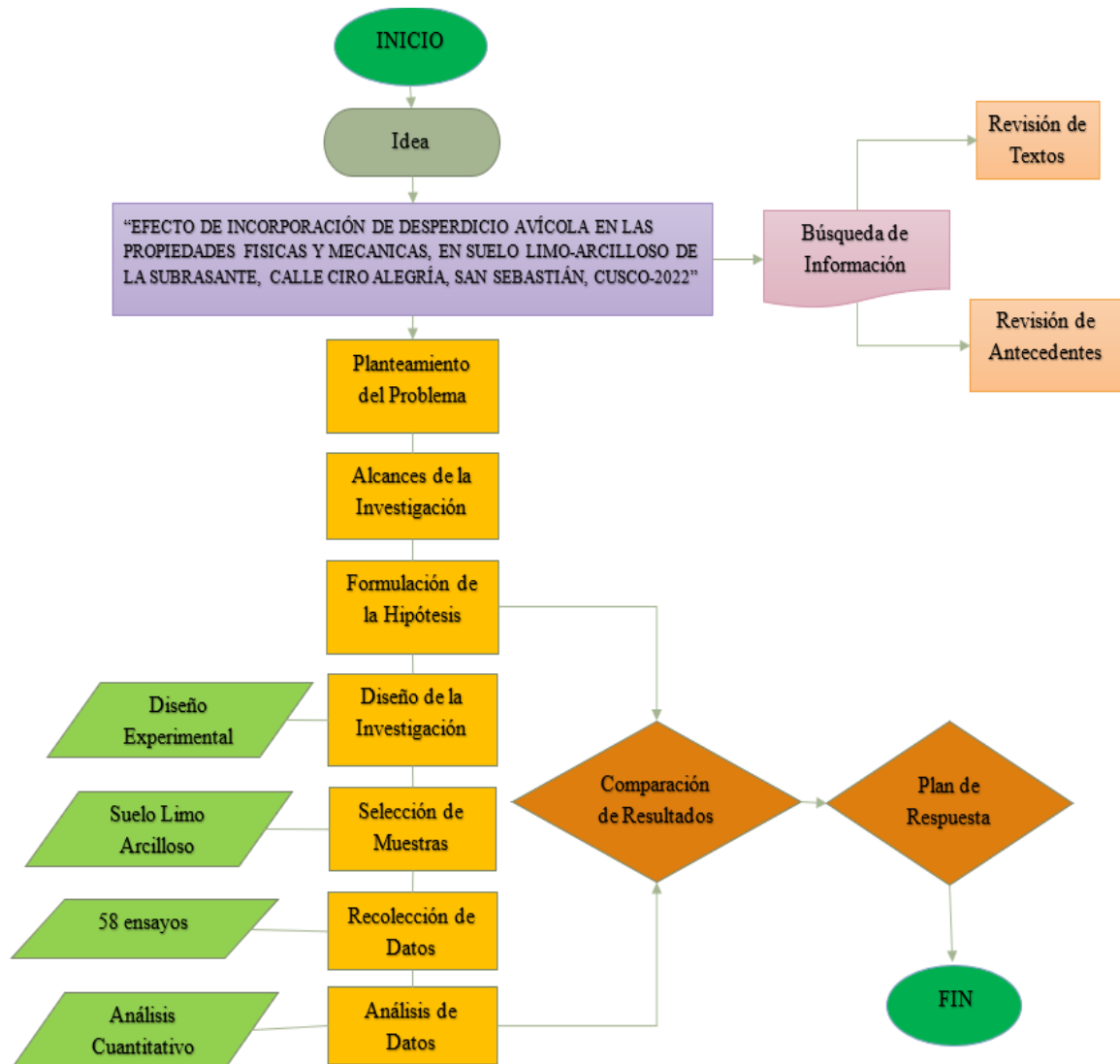
3.2.2. Diseño experimental (Ingeniería).

Se llevó a cabo un **diseño experimental de tipo D-optimizado**, consistente en un algoritmo multifactorial, para ello se utilizará la técnica o herramienta de análisis de varianza (ANOVA) para procesamiento de los tratamientos o parámetros estimados sin sesgo, que nos permite obtener un diseño experimental óptimo, eficiente, económico y en el menor tiempo, sin perder el poder del diseño, como resultado se tendrá los modelos matemáticos, en consecuencia se ha considerado para nuestro diseño de investigación dieciséis ensayos para determinar el efecto, en la densidad seca, cohesión y resistencia compresiva, a diferentes dosificaciones de cáscara de huevo y pluma de desperdicio avícola, los diseños experimentales son propios de la investigación cuantitativa.

El diseño experimental es una metodología utilizada en la ingeniería para planificar y llevar a cabo experimentos de manera sistemática, con el objetivo de obtener resultados precisos y confiables que permitan hacer inferencias sobre el fenómeno estudiado. (Montgomery, 2017)

Figura 12

Flujograma de diseño experimental.



3.3. Población.

3.3.1. Descripción de la población.

En esta investigación se define como población infinita al suelo de la subrasante limo-arcilloso presente en la calle Ciro Alegría, ubicada en el distrito de San Sebastián, desde el kilómetro 00+310 hasta el kilómetro 00+510. Este terreno natural actualmente no cuenta con pavimento, pero se puede observar una capa de lastre con un espesor aproximado de 20 cm.

3.3.2. Cuantificación de la población.

La población que conforma la superficie subrasante es del tipo limo-arcilloso y se clasifica bajo el sistema SUCS como suelo limo-arcilloso de baja plasticidad



(CL-ML) y, según el sistema AASHTO, se encuentra en los rangos A-4 y A-6 como suelo limo-arcilloso de moderado a pobre.

3.4. Muestra.

3.4.1. Descripción de la muestra.

En el proyecto de investigación en cuestión, se empleará una muestra del suelo de la subrasante extraída en los tramos 00+310 hasta km 00+510 de la calle Ciro Alegría, en el distrito de San Sebastián. La muestra se obtuvo a una profundidad de 0.25 m respecto a la superficie del terreno natural y se caracterizó un suelo de tonalidad rojiza oscura y una composición limo-arcillosa. Después de realizar el cuarteo, se obtuvo una muestra de aproximadamente 50 kg del suelo mencionado.

3.4.2. Cuantificación de la muestra.

Las muestras en cuestión son finitas y están compuestas por 58 ensayos o tratamientos que se llevaron a cabo en laboratorio, utilizando suelo natural y agregando desperdicios de origen avícola como cáscara de huevo molido y pluma de aves de corral en distintos porcentajes. Estos porcentajes se determinaron en base a antecedentes experimentales previstos.

3.4.3. Método de muestreo.

De conformidad a los planes, técnicas y la hipótesis a demostrar en este estudio, se utiliza el **muestreo no probabilístico**, debido a que dicho tipo de muestras cuentan con procesos de selección o recolección no formal, en general se usa en estudios cualitativos y cuantitativos. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014).

Sin embargo, la obtención de muestras representativas no siempre es fácil y puede estar influenciada por diversas limitaciones y restricciones, como el costo, la disponibilidad de recursos y la accesibilidad a los participantes o al entorno de estudio. En este sentido, el investigador puede verse obligado a recurrir a muestras no aleatorias, que son aquellas que se obtienen de manera selectiva en función de la accesibilidad y criterio del investigador.

3.4.4. Criterios de evaluación de muestra.

Los experimentos en laboratorio fueron determinados y realizados usando lineamientos básicos propios de una superficie de subrasante conforme a las normas



nacionales e internaciones para ensayos determinados para estudios relacionado a la capacidad de soporte en carreteras. (MTC, Manual de Ensayo de Materiales, 2016).

Tabla 11

Cantidad de ensayos programados.

ENSAYOS	NORMA	SUELO NATURAL	CASCARADE HUEVO	PLUMA	TOTAL
Muestreo de Suelo	MTC E 101	1	0	0	1
Análisis granulométrico por tamizado	MTC E 107-2016	1	0	0	1
Límite de consistencia (Atteberg)	MTC E 110-2016 MTC E 111-2016	1	0	0	1
Proctor modificado	MTC E 115-2016	1	0	0	1
CBR-Capacidad de soporte con PDC	ASTM D 6951 PDC	2	2	2	6
Cohesión	MTC E 101	2	7	7	16
Resistencia compresiva	ASTM D2166	2	7	7	16
Densidad seca	ASTM D7263	2	7	7	16
				Total, Ensayos =	58

3.4.5. Criterios de inclusión.

a. Criterios de Inclusión de la Muestra de Suelo.

Se recolectaron muestras de suelo limo-arcilloso de la calle Ciro Alegría, ubicada en el distrito de San Sebastián - Cusco, en el tramo que abarca desde el km 00+310 hasta km 00+510. La elección de esta zona para la recolección de muestras fue estratégica. Después de esto, se llevaron a cabo experimentos con el objetivo de determinar las propiedades de la superficie tratada, incluyendo la granulometría, humedad, densidad, límites de resistencia y capacidad de carga. Estos resultados permiten realizar comparaciones con la superficie que ya ha sido estabilizada..

b. Criterios de Inclusión de los Aditivos Estabilizantes.

Se está utilizando cáscara de huevo como aditivo en la subrasante de suelo limo-arcilloso, considerando su dosificación en porcentajes que se han parametrizado en los extremos: 00.00% y 40.00%. Se han tomado como referencias antecedentes de artículos científicos para determinar estos porcentajes.

Asimismo, se están utilizando plumas avícolas como aditivo en la subrasante de suelo limo-arcilloso, con porcentajes que se usarán dentro de los parámetros:




00.00% y 00.70%, teniendo en cuenta los artículos científicos como soporte y referencia viable.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

3.5.1. Clasificación de suelos

Tabla 12



Hoja de trabajo para clasificación de suelos.

		Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil			
Título de Tesis:		"Efecto de incorporación de desperdicio avícola en las propiedades físicas y mecánicas, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco-2022"			
Ensayo:		Clasificación de suelos			
Ubicación:		Calle Ciro Alegría, Km 00+310			
Responsables:		Luwi Gilbert MENDOZA GONZALES Fredy Americo MENDOZA VILLALOBOS			
Descripción de la Muestra:					
Calicata N°:		1			
Profundidad:		1.90 m			
Fecha de ensayo:					
Datos de entrega para la clasificación de suelo					
Descripción		Peso		Unidad	
Calicata					
Peso inicial					
Limite Líquido					
Pasa el tamiz #200					
Índice de Plasticidad					
CLASIFICACION DE SUELOS					
		AASHTO			
		SUCS			
Observaciones:					

3.5.2. Determinación del Contenido de Humedad Natural.

Tabla 13

Hoja de trabajo para contenido de humedad del suelo natural.



		Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil				
Título de Tesis:		"Efecto de incorporación de desperdicio avícola en las propiedades físicas y mecánicas, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco-2022"				
Ensayo:		Determinación del Contenido de Humedad del Suelo Natural				
Ubicación:		Calle Ciro Alegría, Km 00+310				
Responsables:		Luwi Gilbert MENDOZA GONZALES Fredy Americo MENDOZA VILLALOBOS				
Descripción de la Muestra:						
Fecha de ensayo:						
MTC E 108, BASADO EN LA NORMA ASTM D-2016-CONTENIDO DE HUMEDAD						
Descripción		Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04	Muestra 05
Peso de recipiente (gr)						
Peso de recipiente+ Muestra húmeda (gr)						
Peso de recipiente+ Muestra seca (gr)						
Peso del agua (gr)						
Peso de muestra seca (gr)						
Contenido de Humedad						
Contenido de Humedad Promedio						



3.5.3. Análisis Granulométrico por Tamizado.

Tabla 14



Hoja de trabajo para determinar granulometría del suelo por tamizado.

 Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil					
Título de Tesis:	"Efecto de incorporación de desperdicio avícola en las propiedades físicas y mecánicas, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco-2022"				
Ensayo:	Análisis Granulométrico del Suelo por Tamizado				
Ubicación:	Calle Ciro Alegría, Km 00+310				
Responsables:	Luwi Gilbert MENDOZA GONZALES Fredy Americo MENDOZA VILLALOBOS				
Descripción de la Muestra:					
Fecha de ensayo:					
MTC E 107- ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELO POR TAMIZADO					
Peso de Muestra Seca:			gr.		
Peso de Muestra Liviana:			gr.		
Perdida por Lavado:			gr.		
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido	% Retenido	Acumulado	
3"				% Retenido	% Pasa
2"					
1 1/2"					
1"					
3/4"					
3/8"					
N° - 4					
N° - 10					
N° - 20					
N° - 40					
N° - 60					
N° - 140					
N° - 200					
Fondo					
Perdida por Lavado					
Parcial Fodo + Perdida por Lavado					
TOTAL					
Tamaño Máximo Absoluto:				Error:	
Tamaño Máximo Normal:					
Cu =					
Cc =					

3.5.4. Determinación del Límite Líquido.

Tabla 15

Hoja de trabajo para determinar límite líquido.



 Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil				
Título de Tesis:	"Efecto de incorporación de desperdicio avícola en las propiedades físicas y mecánicas, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco-2022"			
Ensayo:	Determinación del Límite Líquido del Suelo Natural			
Ubicación:	Calle Ciro Alegría, Km 00 + 310			
Responsables:	Luwi Gilbert MENDOZA GONZALES Fredy Americo MENDOZA VILLALOBOS			
Descripción de la Muestra:				
Fecha de ensayo:				
MTC E 110. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO (LL) DE LOS SUELOS				
Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04
Denominación de recipiente				
Peso de Suelo Humedo+ recipiente Metalico (gr)				
Peso Suelo Seco + Recipiente Metalico (gr)				
Peso Recipiente Metalico (gr)				
Peso Suelo Seco (gr)				
Peso de Agua (gr)				
Contenido de Humedad (%)				
Numero de Golpes (N)				
Límite Líquido				



3.5.5. Determinación del Limite Plástico e Índice de plasticidad

Tabla 16



Hoja de trabajo para límite plástico e índice plasticidad.

 Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil 				
Título de Tesis:	"Efecto de incorporación de desperdicio avícola en las propiedades físicas y mecánicas, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco-2022"			
Ensayo:	Determinación del Limite Plastico e indice de Plasticidad del Suelo			
Ubicación:	Calle Ciro Alegría, Km 00 + 310			
Responsables:	Luwi Gilbert MENDOZA GONZALES Fredy Americo MENDOZA VILLALOBOS			
Descripción de la Muestra:				
Fecha de ensayo:				
MTC E 111. DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO (LP) DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (IP)				
Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04
Denominación de recipiente				
Peso de Suelo Humedo+ Recipiente Metalico (gr)				
Peso Suelo Seco + Recipiente Metalico (gr)				
Peso Recipiente Metalico (gr)				
Peso Suelo Seco (gr)				
Peso de Agua (gr)				
Contenido de Humedad (%)				
Limite Plastico				
Limite Liquido				
Limite Plastico				
Indice de Plasticidad				

3.5.6. Proctor Modificado

Tabla 17

Hoja de trabajo para determinar Proctor Modificado.

 Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil 						
Título de Tesis:	"Efecto de incorporación de desperdicio avícola en las propiedades físicas y mecánicas, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco-2022"					
Ensayo:	Determinación del CBR con PDC del Suelo Natural					
Ubicación:	Calle Ciro Alegría, Km 00 + 310					
Responsables:	Luwi Gilbert MENDOZA GONZALES Fredy Americo MENDOZA VILLALOBOS					
Descripción de la Muestra:						
Fecha de ensayo:						
MTC E 132 - CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO PDC						
Datos						
Numero de Golpes	25					
ENSAYO	1	2	3	4	5	6
Diametro (cm)						
Altura de Disco Especiador (cm)						
Volumen de Muestra Humeda Compactada (cm ³)						
Peso Molde + Base (gr)						
peso Molde + Base + Muestra COH (gr)						
Peso de Muestra Humeda (gr)						
Densidad Humeda (gr/cm ³)						
Nombre del Recipiente						
Peso de mUestra Humeda + Tara (gr)						
Peso de Muestra Seca + Tara(gr)						
Peso del Agua (gr)						
Peso del Recipiente (gr)						
Peso de Muestra Seca (gr)						
Contenido de Humedad Final (%)						
Contenido de Humedad Promedio Final (%)						
Densidad Seca (gr/cm ³)						



3.5.7. Determinación del CBR con PDC.

Tabla 18

Hoja de toma de datos para CBR con PDC.

Nombre	Pluma (%)	Cáscara de huevo (%)	Pluma (g)	Cáscara de huevo (g)	Lectura inicial (cm)	L1 (cm)	L2 (cm)	L3 (cm)	L4 (cm)	DCPI (mm)	CBR PDC ASTM D6951 (USACE) (%)
1											
2											
3											
4											
5											
6											

3.5.8. Determinación de Resistencia a la compresión Simple.

Tabla 19

Hoja de toma de datos para Resistencia Compresiva.

Nombre del ensayo	Plumas (% suelo)	Cáscara de huevo (% agua)	Peso sólidos por muestra (g)	Agua Óptima (%)	Agua (g)	Plumas (g)	Huevos rotos (g)	Carga (Kg)	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D prom (mm)	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	H prom (mm)	Vol (cm3)	Dh (g/cm3)	Sección (cm2)	Fv (kg/cm2)	
1																							
2																							
3																							
4																							
5																							
6																							
7																							
8																							
9																							
10																							
11																							
12																							
13																							
14																							
15																							
16																							

3.5.9. Ensayo de densidad seca.

Tabla 20

Hoja de toma de datos para Densidad Seca.

Nombre del ensayo	Plumas (% suelo)	Cáscara de huevo (% agua)	Peso sólidos por muestra (g)	Agua Óptima (%)	Agua (g)	Plumas (g)	Huevos rotos (g)	Carga (Kg)	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D prom (mm)	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	H prom (mm)	Vol (cm3)	Dh (g/cm3)	Sección (cm2)	Ds (g/cm3)	
1																							
2																							
3																							
4																							
5																							
6																							
7																							
8																							
9																							
10																							
11																							
12																							
13																							
14																							
15																							
16																							

3.5.10. Ensayo de Cohesión

Tabla 21

Hoja de toma de datos para Cohesión.

Nombre del ensayo	Plumas (% suelo)	Cáscara de huevo (% agua)	Peso sólidos por muestra (g)	Agua Óptima (%)	Agua (g)	Plumas (g)	Huevos rotos (g)	Carga (Kg)	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D prom (mm)	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	H prom (mm)	Vol (cm3)	Dh (g/cm3)	Sección (cm2)	Fv (kg/cm2)	Cohesión (kg/cm2)
1																							
2																							
3																							
4																							
5																							
6																							
7																							
8																							
9																							
10																							
11																							
12																							
13																							
14																							
15																							
16																							



3.6. Validez y confiabilidad de los instrumentos.

Para la realización de los experimentos de laboratorio, se requieren herramientas de ingeniería esenciales para el proceso de las pruebas. Cada ensayo o experimentación debe realizarse de acuerdo a los detalles específicos:

3.6.1. Muestreo de Suelo.

Siguiendo lo establecido en el Manual de Ensayo de Materiales (2016) del MTC, específicamente en la sección E 101, se necesitaron herramientas de protección personal, así como herramientas manuales como picos, palas y barretas para llevar a cabo el muestreo de suelos. Además, se requirieron recipientes herméticos para almacenar las muestras obtenidas de las calicatas, cumpliendo con las normas correspondientes.

3.6.2. Texturización y caracterización del suelo.

El ensayo se llevó a cabo utilizando los EPP correspondientes, herramientas manuales, recipientes herméticos, cinta métrica y balanzas de precisión de 0,01 g y 0,1 g.

3.6.3. Para determinación de porcentaje de cascara de huevo y pluma.

Se necesitaron herramientas de laboratorio para realizar este experimento, tales como una balanza de alta precisión con una sensibilidad de $\pm 0,01$ g, guantes, tornillos, paletas y espátulas, recipientes y tijeras, y un molino de granos.

3.6.4. Determinación de Contenido de Humedad Natural.

De acuerdo con lo establecido en el Manual de Ensayo de Materiales (2016) de MTC, específicamente en la norma E 115, es necesario contar con varios materiales de laboratorio para realizar la determinación de la humedad. Estos incluyen bandejas metálicas, una balanza de alta precisión con una sensibilidad de $\pm 0,01$ g, un horno capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C, así como herramientas de agarre como espátulas, cucharones de metal, cucharas y guantes, siguiendo las normas establecidas en dicha norma.

3.6.5. Análisis Granulométrico por Tamizado.

De acuerdo con la norma MTC, Manual de Ensayo de Materiales (2016), para realizar el ensayo descrito en la E 107, se requieren de varios equipos y herramientas



de laboratorio. Entre ellos se encuentran un tamizador vibratorio, bandejas y recipientes para el material, una balanza con una sensibilidad de 0,01 gramos, un horno capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C para el secado, y diferentes tamices que cumplen con las normas AASHTO T 88 y ASTM D 422, en diferentes tamaños que van desde 0,075 mm (N°200) hasta 75 mm (3"). También se utilizan herramientas manuales como un estropajo, una escoba de metal, una cuchara, guantes y un tamizador limpiador. Todos estos elementos son esenciales para llevar a cabo el procedimiento siguiendo las normas establecidas.

3.6.6. Determinación del Límite Líquido

La norma MTC, Manual de Ensayo de Materiales (2016), establece en la E 110 que se precisan de distintas herramientas de laboratorio para llevar a cabo el ensayo de suelo perturbado. Entre ellas se encuentran el dispositivo "Casa Grande Cuchara", el Instrumento Ranurador o Ranurador y un Calibrador. Asimismo, se requieren recipientes de metal, una Pipeta, un horno o estufa que pueda mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C, una espátula de barro, un plato flexible y una balanza de alta precisión con sensibilidad al $\pm 0,01$ g. Las normas AASHTO T 89 y ASTM D 4318 deben ser seguidas rigurosamente para la realización de este ensayo.

3.6.7. Determinación del Límite Plástico e Índice de Plasticidad

Según la sección E 111 del Manual de Ensayo de Materiales MTC (2016), se utilizaron diversos equipos y herramientas de laboratorio para realizar el ensayo correspondiente. Estos instrumentos incluyen una vasija de porcelana, un horno o estufa que puede mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C, una balanza precisa con una sensibilidad de 0.01 gramos, recipientes metálicos, una espátula y un mortero. Todas estas herramientas se utilizaron de acuerdo con las normas establecidas por AASHTO T 90 y ASTM D 4318.

3.6.8. Compactación de suelo usando Energía Modificada (Proctor Modificado).

Para llevar a cabo un ensayo de laboratorio de acuerdo con la norma MTC, Manual de Ensayo de Materiales (2016), en la E 115, se necesitaron ciertos materiales y equipos. Estos incluyeron un molde de 4 pulgadas, un pisón o martillo, una estufa o horno capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C para el secado, una regla o enrasador de metal, una balanza sensible de 0.01 gramos, tamices de N°4, ¾" y 3/8", un envase de metal, una espátula, un badilejo, un cucharón y un extractor.



Durante todo el proceso se utilizó Equipos de Protección Personal (EPP) en el laboratorio, y se siguieron las normas ASTM D 1557 y NTP 39.141.

3.6.9. Determinación de Capacidad de Soporte CBR con PDC

De acuerdo con la norma ASTM D6951 (2018), se emplearon varios equipos para la realización de este ensayo, entre los que se incluyen un disco de espaciado metálico, una herramienta medidora de extensión, pesas de 2.71 kg para la prueba de relación de soporte de California (CBR), una placa de bronce expansiva, pesas metálicas ranuradas con un peso de 2.293 kg en cada lado, un trípode extensor para la CBR, diales con 25 mm de recorrido o una pulgada, junto con divisiones de 0.025 mm. Se utilizó una prensa junto con anillos de carga de 0.05 pulgadas, un pozo, hojas, un pisón de compactación, un molde metálico de 6" y un collarín, tamices de 4, 2" y $\frac{3}{4}$ ", una balanza de 0.01 gramo sensible, un enrasador y un cucharón.

3.6.10. Determinación de Resistencia Compresiva

Para la realización de este ensayo, se utilizaron diferentes herramientas y equipos. Entre ellos, se empleó una prensa con una buena aproximación, una balanza sensible con una precisión de 0.01 gramos, un calibre vernier y un cronómetro. También se usó un pisón, un molde cilíndrico, una gata hidráulica, bandejas y tamices de diferentes tamaños: $\frac{3}{4}$ ", 2" y 4". Además, se utilizaron compactadores mecánicos y una estufa o horno capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C para el secado. Para llevar a cabo la manipulación de las muestras, se requirieron herramientas como un enrasador y un cucharón.

3.6.11. Determinación de Densidad Seca.

Para este ensayo fue necesario una balanza calibrada, vernier, metro, hoja de cálculo.

3.6.12. Determinación de la Cohesión.

Del mismo modo en este ensayo se usó el suelo de muestra, recipientes, balanza calibrada, agua y las hojas de cálculo respectivas.

3.6.13. Determinación del porcentaje de cascara de huevo y pluma

De acuerdo con los artículos científicos citados en los antecedentes de esta tesis, se han tomado como referencia los porcentajes parametrizados para la dosificación correspondiente en nuestro caso de estudio.



a. Dosificación de cascara de huevo.

- Existen registros previos en los que se han utilizado diferentes cantidades de polvo de cáscara de huevo, correspondientes al 2%, 4%, 6% y 8% del peso del suelo seco.
- Según los ensayos llevados a cabo para medir los límites de consistencia (límite líquido y límite plástico), se pudo observar que la adición de CHP y cal como aditivos disminuyó el índice de plasticidad del suelo examinado. La muestra que dio el mejor resultado en términos de IP fue aquella que tenía una adición de 4.5% de cal y 1% de cáscara de huevo, arrojando un valor de IP de 22.

El polvo de cáscara de huevo se introdujo en cantidades de 0,5%, 1%, 1,5% y 2% del peso del suelo. (Arias Bautista et al.2016).

Se realizaron pruebas reemplazando hasta el 50% de la cal utilizada para la estabilización, pero sin embargo se observó que la sustitución del 25% de cal por polvo de cáscara de huevo dio mejores propiedades de resistencia y puede adoptarse con fines prácticos.

b. Dosificación de plumas avícolas.

- La resistencia a la compresión del suelo blando aumenta con el aumento de biopolímero hasta un 5% y después de eso, eventualmente la resistencia a la compresión del suelo disminuye.
- Según las pruebas realizadas con porcentajes variables (0,1 %, 0,25 % y 0,5 %) de plumas. Se encontró que, con la adición de estabilizadores, es decir, CFF, el CBR aumentó hasta cierto límite porque el CFF sirvió como refuerzo en el suelo, pero luego el CBR disminuyó debido al reemplazo del suelo por CFF.

3.7. Procedimientos de Diseño Experimental -D Optimal.

En la ingeniería, la experimentación desempeña un papel crucial en el diseño de investigación con el objetivo de lograr un proceso sólido e insensible a los factores de ruido. Por lo tanto, después de seleccionar los factores de tratamiento y las variables de respuesta, se eligió un diseño experimental D-Optimal que es un algoritmo para experimentos multifactoriales. Este diseño permite determinar el número de experimentos lo más bajo posible y seleccionar la combinación más informativa de los factores sin perder la eficacia del diseño, lo que a su vez ahorra tiempo y dinero. (Good & Jones, 2011)

En este contexto, la investigación titulada “Efectos de incorporación de desperdicio avícola en las propiedades físicas y mecánicas, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, distrito San Sebastián, Cusco-2022” fue realizada.

Figura 13

Determinación del Diseño experimental.

	1	2	3	4	5	6
	Exp No	Exp Name	Run Order	Incl/Excl	casara huevo	pluma
1	1	N1	9	Incl	0	0
2	2	N2	3	Incl	0	0
3	3	N3	8	Incl	9.28	0
4	4	N4	10	Incl	9.28	0
5	5	N5	11	Incl	0	1.54
6	6	N6	15	Incl	0	1.54
7	7	N7	1	Incl	9.28	1.54
8	8	N8	13	Incl	0	0.77
9	9	N9	6	Incl	9.28	0.77
10	10	N10	14	Incl	4.64	0
11	11	N11	4	Incl	4.64	1.54
12	12	N12	2	Incl	4.64	0.77
13	13	N13	12	Incl	9.28	1.54
14	14	N14	5	Incl	4.64	0.77
15	15	N15	7	Incl	0	0
16	16	N16	16	Incl	9.28	0

Figura 14

Poder del diseño.

Design	Total runs	Design runs	DF	Model	Power	I-optimality	Condition number
Recommended designs							
D-Optimal	16	13+	10 Interaction		81	3.58	1.39

Luego de definido el diseño experimental, se procedió al análisis de los datos, realizado por el análisis de varianza ANOVA, considerando el método estadístico para probar la hipótesis estadístico (H_0 y H_a), para ello se usará la notación formal de hipótesis estadísticas con k medias.

El análisis de varianza es una técnica que permite verificar si existe diferencia significativa entre las medias poblacionales de K tratamientos o factores. Esta herramienta se utiliza en el análisis de resultados experimentales con el fin de comparar los resultados obtenidos y determinar si al menos una de las poblaciones difiere significativamente de las demás en cuanto a su valor esperado. Es fundamental



en la investigación científica para poder determinar la relación entre los tratamientos o factores y la variable dependiente o de interés.

3.8. Plan de análisis de datos.

3.8.1. Procedimiento de Recolección de Datos

a. Muestreo de suelo y perfil estratigráfico

Procedimiento detallado

- La evaluación de la calle Ciro Alegría, que se encuentra en el distrito de San Sebastián y tiene una longitud aproximada de 300 metros, se realizó en su totalidad debido a su relevancia teórica y estratificación óptica evidente.
- En este tramo, se encontró suelo limo arcilloso, lo cual fue confirmado mediante ensayos y clasificado según la SUCS como limos de baja compresibilidad "ML-CL" y según el ASTTHO como un suelo A-4-6, moderadamente pobre en contenido de arcilla.
- Antes de la extracción de muestras mediante la excavación de calicatas, se realizó un reconocimiento previo de campo para determinar las zonas más accesibles para dicha extracción.
- Durante el proceso de evaluación, se determinó que el tramo que abarca desde el kilómetro 00+310 al 00+510, era la zona más apropiada para iniciar la investigación debido a que aún no estaba pavimentada y se evidenciaba la presencia de suelo limo-arcilloso. Esta afirmación se basó en la apreciación visual de la coloración y características propias de la zona.
- Una vez corroborada la presencia del suelo limo-arcilloso, se realizó la extracción de muestras de suelo, en conformidad con la norma ASTM D-2216 (adoptada por el MTC E-101), de las calicatas ubicadas en el kilómetro 00+310, 00+410 y 00+510. Las calicatas excavadas tenían una dimensión de 1.20 x 1.20 metros y una profundidad de 1.90 metros, lo que permitió corroborar el nivel freático y el material de fundación firme. Es importante destacar que la profundidad de las calicatas para carreteras en general debe ser como mínimo de 1.50 metros.
- El tamaño y tipo de muestra requeridos para los ensayos dependen de las partículas y las limitaciones de los equipos de ensayo. Por lo tanto, se tomó una muestra de 50 kg, siguiendo sugerencias y experiencia, para realizar los 58

ensayos mencionados en la Tabla 11, de acuerdo con la norma ASTM C 702 (adoptada por el MTC E 103).

- Durante todo el proceso, se preservó la humedad original del suelo que se extrajo, almacenándolo en recipientes sellados. Además, se realizó una exploración del suelo para identificar su perfil natural o artificial, determinar las capas superficiales más importantes y definir las áreas en las que el suelo tenía características similares, utilizando el mapa de tipos de suelo como ayuda.

Figura 15

Zona de estudio y recojo de muestra



Figura 16

Zona de estudio y recojo de muestra.



Figura 17

Los pozos exploratorios o calicatas de 1.90 m de profundidad.





Figura 18

Determinación de la textura del suelo IN SITU.



- La textura del suelo se relaciona con la cantidad de partículas presentes en el suelo con tamaños distintos, tales como la arena, limo y arcilla. Esto afecta de manera importante las características del suelo, incluyendo su manejo, capacidad de retener agua y aire, así como la velocidad de penetración y flujo de agua a través del mismo.
- Se recolectaron muestras representativas del suelo, las cuales incluyen todos los materiales constituyentes del estrato y no han sufrido cambios químicos. Sin embargo, su estructura física y su contenido de humedad fueron alterados durante la recolección de las muestras. Estas muestras se utilizaron para clasificar y identificar los diferentes materiales a través de sus propiedades índice.
- Para clasificar la muestra de suelo de subrasante que ha sido identificada como suelo limo arcilloso, se llevará a cabo una caracterización en el laboratorio utilizando muestras o porciones del mismo. Durante el proceso de recolección de muestras, se consideraron tanto las muestras alteradas como las inalteradas.

Figura 19

Calita N°1, extracción de muestra 1.





Figura 20

Calicata N° 2, extracción de muestra 2.



Figura 21

Muestra C-3, extraída



Figura 22

Muestras representativas, precintada en valdes para su sellado y transporte.



- Con el objetivo de clasificar la muestra de suelo de subrasante que previamente se identificó como limo-arcilloso mediante apreciación visual de su textura, se llevará a cabo su caracterización en laboratorio. Para esto, se recolectarán muestras o porciones del suelo, tomando en cuenta los conceptos de muestras alteradas e inalteradas, y se garantizará la conservación y transporte adecuados de las mismas según la norma ASTM D4220-95 (asumida por la MTC E 104). Se aplicará el método GRUPO B, que es el apropiado para los ensayos

específicos que se realizarán (CBR, contenido de humedad, clasificación, perfil de perforación, resistencia compresiva, densidad seca y cohesión).

Recopilación de Datos.

Se dispone del perfil estratigráfico obtenido mediante los procedimientos recomendados por ASTM D-2216 (adoptados por el MTC E-101), con el fin de obtener una descripción pormenorizada de las distintas capas del suelo, su grosor y el tipo de suelo presente en cada área de estudio. El propósito es conseguir una representación precisa de la composición del suelo examinado. A continuación, se detallan los resultados obtenidos:

Figura 23

Calicata N° 01 ubicada en km 00+310, calle Ciro Alegría, 1.90 m de profundidad.

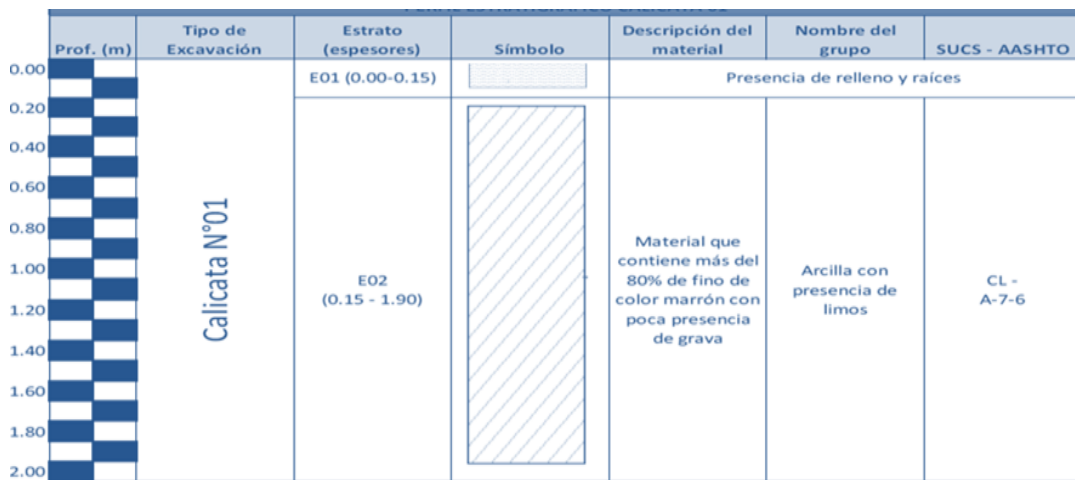


Figura 24

Calicata N° 02 ubicada en km 00+410, calle Ciro Alegría, con 1.90 m de profundidad.

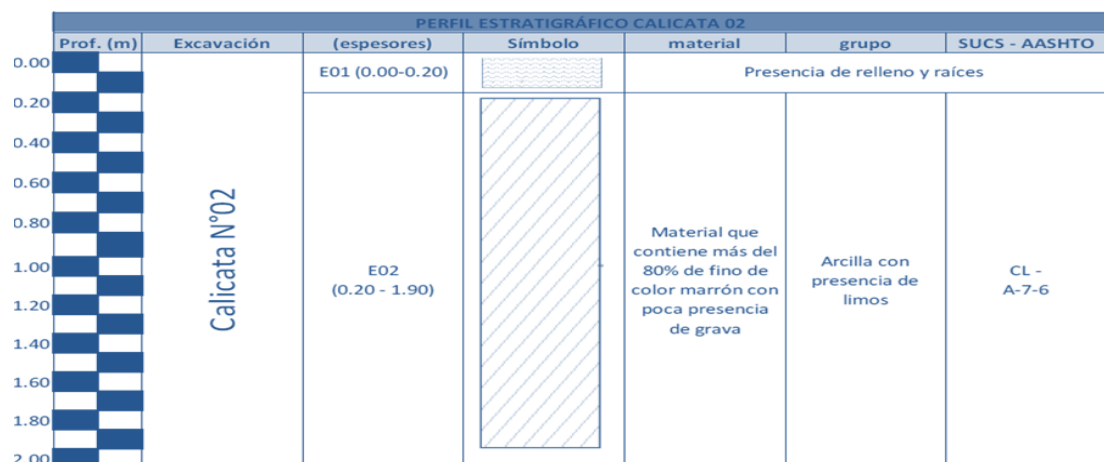


Figura 25

Calicata N° 03 ubicada en km 00+510, calle Ciro Alegría, con 1.90 m de profundidad.

PERFIL ESTRATIGRÁFICO CALICATA 03						
Prof. (m)	Tipo de Excavación	Estrato (espesores)	Símbolo	Descripción del material	Nombre del grupo	SUCS - AASHTO
0.00	Calicata N°03	E01 (0.00-0.30)		Presencia de relleno y raíces		
0.20		E02 (0.30-1.90)		Material que contiene más del 80% de fino de color marrón con poca presencia de grava	Arcilla con presencia de limos	CL - A-7-6
0.40						
0.60						
0.80						
1.00						
1.20						
1.40						
1.60						
1.80						
2.00						

b. Texturización y caracterización del suelo.

Procedimiento detallado.

- La texturización y caracterización del suelo se determinó mediante **prueba de la botella y de manipulación**, conforme a la visita de campo de donde se extrajo muestras de suelo, para determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, objeto de investigación, teniendo en consideración la ASTM D2488 - 09ª, según el resultado se detalla:

Figura 26

Texturización mediante prueba de la botella y de manipulación.



Recopilación de Datos.

Tabla 22

Características del suelo natural.

Características	Resultados
Peso específico	2.36 g/cm ³
Peso volumen seca	1.77 g/cm ⁴
Peso volumen en saturado	2.03 g/cm ⁵
Contenido	0.16%
Porosidad	0.33%



Tabla 23

Humedad de la muestra.

Humedad de muestra		
Muestra	N°	1
Recipiente	N°	PN16
Peso del recipiente	(g)	36.88
Peso de recipiente + Suelo húmedo	(g)	165.88
Peso de recipiente + Suelo seco	(g)	147.88
Peso de agua	(g)	18.00
Peso suelo seco	(g)	111.00

c. Contenido de humedad.

Procedimiento detallado.

- Procedemos a pesar los recipientes metálicos, con una precisión de $\pm 0.01g$, y registramos el número del contenedor en la hoja de recolección de datos.
- Se realizó el método de cuarteo, con la finalidad de homogenizar las muestras de suelo, para tener resultados más certeros, en los ensayos correspondientes, el método del cuarteo se realiza analizando el material extraído de las calicatas, para tener muestras reducidas en tamaño de muestra de ensayo en concordancia a las normas, NTP 339.089 (asumidos por MTC E 105), utilizándose para ello el Método B: Cuarteo, que se realiza de forma manual con ayuda de una pala.
- Las muestras de suelo húmedo se colocan en recipientes llamados taras y se procede a determinar su peso.
- Los datos del peso de la tara y la muestra húmeda son anotados.
- Se toma nota del peso de recipiente y los datos de la muestra húmeda.
- Después de colocar las muestras húmedas en las taras, estas son introducidas en un horno con una temperatura de 115 ± 5 °C durante un periodo de 24 horas. Posteriormente, se registran los datos del peso de las taras con las muestras ya secas.
- Se anotan los valores de las pesadas de las muestras en la ficha de registro de datos, utilizando una balanza de alta precisión con una sensibilidad de 0.01g.
- El procedimiento para determinar el contenido de humedad, conforme la ASTM D-2216 (asumidos por el MTC E-108).

Figura 27

Proceso de cuarteo de muestras.



Figura 28



Contenido de humedad natural



Recopilación de Datos.

Tabla 24

Datos obtenidos del contenido de humedad del suelo natural.

 Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil					
Título de Tesis:	"Efecto de incorporación de desperdicio avícola en las propiedades físicas y mecánicas, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco-2022"				
Ensayo:	Determinación del Contenido de Humedad del Suelo Natural				
Ubicación:	Calle Ciro Alegría, Km 00 +310				
Responsables:	Luwi Gilbert MENDOZA GONZALES Fredy Americo MENDOZA VILLALOBOS				
Descripción de la Muestra:	Se utilizó suelo limo-arcilloso de subrasante Km 04+250				
Fecha de ensayo:	25/05/2022				
	MTC E 108, basado en la Norma ASTM D-2016				
Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04	Muestra 05
Peso de recipiente (gr)	36.88	36.50	35.68	36.10	36.20
Peso de recipiente+ Muestra húmeda (gr)	165.88	165.56	164.98	166.10	166.20
Peso de recipiente+ Muestra seca (gr)	147.88	147.47	146.82	147.12	146.33
Peso del agua (gr)	18.00	18.09	18.16	18.98	19.87
Peso de muestra seca (gr)	111.00	110.97	111.14	111.02	110.13
Contenido de Humedad					
Contenido de Humedad Promedio					



d. Análisis de granulometría por tamizado

Procedimiento detallado.

- En primer procedimiento, consiste en hacer el cuarteo del material para obtener muestras representativas y homogéneas del suelo, con la finalidad de lograr los ensayos necesarios, en concordancia a la NTP 339.089 (asumidos por MTC E 105), utilizándose para ello el Método B: Cuarteo, que se realiza de forma manual con ayuda de una pala.
- De conformidad a las características de nuestro suelo, se realizará el método del tamizado sin lavado, por el mismo hecho que al ser analizado el material fino se rompe fácilmente y se pulveriza bajo la presión al tacto.
- Después de dividir la muestra por el método de cuarteo, se procede a pesar una porción y se satura durante un período de 24 horas para lograr una masa constante.
- Después de secar el material, se coloca en una serie de tamices que varían en tamaño de abertura: desde 75 mm (3 pulgadas) hasta 0.075 mm (malla N° 200), en orden descendente de abertura. Luego, se enciende la tamizadora mecánica para separar las fracciones que quedan retenidas en cada malla.
- Se procede a tomar nota, el peso retenido en cada tamiz, procediendo después al pesado en la balanza electrónica. No variando que la sumatoria de los pesos inicial y retenido no debe variar del 1.0 %.
- Al final, se lleva a cabo la representación gráfica de los datos obtenidos en la curva granulométrica, a fin de verificar y establecer la granulometría del suelo evaluado.
- El procedimiento asumido del análisis granulométrico de suelos por tamizado conforme a la asociación de Normas Técnicas: ASTM D-422, AASHTO T 27 (asumidos por el MTC E-107).

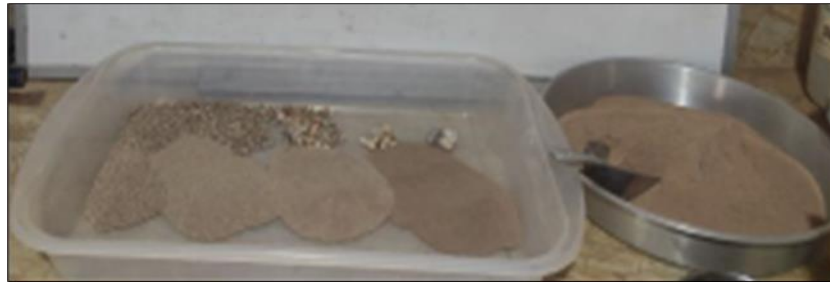
Figura 29

Muestra obtenida.



Figura 30

Clasificación de partículas para el análisis granulométrico por tamizado.





Nota. La imagen muestra claramente el resultado del proceso de tamizado, en donde se pueden ver las muestras separadas que fueron retenidas en cada tamiz. Además, en la parte derecha de la imagen se puede visualizar el material que logró pasar a través de la malla #200.

Recopilación de Datos

Tabla 25

Datos obtenidos de granulometría del suelo por tamizado.

		Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil				
Título de Tesis:		"Efecto de incorporación de desperdicio avícola en las propiedades físicas y mecánicas, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco-2022"				
Ensayo:		Análisis Granulométrico del Suelo por Tamizado				
Ubicación:		Calle Ciro Alegría, Km 00 + 310				
Responsables:		Luwi Gilbert MENDOZA GONZALES Fredy Americo MENDOZA VILLALOBOS				
Descripción de la Muestra:		Suelo Limo-Arcilloso del Km 00 + 100				
Fecha de ensayo:		25/05/2022				
MTC E 107- ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELO POR TAMIZADO						
Peso de Muestra Seca:		1875.00			gr.	
Peso de Muestra Liviana:		1875.00			gr.	
Pérdida por Lavado:		0			gr.	
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr.)	Peso Retenido Corregido	% Retenido	Acumulado	
					% Retenido	% Pasa
3"	75.000	0.000	0.000			
2"	50.800	0.000	0.000			
1 1/2"	38.100	0.000	0.000			
1"	25.400	0.000	0.000			
3/4"	19.000	0.000	0.000			
3/8"	9.500	0.000	0.000			
N° - 4	4.760	0.000	0.000			
N° - 10	2.000	0.000	0.000			
N° - 20	0.840	0.000	0.000			
N° - 40	0.425	0.000	0.000			
N° - 60	0.250	0.000	0.000			
N° - 100	0.106	98.000	98.000			
N° - 200	0.075	616.000	617.000			
Fondo		1160.000	1160.000			
Pérdida por Lavado		0.000				
Parcial Fondo + Pérdida por Lavado		1160.000				
TOTAL						
Tamaño Máximo Absoluto:	3/4"			Error:		
Tamaño Máximo Normal:	3/8"					
Cu =						
Cc =						



e. Determinación del Limite Liquido.

Procedimiento detallado.

- En primer lugar, se calibra la cuchara de Casa Grande, con la finalidad de obtener una caída de 1 cm.
- Así mismo se procede a la preparación de la muestra, obteniéndose una porción de muestra representativa de 250 gr. de material que pase por la malla N° 40 (0.425 mm).
- En tal sentido el material seleccionado se procede al mezclado con el agua en un recipiente, comuna espátula se logra uniformizar hasta llegar a una humedad optima homogénea.
- Después se procede a colocar el material combinado en la cuchara de Casa Grande, hasta extender por la cuchada y dividirlo con el acanalador en dos partes iguales.
- Se puede parafrasear el texto de la siguiente manera: Al hacer girar el mango del instrumento Casa Grande a una velocidad constante, se eleva la cuchara en intervalos de 1 cm y luego se la deja caer para que el material se asiente en el espacio y se compacte. La cantidad de golpes necesarios para lograr la compactación adecuada del suelo se registra como información relevante.
- Tomaremos una muestra perpendicular a la grieta, aproximadamente del ancho de un dedo, y colóquela en un recipiente de metal, pésela y anote el contenido de humedad.
- Se sabe que el procedimiento se repite con el resto del material para obtener los datos necesarios que permitan el control de los intervalos para la recolección de papel. Se puede ajustar la humedad del material según se requiera.
- Se registrará la cantidad de impactos y se tomará una muestra representativa de cada testículo para pesarla y secarla en una estufa a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas, con el objetivo de determinar el contenido de humedad.

Determinación de Limite Liquido de suelos conforme a la norma, MTC, Manual de Ensayo de Materiales (2016).

Figura 31

Ensayo Límite Líquido.



Figura 32



Muestras pesadas y equipos.



Recopilación de Datos.

Tabla 26

Datos obtenidos para Limite Liquido del suelo natural

 Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil				
Titulo de Tesis:	"Efecto de incorporación de desperdicio avícola en las propiedades físicas y mecánicas, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco-2022"			
Ensayo:	Determinacion del Limite Liquido del Suelo Natural			
Ubicación:	Calle Ciro Alegría, Km 00 + 310			
Responsables:	Luwi Gilbert MENDOZA GONZALES Fredy Americo MENDOZA VILLALOBOS			
Descripcion de la Muestra:	Se usa material Limo-arcilloso que pasa la malla #40			
Fecha de ensayo:	26/05/2022			
MTC E 110. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO (LL) DE LOS SUELOS				
Descripcion	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04
Denominacion de recipiente	N1	N2	N3	N4
Peso de Suelo Humedo+ recipiente Metalico (gr)	66.80	63.70	67.70	77.50
Peso Suelo Seco + Recipiente Metalico (gr)	63.00	60.00	63.00	70.20
Peso Recipiente Metalico (gr)	47.30	46.60	47.40	46.90
Peso Suelo Seco (gr)	15.70	13.40	15.60	23.30
Peso de Agua (gr)	3.80	3.70	4.70	7.30
Contenido de Humedad (%)				
Numero de Golpes (N)	50	32	20	9
Limite Liquido				



f. Determinación del límite plástico e Índice de Plasticidad.

Procedimiento detallado.

- La siguiente fase consiste en tomar muestras del ensayo de límite líquido, utilizando las mismas dosificaciones de cascara de huevo y plumas avícolas, en el rango de 0.00 a 40% y 0.00 a 0.07% respectivamente.
- Se moldean las muestras de vidrio en forma de cilindros de aproximadamente 3,2 mm mediante el deslizamiento sobre el suelo y la manipulación con los dedos para garantizar que tengan una forma regular y uniforme en toda su longitud.
- El ensayo finaliza cuando los cilindros pierden humedad y se colapsan completamente, lo que ocurre aproximadamente a su diámetro total de 3,2 mm.
- El procedimiento se repitió hasta obtener un peso suficiente en las vasijas, y se seguirá el mismo proceso con la otra mitad del material para obtener dos copias, agregando agua si es necesario.
- Los recipientes serán pesados y los datos serán registrados, posteriormente, las muestras serán secadas en una estufa a $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas.
- Después de transcurridas 24 horas, se registra el peso de las muestras secas y se procede a calcular su contenido de humedad.
- Procedimientos de conformidad a la ASTM D1241 (asumidos en la MTCE 111).

Figura 34

Muestra y equipo de ensayo



Figura 33



Muestras resultadas de la prueba de límite plástico.



Recopilación de Datos.

Tabla 27

Registro datos para límite plástico e índice de plasticidad.

 Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil					
Titulo de Tesis:	"Efecto de incorporación de desperdicio avícola en las propiedades físicas y mecánicas, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco-2022"				
Ensayo:	Determinacion del Limite Plastico e indice de Plasticidad del Suelo Natural				
Ubicación:	Calle Ciro Alegria, Km 00 +310				
Responsables:	Luwi Gilbert MENDOZA GONZALES Fredy Americo MENDOZA VILLALOBOS				
Descripcion de la Muestra:	Suelo Limo-Arcillosa que pasa por la malla #40				
Fecha de ensayo:	25/05/2022				
MTC E 111. DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO (LP) DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (IP)					
Descripcion	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04	
Denominacion de recipiente	1	2	2	4	
Peso de Suelo Humedo+ Recipiente Metalico (gr)	17.23	17.31	18.2	18.42	
Peso Suelo Seco + Recipiente Metalico (gr)	16.02	16.17	16.55	16.78	
Peso Recipiente Metalico (gr)	10.82	10.65	10.12	10.45	
Peso Suelo Seco (gr)	5.2	5.76	6.43	6.89	
Peso de Agua (gr)	1.21	1.14	1.65	1.64	
Contenido de Humedad (%)					
Limite Plastico					
Limite Liquido					
limite Plastico					
Indice de Plasticidad					

g. Ensayo de Proctor modificado.

Procedimiento detallado.

- En primer procedimiento, consiste en hacer el cuarteo del material para obtener muestras representativas y homogéneas del suelo, con la finalidad de lograr los ensayos necesarios, en concordancia a la NTP 339.089 (asumidos por MTC E 105), utilizándose para ello el Método B: Cuarteo, que se realiza de forma manual con ayuda de una pala.
- Para determinar la naturaleza del suelo, se empleará como primer método el secado de la muestra a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ y su posterior tamizado con mallas de tamaños 3/4", 3/8" y No. 4. Es importante destacar que la muestra debe ser capaz de pasar a través de la malla N°4, y que la fracción retenida no debe superar el 20%.
- El porcentaje retenido en cada tamiz se determina arriba, y el método se selecciona de la siguiente tabla (ver tabla 28).



Tabla 28

Porcentaje de retenidos de la muestra.

Método	% Acumulado Retenido en Tamiz N° 4	% Acumulado Retenido en Tamiz 3/8"	% Acumulado Retenido en Tamiz 3/4"	Material a Usar
A	≤ 20%			Pasa N° 04
B	> 20%	≤ 20%		Pasa 3/8"
C		> 20%	≤ 30%	Pasa 3/4"

- Utilizando la tabla presentada, se puede identificar que el método de ensayo más adecuado para el suelo en cuestión sería el "A", debido a que posee una alta proporción de suelo fino.
- El suelo se seca y se pesa (aprox., 2.800 kg por punto Proctor), como se indica en la siguiente tabla (Según tabla Nro.33).

Tabla 29

Muestra secado y dosificación de desperdicios avícolas

Ensayo	Peso suelo natural seco (gr)	% de pluma	Peso de pluma (gr)	% de cascara de huevo	Peso de cascara de huevo (gr)
Proctor Modificado Suelo Natural	2800	0.00 %	0	0.00 %	0
Proctor Modificado Suelo Natural +0.7% pluma	2800	0.00 %	0	0.00 %	0
Proctor Modificado Suelo Natural +0.35% pluma + 0.00% cascara de huevo	2800	0.00 %	0	0.00 %	0
Proctor Modificado Suelo Natural +0.35% pluma + 20% cascara de huevo	2800	0.00 %	0	0.00 %	0
Proctor Modificado Suelo Natural + 20% cascara de huevo	2800	0.00 %	0	0.00 %	0
Proctor Modificado Suelo Natural + 40% cascara de huevo	2800	0.00 %	0	0.00 %	0

- Para lograr trabajar en cada punto del ensayo Proctor, se mezcla la muestra en un recipiente metálico hasta que esté uniforme. En el caso del limo-arcilla con un contenido de humedad constante del 11.65 %, se le añade agua en porcentajes constantes a partir del peso de la tierra seca.
- Cuando se mezcla la muestra, se divide en 5 partes iguales, utilizando una llana, que habrá que añadir a las formas (forma + collar) en 5 capas.



- Previamente se agregan muestras separadas al molde y se realiza la compactación con agitación, se dan 25 golpes por cada capa, hasta completar 5 capas. Se recomienda expandir y formar un apisonamiento incluso antes de la articulación de la capa.
- Al final de las 5 filas, se retira la extensión del collarín y se nivela con la guía metálica el material que queda en el molde, dejando una superficie plana en la parte superior e inferior, y se rellenan con material los agujeros o grietas. El collar siempre trata de salir de la superficie plana.
- Se obtiene una muestra compacta del centro del molde y se procede a determinar el contenido de humedad utilizando el Método de Ensayo NTP 339.127. Las muestras son pesadas en recipientes metálicos y marcadas para su posterior registro.
- Se procederá a secar las muestras en recipientes metálicos marcados durante 24 horas en una estufa cuya temperatura será de $110\pm 5^{\circ}\text{C}$. Después de la etapa de secado, se pesarán las muestras para determinar su contenido de humedad en estado seco.
- Se llevará a cabo el mismo procedimiento para los cuatro puntos de ensayo Proctor con el fin de obtener la curva de compactación (relación entre la densidad seca y la humedad).
- Para el ensayo se utilizó el método “A”, de conformidad a la norma ASTM D 4253 (asumido por la MTC E 115).

Figura 35

Pesado de la muestra seca



Figura 36



Compactación con energía modificada y moldeado de espécimen



Recopilación de Datos.

Tabla 30

Recopilación de datos para el contenido de humedad en suelos naturales.

 Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil													
Título de Tesis:	"Efecto de incorporación de desperdicio avícola en las propiedades físicas y mecánicas, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco-2022"												
Ensayo:	Determinación del Contenido de Humedad del Suelo Natural												
Ubicación:	Calle Ciro Alegría, Km 00 + 310												
Responsables:	Luwi Gilbert MENDOZA GONZALES Fredy Americo MENDOZA VILLALOBOS												
Descripción de la Muestra:	Suelo Limo-Arcilloso de subrasante												
Fecha de ensayo:	27/05/2022												
MTC E 115 - COMPACTACIÓN DE SUELO EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO)													
Diametro del Molde:	10.16	cm											
Altura del Molde:	11.65	cm											
Volumen del Molde:	951.07	cm ³											
Metodo:	C (4")												
Capas:	5	und											
Golpe por Carga:	25	und											
Ensayo													
Determinación	No		1			2			3			4	
Peso del Molde y Muestra	gr.		5676			5894			5918			5814	
Peso del Molde	gr.		3763			3763			3763			3763	
Peso de la Muestra Compacta	gr.		1913			2131			2155			2051	
Densidad Humedad	gr/cc.		2.011			2.241			2.266			2.157	
Densidad Seca	gr/cc.		1.898			1.991			1.976			1.838	
Tarro	No	1a	1b	1c	2a	2b	2c	3a	3b	3c	4a	4b	4c
Peso del Tarro	gr.	11.4	11.8	21.5	21.5	21.9	12.1	21.5	21.3	21.5	20.5	21.2	21.5
Peso del T. + Suelo Humedo	gr.	90.6	83.7	152.1	105.3	107.6	70.3	88.1	113.5	108.3	101.8	110.2	106
Peso del T. + Suelo Seco	gr.	86.2	79.8	144.4	95.6	98.1	64	79.6	101.7	97.2	89.7	97.2	93.5
Peso del Agua	gr.	4.4	3.9	7.7	9.7	9.5	6.3	8.5	11.8	11.1	12.1	13	12.5
Peso del Suelo Seco	gr.	74.8	68	122.9	74.1	76.2	51.9	58.1	80.4	75.7	69.2	76	72
Contenido de Humedad	%	5.88	5.74	6.27	13.09	12.47	12.14	14.63	14.68	14.66	17.49	17.11	17.36
Contenido de Humedad Promedio	%	5.96	Desv.Est.	0.274	12.57	Desv.Est.	0.483	14.66	Desv.Est.	0.024	17.32	Desv.Est.	0.194
Humedad Optima(%)													
Densidad Seca Maxima (gr/cm ³)													



h. Ensayo de CBR con PDC.

Procedimiento Detallado.

- Es importante obtener el contenido de humedad óptimo, modificado a partir del ensayo Proctor, adecuado al tipo de suelo que se está analizando, y esto puede variar en función del porcentaje de cascará de huevo y plumas de aves utilizados. Asimismo, se realizará un análisis del contenido de humedad natural y se mantendrá constante el contenido de humedad para cada prueba CBR con PDC.
- Para cada ensayo CBR se utilizará una cantidad de 2.800 kg de suelo, lo que representa el 100% de la muestra, y se empleará el porcentaje adecuado de cascará de huevo y plumas de aves de corral según se indica en la tabla siguiente:

Tabla 31

Dosificación de aditivos para los ensayos.

Ensayo	Peso suelo natural seco (gr)	% de pluma	Peso de pluma (gr)	% de cascara de huevo	Peso de cascara de huevo (gr)
Proctor Modificado Suelo Natural	2800	0.00 %	0	0.00 %	0
Proctor Modificado Suelo Natural +0.7% pluma	2800	0.70 %	19.6	0.00 %	0
Proctor Modificado Suelo Natural +0.35% pluma + 0.00% cascara de huevo	2800	0.35 %	9.8	0.00 %	0
Proctor Modificado Suelo Natural +0.35% pluma + 20% cascara de huevo	2800	0.35 %	9.8	20.00 %	42.112
Proctor Modificado Suelo Natural + 20% cascara de huevo	2800	0.00 %	0	20.00 %	42.112
Proctor Modificado Suelo Natural + 40% cascara de huevo	2800	0.00 %	0	40.00 %	84.224

- Los formularios se pesan y preparan para pruebas, cuellos, cribado de disco y papel en los seis modos CBR.
- Las muestras se preparan en bandeja metálica, mezclando el suelo con un porcentaje de cascará de huevo y plumas de gallina, según el experimento a realizar, y adicionando agua de manera constante, hasta el grado óptimo de humedad.
- La mezcla homogeneizada en la bandeja se divide en 5 partes iguales, las cuales se usarán para llenar el molde en 5 capas. Este proceso se repetirá seis veces con una muestra de 2800 kg al 100% para completar 6 pruebas CBR con 25 golpes para cada dosis de tierra natural, cascará de huevo y plumas de pollo.
- Cuando se compactan los patrones con varios golpes, se separan del collar y se nivelan con una regla de metal. Luego se voltea la forma para que la parte superior quede hundida, y se levanta con la base y el disco para que pueda ser cargada después.



- El peso de la muestra se registra con la base y la forma.
- Se coloca papel de filtro sobre la muestra, luego se coloca una placa perforada con un bloque ajustable y se colocan pesos de carga encima.
- Se procede a la lectura que se obtiene del CBR con PDC, anotando la profundidad alcanzada cada vez que se le aplica la carga del PDC hasta llegar a 5 lecturas, Finalmente, se retira la muestra del molde y se levanta la carga de muestra (peso) para tomar una muestra del suelo analizado y determinar el contenido final de humedad.
- Los procedimientos de conformidad a la norma ASTM D6951 (USAC)

Figura 37

Mezclado de muestra dosificada para CBR con PDC.



Figura 38

Moldeado de espécimen para CBR con PDC.

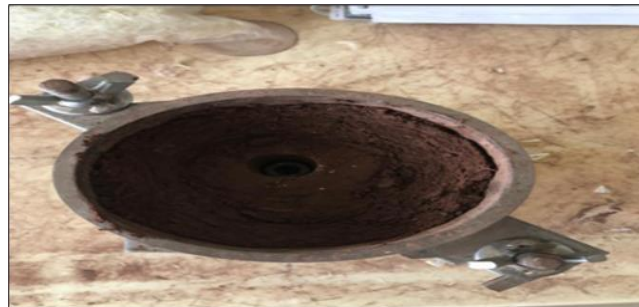
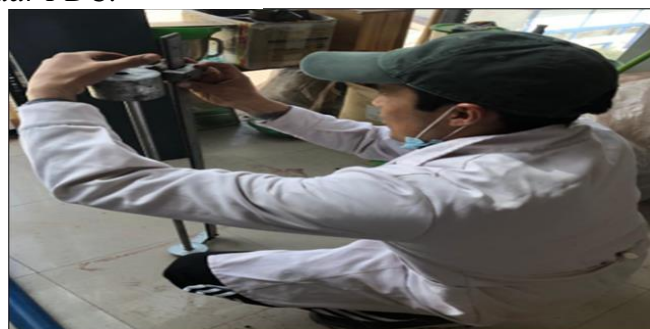


Figura 39

Equipo estándar PDC.





Recopilación de Datos.

Tabla 32

Datos del ensayo CBR con PDC.

Nombre	Pluma (%)	Cáscara de huevo (%)	Pluma (g)	Cáscara de huevo (g)	Lectura inicial (cm)	L1 (cm)	L2 (cm)	L3 (cm)	L4 (cm)	DCPI (mm)	CBR PDC ASTM D6951 (USACE) (%)
1	0.0	0.0	0	0	13.2	14.3	16.5	18		16.0	
2	0.5	0.0	12.9	0	11	12.42	13.5	14.5	15.5	11.3	
3	0.9	0.0	26	0	10.6	12.12	13.5	14.5	15.5	12.3	
4	0.0	1.5	0	42	11.8	14.1	16	17.6	19	18.0	
5	0.0	3.0	0	84	11	12.8	14.7	16.5	18.2	18.0	
6	0.5	1.5	12.9	42	10.4	11.8	13.2	14.5	15.6	13.0	

i. Ensayo de compresión simple.

Procedimiento Detallado.

- Es importante tener el nivel óptimo de humedad ajustado por el método de Proctor para el tipo de suelo que se estará evaluando, y esto dependerá de la proporción de cascarones de huevo y plumas que se utilicen. También se llevará a cabo un análisis del contenido de humedad natural y se mantendrá constante el nivel de humedad óptimo para cada prueba de Fv.
- Para cada prueba Fv, se emplearán 288.5 g de suelo, lo cual equivale al 100% de la muestra. Asimismo, se deberá utilizar el porcentaje de huevo y pluma indicado en la tabla correspondiente:

Tabla 33

Dosificación de desperdicios avícolas para los ensayos.

Nombres del ensayo	Plumas (%)	Cáscara de huevo (%)
N1	0.70%	40.00%
N2	0.70%	0.00%
N3	0.00%	0.00%
N4	0.00%	40.00%
N5	0.70%	0.00%
N6	0.70%	40.00%
N7	0.00%	40.00%
N8	0.70%	40.00%
N9	0.70%	40.00%
N10	0.70%	0.00%
N11	0.00%	0.00%
N12	0.00%	40.00%
N13	0.70%	0.00%
N14	0.70%	40.00%
N15	0.00%	40.00%
N16	0.70%	40.00%



- El espécimen se mide y pesa, de acuerdo con lo que figura en el registro.
- Las muestras fabricadas se medirán en diámetro: superior (Ds), central (De) e inferior (Di).
- A partir de los diámetros mencionados anteriormente, se calcula la altura de la probeta o espécimen tomando el promedio de los mismos y multiplicándolo por 2.0.
- El procedimiento a seguir es el siguiente: después de cortar el espécimen a su altura media, se toma su altura real y se considera como altura media (Hm)
- Luego, se coloca el patrón en la prensa y se coloca encima la hoja de carga.
- Posteriormente, se aplica una carga a la muestra y se miden las lecturas de carga y deformación cada 15 segundos hasta que se produce la falla de la muestra, es decir, se registran dos cargas iguales o inferiores a la carga anterior.
- Los cálculos se realizan en registro y el valor de la cohesión del suelo se obtiene mediante esta fórmula:

$$\text{Cohesion (c)} = \frac{q}{2}$$

$$q = \text{Esfuerzo máximo (kg / cm}^2\text{)}$$

- Procedimiento de ensayo por aplicación directa de carga con trabajo controlado.
- Monte la muestra en la base con la base y el cabezal ya instalados con la mesa de carga bien centrada. El peso total del cuerpo se equilibra con un contrapeso y un soporte de peso fijo. Se coloca un extensómetro o micrómetro en un soporte unido al tablero.
- En el mismo momento que aplicamos la primera carga activamos el stop y antes de volver a aumentar la carga se da una lectura micrométrica 5 segundos antes del siguiente aumento.
- A medida que el espécimen se acerca a la falla, debe notarse que puede haber planos de falla, grietas y otros puntos de interés.
- Si el espécimen falla abruptamente, registre el tiempo transcurrido desde la aplicación de la última carga incremental; luego retire los pesos del soporte. Si el fallo no es repentino, el ensayo se dará por terminado cuando la probeta sufra una única deformación del orden del 20%.
- Se debe cortar una capa delgada, con un espesor de aproximadamente 3 mm, en dirección paralela al plano de falla, para medir el contenido de agua. El resto de la muestra se someterá al proceso de secado en la misma caja.
- Calcular los medios según las distintas pasiones, según las características marcadas observadas, los lugares corregidos calculados, y trazar las líneas del diagrama.



- Finalmente, la muestra se retira del instrumento y se toman las cargas de muestra (pesos) para probar la muestra de suelo y determinar la máxima resistencia a la compresión libre.

Figura 40

Preparación y dosificación de muestras



Figura 41

Moldeo y eyección de especímenes.

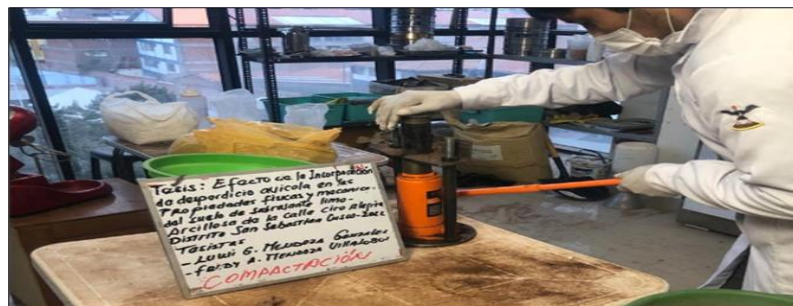


Figura 42

Secado de muestras.



Figura 43

Especimen obtenido para la compresión





Figura 44

Ensayo a la compresión simple



- La compresión es de tipo no confinada, conforme a las normas ASTM D 2166, AASHTO T 208, NTP 339,167 (asumido también por el MTC E 121), considerando que se trata de suelos cohesivos.

Recopilación de Datos.

Tabla 34

Datos del ensayo para Resistencia Compresiva.

Nombre del ensayo	Plumas (% suelo)	Cáscara de huevo (% agua)	Pesos sólidos por muestra (g)	Agua Óptima (%)	Agua (g)	Plumas (g)	Huevos rotos (g)	Carga (Kg)	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D prom (mm)	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	Fv (kg/cm ²)
N1	0.7%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	9.28	250	224.59	202.50	41.30	41.50	41.40	41.40	87.90	86.87	86.39	
N2	0.7%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	0.00	70	225.25	212.20	41.50	41.70	41.50	41.57	94.58	94.70	95.22	
N3	0.0%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	0.00	110	223.35	207.90	41.40	41.50	41.90	41.60	89.43	89.56	88.39	
N4	0.0%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	9.28	100	226.57	210.80	41.60	41.50	41.70	41.60	88.32	87.88	88.45	
N5	0.7%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	0.00	140	220.32	205.00	41.40	42.10	41.80	41.77	87.90	89.30	87.97	
N6	0.7%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	9.28	120	222.16	207.90	41.50	41.50	41.80	41.60	89.28	91.64	88.05	
N7	0.0%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	9.28	260	221.53	200.80	41.40	41.70	41.90	41.67	83.54	82.70	84.15	
N8	0.7%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	9.28	170	213.95	192.40	41.50	41.50	41.70	41.57	80.33	82.04	81.31	
N10	0.7%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	0.00	80	224.30	146.20	41.90	41.80	41.90	41.87	61.04	64.72	63.30	
N11	0.0%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	0.00	90	224.90	208.70	41.30	41.50	41.50	41.43	90.04	90.08	89.37	
N12	0.0%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	9.28	140	225.35	208.70	41.10	41.80	41.70	41.53	89.10	88.29	87.65	
N13	0.7%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	0.00	140	220.98	204.60	41.50	41.50	41.50	41.50	89.30	89.78	88.83	
N14	0.7%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	9.28	110	223.52	208.60	41.40	41.40	41.60	41.47	91.15	91.10	91.59	
N15	0.0%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	9.28	110	215.44	201.50	41.40	41.50	41.80	41.57	87.49	88.84	88.41	
N16	0.7%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	9.28	320	219.74	198.90	41.50	41.60	41.60	41.57	81.66	81.68	81.03	

j. Ensayo de densidad seca.

Procedimiento Detallado.

- Registre toda la información de identificación del espécimen, con numeración, clasificación visual del suelo (Práctica D2488).



- Prepare las muestras en un ambiente que minimice algún cambio en el contenido de agua. muestras en un ambiente controlado, como una habitación o recinto con alta humedad controlada.
- Manipule los especímenes con cuidado para minimizar la alteración, el cambio de forma o cambio en el contenido de agua. Por lo general, para la mayoría de las muestras, los cambios en el contenido de agua se minimizan al recortar los especímenes, en un ambiente controlado, como una habitación/cerramiento con alta humedad controlada.
- Determine y la masa de la muestra de suelo húmedo (Mt) se registró por lo menos cuatro cifras significativas en g o kg.
- Y finalmente con el Vernier realizamos la medición diámetro y altura del espécimen.
- Procedimiento asumido de conformidad a la norma ASTM D7263.

Recopilación de Datos.

Tabla 35

Ensayo para determinar Densidad Seca.

Nombre del ensayo	Plumas (% suelo)	Cáscara de huevo (% agua)	Pesos sólidos por muestra (g)	Agua Óptima (%)	Agua (g)	Plumas (g)	Huevos rotos (g)	Carga (Kg)	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D prom (mm)	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	Ds (g/cm ³)
N1	0.7%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	9.28	250	224.59	202.50	41.30	41.50	41.40	41.40	87.90	86.87	86.39	
N2	0.7%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	0.00	70	225.25	212.20	41.50	41.70	41.50	41.57	94.58	94.70	95.22	
N3	0.0%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	0.00	110	223.35	207.90	41.40	41.50	41.90	41.60	89.43	89.56	88.39	
N4	0.0%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	9.28	100	226.57	210.80	41.60	41.50	41.70	41.60	88.32	87.88	88.45	
N5	0.7%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	0.00	140	220.32	205.00	41.40	42.10	41.80	41.77	87.90	89.30	87.97	
N6	0.7%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	9.28	120	222.16	207.90	41.50	41.50	41.80	41.60	89.28	91.64	88.05	
N7	0.0%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	9.28	260	221.53	200.80	41.40	41.70	41.90	41.67	83.54	82.70	84.15	
N8	0.7%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	9.28	170	213.95	192.40	41.50	41.50	41.70	41.57	80.33	82.04	81.31	
N10	0.7%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	0.00	80	224.30	146.20	41.90	41.80	41.90	41.87	61.04	64.72	63.30	
N11	0.0%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	0.00	90	224.90	208.70	41.30	41.50	41.50	41.43	90.04	90.08	89.37	
N12	0.0%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	9.28	140	225.35	208.70	41.10	41.80	41.70	41.53	89.10	88.29	87.65	
N13	0.7%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	0.00	140	220.98	204.60	41.50	41.50	41.50	41.50	89.30	89.78	88.83	
N14	0.7%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	9.28	110	223.52	208.60	41.40	41.40	41.60	41.47	91.15	91.10	91.59	
N15	0.0%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	9.28	110	215.44	201.50	41.40	41.50	41.80	41.57	87.49	88.84	88.41	
N16	0.7%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	9.28	320	219.74	198.90	41.50	41.60	41.60	41.57	81.66	81.68	81.03	

k. Ensayo de Cohesión.

Procedimiento.

- Registre toda la información de identificación del espécimen, con numeración, clasificación visual del suelo (Práctica D2488).
- Para luego una vez que se tenga el resultado de la resistencia comprensiva. Nos permitirá obtener los valores numéricos de la cohesión.



Tabla 36

Datos obtenidos para la Cohesión.

Nombre del ensayo	Plumas (% suelo)	Cáscara de huevo (% agua)	Pesos sólidos por muestra (g)	Agua Óptima (%)	Agua (g)	Plumas (g)	Huevos rotos (g)	Carga (Kg)	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D prom (mm)	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	Fv (kg/cm2)	Cohesión (Kg/cm2)
N1	0.7%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	9.28	250	224.59	202.50	41.30	41.50	41.40	41.40	87.90	86.87	86.39	18.60	
N2	0.7%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	0.00	70	225.25	212.20	41.50	41.70	41.50	41.57	94.58	94.70	95.22	5.19	
N3	0.0%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	0.00	110	223.35	207.90	41.40	41.50	41.90	41.60	89.43	89.56	88.39	8.12	
N4	0.0%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	9.28	100	226.57	210.80	41.60	41.50	41.70	41.60	88.32	87.88	88.45	7.39	
N5	0.7%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	0.00	140	220.32	205.00	41.40	42.10	41.80	41.77	87.90	89.30	87.97	10.25	
N6	0.7%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	9.28	120	222.16	207.90	41.50	41.50	41.80	41.60	89.28	91.64	88.05	8.86	
N7	0.0%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	9.28	260	221.53	200.80	41.40	41.70	41.90	41.67	83.54	82.70	84.15	19.10	
N8	0.7%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	9.28	170	213.95	192.40	41.50	41.50	41.70	41.57	80.33	82.04	81.31	12.56	
N10	0.7%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	0.00	80	224.30	146.20	41.90	41.80	41.90	41.87	61.04	64.72	63.30	5.84	
N11	0.0%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	0.00	90	224.90	208.70	41.30	41.50	41.50	41.43	90.04	90.08	89.37	6.70	
N12	0.0%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	9.28	140	225.35	208.70	41.10	41.80	41.70	41.53	89.10	88.29	87.65	10.36	
N13	0.7%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	0.00	140	220.98	204.60	41.50	41.50	41.50	41.50	89.30	89.78	88.83	10.38	
N14	0.7%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	9.28	110	223.52	208.60	41.40	41.40	41.60	41.47	91.15	91.10	91.59	8.17	
N15	0.0%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	9.28	110	215.44	201.50	41.40	41.50	41.80	41.57	87.49	88.84	88.41	8.14	
N16	0.7%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	9.28	320	219.74	198.90	41.50	41.60	41.60	41.57	81.66	81.68	81.03	23.61	

3.9. Cálculo procedimental de datos.

3.9.1. Caracterización del suelo.

a. Procesamiento de los datos.

Tabla 37

Resultados de caracterización suelo natural.

Características	Resultados
Peso específico	2.36 g/cm ³
Peso volumen seca	1.77 g/cm ³
Peso volumen saturado	2.03 g/cm ³
Contenido	16.00 %
Porosidad	33.00 %
Relación de Vacíos	49.00 %

Tabla 38

Resultados de Humedad natural.

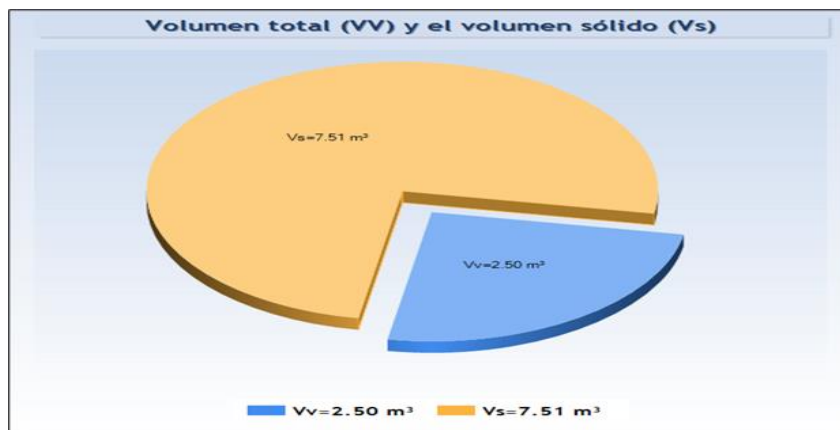




Figura 45

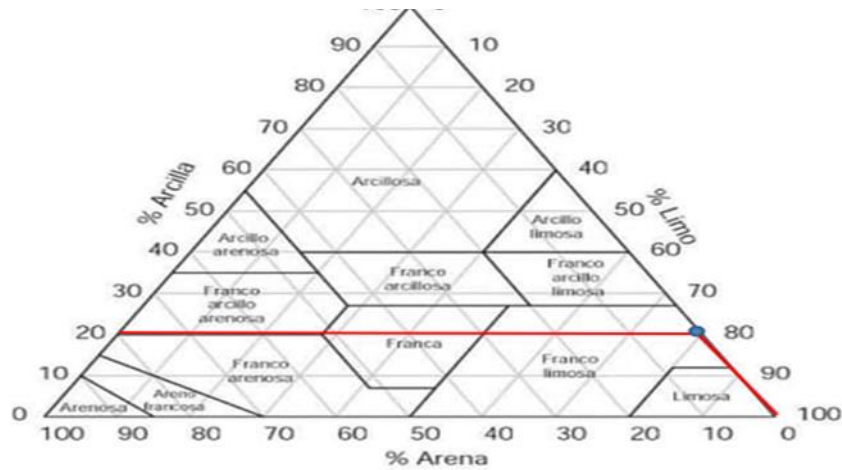
Determinación del porcentaje de volúmenes.

HUMEDAD DE MUESTRA		
Muestra	N°	1
Recipiente	N°	PN16
Peso del recipiente	(g)	36.88
Peso de recipiente + Suelo húmedo	(g)	165.88
Peso de recipiente + Suelo seco	(g)	147.88
Peso de agua	(g)	18.00
Peso suelo seco	(g)	111.00
Contenido de humedad	(%)	16.22

Nota: Porcentaje de Humedad Natural: 16:22%.

Figura 46

Triangulo textural de suelos



3.9.2. Determinación de Contenido de Humedad.

a. Procesamiento de los datos.

- El peso del agua: Surge de la diferencia entre el peso del suelo húmedo y el peso del suelo seco.
- Contenido de humedad: Se utiliza esta fórmula:

$$W = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

Donde:

W = Contenido de Humedad (%).

W_w = Peso del Agua (gr).



W_s = Peso del Materia. (gr).

- Resultado de los datos procesados:

Tabla 39

Resultados de contenido de humedad SN.



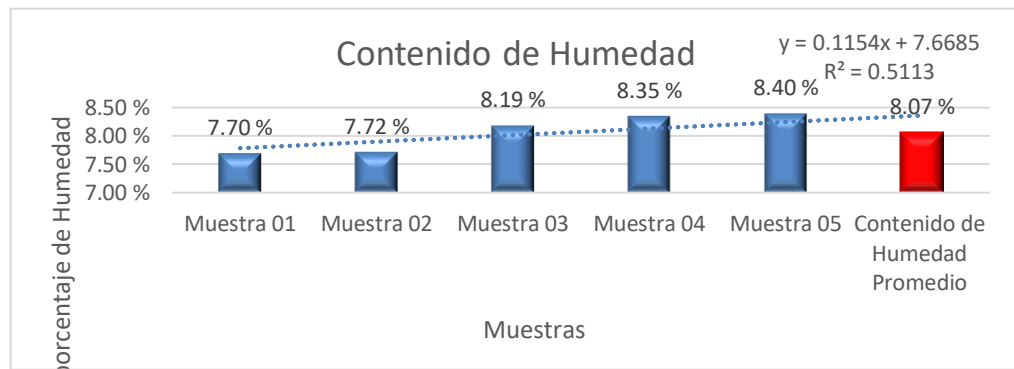
 Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil 					
Título de Tesis:	"Efecto de incorporación de desperdicio avícola en las propiedades físicas y mecánicas, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco-2022"				
Ensayo:	Determinación del Contenido de Humedad del Suelo Natural				
Ubicación:	Calle Ciro Alegría, Km 00 + 310				
Responsables:	Luwi Gilbert MENDOZA GONZALES Fredy Americo MENDOZA VILLALOBOS				
Descripción de la Muestra:	Se utilizó suelo limo-arcilloso de subrasante Km 00+410				
Fecha de ensayo:	25/05/2022				
MTC E 108, BASADO EN LA Norma ASTM D-2016					
Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04	Muestra 05
Peso de recipiente (gr)	36.88	36.50	35.68	36.10	36.20
Peso de recipiente+ Muestra húmeda (gr)	165.88	165.56	164.98	166.10	166.20
Peso de recipiente+ Muestra seca (gr)	147.88	147.47	146.82	147.12	146.33
Peso del agua (gr)	8.55	8.57	9.10	9.27	9.25
Peso de muestra seca (gr)	111.00	110.97	111.14	111.02	110.13
Contenido de Humedad (%)	7.70 %	7.72 %	8.19 %	8.35 %	8.40 %
Contenido de Humedad Promedio	8.07 %				

Nota: De acuerdo con el procesamiento de datos de 5 muestras, el contenido de humedad natural del suelo ensayado promedio se definió como 8.07 % con promedio de cada uno.

- Análisis de los ensayos.

Figura 47

Gráfico del porcentaje de contenido de humedad natural del suelo.



determinar el contenido de humedad promedio del suelo natural.

3.9.3. Análisis granulométrico por tamizado.

a. Procesamiento de los ensayos

- Porcentaje Retenido: Mediante esta ecuación se determina el porcentaje retenido en cada tamiz:

$$\% \text{Retenido} = \frac{TPeso \text{ Retenido en el tamiz}}{Peso \text{ Total}} * 100\%$$



- Porcentaje Retenido Acumulado: El porcentaje total de las sumas retenidas en cada tamiz se define de la siguiente manera:

$$\%Retenido\ Acumulado = S \sum \%Retenido\ en\ los\ tamices\ anteriores$$

- Porcentaje que Pasa: Agregar la cantidad (en %) del material muy fino que pasa, acumulativamente del 100% a cada tamiz, utilizando la siguiente ecuación:

$$\%Pasa = 100\% - \%Retenido\ Acumulado$$

- Porcentaje de Error: Se utilizó el estándar de prueba para determinar con la siguiente ecuación:

$$\%Error = \frac{(PMS - \sum Peso\ Retenido)}{PMS}$$

Donde:

PMS = Peso de la muestra Seca.

\(\sum\) Peso Retenido = El peso total retenido en los tamices y pérdidas de fondo.

- Coeficiente de Uniformidad (Cu): La uniformidad y variación de la cantidad de partículas del suelo se investigará usando la siguiente relación:

$$Cu = \frac{D60}{D10}$$

Donde:

D60 = El tamaño del orificio por el que pasa el 60% de la muestra.

D10 = El tamaño del orificio a través del cual pasa el 10% de la muestra.

- Coeficiente de Concavidad (Cc): Nos proporciona información sobre la clasificación del suelo y determina si está bien o mal clasificado, con la siguiente relación:

$$Cc = D230 / \left(\frac{D10}{D60} \right)$$

Donde:

D60 = El tamaño del orificio por el que pasa el 60% de la muestra.

D10 = El tamaño del orificio a través del cual pasa el 10% de la muestra.

D30 = El tamaño de orificio por el cual pasa el 30% de la muestra.

Se llevaron a cabo las pruebas según las directrices establecidas en el "Manual de Ensayos de Materiales" publicado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en el año 2016.

- Resultado de los datos procesados:

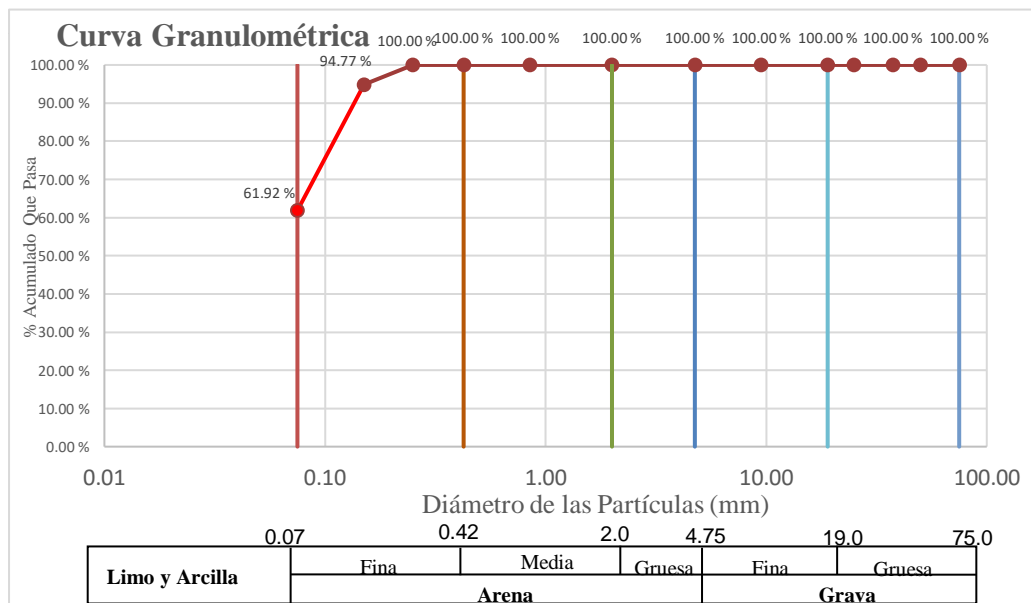
Tabla 40

Resultados de análisis granulométrico.

Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil					
Título de Tesis:	"Efecto de incorporación de desperdicio avícola en las propiedades físicas y mecánicas, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco-2022"				
Ensayo:	Análisis Granulométrico del Suelo por Tamizado				
Ubicación:	Calle Ciro Alegría, Km 00 + 310				
Responsables:	Luwi Gilbert MENDOZA GONZALES Fredy Americo MENDOZA VILLALOBOS				
Descripción de la Muestra:	Suelo Limo-Arcilloso del Km 00+410				
Fecha de ensayo:	25/05/2022				
MTC E 107- ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELO POR TAMIZADO					
Peso de Muestra Seca:	1875 gr.				
Peso de Muestra Lavada:	1875 gr.				
Perdida por Lavado:	0 gr.				
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr.)	% Retenido	Acumulado	
				% Retenido	% Pasa
3"	75.000	0.000	0.00 %	0.00 %	100.00
2"	50.800	0.000	0.00 %	0.00 %	100.00
1 1/2"	38.100	0.000	0.00 %	0.00 %	100.00
1"	25.400	0.000	0.00 %	0.00 %	100.00
3/4"	19.000	0.000	0.00 %	0.00 %	100.00
3/8"	9.500	0.000	0.00 %	0.00 %	100.00
N° - 4	4.760	0.000	0.00 %	0.00 %	100.00
N° - 10	2.000	0.000	0.00 %	0.00 %	100.00
N° - 20	0.840	0.000	0.00 %	0.00 %	100.00
N° - 40	0.425	0.000	0.00 %	0.00 %	100.00
N° - 60	0.250	0.000	0.00 %	0.00 %	100.00
N° - 100	0.106	98.000	5.23 %	5.23 %	94.77
N° - 200	0.075	616.000	32.85 %	38.08 %	61.92
Fondo		1160.000	61.87 %	99.95 %	
Perdida por Lavado		0.000	0.00 %	99.95 %	
Parcial Fondo + Perdida por Lavado		1160.000	61.87 %		
TOTAL		1874.000	99.95 %	99.95 %	
Tamaño Máximo Absoluto:	3/4"			Error:	0.053 %
Tamaño Máximo Normal:	3/8"				
Cu =	2.87				
Cc =	0.81				

- Análisis de los ensayos.

Tabla 41





Nota: El diagrama muestra las aberturas de los tamices en milímetros y el porcentaje de material que pasa por cada tamiz en orden ascendente. A partir de esto, podemos ubicar los puntos de la curva granulométrica obtenida en este experimento, la cual indica la presencia de material muy fino con características limosas y arcillosas en el suelo.

Según la curva granulométrica obtenida, podemos afirmar que el suelo analizado en la ubicación especificada aporta la mayor cantidad de material que pasa la malla #200, lo que representa el porcentaje más significativo del total, que es del 61,92%, como se puede ver en el gráfico presentado.

A partir de la curva granulométrica, se pueden identificar los valores de D60, D30 y D10, lo que permite calcular los coeficientes de uniformidad y de curvatura, tal como se explicará a continuación:

Tabla 42

Resultados de coeficientes uniformidad y de curvatura.

D10	(mm)	0.03
D30	(mm)	0.04
D60	(mm)	0.07
Cu = D60/D10		2.87
Cc = D30 ² /(D10*D60)		0.81

3.9.4. Determinación del Limite Liquido.

a. Procesamiento de los ensayos

- Determinación del contenido de Humedad: Al realizar la prueba en la Cuchara Casagrande, los datos fueron procesados utilizando esta fórmula:

$$W = \frac{\text{Peso del Agua}}{\text{Peso de Suelo Seco}} * 100 = \frac{PMH - PMS}{PMS - PR} * 100$$

Donde:

W = Contenido de Humedad (%).

PMH = Peso de muestra húmeda más recipiente (gr).

PMS = Peso de muestra secada en horno más recipiente (gr).


PR = Peso de recipiente (gr).

La gráfica muestra el porcentaje de humedad en la muestra en el eje vertical y el número de golpes en el eje horizontal. Se determina el porcentaje de humedad después de 25 golpes al intersecar la curva con la línea de pendiente.

- Resultado de los datos procesados:

Tabla 43

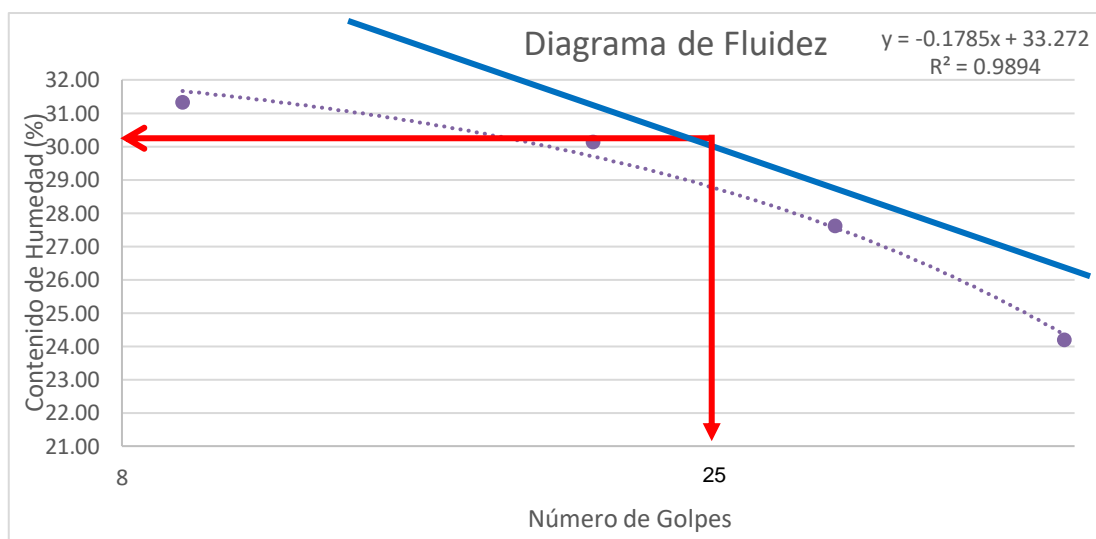
Resultado de Limite Líquido

 Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil				
Título de Tesis:	"Efecto de incorporación de desperdicio avícola en las propiedades físicas y mecánicas, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegria, San Sebastián, Cusco-2022"			
Ensayo:	Determinacion del Limite Liquido del Suelo Natural			
Ubicación:	Calle Ciro Alegria, Km 00 + 310			
Responsables:	Luwi Gilbert MENDOZA GONZALES Fredy Americo MENDOZA VILLALOBOS			
Descripcion de la Muestra:	Se usa material Limo-arcilloso que pasa la malla #40			
Fecha de ensayo:	26/05/2022			
MTC E 110. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO (LL) DE LOS SUELOS				
Descripcion	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04
Denominacion de recipiente	N1	N2	N3	N4
Peso de Suelo Humedo+ recipiente Metalico (gr)	67.80	65.70	68.70	73.50
Peso Suelo Seco + Recipiente Metalico (gr)	63.00	61.00	63.00	67.40
Peso Recipiente Metalico (gr)	46.30	45.60	46.40	45.90
Peso Suelo Seco (gr)	16.70	15.40	16.60	21.50
Peso de Agua (gr)	4.80	4.70	5.70	6.10
Contenido de Humedad (%)	28.74 %	30.52 %	34.34 %	28.37 %
Numero de Golpes (N)	50	32	20	9
Limite Liquido	30.30 %			

- Análisis de los ensayos.

Figura 48

Gráfico resultante de límite líquido.

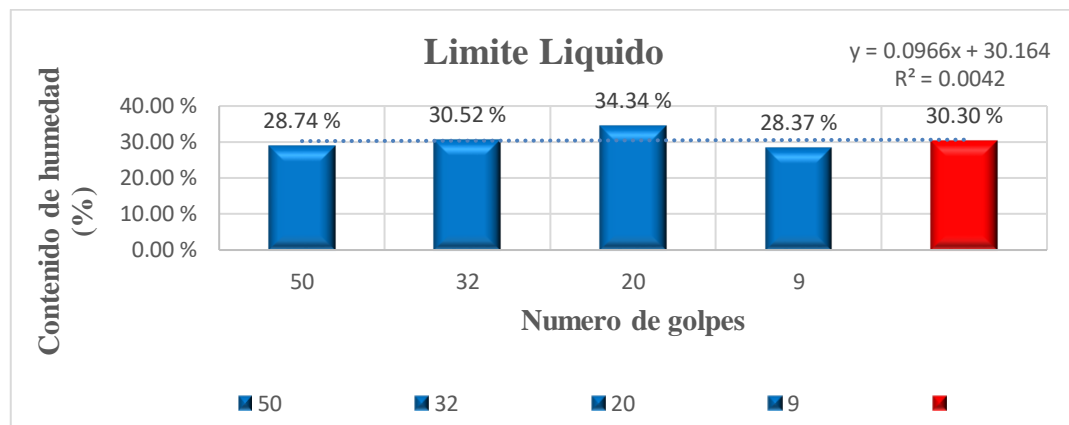




Nota: Dado que la prueba pudo determinar que el contenido de humedad del suelo natural es de 30,30%, dicho porcentaje se obtuvo a partir de 4 muestras significativas, con tendencia a que disminuya con la adición de desperdicios avícolas.

Figura 49

Cuadro compartido del ensayo.



3.9.5. Determinación de Límite Plástico e Índice de Plasticidad

a. Procesamiento de los datos.

- Contenido de Humedad: Se determinará con esta fórmula.

$$W = \frac{\text{Peso del Agua}}{\text{Peso de Suelo Seco}} * 100 = \frac{PMH - PMS}{PMS - PR} * 100$$

Donde:

W = Contenido de Humedad (%).

PMH = Peso muestra húmeda más recipiente (gr).

PMS = Peso muestra secada en horno más recipiente (gr).

PR = Peso de recipiente (gr).

Tomando como resultado el contenido de humedad promedio de ambas muestras, para cada experimento.

- Índice de Plasticidad: El índice de plasticidad será la diferencia entre el Límite Líquido (LL) y el Límite Plástico (LP). Este resultado está sujeto a aceptabilidad según las normas técnicas peruanas.

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP = Índice de Plasticidad.

LL = Límite Líquido.

LP = Límite Plástico.





Las pruebas se realizaron en base a la E 111, “Manual de Pruebas de Materiales” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016).

- Resultado de los datos procesados:

Tabla 44

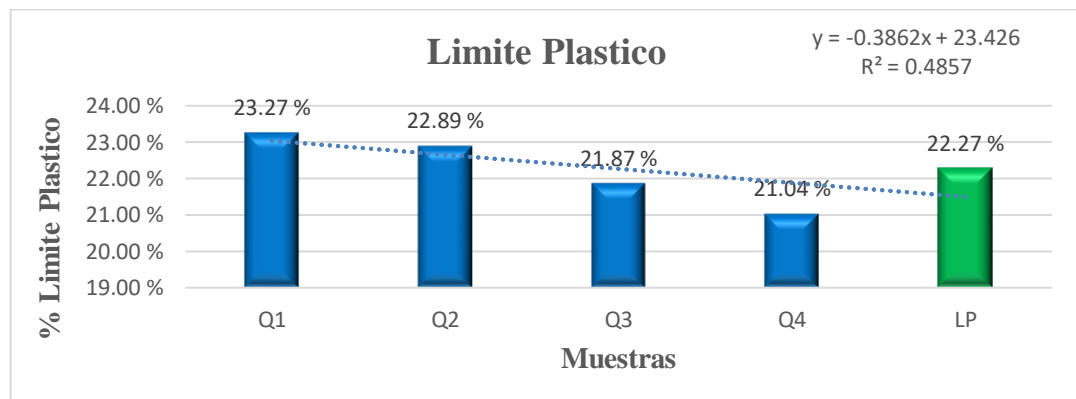
Resultado Limite Plástico.

 Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil				
Titulo de Tesis:	"Efecto de incorporación de desperdicio avícola en las propiedades físicas y mecánicas, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría , San Sebastián, Cusco-2022"			
Ensayo:	Determinación del Limite Plastico e indice de Plasticidad del Suelo Natural			
Ubicación:	Calle Ciro Alegria , Km 00 + 310			
Responsables:	Luwi Gilbert MENDOZA GONZALES Fredy Americo MENDOZA VILLALOBOS			
Descripcion de la Muestra:	Suelo Limo-Arcillosa que pasa por la malla #40			
Fecha de ensayo:	25/05/2022			
MTC E 111. DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO (LP) DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (IP)				
Descripcion	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04
Denominacion de recipiente	Q1	Q2	Q3	Q4
Peso de Suelo Humedo+ Recipiente Metalico (gr)	17.23	17.53	18.2	17.6
Peso Suelo Seco + Recipiente Metalico (gr)	16.02	16.28	16.75	16.3
Peso Recipiente Metalico (gr)	10.82	10.82	10.12	10.12
Peso Suelo Seco (gr)	5.2	5.46	6.63	6.18
Peso de Agua (gr)	1.21	1.25	1.45	1.3
Contenido de Humedad (%)	23.27 %	22.89 %	21.87 %	21.04 %
Limite Plastico	22.27 %			
Limite Liquido	30.30 %			
Limite Plastico	22.27 %			
Indice de Plasticidad	8.03 %			

- Análisis de los Ensayos.

Figura 50

Cuadro comparativo de muestras.

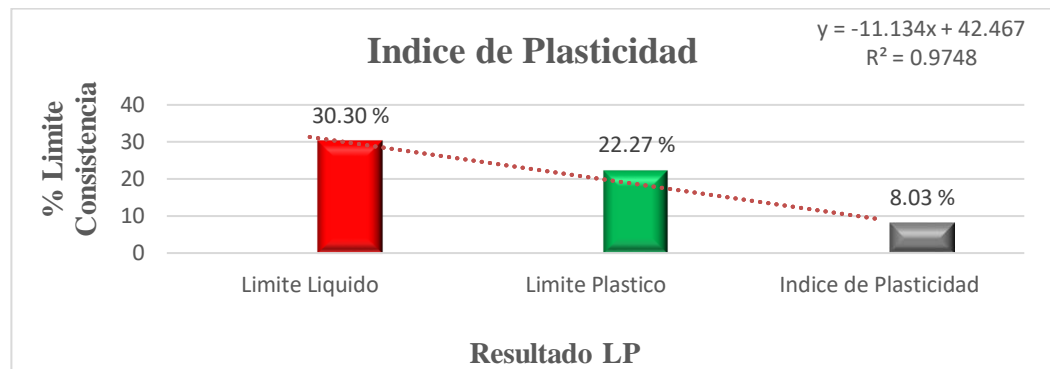


Nota: Se tiene en cuenta que podemos observar la tendencia del límite plástico a aumentar a medida que aumenta el aditivo.



Figura 51

Resultados del ensayo de IP.



Nota. El índice de plasticidad está en un nivel aceptable, con tendencia a que disminuya con aditivos.

3.9.6. Clasificación de los suelos.

a. Procesamiento de los ensayos

Para identificar el tipo de suelo obtenido en las calicatas, se aplicaron dos técnicas: SUCS y AASHTO, ambas requieren datos sobre granulometría, límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad. En el método AASHTO, se necesita el índice de grupo (IG), que es apropiado para evaluar los suelos de la sub-rasante.

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(PI - 10)$$

Donde:

F = % pasado por tamiz Nro. 200

LL = Límite líquido

PI = Índice de plasticidad.

Esta ecuación demuestra algunas de las reglas que se establecen a continuación:

- Si la ecuación anterior da un valor negativo para IG, se tomará como 0.
- El índice de grupo calculado se redondea al entero más cercano.
- El extremo superior no está en la lista del grupo.
- El índice de grupo de tierra para los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3 es siempre 0.
- Al calcular el índice de grupo para terrenos pertenecientes a los grupos A-2-6 y A-2-7, se utiliza el índice de grupo parcial para PI.

$$IG = 0.01(F - 15)(PI - 10)$$



- El método de índice de grupo nos permite determinar si el suelo de la subrasante es muy malo o excelente dentro de los parámetros de 0 a 20, conforme clasificación. (AASHTO, 2014)

Por el método de AASHTO.

Tabla 45

Clasificación de suelos para suelo natural.

Datos para la clasificación	
Granulometría	Límite de Consistencia
% que pasa el tamiz N° 10 = 100.00%	LL = 30.30 %
% que pasa el tamiz N° 40= 100.00 %	LP=22.27 %
% que pasa el tamiz N° 200 = 61.92 %	IP = 8.03 %

Nota. La siguiente tabla muestra los valores correspondientes a los materiales clasificados dentro del rango A-4, A-5 y A-6, según la metodología AASHTO utilizada para la clasificación de los suelos.

Por el método SUCS.

Tabla 46

Clasificación para suelo natural- SUCS.

DATOS PARA LA CLASIFICACION	
Granulometría	Límite de Consistencia
% que pasa el tamiz N° 200 =61.92 %	LL = 30.30 %
	LP = 22.27 %
	IP = 8.03 %

Nota. El sistema de clasificación SUCS utiliza un prefijo para indicar el material predominante en la muestra y un sufijo para describir las propiedades más específicas del suelo. En el caso de los materiales finos, se utiliza el sufijo para describir las propiedades plásticas del suelo. Este método se utiliza para clasificar los suelos según su composición y características.

b. Diagrama del Ensayo

- Clasificación de suelo por el método AASTHO



Tabla 47

Datos de calificación del suelo natural.

Datos para la clasificación	
Granulometría	Límite de Consistencia
% que pasa el tamiz N° 10 = 100.00%	LL = 30.30 %
% que pasa el tamiz N° 40 = 100.00 %	LP = 22.27 %
% que pasa el tamiz N° 200 = 61.92 %	IP = 8.03 %

Figura 52

Gráfico de clasificación – AAHSTO.

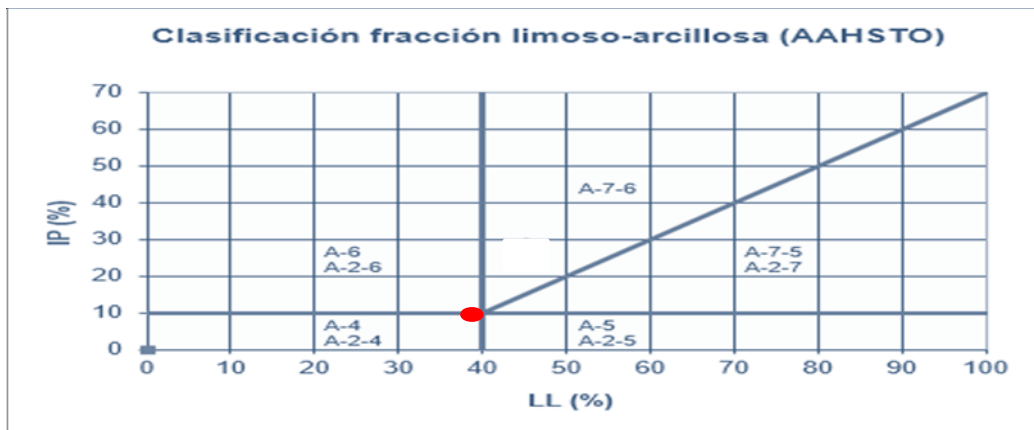


Figura 53

Suelo clasificado

Muestra	SN
Clasificación	A-4-6 (4)

- Clasificación de suelo por el método SUCS

Figura 54

Clasificación del suelo por SUCS.

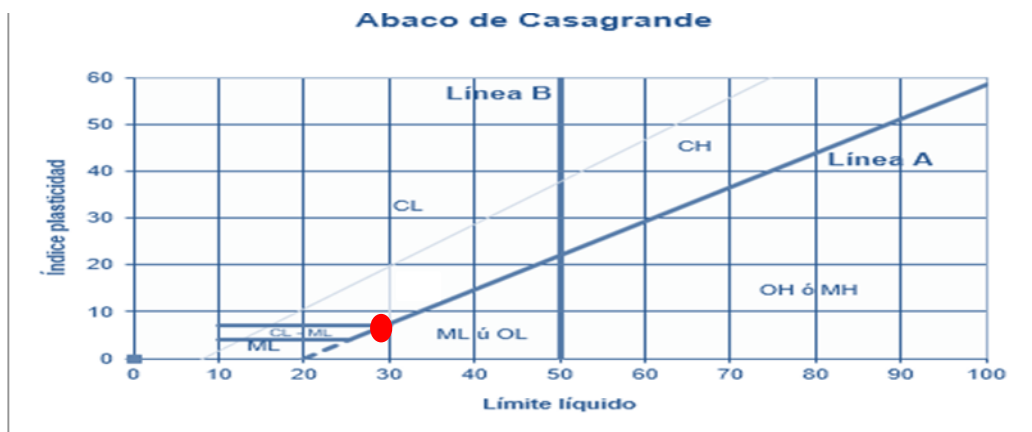




Tabla 48

Gráfico de clasificación -SUCS.

DATOS PARA LA CLASIFICACION	
Granulometría	Límite de Consistencia
% que pasa el tamiz N° 200 = 61.92	LL = 30.30 %
% , por lo que se considera como un suelo fino	LP=22.27 %
	IP = 8.03 %

Tabla 49

Gráfico de clasificación -SUCS.

CLASIFICACIÓN DEL SUELO NATURAL
Limo-Arcilloso de baja plasticidad (ML-OL)

- Análisis del Ensayo.

Las muestras extraídas de la calle *Ciro Alegría*, distrito de *San Sebastián-Cusco*, según la clasificación del suelo, por el método *AASHTO*, ensayado en un suelo limo arcilloso, con límite líquido alto ubicándose en el grupo “*A-4-6*”, con un *GI=4*, considerándose como un suelo malo.

Del mismo modo, según clasificación *SUCS*, se encuentra en el grupo de limos de baja compresibilidad “*ML-OL*” con relación al suelo natural y todas sus variantes.

3.9.7. Ensayo de Proctor Modificado.

a. Procesamiento de los Ensayos

- Contenido de Humedad: El contenido de humedad se determinará para cada porcentaje de agua propuesto en los ensayos, bajo la siguiente fórmula:

$$W = \frac{\text{Peso del Agua}}{\text{Peso de Suelo Seco}} * 100 = \frac{PMH - PMS}{PMS - PR} * 100$$

Donde:

W = Contenido de Humedad (%).

PMH = Peso muestra húmeda más recipiente (*gr*).

PMS = Peso muestra secada en horno más recipiente (*gr*).

PR = Peso recipiente (*gr*).

- Densidad Húmeda: Debe determinar la densidad de las muestras antes de que se sequen en estado húmedo, utilizando la siguiente fórmula:

$$\rho_m = \left(\frac{1}{VM}\right) * PMH$$

Donde:

PMH = Peso Muestra Húmeda (*gr*).

VM = Volumen Molde (*cm3*).



$\rho_m = \text{Densidad Húmeda (gr/cm}^3\text{)}$.

- Densidad Seca:

$$\rho_d = \left(\frac{100 \cdot \rho_m}{100 + W} \right)$$

Donde:

$\rho_m = \text{Densidad Húmeda (gr/cm}^3\text{)}$.

$W = \text{Contenido humedad (\%)}.$

$\rho_d = \text{Densidad Seca (gr/cm}^3\text{)}$.



Las densidades secas estarán ordenadas y la humedad de cada una, como corte, nos permitirá tener una curva completa de 6 grados, con lo cual podremos determinar la máxima densidad seca y el mejor contenido de humedad.

Las pruebas se realizaron en base al “Manual de Pruebas de Materiales” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones 2016 (MTC E 115).

- Resultado de los datos procesados:

Tabla 50

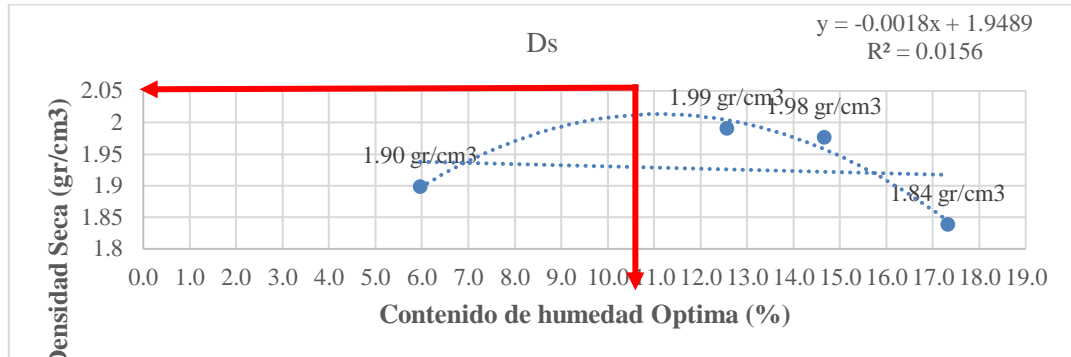
Resultados del Proctor Modificado del suelo natural

		Universidad Andina del Cusco													
		Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil													
Título de Tesis:		"Efecto de incorporación de desperdicio avícola en las propiedades físicas y mecánicas, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco-2022"													
Ensayo:		Determinación del Contenido de Humedad del Suelo Natural													
Ubicación:		Calle Ciro Alegría, Km 00 + 310													
Responsables:		Luwi Gilbert MENDOZA GONZALES Fredy Americo MENDOZA VILLALOBOS													
Descripción de la Muestra:		Suelo Limo-Arcilloso de subrasante													
Fecha de ensayo:		27/05/2022													
MTC E 115 - COMPACTACIÓN DE SUELO EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO)															
Diámetro del Molde:		10.16		cm											
Altura del Molde:		11.65		cm											
Volumen del Molde:		951.07		cm ³											
Método:		C (4")													
Capas:		5		und											
Golpe por Carga:		25		und											
Ensayo															
Determinación		No	1		2		3		4						
Peso del Molde y Muestra		gr.	5676		5894		5918		5814						
Peso del Molde		gr.	3763		3763		3763		3763						
Peso de la Muestra Compacta		gr.	1913		2131		2155		2051						
Densidad Humedad		gr/cc.	2.011		2.241		2.266		2.157						
Densidad Seca		gr/cc.	1.898		1.991		1.976		1.838						
Tarro		No	1a	1b	1c	2a	2b	2c	3a	3b	3c	4a	4b	4c	
Peso del Tarro		gr.	11.4	11.8	21.5	21.5	21.9	12.1	21.5	21.3	21.5	20.5	21.2	21.5	
Peso del T. + Suelo Humedo		gr.	90.6	83.7	152.1	105.3	107.6	70.3	88.1	113.5	108.3	101.8	110.2	106	
Peso del T. + Suelo Seco		gr.	86.2	79.8	144.4	95.6	98.1	64	79.6	101.7	97.2	89.7	97.2	93.5	
Peso del Agua		gr.	4.4	3.9	7.7	9.7	9.5	6.3	8.5	11.8	11.1	12.1	13	12.5	
Peso del Suelo Seco		gr.	74.8	68	122.9	74.1	76.2	51.9	58.1	80.4	75.7	69.2	76	72	
Contenido de Humedad		%	5.88	5.74	6.27	13.09	12.47	12.14	14.63	14.68	14.66	17.49	17.11	17.36	
Contenido de Humedad Promedio		%	5.96	Desv.Est.	0.274	12.57	Desv.Est.	0.483	14.66	Desv.Est.	0.024	17.32	Desv.Est.	0.194	
Humedad Óptima(%)		10.4													
Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)		2.01													

- Análisis de los ensayos.

Figura 55

Gráfico de la curva de densidad seca máxima



Nota: La curva syngraph es una curva logarítmica recta que se basa en datos de la máxima densidad seca que alcanza el suelo natural adicionado con diferentes porcentajes de agua, por lo que podemos determinar el mejor porcentaje para doblar.

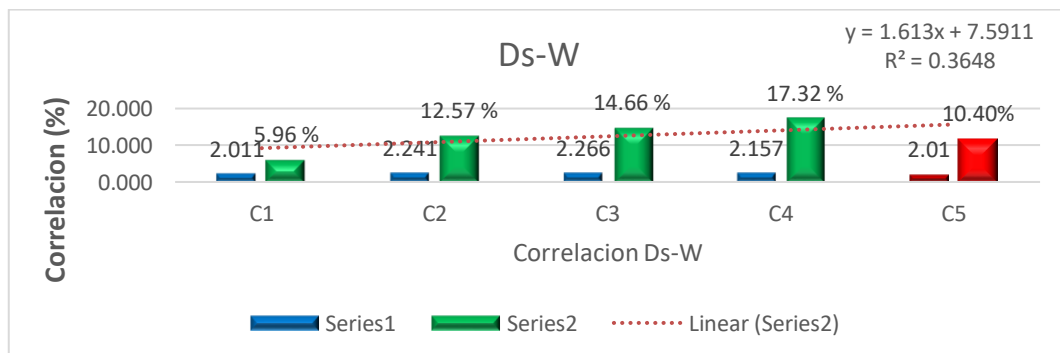
La curva de compactación es una representación gráfica en forma de línea logarítmica obtenida a partir de los datos de la densidad seca máxima que se alcanza al compactar el suelo natural con diferentes porcentajes de agua. Esta curva nos permite determinar el porcentaje óptimo de humedad mediante la proyección de su línea de tendencia.

En el presente estudio se utilizó el método A Proctor Modificado, ya que el suelo analizado contenía menos del 20% de material que no pasaba la malla No. 4. Se siguieron los procedimientos del Método A, que incluye la compactación en 5 capas con 25 golpes cada una y un diámetro de 4 pulgadas, según lo establecido en el Manual de Ensayos del MTC E 115.

La densidad seca máxima del suelo en su estado natural es de 2.01 gr/cm³, mientras que su contenido de humedad óptimo es del 10.40%.

Figura 56

Correlación de H.O y DSM





3.9.8. Ensayo de CBR mediante el PDC.

a. Procesamiento de datos. ASTM D7263.

- Contenido de humedad:

$$W = \frac{\text{Peso del Agua}}{\text{Peso de Suelo Seco}} * 100 = \frac{PMH - PMS}{PMS - PR} * 100$$

Donde:

W = Contenido de Humedad (%).

PMH = Peso muestra húmeda más recipiente (gr).

PMS = Peso muestra secada en horno más recipiente (gr).

PR = Peso recipiente (gr).

- Densidad Húmeda:

$$\rho_m = \left(\frac{1}{VM}\right) * PMH$$

Donde:

ρ_m = Densidad Húmeda (gr/cm³).

PMH = Peso Muestra Húmeda (gr).

VM = Volumen Molde (cm³).

- Densidad Seca:

$$\rho_d = \left(\frac{100 * \rho_m}{100 + W}\right)$$

Donde:

ρ_d = Densidad Seca (gr/cm³).

ρ_m = Densidad Húmeda (gr/cm³).

W = Contenido humedad (%).

- CBR con PDC ASTM D6951

$$CBR = \frac{292}{DCPI^{1.12}} \%$$

$DCPI$ = Índice de penetración de cono dinámico en unidades de longitud dividido por golpe.

- Toma de datos: observación del ensayo.

Tabla 51

Resultados del CBR con PDC.

Nombre	Pluma (%)	Cáscara de huevo (%)	Pluma (g)	Cáscara de huevo (g)	Lectura inicial (cm)	L1 (cm)	L2 (cm)	L3 (cm)	L4 (cm)	DCPI (mm)	CBR PDC ASTM D6951 (USACE) (%)
1	0.0	0.0	0	0	13.2	14.3	16.5	18		16.0	13.1
2	0.5	0.0	12.9	0	11	12.4	13.5	14.5	16	11.3	19.4
3	0.9	0.0	26	0	10.6	12.1	13.5	14.5	16	12.3	17.6
4	0.0	1.5	0	42	11.8	14.1	16	17.6	19	18.0	11.5
5	0.0	3.0	0	84	11	12.8	14.7	16.5	18	18.0	11.5
6	0.5	1.5	12.9	42	10.4	11.8	13.2	14.5	16	13.0	16.5

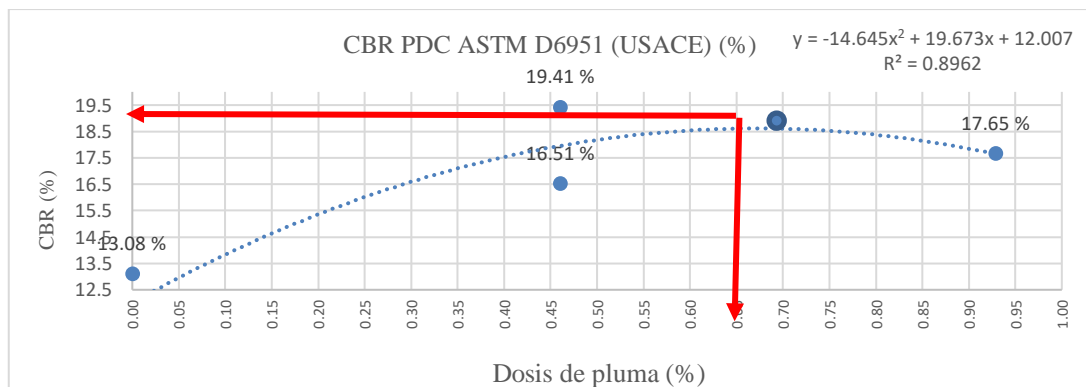


- Análisis del Ensayo.

La adición de plumas en el suelo incrementa el CBR no sumergido, siendo que la máxima resistencia se alcanza para la dosis de 0.65% de plumas en peso seco del suelo es de 18.51% de resistencia o capacidad de soporte. Más allá de esta dosis, el suelo empieza a perder resistencia. El coeficiente de correlación (entre -1 y 1) de los ensayos es muy alto 0.89, por lo que se puede afirmar que los resultados son estadísticamente significativos.

Figura 57

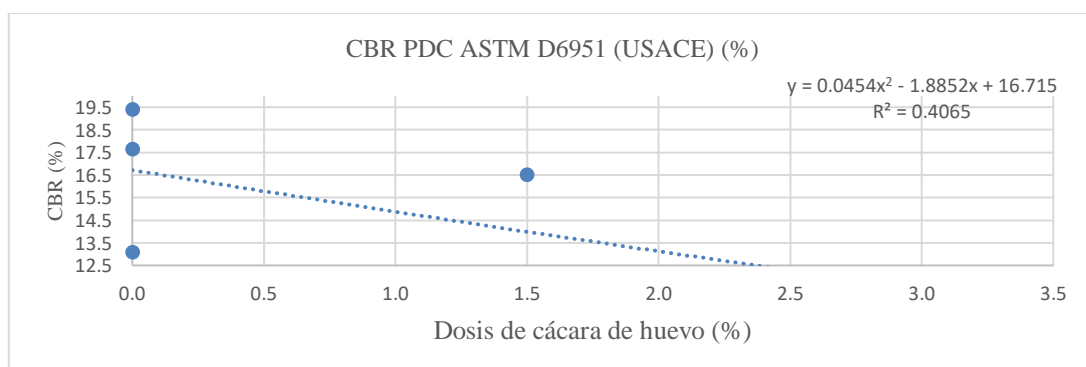
Curva de CBR con PDC con Pluma



Nota: La adición de cáscara de huevo reduce la resistencia CBR del suelo, sin embargo, este resultado es parcialmente válido dado que el coeficiente de correlación es de 0.4 es de mediana fuerza.

Figura 58

Curva de CBR con PDC con cascara de huevo.



Nota: Asimismo, de conformidad a los resultados obtenidos se pudo determinar que, al incorporar, pluma y cascara de huevo se obtienen resultados positivos que mejoran el CBR (16.5%) en comparación con el CBR de suelo natural (13.1%).



3.9.9. Ensayo de Compresión Simple (Fv).

a. Procesamiento de datos. ASTM D2166.

- Resistencia compresiva

$$Fv = \frac{q}{A} \text{ kg/cm}^2$$

Donde:

Fv = Resistencia compresiva.

q = Carga

A = Sección o Área

- Toma de datos: observación del ensayo

Tabla 52

Resultados de resistencia a la compresión simple

Nombre del ensayo	Plumas (% suelo)	Cáscara de huevo (% agua)	Pesos sólidos por muestra (g)	Agua Óptima (%)	Agua (g)	Plumas (g)	Huevos rotos (g)	Carga (Kg)	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D prom (mm)	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	H prom (mm)	Vol (cm3)	Dh (g/cm3)	Sección (cm2)	Fv (kg/cm2)
N1	0.7%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	9.28	250.40	224.59	202.50	41.30	41.50	41.40	41.40	87.90	86.87	86.39	87.05	117.19	1.92	13.46	18.60
N2	0.7%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	0.00	70.40	225.25	212.20	41.50	41.70	41.50	41.57	94.58	94.70	95.22	94.83	128.69	1.75	13.57	5.19
N3	0.0%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	0.00	110.40	223.35	207.90	41.40	41.50	41.90	41.60	89.43	89.56	88.39	89.13	121.14	1.84	13.59	8.12
N4	0.0%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	9.28	100.40	226.57	210.80	41.60	41.50	41.70	41.60	88.32	87.88	88.45	88.22	119.90	1.89	13.59	7.39
N5	0.7%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	0.00	140.40	220.32	205.00	41.40	42.10	41.80	41.77	87.90	89.30	87.97	88.39	121.10	1.82	13.70	10.25
N6	0.7%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	9.28	120.40	222.16	207.90	41.50	41.50	41.80	41.60	89.28	91.64	88.05	89.66	121.86	1.82	13.59	8.86
N7	0.0%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	9.28	260.40	221.53	200.80	41.40	41.70	41.90	41.67	83.54	82.70	84.15	83.46	113.81	1.95	13.64	19.10
N8	0.7%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	9.28	170.40	213.95	192.40	41.50	41.50	41.70	41.57	80.33	82.04	81.31	81.23	110.22	1.94	13.57	12.56
N10	0.7%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	0.00	80.40	224.30	146.20	41.90	41.80	41.90	41.87	61.04	64.72	63.30	63.02	86.76	2.59	13.77	5.84
N11	0.0%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	0.00	90.40	224.90	208.70	41.30	41.50	41.50	41.43	90.04	90.08	89.37	89.83	121.12	1.86	13.48	6.70
N12	0.0%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	9.28	140.40	225.35	208.70	41.10	41.80	41.70	41.53	89.10	88.29	87.65	88.35	119.69	1.88	13.55	10.36
N13	0.7%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	0.00	140.40	220.98	204.60	41.50	41.50	41.50	41.50	89.30	89.78	88.83	89.30	120.80	1.83	13.53	10.38
N14	0.7%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	9.28	110.40	223.52	208.60	41.40	41.40	41.60	41.47	91.15	91.10	91.59	91.28	123.27	1.81	13.50	8.17
N15	0.0%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	9.28	110.40	215.44	201.50	41.40	41.50	41.80	41.57	87.49	88.84	88.41	88.25	119.75	1.80	13.57	8.14
N16	0.7%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	9.28	320.40	219.74	198.90	41.50	41.60	41.60	41.57	81.66	81.68	81.03	81.46	110.54	1.99	13.57	23.61

- Análisis del Ensayo.

➤ Estadística de bondad del ajuste Fv (kg/cm²):

Tabla 53

Estadística de bondad.

Observaciones	15
Suma de los pesos	15
GL	12
R ²	0.282
R ² ajustado	0.162
MEC	24.358
RMSE	4.935
MAPE	35.521
DW	2.420
Cp	3.000
AIC	50.546
SBC	52.670
PC	1.077
Press	435.654
Q ²	-0.071



➤ Análisis de varianza (Fv (kg/cm²)) y Calculado contra el modelo = Media(Y):

Tabla 54

Valor critico de la varianza

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	2	114.632	57.316	2.353	0.137
Error	12	292.293	24.358		
Total, corregido	14	406.925			

Valor critico < Estadístico de prueba (F)

$$0.137 < 2.353$$

H0: Hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula del modelo.

H1: El modelo representa adecuadamente el fenómeno.

Nota: El valor crítico se emplea como punto de referencia para contrastar con el estadístico de prueba durante el proceso de cálculo. Si el estadístico de prueba excede al valor crítico, se rechaza la hipótesis nula del modelo, lo cual indica que los resultados tienen una significancia estadística y que la probabilidad de obtener el resultado observado si la hipótesis nula fuera verdadera es muy reducida.

➤ Análisis Suma de Cuadrados Tipo I (Fv (kg/cm²)):

Tabla 55

Suma de cuadrados

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Plumas (% suelo)	1	8.394	8.394	0.345	0.568
Cáscara de huevo (% agua)	1	106.238	106.238	4.362	0.059

➤ Análisis Suma de Cuadrados Tipo III (Fv (kg/cm²)):

Tabla 56

Suma de cuadrados tipo III

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Plumas (% suelo)	1	16.197	16.197	0.665	0.431
Cáscara de huevo (% agua)	1	106.238	106.238	4.362	0.059

➤ Parámetros del modelo (Fv (kg/cm²)):



Tabla 57

Parámetros de modelo

Fuente	Valor	Error estándar	t	Pr > t	Límite inferior (85%)	Límite superior (85%)
Intercepción	6.324	2.665	2.373	0.035	2.225	10.423
Plumas (% suelo)	310.136	380.326	0.815	0.431	-274.789	895.061
Cáscara de huevo (% agua)	13.666	6.543	2.088	0.059	3.602	23.729

➤ Ecuación del modelo (Fv (kg/cm²)):

$$Fv \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 6.32 + 13.666 * \text{Cáscara de huevo (\% agua)}.$$

➤ Coeficientes estandarizados (Fv (kg/cm²)):

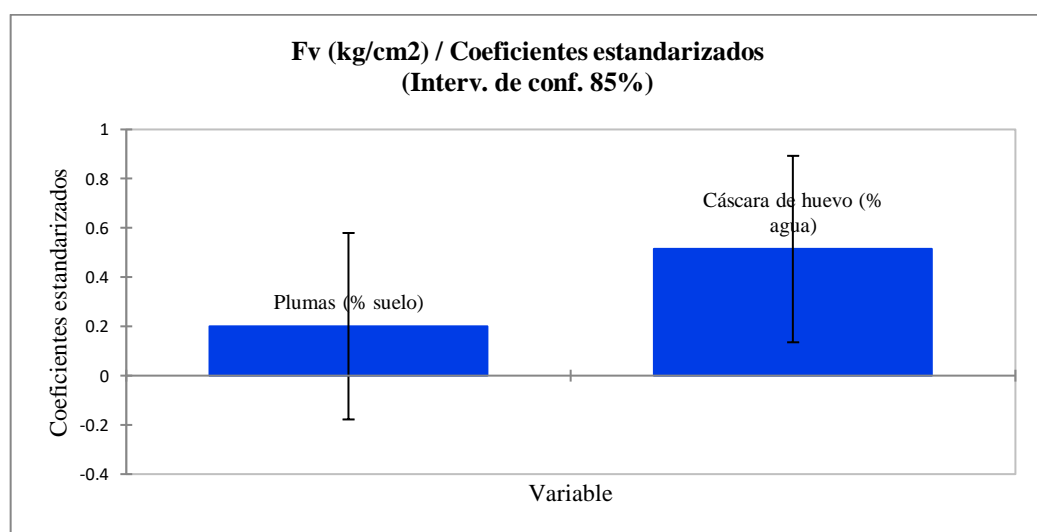
Tabla 58

Los coeficientes estandarizados

Fuente	Valor	Error estándar	t	Pr > t	Límite inferior (85%)	Límite superior (85%)
Plumas (% suelo)	0.201	0.246	0.815	0.431	-0.178	0.579
Cáscara de huevo (% agua)	0.514	0.246	2.088	0.059	0.136	0.893

Figura 59

Comparación de efectos significativos de variables



➤ Predicciones y residuos (Fv (kg/cm²)):



Tabla 59

Predicciones y residuos

Observación	Peso	Plumas (% suelo)	Cáscara de huevo (% agua)	Fv (kg/cm ²)	Pred(Fv (kg/cm ²))	Residuo	Residuo estd.	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	1	0.007	0.400	18.601	13.925	4.677	0.948	2.015	10.826	17.023	5.331	5.726	22.123	12.989
Obs2	1	0.007	0.000	5.188	8.459	-3.271	-0.663	2.196	5.082	11.835	5.402	0.151	16.766	9.266
Obs3	1	0.000	0.000	8.123	6.324	1.798	0.364	2.665	2.225	10.423	5.609	-2.302	14.951	5.584
Obs4	1	0.000	0.400	7.387	11.790	-4.404	-0.892	2.196	8.414	15.167	5.402	3.483	20.098	12.877
Obs5	1	0.007	0.000	10.247	8.459	1.789	0.362	2.196	5.082	11.835	5.402	0.151	16.766	8.017
Obs6	1	0.007	0.400	8.858	13.925	-5.066	-1.027	2.015	10.826	17.023	5.331	5.726	22.123	14.938
Obs7	1	0.000	0.400	19.097	11.790	7.307	1.481	2.196	8.414	15.167	5.402	3.483	20.098	9.987
Obs8	1	0.007	0.400	12.557	13.925	-1.368	-0.277	2.015	10.826	17.023	5.331	5.726	22.123	14.198
Obs9	1	0.007	0.000	5.840	8.459	-2.618	-0.531	2.196	5.082	11.835	5.402	0.151	16.766	9.105
Obs10	1	0.000	0.000	6.705	6.324	0.380	0.077	2.665	2.225	10.423	5.609	-2.302	14.951	6.168
Obs11	1	0.000	0.400	10.363	11.790	-1.427	-0.289	2.196	8.414	15.167	5.402	3.483	20.098	12.143
Obs12	1	0.007	0.000	10.380	8.459	1.921	0.389	2.196	5.082	11.835	5.402	0.151	16.766	7.984
Obs13	1	0.007	0.400	8.175	13.925	-5.750	-1.165	2.015	10.826	17.023	5.331	5.726	22.123	15.075
Obs14	1	0.000	0.400	8.136	11.790	-3.655	-0.741	2.196	8.414	15.167	5.402	3.483	20.098	12.692
Obs15	1	0.007	0.400	23.611	13.925	9.686	1.963	2.015	10.826	17.023	5.331	5.726	22.123	11.987

Figura 60

Predicción y regresión líneas de observaciones.

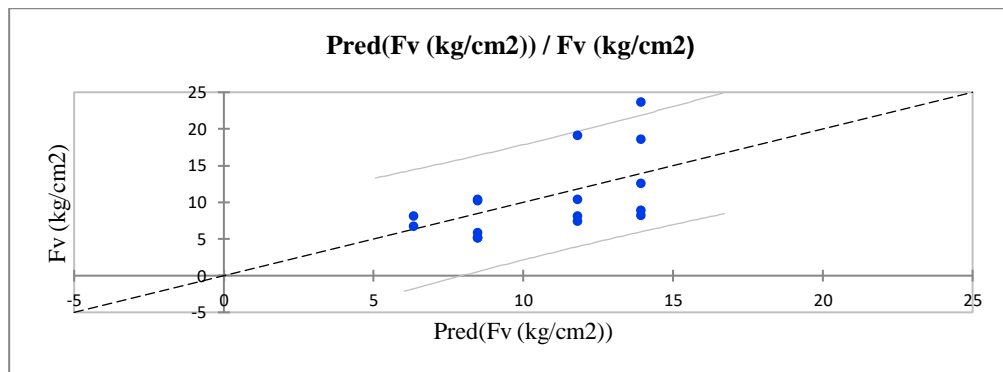
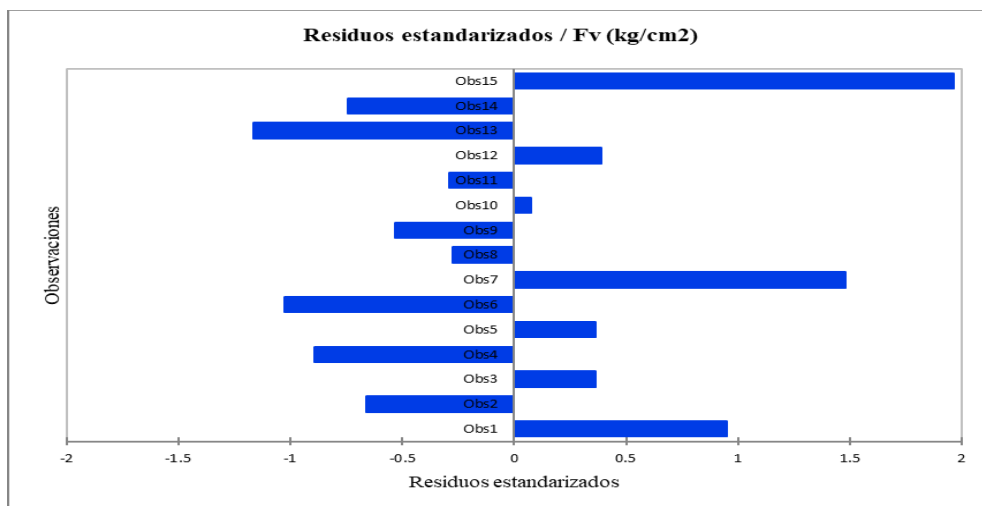


Figura 61

Medida de discrepancia entre los valores observados y predichos en el modelo





➤ Prueba de las hipótesis de Normalidad:

Tabla 60

Prueba sobre la normalidad de los residuos (Shapiro-Wilk, para tratamientos menos de 50). (Fv (kg/cm²))

W	0.932
valor-p (bilateral)	0.293
alfa	0.15

➤ Interpretación de la prueba:

H0: No hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula.

H1: Hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis alternativa.

Dado que el valor p calculado es mayor que la significación alfa = 0,15, no se puede rechazar ninguna hipótesis H0 y se concluye que los datos se ajustan adecuadamente a una distribución normal.

Nota: En tal sentido el valor p se utiliza para comparar con el nivel de significancia en la etapa de cálculo del valor p. Si el valor p es mayor que el nivel de significancia (0.15), no se rechaza la hipótesis nula, esto significa que los resultados son estadísticamente significativos y que la probabilidad de obtener el resultado observado, y si la hipótesis nula fuera verdadera es muy baja.

3.9.10. Ensayo de Densidad Seca.

a. Procesamiento de datos. ASTM D2166.

- Densidad Seca:

$$\rho_d = \left(\frac{100 * \rho_m}{100 + W} \right)$$

Donde:

ρ_d = Densidad Seca (gr/cm³).

ρ_m = Densidad Húmeda (gr/cm³).

W = Contenido humedad (%).

$$D_s = \frac{W_s}{V_t}$$

Donde:

D_s = Densidad seca (gr/cm³).

W_s = Peso seco (gr).

V_t = Volumen total (cm³).

- Toma de datos de los ensayos.



Tabla 61

Resultados de densidad seca.

Nombre del ensayo	Plumas (% suelo)	Cáscara de huevo (% agua)	Peso sólido por muestra (g)	Agua Óptima (%)	Agua (g)	Plumas (g)	Huevos rotos (g)	Carga (Kg)	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D prom (mm)	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	H prom (mm)	Vol (cm3)	Dh (g/cm3)	Sección (cm2)	Ds (g/cm3)
N1	0.7%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	9.28	250.40	224.59	202.50	41.30	41.50	41.40	41.40	87.90	86.87	86.39	87.05	117.19	1.92	13.46	1.73
N2	0.7%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	0.00	70.40	225.25	212.20	41.50	41.70	41.50	41.57	94.58	94.70	95.22	94.83	128.69	1.75	13.57	1.65
N3	0.0%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	0.00	110.40	223.35	207.90	41.40	41.50	41.90	41.60	89.43	89.56	88.39	89.13	121.14	1.84	13.59	1.72
N4	0.0%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	9.28	100.40	226.57	210.80	41.60	41.50	41.70	41.60	88.32	87.88	88.45	88.22	119.90	1.89	13.59	1.76
N5	0.7%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	0.00	140.40	220.32	205.00	41.40	42.10	41.80	41.77	87.90	89.30	87.97	88.39	121.10	1.82	13.70	1.69
N6	0.7%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	9.28	120.40	222.16	207.90	41.50	41.50	41.80	41.60	89.28	91.64	88.05	89.66	121.86	1.82	13.59	1.71
N7	0.0%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	9.28	260.40	221.53	200.80	41.40	41.70	41.90	41.67	83.54	82.70	84.15	83.46	113.81	1.95	13.64	1.76
N8	0.7%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	9.28	170.40	213.95	192.40	41.50	41.50	41.70	41.57	80.33	82.04	81.31	81.23	110.22	1.94	13.57	1.75
N10	0.7%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	0.00	80.40	224.30	146.20	41.90	41.80	41.90	41.87	61.04	64.72	63.30	63.02	86.76	2.59	13.77	1.69
N11	0.0%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	0.00	90.40	224.90	208.70	41.30	41.50	41.50	41.43	90.04	90.08	89.37	89.83	121.12	1.86	13.48	1.72
N12	0.0%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	9.28	140.40	225.35	208.70	41.10	41.80	41.70	41.53	89.10	88.29	87.65	88.35	119.69	1.88	13.55	1.74
N13	0.7%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	0.00	140.40	220.98	204.60	41.50	41.50	41.50	41.50	89.30	89.78	88.83	89.30	120.80	1.83	13.53	1.69
N14	0.7%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	9.28	110.40	223.52	208.60	41.40	41.40	41.60	41.47	91.15	91.10	91.59	91.28	123.27	1.81	13.50	1.69
N15	0.0%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	9.28	110.40	215.44	201.50	41.40	41.50	41.80	41.57	87.49	88.84	88.41	88.25	119.75	1.80	13.57	1.68
N16	0.7%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	9.28	320.40	219.74	198.90	41.50	41.60	41.60	41.57	81.66	81.68	81.03	81.46	110.54	1.99	13.57	1.80

- Análisis del Ensayo.

➤ Estadística de bondad del ajuste (Ds (g/cm3)):

Tabla 62

Resultados de estadística de bondad.

Observaciones	15
Suma de los pesos	15
GL	12
R ²	0.352
R ² ajustado	0.244
MEC	0.001
RMSE	0.034
MAPE	1.263
DW	2.062
Cp	3.000
AIC	-99.034
SBC	-96.910
PC	0.972
Press	0.021
Q ²	0.021

➤ Análisis de varianza (Ds (g/cm3)) y Calculado contra el modelo Y=Media(Y):

Tabla 63

Valor critico de la varianza

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	2	0.007	0.004	3.256	0.074
Error	12	0.014	0.001		
Total, corregido	14	0.021			

Valor critico < Estadístico de prueba (F)



$0.137 < 3.256$.

H0: Hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula del modelo.

H1: El modelo representa adecuadamente el fenómeno.

Nota: El valor crítico se emplea en la etapa de cálculo del estadístico de prueba y se compara con este último. Si el valor del estadístico de prueba es mayor al valor crítico, se rechaza la hipótesis nula, lo cual indica que los resultados son significativos estadísticamente y que la posibilidad de que se haya obtenido el resultado observado si la hipótesis nula fuera verdadera es muy baja.

➤ Análisis Suma de Cuadrados Tipo I (Ds (g/cm³)):

Tabla 64

Análisis de suma de cuadrados

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Plumas (% suelo)	1	0.002	0.002	1.415	0.257
Cáscara de huevo (% gua)	1	0.006	0.006	5.097	0.043

➤ Análisis Suma de Cuadrados Tipo III (Ds (g/cm³)):

Tabla 65

Análisis d suma de cuadrados Tipo III

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Plumas (% suelo)	1	0.001	0.001	0.867	0.370
Cáscara de huevo (% agua)	1	0.006	0.006	5.097	0.043

➤ Parámetros del modelo (Ds (g/cm³)):

Tabla 66

Análisis d suma de cuadrados Tipo III

Fuente	Valor	Error estándar	t	Pr > t	Límite inferior (85%)	Límite superior (85%)
Intercepción	1.704	0.018	93.584	<0.0001	1.676	1.732
Plumas (% suelo)	-2.420	2.599	-0.931	0.370	-6.417	1.576
Cáscara de huevo (% agua)	0.101	0.045	2.258	0.043	0.032	0.170

➤ Ecuación del modelo (Ds (g/cm³)):

$$Ds \text{ (g/cm}^3\text{)} = 1.70 - 0.10 * \text{Cáscara de huevo (\% agua)}.$$

➤ Coeficientes estandarizados (Ds (g/cm³)):



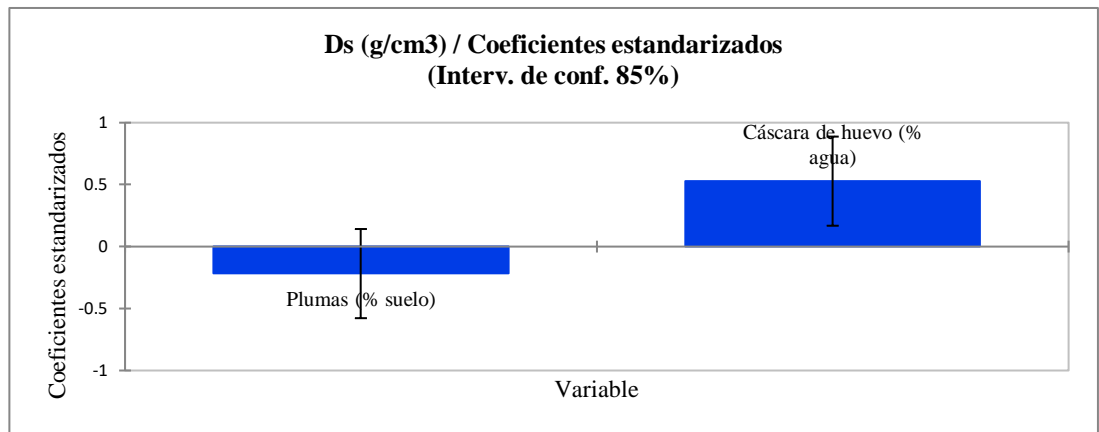
Tabla 67

Coefficientes estandarizados.

Fuente	Valor	Error estándar	t	Pr > t	Límite inferior (85%)	Límite superior (85%)
Plumas (% suelo)	-0.218	0.234	-0.931	0.370	-0.577	0.142
Cáscara de huevo (% agua)	0.528	0.234	2.258	0.043	0.168	0.888

Figura 62

Comparación de efectos significativos de variables



➤ Predicciones y residuos (Ds (g/cm³)):

Tabla 68

Predicciones y residuos

Observación	Peso	Plumas (% suelo)	Cáscara de huevo (% agua)	Ds (g/cm ³)	Pred(Ds (g/cm ³))	Residuo	Residuo estd.	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	1	0.007	0.400	1.728	1.728	0.000	-0.004	0.014	1.707	1.749	0.036	1.672	1.784	1.728
Obs2	1	0.007	0.000	1.649	1.688	-0.039	-1.152	0.015	1.665	1.711	0.037	1.631	1.745	1.697
Obs3	1	0.000	0.000	1.716	1.704	0.012	0.349	0.018	1.676	1.732	0.038	1.645	1.763	1.700
Obs4	1	0.000	0.400	1.758	1.745	0.013	0.394	0.015	1.722	1.768	0.037	1.688	1.802	1.742
Obs5	1	0.007	0.000	1.693	1.688	0.005	0.149	0.015	1.665	1.711	0.037	1.631	1.745	1.687
Obs6	1	0.007	0.400	1.706	1.728	-0.022	-0.655	0.014	1.707	1.749	0.036	1.672	1.784	1.733
Obs7	1	0.000	0.400	1.764	1.745	0.020	0.581	0.015	1.722	1.768	0.037	1.688	1.802	1.740
Obs8	1	0.007	0.400	1.746	1.728	0.017	0.515	0.014	1.707	1.749	0.036	1.672	1.784	1.725
Obs9	1	0.007	0.000	1.685	1.688	-0.003	-0.077	0.015	1.665	1.711	0.037	1.631	1.745	1.688
Obs10	1	0.000	0.000	1.723	1.704	0.019	0.554	0.018	1.676	1.732	0.038	1.645	1.763	1.697
Obs11	1	0.000	0.400	1.744	1.745	-0.001	-0.036	0.015	1.722	1.768	0.037	1.688	1.802	1.745
Obs12	1	0.007	0.000	1.694	1.688	0.006	0.178	0.015	1.665	1.711	0.037	1.631	1.745	1.686
Obs13	1	0.007	0.400	1.692	1.728	-0.036	-1.066	0.014	1.707	1.749	0.036	1.672	1.784	1.735
Obs14	1	0.000	0.400	1.683	1.745	-0.062	-1.843	0.015	1.722	1.768	0.037	1.688	1.802	1.760
Obs15	1	0.007	0.400	1.799	1.728	0.071	2.113	0.014	1.707	1.749	0.036	1.672	1.784	1.714

Figura 63

Predicción y regresión lineal de observaciones

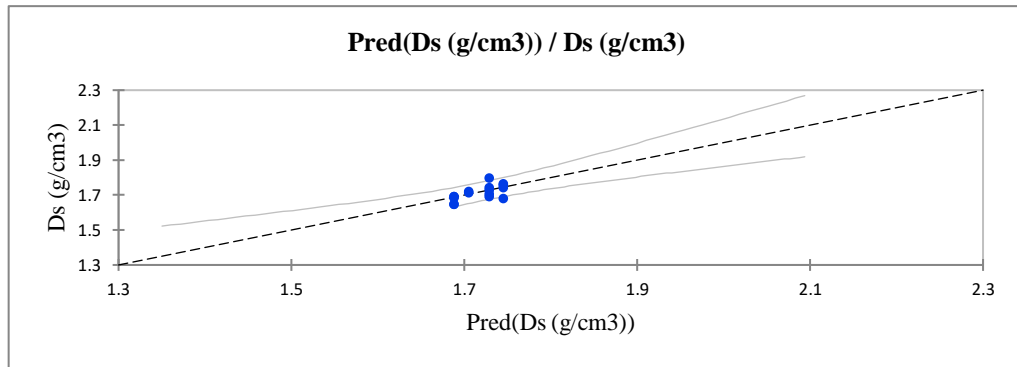
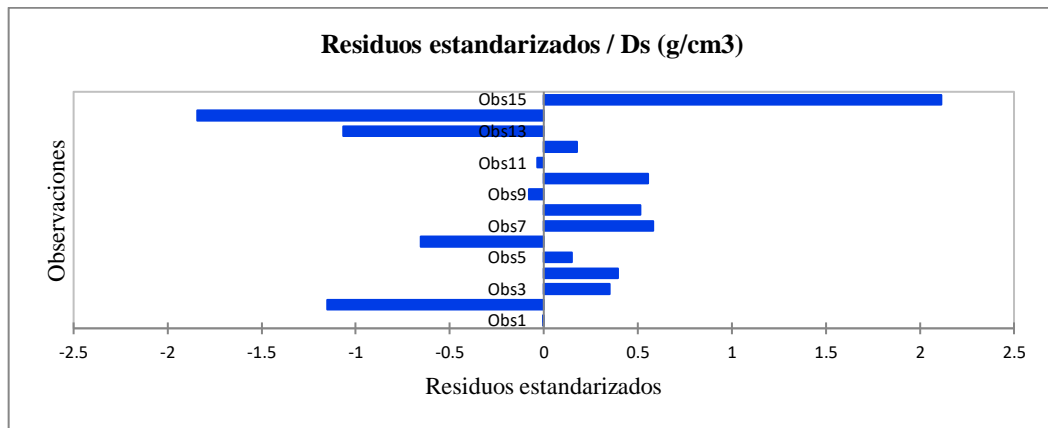


Figura 64

Medida de discrepancia entre los valores observados y predichos en el modelo.



➤ Prueba de las hipótesis:

Prueba sobre la normalidad de los residuos (Shapiro-Wilk, *para tratamientos menos de 50*). (D_s (g/cm^3)):

Tabla 69

Prueba sobre la normalidad de los residuos

W	0.929
valor-p (bilateral)	0.266
alfa	0.15

➤ Interpretación de la prueba:

H_0 : No hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula.

H_1 : Hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis alternativa.

Dado que el valor p calculado es mayor que la significación $\alpha = 0,15$, no se puede rechazar ninguna hipótesis H_0 y se concluye que los datos se ajustan adecuadamente a una distribución normal.



Nota: En tal sentido el valor p se utiliza para comparar con el nivel de significancia en la etapa de cálculo del valor p. Si el valor p es mayor que el nivel de significancia (0.15), no se rechaza la hipótesis nula, esto significa que los resultados son estadísticamente significativos y que la probabilidad de obtener el resultado observado y si la hipótesis nula fuera verdadera es muy baja.

3.9.11. Ensayo de Cohesión.

a. Procesamiento de datos. ASTM D2166.

- Cohesión:

$$C = \frac{1}{2} * fv$$

Donde:

fv = Resistencia ultima a la compresión

C = Cohesión

- Toma de datos: observación del ensayo.

Tabla 70

Resultado de la Cohesión.

Nombre del ensayo	Plumas (% suelo)	Cáscara de huevo (% agua)	Pesos sólidos por muestra (g)	Agua Óptima (%)	Agua (g)	Plumas (g)	Huevos rotos (g)	Carga (Kg)	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D prom (mm)	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	H prom (mm)	Vol (cm3)	Dh (g/cm3)	Sección (cm2)	Fv (kg/cm2)	Cohesión (Kg/cm2)
N1	0.7%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	9.28	250.40	224.59	202.50	41.30	41.50	41.40	41.40	87.90	86.87	86.39	87.05	117.19	1.92	13.46	18.60	9.30
N2	0.7%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	0.00	70.40	225.25	212.20	41.50	41.70	41.50	41.57	94.58	94.70	95.22	94.83	128.69	1.75	13.57	5.19	2.59
N3	0.0%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	0.00	110.40	223.35	207.90	41.40	41.50	41.90	41.60	89.43	89.56	88.39	89.13	121.14	1.84	13.59	8.12	4.06
N4	0.0%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	9.28	100.40	226.57	210.80	41.60	41.50	41.70	41.60	88.32	87.88	88.45	88.22	119.90	1.89	13.59	7.39	3.69
N5	0.7%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	0.00	140.40	220.32	205.00	41.40	42.10	41.80	41.77	87.90	89.30	87.97	88.39	121.10	1.82	13.70	10.25	5.12
N6	0.7%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	9.28	120.40	222.16	207.90	41.50	41.50	41.80	41.60	89.28	91.64	88.05	89.66	121.86	1.82	13.59	8.86	4.43
N7	0.0%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	9.28	260.40	221.53	200.80	41.40	41.70	41.90	41.67	83.54	82.70	84.15	83.46	113.81	1.95	13.64	19.10	9.55
N8	0.7%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	9.28	170.40	213.95	192.40	41.50	41.50	41.70	41.57	80.33	82.04	81.31	81.23	110.22	1.94	13.57	12.56	6.28
N9	0.7%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	9.28	500.40	222.84	200.20	41.20	41.60	41.40	41.40	83.14	82.96	81.98	82.69	111.32	2.00	13.46	37.17	18.59
N10	0.7%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	0.00	80.40	224.30	146.20	41.90	41.80	41.90	41.87	61.04	64.72	63.30	63.02	86.76	2.59	13.77	5.84	2.92
N11	0.0%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	0.00	90.40	224.90	208.70	41.30	41.50	41.50	41.43	90.04	90.08	89.37	89.83	121.12	1.86	13.48	6.70	3.35
N12	0.0%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	9.28	140.40	225.35	208.70	41.10	41.80	41.70	41.53	89.10	88.29	87.65	88.35	119.69	1.88	13.55	10.36	5.18
N13	0.7%	0.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	0.00	140.40	220.98	204.60	41.50	41.50	41.50	41.50	89.30	89.78	88.83	89.30	120.80	1.83	13.53	10.38	5.19
N14	0.7%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	9.28	110.40	223.52	208.60	41.40	41.40	41.60	41.47	91.15	91.10	91.59	91.28	123.27	1.81	13.50	8.17	4.09
N15	0.0%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	0.00	9.28	110.40	215.44	201.50	41.40	41.50	41.80	41.57	87.49	88.84	88.41	88.25	119.75	1.80	13.57	8.14	4.07
N16	0.7%	40.0%	223.00	10.4%	23.19	1.53	9.28	320.40	219.74	198.90	41.50	41.60	41.60	41.57	81.66	81.68	81.03	81.46	110.54	1.99	13.57	23.61	11.81

- Análisis del Ensayo.

➤ Estadísticos de bondad del ajuste (Cohesión (Kg/cm2)):

Tabla 71

Estadística de Bondad de la cohesión.



Observaciones	15
Suma de los pesos	15
GL	12
R ²	0.282
R ² ajustado	0.162
MEC	6.089
RMSE	2.468
MAPE	35.521
DW	2.420
C _p	3.000
AIC	29.751
SBC	31.875
PC	1.077
Press	108.914
Q ²	-0.071

➤ Análisis de varianza (C (Kg/cm²)) y Calculado contra el modelo =Media(Y):

Tabla 72

Valor critico de la varianza

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	2	28.658	14.329	2.353	0.137
Error	12	73.073	6.089		
Total, corregido	14	101.731			

Valor crítico < Estadístico de prueba (F)

$$0.137 < 2.353$$

H0: Hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula del modelo.

H1: El modelo representa adecuadamente el fenómeno.

Nota: El valor crítico se utiliza para comparar con el estadístico de prueba en la etapa de cálculo del estadístico de prueba. Si el estadístico de prueba es mayor que el valor crítico, se rechaza la hipótesis nula. Esto significa que los resultados son estadísticamente significativos y que la probabilidad de obtener el resultado observado si la hipótesis nula fuera verdadera es muy baja.

➤ Análisis Suma de Cuadrados Tipo I (Cohesión (Kg/cm²)):

Tabla 73

Análisis Suma de Cuadrados

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Plumas (% suelo)	1	2.098	2.098	0.345	0.568
Cáscara de huevo (% agua)	1	26.559	26.559	4.362	0.059



➤ Análisis Suma de Cuadrados Tipo III (Cohesión (Kg/cm²)):

Tabla 74

Análisis Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Plumas (% suelo)	1	4.049	4.049	0.665	0.431
Cáscara de huevo (% agua)	1	26.559	26.559	4.362	0.059

➤ Parámetros del modelo (Cohesión (Kg/cm²)):

Tabla 75

Parámetros del modelo

Fuente	Valor	Error estándar	t	Pr > t	Límite inferior (85%)	Límite superior (85%)
Intercepción	3.162	1.333	2.373	0.035	1.112	5.212
Plumas (% suelo)	155.068	190.163	0.815	0.431	-137.395	447.531
Cáscara de huevo (% agua)	6.833	3.272	2.088	0.059	1.801	11.864

➤ Ecuación del modelo (Cohesión (Kg/cm²)):

$$\text{Cohesión (Kg/cm}^2\text{)} = 3.162 + 6.83 \cdot \text{Cáscara de huevo (\% agua)}$$

➤ Coeficientes estandarizados (Cohesión (Kg/cm²)):

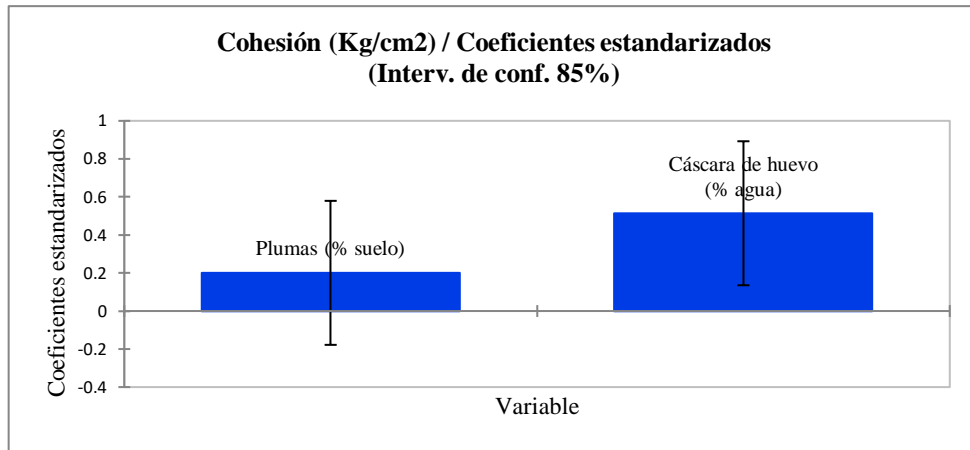
Tabla 76

Coeficientes estandarizados

Fuente	Valor	Error estándar	t	Pr > t	Límite inferior (85%)	Límite superior (85%)
Plumas (% suelo)	0.201	0.246	0.815	0.431	-0.178	0.579
Cáscara de huevo (% agua)	0.514	0.246	2.088	0.059	0.136	0.893

Figura 65

Comparación de efectos significativos de variables



➤ Predicciones y residuos (Cohesión (Kg/cm2)):

Tabla 77

Predicciones y residuos.

Observación	Peso	Plumas (% suelo)	Cáscara de huevo (% agua)	Cohesión (Kg/cm2)	Pred (Cohesión (Kg/cm2))	Residuo	Residuo estd.	Des. estd. sobre la pred. (Media)	Límite inferior 85% (Media)
Obs1	1	0.007	0.400	9.301	6.962	2.338	0.948	1.007	5.413
Obs2	1	0.007	0.000	2.594	4.229	-1.635	-0.663	1.098	2.541
Obs3	1	0.000	0.000	4.061	3.162	0.899	0.364	1.333	1.112
Obs4	1	0.000	0.400	3.693	5.895	-2.202	-0.892	1.098	4.207
Obs5	1	0.007	0.000	5.124	4.229	0.894	0.362	1.098	2.541
Obs6	1	0.007	0.400	4.429	6.962	-2.533	-1.027	1.007	5.413
Obs7	1	0.000	0.400	9.549	5.895	3.653	1.481	1.098	4.207
Obs8	1	0.007	0.400	6.279	6.962	-0.684	-0.277	1.007	5.413
Obs9	1	0.007	0.000	2.920	4.229	-1.309	-0.531	1.098	2.541
Obs10	1	0.000	0.000	3.352	3.162	0.190	0.077	1.333	1.112
Obs11	1	0.000	0.400	5.181	5.895	-0.714	-0.289	1.098	4.207
Obs12	1	0.007	0.000	5.190	4.229	0.961	0.389	1.098	2.541
Obs13	1	0.007	0.400	4.087	6.962	-2.875	-1.165	1.007	5.413
Obs14	1	0.000	0.400	4.068	5.895	-1.827	-0.741	1.098	4.207
Obs15	1	0.007	0.400	11.805	6.962	4.843	1.963	1.007	5.413

Figura 66

Predicción y regresión lineal

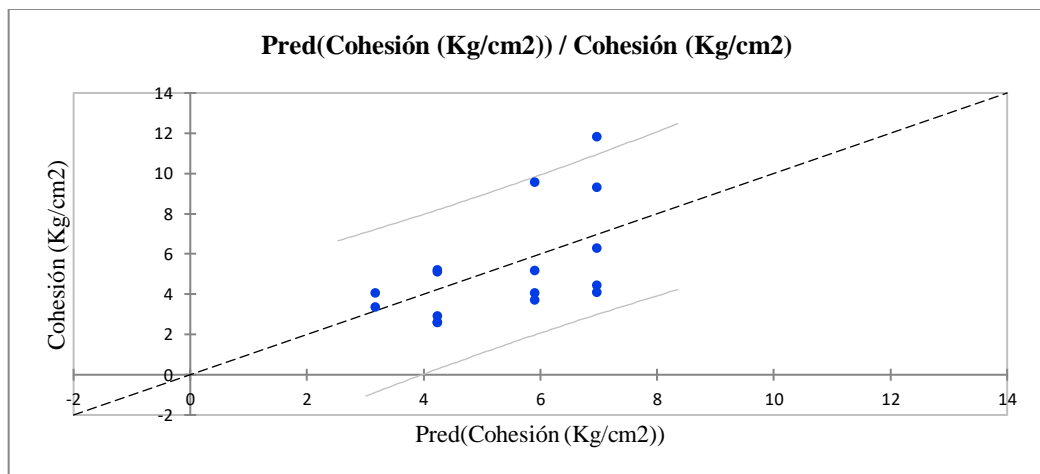
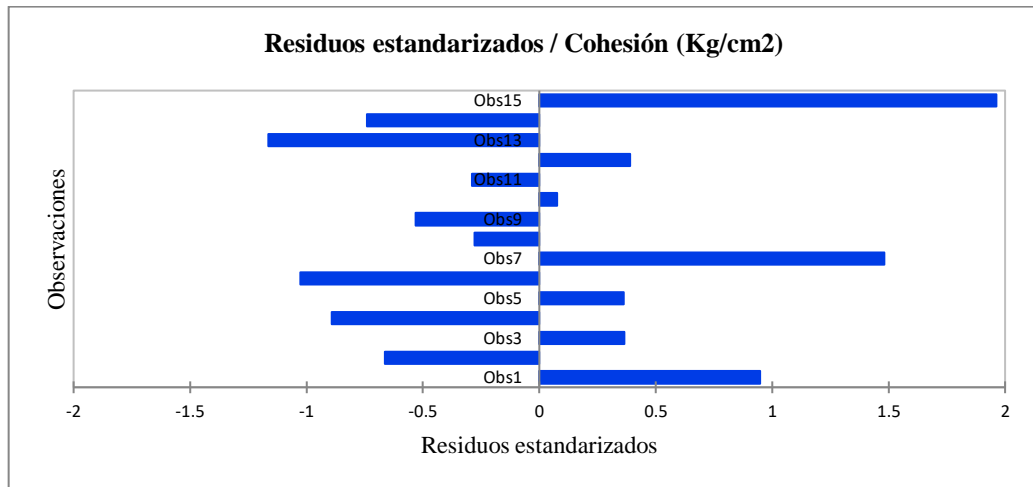




Figura 67

Medida de discrepancia entre los valores observados y predichos en el modelo



➤ Prueba las hipótesis:

Prueba sobre la normalidad de los residuos (Shapiro-Wilk). (Cohesión Kg/cm²):

Tabla 78

Medida de discrepancia entre los valores observados y predichos en el modelo.

W	0.932
valor-p (bilateral)	0.293
alfa	0.15

➤ Interpretación de la prueba:

H0: No hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula.

H1: Hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis alternativa.

Dado que el valor p calculado es mayor que la significación $\alpha = 0,15$, no se puede rechazar ninguna hipótesis H0 y se concluye que los datos se ajustan adecuadamente a una distribución normal.

Nota: En tal sentido el valor p se utiliza para comparar con el nivel de significancia en la etapa de cálculo del valor p. Si el valor p es mayor que el nivel de significancia (0.15), no se rechaza la hipótesis nula, esto significa que los resultados son estadísticamente significativos y que la probabilidad de obtener el resultado observado y si la hipótesis nula fuera verdadera es muy baja.



Capítulo IV: Resultados de la investigación.

4.1. Resultados respecto a los objetivos específicos.

4.1.1. Resistencia compresiva, cohesión y densidad seca.

Los siguientes cuadros resumen los resultados de la tesis:

Tabla 79

Resultados obtenidos de Fv, Cohesión, Ds.

Nombre del ensayo	Plumas (% suelo)	Cáscara de huevo (% agua)	Pesos sólidos por muestra (g)	Agua Óptima (%)	Fv (kg/cm ²)	Ds (g/cm ³)	Cohesión (Kg/cm ²)
N1	0.7%	40.0%	223.0	10.4%	18.60	1.73	9.30
N2	0.7%	0.0%	223.0	10.4%	5.19	1.65	2.59
N3	0.0%	0.0%	223.0	10.4%	8.12	1.72	4.06
N4	0.0%	40.0%	223.0	10.4%	7.39	1.76	3.69
N5	0.7%	0.0%	223.0	10.4%	10.25	1.69	5.12
N6	0.7%	40.0%	223.0	10.4%	8.86	1.71	4.43
N7	0.0%	40.0%	223.0	10.4%	19.10	1.76	9.55
N8	0.7%	40.0%	223.0	10.4%	12.56	1.75	6.28
N10	0.7%	0.0%	223.0	10.4%	5.84	1.69	2.92
N11	0.0%	0.0%	223.0	10.4%	6.70	1.72	3.35
N12	0.0%	40.0%	223.0	10.4%	10.36	1.74	5.18
N13	0.7%	0.0%	223.0	10.4%	10.38	1.69	5.19
N14	0.7%	40.0%	223.0	10.4%	8.17	1.69	4.09
N15	0.0%	40.0%	223.0	10.4%	8.14	1.68	4.07
N16	0.7%	40.0%	223.0	10.4%	23.61	1.80	11.81

Tabla 80

Matriz de correlación

	Plumas (% suelo)	Cáscara de huevo (% agua)	Fv (kg/cm ²)	Ds (g/cm ³)	Cohesión (Kg/cm ²)
Plumas (% suelo)	1	-0.111	0.144	-0.276	0.144
Cáscara de huevo (% agua)	-0.111	1	0.492	0.552	0.492
Fv (kg/cm ²)	0.144	0.492	1	0.734	1.000
Ds (g/cm ³)	-0.276	0.552	0.734	1	0.734
Cohesión (Kg/cm ²)	0.144	0.492	1.000	0.734	1

Tabla 81

Estadística de multicolinealidad

Estadísticos de multicolinealidad:		
	Plumas (% suelo)	Cáscara de huevo (% agua)
Tolerancia	0.988	0.988
VIF	1.013	1.013

a. Resistencia compresiva.

✓ Ecuación del modelo (Fv (kg/cm²)):

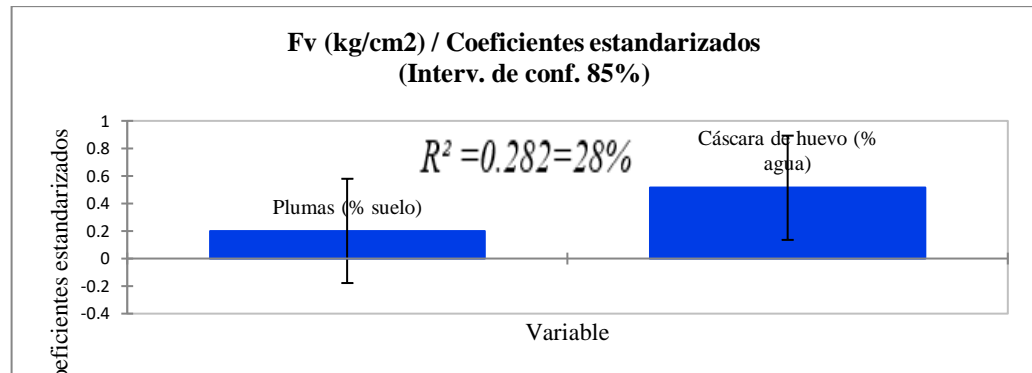
$$Fv(\text{kg/cm}^2) = 6.32 + 13.67 * \text{Cáscara de huevo (\% agua)}.$$



- ✓ Coeficientes estandarizados (Fv (kg/cm²)):

Figura 68

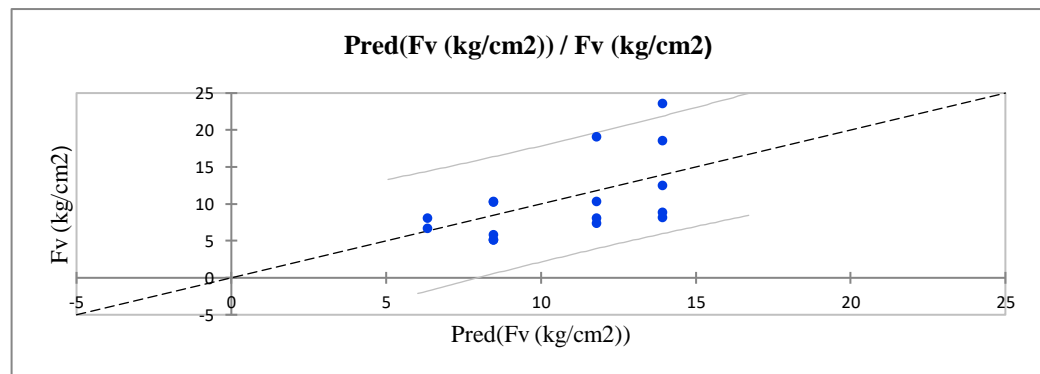
Comparación de resultados de las variables



- ✓ Predicciones y residuos (Fv (kg/cm²)):

Figura 69

Predicción y residuos.



- ✓ Prueba de las hipótesis:

Tabla 82

Prueba sobre la normalidad de los residuos (Shapiro-Wilk). (Fv (kg/cm²))

W	0.932
valor-p (bilateral)	0.293
alfa	0.15

- ✓ Interpretación de la prueba:

H0: No hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula.

H1: Hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis alternativa.

Nota: Significa que los resultados son estadísticamente significativos y que la probabilidad de obtener el resultado observado, por ende, se concluye que los datos se ajustan adecuadamente a una distribución normal.



b. Para Densidad Seca (Ds)

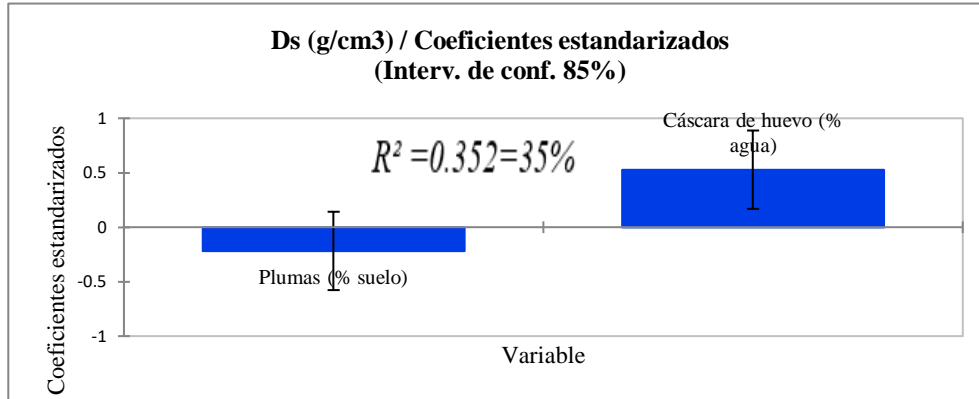
✓ Ecuación del modelo (Ds (g/cm³)):

$$Ds \text{ (g/cm}^3\text{)} = 1.699 - 0.120 * \text{Cáscara de huevo (\%)}$$

✓ Coeficientes estandarizados (Ds (g/cm³)):

Figura 70

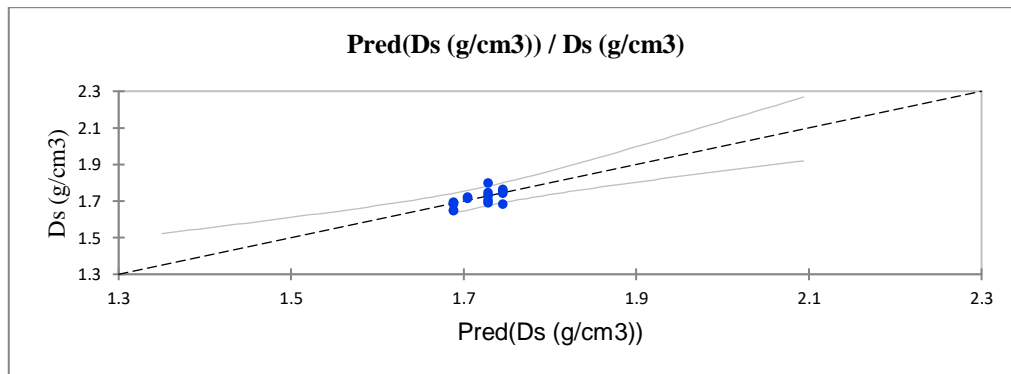
Comparación de resultados de las variables



✓ Predicciones y residuos (Ds (g/cm³)):

Figura 71

Predicción y residuos



✓ Prueba de las hipótesis:

Tabla 83

Prueba sobre la normalidad de los residuos (Shapiro-Wilk). (Ds (g/cm³))

W	0.929
valor-p (bilateral)	0.266
alfa	0.15

✓ Interpretación de la prueba:



H0: No hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula.

H1: Hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis alternativa.

Nota: Significa que los resultados son estadísticamente significativos y que la probabilidad de obtener el resultado observado, por ende, se concluye que los datos se ajustan adecuadamente a una distribución normal.

c. Para Cohesión.

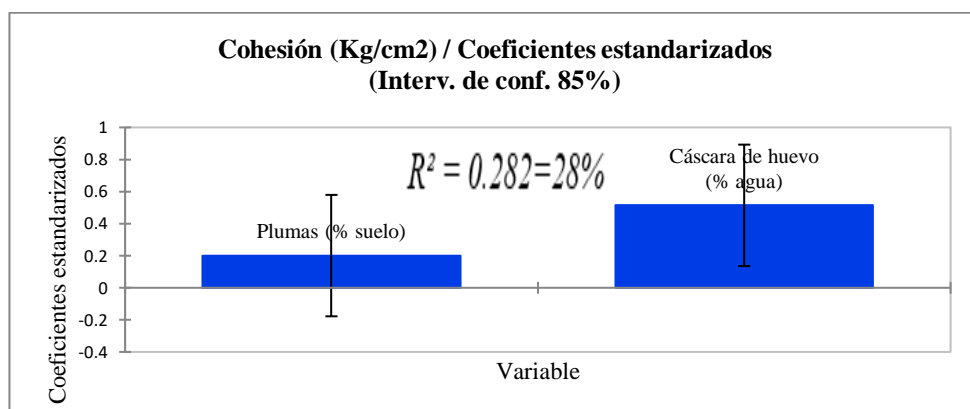
- ✓ Ecuación del modelo (Cohesión (Kg/cm²)):

$$\text{Cohesión (Kg/cm}^2\text{)} = 2.332 + 9.946 \cdot \text{Cáscara de huevo (\%)}$$

- ✓ Coeficientes estandarizados (Cohesión (Kg/cm²)):

Figura 72

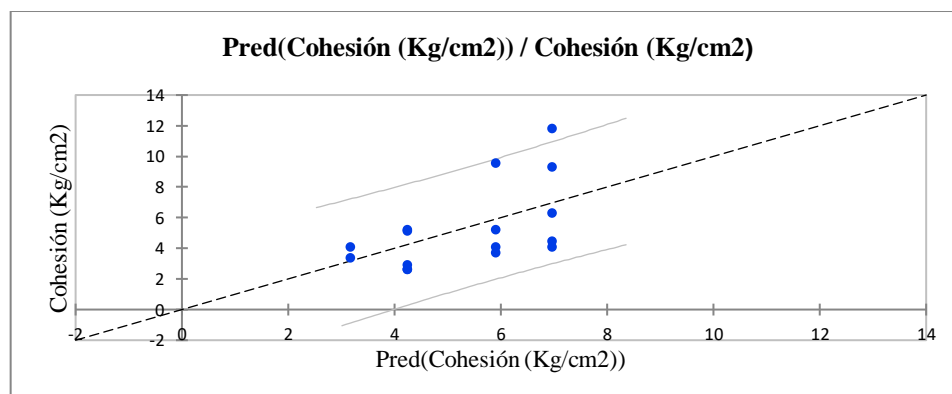
Comparación de variación de variables



- ✓ Predicciones y residuos (Cohesión (Kg/cm²)):

Figura 73

Predicción y residuos.



- ✓ Prueba de las hipótesis:

Tabla 84

Prueba sobre la normalidad de los residuos (Shapiro-Wilk). Cohesión (Kg/cm²).

W	0.932
valor-p (bilateral)	0.293
alfa	0.15

✓ Interpretación de la prueba:

H0: No hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula.

H1: Hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis alternativa.

Nota: Significa que los resultados son estadísticamente significativos y que la probabilidad de obtener el resultado observado, por ende, se concluye que los datos se ajustan adecuadamente a una distribución normal.

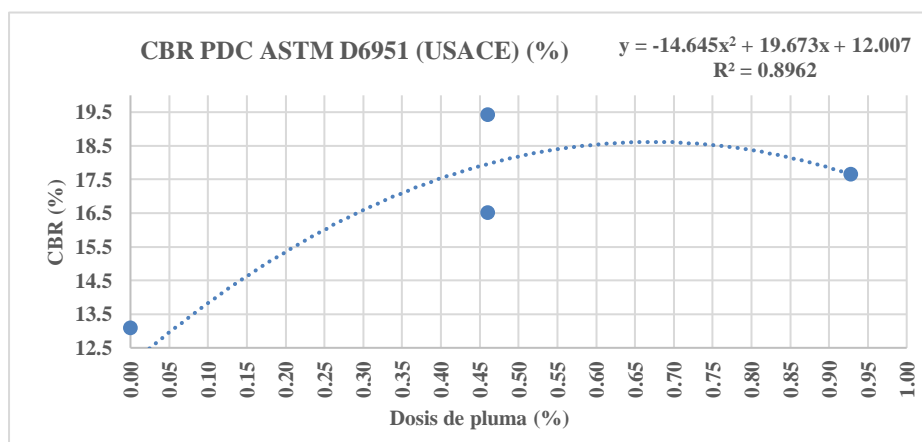
4.1.2. Para CBR con PDC.

En la presente investigación se definió la capacidad de soporte (CBR) con PDC, se pudo apreciar efectos significativos al agregar los desperdicios avícolas (cáscara de huevo y pluma) como aditivos estabilizantes:

- Añadir plumas al suelo aumenta la resistencia al CBR no sumergido, y se alcanza la máxima resistencia al agregar un 0.65% de plumas en peso seco del suelo. Sin embargo, a dosis mayores, el suelo comienza a perder resistencia. Los ensayos tienen un coeficiente de correlación muy alto, lo que indica que los resultados son estadísticamente significativos.

Figura 74

CBR con PDC Plumas

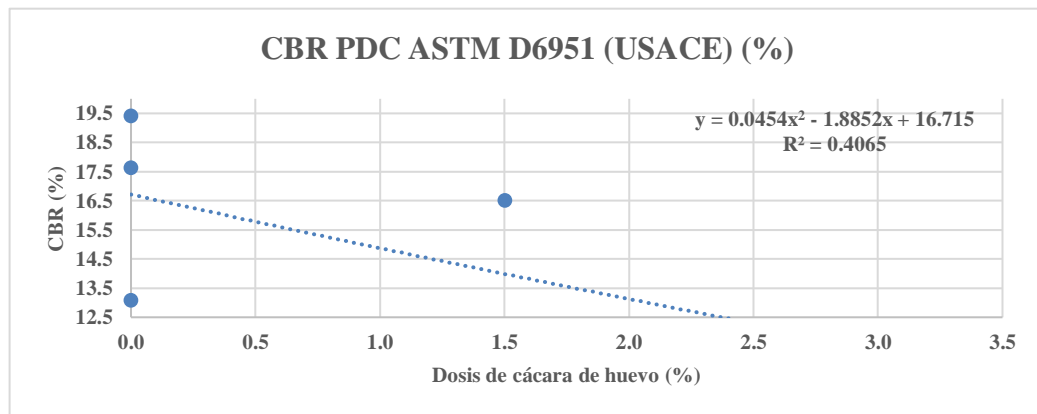


- La adición de cáscara de huevo reduce la resistencia CBR del suelo, sin embargo, este resultado es parcialmente válido dado que el coeficiente de correlación de 0.4 es de mediana fuerza.



Figura 75

CBR con PDC cascara de huevo.



- Resumen de ensayo CBR con PDC.

Tabla 85

Cuadro de correlación del CBR con PDC.

Nombre	Pluma (%)	Cáscara de huevo (%)	CBR PDC ASTM D6951 (USACE) (%)
1	0.0	0.0	13.1
2	0.5	0.0	19.4
3	0.9	0.0	17.6
4	0.0	1.5	11.5
5	0.0	3.0	11.5
6	0.5	1.5	16.5

4.2. Resultados respecto al objetivo General

✓ **Interpretación 1 (Fv (kg/cm²)):**

- Dado el valor R², las 2 variables explicativas explican el 28% de la variabilidad de la variable dependiente Fv (kg/cm²).
- Teniendo en cuenta el valor de P asociado al estadístico F obtenido en la tabla ANOVA y el nivel de significación del 15%, se puede concluir que la información aportada por las variables explicativas es significativamente superior a la que se obtendría solo con la media.
- Según el análisis de la suma de cuadrados Tipo III, se ha determinado que la variable "Cáscara de huevo (% agua)" aporta información significativa para explicar la variabilidad de la variable dependiente Fv (kg/cm²).



- De acuerdo con los resultados de la suma de cuadrados Tipo III, se puede concluir que las variables de Plumas (% suelo) no aportan información significativa para explicar la variabilidad de la variable dependiente F_v (kg/cm²). Por lo tanto, se sugiere que estas variables se eliminen del modelo.
- La variable más influyente entre las variables explicativas, según la suma de cuadrados Tipo III, es la variable Cáscara de huevo (% agua).

✓ **Interpretación 2 (Ds (g/cm³)):**

- Dado el valor R^2 , las 2 variables explicativas explican el 35% de la variabilidad de la variable dependiente Ds (g/cm³).
- 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 es significativamente mejor que la que podría aportar únicamente la media.
- Sobre la base de la suma de cuadrados Tipo III, las siguientes variables aportan información significativa para explicar la variabilidad de la variable dependiente Ds (g/cm³): Cáscara de huevo (% agua).
- 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 Ds (g/cm³): Plumas (% suelo). Usted podría eliminarlas del modelo.
- Entre las variables explicativas, sobre la base de la suma de cuadrados Tipo III, la variable Cáscara de huevo (% agua) es la más influyente.

✓ **Interpretación 3 (Cohesión (Kg/cm²)):**

- Dado el valor R^2 , las 2 variables explicativas explican el 28% de la variabilidad de la variable dependiente Cohesión (Kg/cm²).
- 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 es significativamente mejor que la que podría aportar únicamente la media.
- 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 (Kg/cm²): Cáscara de huevo (% agua).



- 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 (Kg/cm²): Plumas (% suelo). Usted podría eliminarlas del modelo.
- Entre las variables explicativas, sobre la base de la suma de cuadrados Tipo III, la variable Cáscara de huevo (% agua) es la más influyente.

✓ **Interpretación 3 (Cohesión (Kg/cm²)):**

- La adición de plumas en el suelo incrementa el CBR no sumergido, siendo que la máxima resistencia se alcanza para la dosis de 0.65% de plumas en peso seco del suelo. Mas allá de esta dosis, el suelo empieza a perder resistencia. El coeficiente de correlación de los ensayos es muy alto, por lo que se puede afirmar que los resultados son estadísticamente significativos.
- La adición de cáscara de huevo reduce la resistencia CBR del suelo, sin embargo, este resultado es parcialmente válido dado que el coeficiente de correlación de 0.4 es de mediana fuerza



Capítulo V: Discusión

- a) Contrastar los resultados con respecto al marco teórico.

¿El suelo natural limo-arcilloso encontrado en la calle Ciro Alegría, sector San Sebastián -Cusco, es un material que necesita una estabilización para mejorar sus propiedades físico – mecánicas a nivel de subrasante?

Por los antecedentes y ensayos realizados en laboratorio, así como IN SITU; se determinó que en la calle Ciro Alegría, de la APV. Uvimas 1, el suelo natural encontrado, es un suelo de tipo Limo-Arcilloso, con propiedades físico-mecánicas, bajas en capacidad de soporte, las cuales se evidencian por los antecedentes de este tipo de suelo. Al examinar la clasificación de subrasante según el "Manual de Ensayos" MTC (2016), se determina que se ubica en la categoría de subrasante deficiente. Según la "NTP C.E.010 Pavimentos Urbanos" y el "Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos", se requiere una corrección (estabilización) ya que no cumple con el requisito mínimo de CBR del 6%.

¿Cómo se determinó los porcentajes de cascara de huevo y pluma para dosificación en los ensayos?

Para determinar el parámetro de dosificación de la cascara de huevo y pluma, se tuvo que recurrir a los antecedentes de los artículos científicos citados, así mismo para corroborar dicha información sobre la dosificación que nos permita obtener efectos significativos, en los ensayos realizados, se ha tomado como referencia los artículos científicos:

1. Para dosificación de pluma. - Revista Internacional de Nuevas Tecnologías e Investigación (IJNTR) ISSN: 2454-4116, Volumen 5, Número 6, junio de 2019 Páginas 39-44, Estabilización de suelos de subrasante con plumas de pollo Fibra (Anupama Krishnan, Dra. Agnes Anto C) y la *Por NikenSilmi Surjandari1, RadenHarya Dananjaya1*.
2. Para dosificación de cascara de huevo. - el artículo de investigación "EL EFECTO DEL POLVO DE CÁSCARA DE HUEVO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL SUELO DE GRANO FINO". Departamento de Ingeniería Civil, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia.



Bajo la premisa de los acápites 1 y 2 se vio por conveniente considerar en nuestra investigación experimental, la dosificación permisible en el rango de: 0.00 a 40.00% para cascara de huevo y de 0.00 a 0.7% para pluma avícola.

b) Interpretación de resultados obtenidos en la investigación.

¿Cuáles son los efectos más significativos con la incorporación de cascara de huevo y plumas avícolas, en las propiedades físico-mecánicas del suelo limoso-arcilloso?

- Para el CBR, con la adición de plumas avícolas en el suelo incrementa el CBR mediate el PDC, siendo que la máxima resistencia alcanzada para la dosis de 0.65% de plumas de 18.51 %.
- Para el Fv, se observó que al incorporar cascara huevo y pluma alcanza una resistencia compresiva de 23.61 kg/cm², con una dosificación de 40 % y 0.7% respectivamente.
- Para la Ds, se observó que al incorporar cascara de huevo y pluma se obtiene mejor comportamiento de Ds = 1.80 g/cm³ con la dosificación de 40 % y 0.7% respectivamente.
- Para la Cohesión, se determinó que al incorporar cascara de huevo y pluma tiene mayor cohesión, obteniéndose como mejor resultado 11.81 kg/cm², con una dosificación de 40 % y 0.7% respectivamente.

¿Considerando las cascara de huevo y pluma como aditivos, cuál de ellos produce los efectos más significativos de las propiedades físico-mecánicas del suelo limo- arcilloso?

- Para el CBR, se observó que la incorporación de pluma avícola es la más influyente, con mayor efecto significado.
- Para el Fv, se observó que la incorporación de cascara huevo tiene mayor efecto significativo.
- Para la Ds, se observó que al incorporar cascara de huevo tiene mejor comportamiento, en consecuencia, mayor influencia o efecto significativo.
- Para la Cohesión, se determinó que la cascara de huevo tiene mejor comportamiento, ello indica que tiene mayor efecto significativo con respecto a la pluma.



- c) Comentarios de la demostración de la hipótesis.
- La variabilidad en la Resistencia Compresiva es de 28 %, al incorporar desperdicios avícolas, con respecto al suelo natural, por ende, se determinó que la cascara de huevo tiene mayor efecto significativo con respecto a la pluma.
 - La variabilidad en la densidad seca es de 35%, al incorporar desperdicios avícolas, con respecto al suelo natural, por ende, se determinó que la cascara de huevo tiene mayor efecto significativo con relación a la pluma.
 - La variabilidad de la cohesión es de 28 %, al incorporar desperdicio avícola, con respecto al suelo natural. Por ende, se determinó que la cascara de huevo tiene mejor comportamiento, ello indica tiene mayor efecto significativo con respecto a la pluma.
 - La adición de plumas en el suelo incrementa el CBR con PDC, siendo que la máxima resistencia se alcanza para la dosis de 0.65% de plumas en peso seco del suelo. Mas allá de esta dosis, el suelo empieza a perder resistencia. El coeficiente de correlación de los ensayos es muy alto, por lo que se puede afirmar que los resultados son estadísticamente significativos, con respecto al suelo natural.
- d) Aporte de la investigación.

¿Qué aportes se obtiene de la investigación en la Ingeniería Civil?

En los últimos años la ingeniería del transporte ha ido encontrando diferentes formas de mejorar los suelos con sub rasante mala, con baja capacidad de soporte, viendo por conveniente realiza la estabilización de esta subrasantes con la incorporación de cemento, cal y otros agentes estabilizadores, sin embargo estos elementos son propios de la naturaleza, recursos agotables o en su defecto causan gastos ostentosos, ante ello se presenta una propuesta sostenible y eco amigable con el medio ambiente, ya que se propone hacer uso de residuos, en este caso los de la industria avícola, en ese contexto se obtendrían aportes significativos tanto económicos y sustentables.

¿Qué antecedentes deja la presente investigación respecto otros materiales de construcción o adictivos?

Queda como antecedente haber demostrado y sostenido los efectos significativos de la incorporación de los residuos de la industria avícola (cascara de huevo y pluma),



en las propiedades físicas y mecánicas de subrasante de tipo limo-arcillosa, en consecuencia, poner en práctica en el campo de la ingeniería de transporte, sustituyendo aquellos aditivos o estabilizadores tradicionales que podrían generar gastos ostentosos y no sostenibles

- e) Incorporación en nuevas áreas emergentes del proceso de la investigación que no están contempladas dentro de los objetivos de investigación.
 - El aprovechamiento de desperdicios avícolas, se podría dar también en el campo de la ingeniería agro industrial.
 - Los residuos de cascara de huevo, se vienen incorporando dentro de la medicina y la farmacología, asimismo dentro de la industria de la cosmetología.



Conclusiones.

Primero: Se cumple suficientemente con la hipótesis general, donde se indica:

La incorporación de desperdicio avícola tiene un efecto significativo en las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante limo-arcilloso de la calle Ciro Alegría, distrito San Sebastián, Cusco-2022.

Se concluye que la incorporación de cáscara de huevo y pluma avícola, influyen significativamente en las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante limo-arcilloso de la calle Ciro Alegría, distrito San Sebastián, al incorporarlas de manera dosificada. (fig. 68-70-72-74-75, págs. 126 al 130).

Segundo: La sub hipótesis 1, se cumple satisfactoriamente, que:

La incorporación de desperdicio avícola afecta significativamente la cohesión del suelo de subrasante de la calle Ciro Alegría, distrito San Sebastián, Cusco-2022.

La variabilidad de la cohesión es de 28 %, al incorporar desperdicio avícola, con respecto al suelo natural. Por ende, se determinó que la cascara de huevo tiene mejor comportamiento, ello indica que si tiene efecto significativo. (fig. 72, pg. 128).

Tercero: La sub hipótesis 2, se cumple satisfactoriamente, que:

La incorporación de desperdicio avícola afecta significativamente la resistencia compresiva del suelo de subrasante de la calle Ciro Alegría, distrito San Sebastián, Cusco-2022.

La variabilidad en la resistencia compresiva es de 28 %, al incorporar desperdicios avícolas, con relación al suelo natural, por ende, se determinó que la cascara de huevo tiene mayor efecto significativo con respecto a la pluma. (fig. 68, pg. 126).

Cuarto: La sub hipótesis 3, se cumple satisfactoriamente, que:

La incorporación de desperdicio avícola afecta significativamente la densidad seca del suelo de subrasante de la calle Ciro Alegría, distrito San Sebastián, Cusco-2022.

La variabilidad en la densidad seca es de 35%, al incorporar desperdicios avícolas, relacionado al suelo natural, por ende, determinándose que la cascara de huevo tiene mayor efecto significativo con relación a la pluma. (fig. 70, pg. 127).

Quinto: La sub hipótesis 4, se cumple satisfactoriamente, que:

La incorporación de desperdicio avícola afecta significativamente el CBR del suelo de subrasante de la calle Ciro Alegría, distrito San Sebastián, Cusco-2022.



La adición de plumas en el suelo incrementa el CBR con PDC, siendo que la máxima resistencia se alcanza para la dosis de 0.65% de plumas, más allá de esta dosis, el suelo empieza a perder resistencia. El coeficiente de correlación de los ensayos es muy alto, por lo que se puede afirmar que los resultados son estadísticamente significativos, con respecto al suelo natural. (fig. 74, pg. 1298).

La adición de cáscara de huevo reduce la resistencia CBR del suelo, sin embargo, este resultado es parcialmente válido dado que el coeficiente de correlación de 0.4 es de mediana fuerza. (fig. 75, pg. 130).



Recomendaciones

Primero

La presente investigación es de gran interés y utilidad, recomendada para estudiantes e ingenieros civiles que buscan alternativas de desarrollo sostenible que puedan mejorar las propiedades físicas y mecánicas en suelos de tipo limo-arcilloso, siendo indispensable que los clientes y beneficiarios del desarrollo trabajen en estrecha relación con los investigadores, participando tanto en la planeación como en la ejecución de los proyectos a desarrollarse, con el fin de que la investigación tenga mayor impacto y sea más efectiva.

Segundo

Es necesario que las instituciones ya sean públicas o privadas, así como las personas interesadas trabajen en conjunto para buscar soluciones técnicas y económicas viables para la incorporación de residuos avícolas en suelos limo-arcillosos, así como también aportar nuevos conocimientos científicos y tecnológicos que puedan mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, por ende, la gestión y aprovechamiento de los residuos avícolas.

Tercero

Se recomienda a los estudiantes, ingenieros civiles y demás grupos interesados en proyectos de manejo de residuos avícolas aplicados a infraestructuras viales que sean sostenibles, promover las creaciones de una base de datos o un centro de documentación donde se pueda tener acceso a investigaciones afines, para que toda información almacenada se pueda sistematizar y catalogar, con objetivos de ponerlos en ejecución en futuros proyectos viales.

Cuarto

Para aquellas empresas dedicadas a la crianza de aves de corral, donde se generan desperdicios avícolas, se recomienda desarrollar mecanismos que conlleven a la formulación de un plan integral de estos residuos con objetivos de ser utilizados en proyectos de estabilización de suelos de tipo limo arcilloso.

Quinto

Para aquellos grupos interesados en proyectos de desarrollo sostenible relacionados a la incorporación de desperdicio avícola en suelos de tipo arcilloso, se recomienda la creación de mecanismos que estimulen en las entidades la extensión y difusión del uso de estos



desperdicios con fines de mejoramiento de suelos en proyectos viales, buscando asistencia técnica e instituciones que generen tecnología.

Sexto

Para aquellos estudiantes o grupos interesados en la investigación de efectos de incorporación de residuos avícolas en las propiedades físicas y mecánicas del suelo a investigar, se recomienda tener en cuenta la variación de porcentajes ya sea con respecto al suelo o agua, así como la correcta homogeneización en la mezcla del suelo y residuos incorporados.

Séptimo

Finalmente, para aquellos estudiantes o grupos interesados en la investigación experimental se recomienda la utilización de modelos o herramientas estadísticas para la cuantificación más precisa y confiable de los resultados obtenidos en ensayos realizados en laboratorio.



Bibliografía

- AASHTO. (9 de junio de 2014). *Limites de contraccion AASTHO T92*. Obtenido de <https://www.clubensayos.com/Ciencia/L%C3%8DMITES-DE-CONTRACCI%C3%93N-AASHTO-T-92/1797104.html>
- Abood, T. T., Kasa, A., & Chilk, Z. (2012). Estabilización de suelo arcilloso con Compuesto de Cloruro. *Revista Internacional de Geomate*, 3(5), 45-56.
- Arias Bautista, J., Quijada Abarca, J., Toro Estay, P., & Mehrdad Yazdani, P. (2007-2009). *Compuestos de Polipropileno con Refuerzo a Base de Cáscara de Huevo*. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/120809>
- ASTM. (7 de JUNIO de 2011). *Práctica Estándar para la Clasificación de Suelos para Propósitos de Ingeniería*. Obtenido de https://www.cesmec.cl/medios/DIC/normas/ASTM_D2487_11_.pdf
- ASTM. (2016). *Normas ASTM Internacional*. Obtenido de <https://www.astm.org/astm-tpt-156.html>
- ASTM. (2016). *Normas ASTM Internacional - D-1557*. Obtenido de <https://www.astm.org/>
- Atkinson, A., & Donev, A. (1996). *Diseños Experimentales Óptimos* (2da. ed.). Clarendon Press.
- Barquero, E., & Fernandez, I. (2000). *Obtenido de metodo de ensayo estandar para el uso del penerometro*. Obtenido de <http://srvinternet.mopt.go.cr/centrodeinformacion/CONTROL-VERIFICACION-KfW/NORMA%20DCP-695103.pdf>
- Bernal, C. (2010). *Metodologia de la Investigacion*. Bogota: PEARSON EDUCACION.
- Centeno Rubio, M. (2019). *Estadística con Aplicaciones en R*. Utadeo.
- Comunicaciones, M. d. (2018). *Manula de DG-2018*. Lima.
- Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecanica de Suelos y Cimentación*. Limusa, S.A. de C.V.
- Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*, Limusa.
- Das, B. (2011). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones*. Cengage Learning.
- Das, B. M. (2013). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (4ta. ed.). Ediciones ANOVA.
- Diaz Saldaña, J., & Huamán Acha, J. (2012). Colageno tipo I apartir de las cáscaras de huevo. UNPRG-FIQIA.
- Duque E., G., & Escobar, c. (2002). *Mecanica de los Suelos I* (2da. ed.). Universidad Nacional de Colombia.



- Good, p., & Jones, B. (2011). *Diseño Optimo de Experimentos* (2da. Edición ed.). Wiley.
- Gregorich, E., Turchenek, L., Cartes, M., & Angers, D. (2001). *Diccionario de Ciencias Ambientales y de Suelo* (2da. ed.). Prensa CRC.
- Guerra Torralbo, J. (2018). *Mecanica de Suelos* (2da. ed.). Editorial Dextra.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodologia de la Investigación* (2da. Edición ed.). Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Intituto Tecnológico Superior de Misantla. (2016). Utilización del Cascara de Huevo como Elemneto Constitutivo en Agregados para Aumentar las Propiedades Mecanicas de un Material. *Revista Ingeniantes*, 16(5).
- Kothari, C. (2004). *Metodoogia de la Investigación* (2da. ed.). NewAge International Publishers.
- M.DAS, B. (2014). *Fundamentos de ingenieria geotecnica* . Mexico: Ediciones OVA.
- Manoj, N., Maghusudhanrao, G., & Sairam, B. (2017). Estabilización de Suelos Blandos Utilizando Pulmas de Pollo Como Biopolimeros. *Revista Internacional de Ingenieria Civil y Tecnología*, 16(7).
- MIDAGRI. (2021). Produccion y Comercialización de Productos Avicolas. *Boletin Mensual Produccion y Comercialización de Productos Avicolas*. MIDAGRI.
- Monje Álvarez, C. (2011). *Metodología de la Investigación Cuantitativa y Cualitativa* (2da. ed.). Univerisdad Surcolombiana.
- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingenieria de Pavimentos* (2da. ed.). Agora Editores.
- Montgomery, D. (2017). *Design and Analysis of Experiments* (3ra. ed.). Limusa Wiley.
- MTC. (2014). *Manual de Carreteras*. MTC.
- MTC. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. MTC.
- MTC. (2018). *Manual de DG-2018*. MTC.
- Perez Alama, V. (2016). *Materiales y Procedimientos de Construcción* (3ra. ed.). Editorial Trillas, S.A. de C.V.
- Sanches, J. (2017). *Aplicacion de analisis de consistencia como complemento al diseño geometrico*. Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2005). *Fisica*. Barcelona: Reverté.
- Whitlow, R. (1999). *Fundamentos de mecanica de suelos* (2da. ed.). Compañía editorial continental, S.A. de C.V. Mexico.



Glosario:

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials o Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte.

Aditivo: Sustancia o elemento que modifica las características de un cuerpo, para mejorar sus propiedades intrínsecas.

ASTM: American Society for Testing and Materials o Sociedad Americana para ensayos de Materiales.

Cohesión: La resistencia al corte de un suelo, a una tensión normal.

Compactación: Densificación de un suelo por medio de una manipulación mecánica.

DCPI: Índice de penetrómetro de cono dinámico

Densidad: Relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.

DMS: Densidad Máxima Seca del Suelo.

Material fino: Porción del Suelo que pasa por el tamiz N° 04.

Material tratado: Definición de material estabilizado con alguna adición que cumplirá una finalidad estructural.

MDS: Máxima Densidad Seca del Suelo.

MTC: Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

NTP: Norma Técnica Peruana.

Sub rasante: La subrasante es la superficie final de la carretera después de las labores de corte y relleno, sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado.

SUCS: Unified Soil Classification System (USCS) o Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

Suelos estabilizados: Se refiere a suelos que no tienen la suficiente estabilidad y para mejorar su calidad es necesario agregarles algún tipo de estabilizador, que puede ser cal, cemento, aditivos químicos, iónicos o no convencionales.

Tamiz: En un laboratorio, se utiliza un tamiz para separar materiales según su tamaño. Este equipo cuenta con aberturas cuadradas.



Anexos

Resultados de ensayos



Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil											
Título de Tesis:		"Efecto de incorporación de desperdicio avícola en las propiedades físicas y mecánicas, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegria, San Sebastián, Cusco-2022"									
Ensayo:		CBR CON PDC									
Ubicación:		Calle Ciro Alegria, Km 00+310									
Responsables:		Luwi Gilbert MENDOZA GONZALES Fredy Americo MENDOZA VILLALOBOS									
Descripción de la Muestra:		Suelo Limo-Arcillosa que pasa por la malla #40									
Fecha de ensayo:		25/05/2022									
Resultados del CBR con PDC											
Nombre	Pluma (%)	Cáscara de huevo (%)	Pluma (g)	Cáscara de huevo (g)	Lectura inicial (cm)	L1 (cm)	L2 (cm)	L3 (cm)	L4 (cm)	DCPI (mm)	CBR PDC ASTM D6951 (USACE) (%)
1	0.0	0.0	0	0	13.2	14.3	16.5	18		16.0	13.1
2	0.5	0.0	12.9	0	11	12.42	13.5	14.5	15.5	11.3	19.4
3	0.9	0.0	26	0	10.6	12.12	13.5	14.5	15.5	12.3	17.6
4	0.0	1.5	0	42	11.8	14.1	16	17.6	19	18.0	11.5
5	0.0	3.0	0	84	11	12.8	14.7	16.5	18.2	18.0	11.5
6	0.5	1.5	12.9	42	10.4	11.8	13.2	14.5	15.6	13.0	16.5

CESAR EDILBERTO ARBULU JURADO
 INGENIERO CIVIL
 Reg CIP N° 115764



Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil													
Título de Tesis:		"Efecto de incorporación de desperdicio avícola en las propiedades físicas y mecánicas, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegria, San Sebastián, Cusco-2022"											
Ensayo:		Determinación del Contenido de Humedad del Suelo Natural											
Ubicación:		Calle Ciro Alegria, Km 00 + 310											
Responsables:		Luwi Gilbert MENDOZA GONZALES Fredy Americo MENDOZA VILLALOBOS											
Descripción de la Muestra:		Suelo Limo-Arcilloso de subrasante											
Fecha de ensayo:		27/05/2022											
MTC E 115 - COMPATACIÓN DE SUELO EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO)													
Dinmetro del Molde:		30.16	cm										
Altura del Molde:		11.65	cm										
Volumen del Molde:		951.07	cm ³										
Método:		C (4")											
Capas:		5	und										
Golpe por Carga:		25	und										
Ensayo													
Determinación	No	1			2			3			4		
Peso del Molde y Muestra	gr.	5676			5894			5918			5814		
Peso del Molde	gr.	3763			3763			3763			3763		
Peso de la Muestra Compacta	gr.	1913			2131			2155			2051		
Densidad Humedad	gr/cc.	2.011			2.241			2.266			2.157		
Densidad Seca	gr/cc.	1.896			1.991			1.976			1.838		
Tarro	No	1a	1b	1c	2a	2b	2c	3a	3b	3c	4a	4b	4c
Peso del Tarro	gr.	11.4	11.8	21.5	21.5	21.9	12.1	21.5	21.3	21.5	20.5	21.2	21.5
Peso del T. + Suelo Humedo	gr.	90.6	83.7	152.1	105.3	107.6	70.3	88.1	113.5	108.3	101.8	110.2	108
Peso del T. + Suelo Seco	gr.	86.2	79.8	144.4	95.6	98.1	64	79.6	101.7	97.2	89.7	97.2	93.5
Peso del Agua	gr.	4.4	3.9	7.7	9.7	9.5	6.3	8.5	11.8	11.1	12.1	13	12.5
Peso del Suelo Seco	gr.	74.8	68	122.9	74.1	76.2	51.9	58.1	80.4	75.7	69.2	76	72
Contenido de Humedad	%	5.88	5.74	6.27	13.09	12.47	12.14	14.63	14.68	14.66	17.49	17.11	17.36
Contenido de Humedad Promedio	%	5.96	Desv. Est.	0.274	12.57	Desv. Est.	0.483	14.66	Desv. Est.	0.024	17.32	Desv. Est.	0.194
Humedad Optima(%)		11.57											
Densidad Seca Maxima (gr/cm ³)		2.02											

CESAR EDILBERTO ARBULU JURADO
 INGENIERO CIVIL
 Reg CIP N° 115764





 Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil 		
Título de Tesis:	"Efecto de incorporación de desperdicio avícola en las propiedades físicas y mecánicas, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegria, San Sebastián, Cusco-2022"	
Ensayo:	Determinacion del Limite Plastico e indice de Plasticidad del Suelo Natural	
Ubicación:	Calle Ciro Alegria, Km 00+310	
Responsables:	Luwi Gilbert MENDOZA GONZALES Fredy Americo MENDOZA VILLALOBOS	
Descripcion de la Muestra:	Suelo Limo-Arcilloso que pasa por la malla #40	
Fecha de ensayo:	25/05/2022	
MTC E 111. DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO (LP) DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (IP)		
Descripcion	Muestra 01	Muestra 02
Denominacion de recipiente	1	2
Peso de Suelo Humedo+ Recipiente Metalico (gr)	17.23	18.2
Peso Suelo Seco + Recipiente Metalico (gr)	16.02	16.55
Peso Recipiente Metalico (gr)	10.82	10.12
Peso Suelo Seco (gr)	5.2	6.43
Peso de Agua (gr)	1.21	1.65
Contenido de Humedad (%)	23.27 %	25.66 %
Limite Plastico	24.47 %	
Limite Liquido	27.95 %	
limite Plastico	24.47 %	
Indice de Plasticidad	3.48 %	


 CESAR EDILBERTO ARBULU JURADO
 INGENIERO CIVIL
 Reg CIP Nº 115764

 Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil 				
Título de Tesis:	"Efecto de incorporación de desperdicio avícola en las propiedades físicas y mecánicas, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegria, San Sebastián, Cusco-2022"			
Ensayo:	Determinacion del Limite Liquido del Suelo Natural			
Ubicación:	Calle Ciro Alegria, Km 00+310			
Responsables:	Luwi Gilbert MENDOZA GONZALES Fredy Americo MENDOZA VILLALOBOS			
Descripcion de la Muestra:	Se usa material Limo-arcilloso que pasa la malla #40			
Fecha de ensayo:	26/05/2022			
MTC E 110. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO (LL) DE LOS SUELOS				
Descripcion	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04
Denominacion de recipiente	N1	N2	N3	N4
Peso de Suelo Humedo+ recipiente Metalico (gr)	66.80	63.70	67.70	77.50
Peso Suelo Seco + Recipiente Metalico (gr)	63.00	60.00	63.00	70.20
Peso Recipiente Metalico (gr)	47.30	46.60	47.40	46.90
Peso Suelo Seco (gr)	15.70	13.40	15.60	23.30
Peso de Agua (gr)	3.80	3.70	4.70	7.30
Contenido de Humedad (%)	24.20 %	27.61 %	30.13 %	31.33 %
Numero de Golpes (N)	50	32	20	9
Limite Liquido	27.95 %			



 CESAR EDILBERTO ARBULU JURADO
 INGENIERO CIVIL
 Reg CIP Nº 115764




 Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil					
Título de Tesis:	"Efecto de incorporación de desperdicio avícola en las propiedades físicas y mecánicas, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegria, San Sebastián, Cusco-2022"				
Ensayo:	Análisis Granulométrico del Suelo por Tamizado				
Ubicación:	Calle Ciro Alegria, Km 00+310				
Responsables:	Luwi Gilbert MENDOZA GONZALES Fredy Americo MENDOZA VILLALOBOS				
Descripción de la Muestra:	Suelo Limo-Arcilloso del Km 00+310				
Fecha de ensayo:	25/05/2022				
MTC E 107- ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELO POR TAMIZADO					
Peso de Muestra Seca:	1875		gr.		
Peso de Muestra Lavada:	1875		gr.		
Perdida por Lavado:	0		gr.		
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr.)	% Retenido	Acumulado	
				% Retenido	% Pasa
3"	75.000	0.000	0.00 %	0.00 %	100.00
2"	50.800	0.000	0.00 %	0.00 %	100.00
1 1/2"	38.100	0.000	0.00 %	0.00 %	100.00
1"	25.400	0.000	0.00 %	0.00 %	100.00
3/4"	19.000	0.000	0.00 %	0.00 %	100.00
3/8"	9.500	0.000	0.00 %	0.00 %	100.00
N° - 4	4.760	0.000	0.00 %	0.00 %	100.00
N° - 10	2.000	0.000	0.00 %	0.00 %	100.00
N° - 20	0.840	0.000	0.00 %	0.00 %	100.00
N° - 40	0.425	0.000	0.00 %	0.00 %	100.00
N° - 60	0.250	0.000	0.00 %	0.00 %	100.00
N° - 100	0.106	98.000	0.22 %	0.22 %	99.78
N° - 200	0.075	616.000	1.38 %	1.60 %	98.40
Fondo		1160.000	2.59 %	4.19 %	
Perdida por Lavado		0.000	0.00 %	4.19 %	
Parcial Fodo + Perdida por Lavado		1160.000	2.59 %		
TOTAL		1874.000	4.19 %	4.19 %	
Tamaño Maximo Absoluto:	3/4"	Error:		0.053 %	
Tamaño Maximo Normal:	3/8"				
Cu =	2.87				
Cc =	0.81				


 CESAR EDILBERTO ARBULO JURADO
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 116754




 Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil					
Título de Tesis:	"Efecto de incorporación de desperdicio avícola en las propiedades físicas y mecánicas, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegria, San Sebastián, Cusco-2022"				
Ensayo:	Determinación del Contenido de Humedad del Suelo Natural				
Ubicación:	Calle Ciro Alegria, Km 00+310				
Responsables:	Luwi Gilbert MENDOZA GONZALES Fredy Americo MENDOZA VILLALOBOS				
Descripción de la Muestra:	Se utilizo suelo limo-arcilloso de subrasante Km 00+310				
Fecha de ensayo:	25/05/2022				
MTC E 108, BASADO EN LA Norma ASTM D-2016-CONTENIDO DE HUMEDAD					
Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04	Muestra 05
Peso de recipiente (gr)	36.88	36.50	35.68	36.10	36.20
Peso de recipiente+ Muestra húmeda (gr)	165.88	165.56	164.98	166.10	166.20
Peso de recipiente+ Muestra seca (gr)	147.88	147.47	146.82	147.12	146.33
Peso del agua (gr)	18.00	18.09	18.16	18.98	19.87
Peso de muestra seca (gr)	111.00	110.97	111.14	111.02	110.13
Contenido de Humedad (%)	16.22 %	16.30 %	16.34 %	17.10 %	18.04 %
Contenido de Humedad Promedio		16.80 %			


 CESAR EDILBERTO ARBULU JURADO
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 115764

 Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil																																									
Título de Tesis:	"Efecto de incorporación de desperdicio avícola en las propiedades físicas y mecánicas, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegria, San Sebastián, Cusco-2022"																																								
Ensayo:	Cohesión																																								
Ubicación:	Calle Ciro Alegria, Km 00+310																																								
Responsables:	Luwi Gilbert MENDOZA GONZALES Fredy Americo MENDOZA VILLALOBOS																																								
Descripción de la Muestra:	Suelo Limo-Arcilloso que pasa por la malla 440																																								
Fecha de ensayo:	25/05/2022																																								
Resultados de cohesión																																									
Número del ensayo	Plasma (%) agua	Clasificación de tierra (según API)	Peso sólido por muestra (g)	Agua (gr) (%)	Agua (gr)	Plasma (%)	Plasma (g)	Fluorescencia (%)	Diámetro (mm)	Carga (kg)	Paso (mm)	Paso (mm)	01 mm	02 mm	03 mm	04 mm	05 mm	06 mm	07 mm	08 mm	09 mm	10 mm	15 mm	20 mm	25 mm	30 mm	37.5 mm	47.5 mm	60 mm	75 mm	90 mm	105 mm	120 mm	150 mm	190 mm	250 mm	300 mm				
01	0.7%	01.0%	223.0	18.0%	21.2	0.7%	1.5	0%	0.3	250	204.0	202.1	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3		
02	0.7%	0.0%	223.0	18.0%	21.2	0.7%	1.5	0%	0.0	70	202.1	202.1	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	
03	0.0%	0.0%	223.0	18.0%	21.2	0.7%	0.0	0%	0.0	70	204.0	207.0	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	
04	0.0%	01.0%	223.0	18.0%	21.2	0.7%	0.0	0%	0.3	100	204.0	208.0	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	
05	0.7%	0.0%	223.0	18.0%	21.2	0.7%	1.5	0%	0.0	140	203.0	205.0	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3
06	0.7%	01.0%	223.0	18.0%	21.2	0.7%	1.5	0%	0.3	130	202.1	207.0	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	
07	0.0%	01.0%	223.0	18.0%	21.2	0.7%	0.0	0%	0.3	200	203.0	208.0	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	
08	0.7%	01.0%	223.0	18.0%	21.2	0.7%	1.5	0%	0.3	170	204.0	204.0	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	
09	0.7%	01.0%	223.0	18.0%	21.2	0.7%	1.5	0%	0.3	160	203.0	202.0	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	
10	0.7%	0.0%	223.0	18.0%	21.2	0.7%	1.5	0%	0.0	80	203.0	202.0	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	
11	0.0%	0.0%	223.0	18.0%	21.2	0.7%	0.0	0%	0.0	90	203.0	207.0	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	
12	0.0%	01.0%	223.0	18.0%	21.2	0.7%	0.0	0%	0.3	110	203.0	207.0	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	
13	0.7%	0.0%	223.0	18.0%	21.2	0.7%	1.5	0%	0.0	140	203.0	206.0	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	
14	0.7%	01.0%	223.0	18.0%	21.2	0.7%	1.5	0%	0.3	110	203.0	206.0	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	
15	0.0%	01.0%	223.0	18.0%	21.2	0.7%	0.0	0%	0.3	110	203.0	207.0	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	
16	0.7%	01.0%	223.0	18.0%	21.2	0.7%	1.5	0%	0.3	120	207.0	209.0	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	41.3	


 CESAR EDILBERTO ARBULU JURADO
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 115764



 Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil																								
Título de Tesis:	"Efecto de incorporación de desperdicio avícola en las propiedades físicas y mecánicas, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco-2022"																							
Ensayo:	Densidad Seca																							
Ubicación:	Calle Ciro Alegría, Km 00+310																							
Responsables:	Luis Gilbert MENDOZA GONZALES Freddy Americo MENDOZA VILLALOBOS																							
Descripción de la Muestra:	Suelo Limo-Arcilloso que pasa por la malla #40																							
Fecha de ensayo:	25/05/2022																							
Resultados de densidad seca																								
Nombre del ensayo	Plumas (% suelo)	Cáscaras de huevo (% agua)	Peso sólido por muestra (g)	Agua Optima (%)	Agua (g)	Plumas (g)	Huesos rotos (%)	Huesos rotos (g)	Carga (Kg)	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D prom (mm)	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	H prom (mm)	Vol (cm ³)	Dh (g/cm ³)	Seción (cm ²)	Ds (g/cm ³)	
N1	0.7%	40.0%	223.0	10.4%	23.19	0.7%	1.53	40%	9.28	250	224.6	202.9	41.3	41.5	41.4	41.40	87.9	86.87	86.39	87.05	117.19	1.9	1.5	1.73
N2	0.7%	0.0%	223.0	10.4%	23.19	0.7%	1.53	40%	0.00	70	225.2	212.2	41.5	41.7	41.5	41.37	94.58	94.7	95.22	94.63	128.69	1.8	1.6	1.65
N3	0.0%	0.0%	223.0	10.4%	23.19	0.7%	0.00	40%	0.00	110	223.4	207.9	41.4	41.5	41.9	41.60	89.43	89.56	88.39	89.13	121.14	1.8	1.6	1.72
N4	0.0%	40.0%	223.0	10.4%	23.19	0.7%	0.00	40%	9.28	190	226.6	210.8	41.6	41.5	41.7	41.60	88.32	87.88	88.45	88.22	119.80	1.9	1.6	1.70
N5	0.7%	0.0%	223.0	10.4%	23.19	0.7%	1.53	40%	0.00	140	220.3	209	41.4	42.1	41.8	41.77	87.9	89.3	87.97	88.39	121.10	1.8	1.7	1.69
N6	0.7%	40.0%	223.0	10.4%	23.19	0.7%	1.53	40%	9.28	120	222.2	207.9	41.5	41.5	41.8	41.60	89.28	91.64	88.05	89.66	121.46	1.8	1.6	1.71
N7	0.0%	40.0%	223.0	10.4%	23.19	0.7%	0.00	40%	9.28	260	221.5	209.8	41.4	41.7	41.9	41.67	83.54	82.7	84.15	83.46	113.81	1.9	1.6	1.70
N8	0.7%	40.0%	223.0	10.4%	23.19	0.7%	1.53	40%	9.28	170	214.0	192.4	41.5	41.5	41.7	41.57	80.33	82.04	81.31	81.23	110.22	1.9	1.6	1.75
N9	0.0%	0.0%	223.0	10.4%	23.19	0.7%	0.00	40%	0.00	80	224.3	146.2	41.9	41.8	41.9	41.87	61.04	64.72	63.3	63.02	86.76	2.6	1.8	1.60
N10	0.7%	0.0%	223.0	10.4%	23.19	0.7%	0.00	40%	0.00	90	224.9	208.7	41.3	41.5	41.5	41.43	90.04	90.08	89.37	89.83	121.12	1.9	1.35	1.72
N11	0.0%	0.0%	223.0	10.4%	23.19	0.7%	0.00	40%	9.28	140	225.3	208.7	41.1	41.8	41.7	41.53	89.1	88.29	87.65	88.35	119.69	1.9	1.35	1.74
N12	0.0%	40.0%	223.0	10.4%	23.19	0.7%	1.53	40%	0.00	140	221.0	204.6	41.5	41.5	41.3	41.30	89.3	89.78	88.83	89.30	120.80	1.8	1.35	1.69
N13	0.7%	0.0%	223.0	10.4%	23.19	0.7%	1.53	40%	9.28	110	223.5	208.6	41.4	41.4	41.6	41.47	91.15	91.1	91.59	91.28	123.27	1.8	1.35	1.69
N14	0.7%	40.0%	223.0	10.4%	23.19	0.7%	1.53	40%	9.28	110	215.4	201.5	41.4	41.5	41.8	41.57	87.49	88.84	88.41	88.25	119.75	1.8	1.36	1.68
N15	0.0%	40.0%	223.0	10.4%	23.19	0.7%	1.53	40%	9.28	320	219.7	198.9	41.5	41.6	41.6	41.57	81.66	81.68	81.03	81.46	110.54	2.0	1.36	1.80

CESAR EDILBERTO ARBULU JURADO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. N° 115784

 Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil																								
Título de Tesis:	"Efecto de incorporación de desperdicio avícola en las propiedades físicas y mecánicas, en suelo limo-arcilloso de la subrasante, calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco-2022"																							
Ensayo:	Resistencia a la Compresión																							
Ubicación:	Calle Ciro Alegría, Km 00+310																							
Responsables:	Luis Gilbert MENDOZA GONZALES Freddy Americo MENDOZA VILLALOBOS																							
Descripción de la Muestra:	Suelo Limo-Arcilloso que pasa por la malla #40																							
Fecha de ensayo:	25/05/2022																							
Resultados de resistencia a la compresión simple																								
Nombre del ensayo	Plumas (% suelo)	Cáscaras de huevo (% agua)	Peso sólido por muestra (g)	Agua Optima (%)	Agua (g)	Plumas (g)	Huesos rotos (%)	Huesos rotos (g)	Carga (Kg)	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D prom (mm)	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	H prom (mm)	Vol (cm ³)	Dh (g/cm ³)	Seción (cm ²)	Fv (kg/cm ²)	
N1	0.7%	40.0%	223.0	10.4%	23.192	0.7%	1.535	40%	9.277	250	224.6	202.5	41.3	41.5	41.4	41.40	87.9	86.87	86.39	87.1	117.2	1.8	1.35	1.640
N2	0.7%	0.0%	223.0	10.4%	23.192	0.7%	1.535	40%	0.000	70	225.3	212.2	41.5	41.7	41.5	41.57	94.58	94.7	95.22	94.8	128.7	1.8	1.36	1.710
N3	0.0%	0.0%	223.0	10.4%	23.192	0.7%	0.000	40%	0.000	110	223.4	207.9	41.4	41.5	41.9	41.60	89.43	89.56	88.39	89.1	121.1	1.8	1.36	1.612
N4	0.0%	40.0%	223.0	10.4%	23.192	0.7%	0.000	40%	9.277	190	226.6	210.8	41.6	41.5	41.7	41.60	88.32	87.88	88.45	88.2	119.8	1.9	1.36	1.700
N5	0.7%	0.0%	223.0	10.4%	23.192	0.7%	1.535	40%	0.000	140	220.3	209	41.8	42.1	41.8	41.77	87.9	89.3	87.97	88.4	121.1	1.8	1.37	1.620
N6	0.7%	40.0%	223.0	10.4%	23.192	0.7%	1.535	40%	9.277	120	222.2	207.9	41.5	41.5	41.8	41.60	89.28	91.64	88.05	89.7	121.4	1.8	1.36	1.680
N7	0.0%	40.0%	223.0	10.4%	23.192	0.7%	0.000	40%	9.277	260	221.5	209.8	41.4	41.7	41.9	41.67	83.54	82.7	84.15	83.5	113.8	1.9	1.36	1.680
N8	0.7%	40.0%	223.0	10.4%	23.192	0.7%	1.535	40%	9.277	170	214.0	192.4	41.5	41.5	41.7	41.57	80.33	82.04	81.31	81.2	110.2	1.9	1.36	1.750
N9	0.0%	0.0%	223.0	10.4%	23.192	0.7%	0.000	40%	0.000	80	224.9	146.2	41.8	41.8	41.9	41.87	61.04	64.72	63.3	63.0	86.9	2.6	1.38	1.584
N10	0.0%	40.0%	223.0	10.4%	23.192	0.7%	0.000	40%	9.277	140	225.3	208.7	41.1	41.8	41.7	41.53	89.1	88.29	87.65	88.3	121.1	1.9	1.35	1.700
N11	0.7%	0.0%	223.0	10.4%	23.192	0.7%	1.535	40%	0.000	140	221.0	204.6	41.5	41.5	41.3	41.30	89.3	89.78	88.83	89.3	120.8	1.8	1.35	1.636
N12	0.0%	40.0%	223.0	10.4%	23.192	0.7%	1.535	40%	9.277	110	223.5	208.6	41.4	41.4	41.6	41.47	91.15	91.1	91.59	91.3	123.3	1.8	1.35	1.617
N13	0.0%	40.0%	223.0	10.4%	23.192	0.7%	1.535	40%	9.277	110	215.4	201.5	41.4	41.5	41.8	41.57	87.49	88.84	88.41	88.2	119.8	1.8	1.36	1.617
N14	0.7%	40.0%	223.0	10.4%	23.192	0.7%	1.535	40%	9.277	320	219.7	198.9	41.5	41.6	41.6	41.57	81.66	81.68	81.03	81.5	110.5	2.0	1.36	1.800

CESAR EDILBERTO ARBULU JURADO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. N° 115784



Validación de Instrumentos



Metrotest

E.I.R.L.
LABORATORIO DE METROLOGÍA

Página 1 de 3

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CLM-575-2022

Solicitante	: ARBULU JURADO CESAR EDILBERTO	Misión: Prestar servicios con política de mejoramiento continuo y cumplimiento con las normas y especificaciones técnicas requeridas en máquinas y equipos para medición y ensayos.
Dirección	: AV. MICAELA BASTIDAS 258 OF. 704 - WANCHAQ - CUSCO	Visión: Lograr la confianza de nuestros clientes en el desarrollo de sus empresas a través de nuestros servicios. Tenemos como objetivo alcanzar el liderazgo en el mercado, y de esta manera obtener para nuestros empleados la consecución de ideales en el plano intelectual y personal, con constante investigación e innovación, en la búsqueda de la máxima exactitud en la medición de ensayos.
Instrumento de Medición	: COPA CASA GRANDE	
Marca:	: PINZUAR	
Modelo:	: PS11	
Serie:	: 1846	
Identificación:	: NO INDICA	
Procedencia:	: COLOMBIA	
Contador	: ANALOGO	
División mínima:	: 1	
Lugar de Calibración	: Lab. Longitud de Metrotest E.I.R.L.	
Fecha de Calibración	: 2022-01-21	
Fecha de Emisión	: 2022-01-21	

Método de Calibración Empleado

La calibración se realizó por comparación directa usando un tacómetro y un Cronometro Patrón certificados, empleando el método de comparación entre las indicaciones de lectura del equipo Casagrande a calibrar versus las revoluciones por minuto medidas con el tacómetro patrón en un tiempo determinado.
Tomando Como referencia la Norma ASTM D 4318 y el Manual de Ensayos de Materiales (EM2000)
Determinación de Limite Liquido de los Suelos MTC E 110 - 2000.

Observaciones:

- Se colocó una etiqueta con la indicación "CALIBRADO".
- Base endurecida Cumple con su referencia a rebote Seco

Los errores encontrados son menores a los Errores Máximos Permitidos (e.m.p) para su Clase de Exactitud. Los resultados indicados en el presente documentos son validos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe utilizarse como certificado de conformidad de producto.
METROTEST EIRL. No se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento. El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.
El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.

- (*) Código inscrito en una etiqueta adherida al instrumento.





Luigi Asenjo G.
Jefe de Metrología

Jr. Anástades Sologuren 484 Dpto. 102 Urb. Pájaros de Wila Sol - Los Olivos www.metrotestair.com / metrotestlogistica@hotmail.com / ventas@metrotestair.com
 Telf.: 528-7898 Telefax: 528-3324 Entel: 997 045 343 / #962 889 991
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE METROTEST EIRL



Metrotest E.I.R.L.

LABORATORIO DE METROLOGÍA

Certificado de Calibración
CLM-575-2022 Página 2 de 3

Condiciones Ambientales:

	Inicial	Final
Temperatura	21,2°C	21,0°C
Humedad Relativa	51 %	52,0 %

PATRONES DE REFERENCIA:

Los resultados de la calibración realizada son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Masa del Servicio Nacional de Metrología SNM – INDECOPI en concordancia con el sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrones de referencia de METROTEST E.I.R.L.	Pie de rey Patrón	CLM-001-2018
Patrones de referencia del DM-INACAL	Cronometro Patrón de 0,01 seg de resolución	LTF-C-111-2018
Patrones de referencia del DM-INACAL	Tacómetro Patrón de 0,1 RPM de resolución	LTF-C-108-2018

RESULTADOS

APARATO DE LIMITE LIQUIDO

	Descripción	Código	Dimensiones			
			Métrico (mm)	Tolerancia (mm)	Inglés (in)	Tolerancia (in)
Conjunto de la cazuela	Radio de la copa	A	54,472	54 ±0.5	2,14	0,020
	Espesor de la copa	B	1,938	2 ±0.1	0,08	0,004
	Profundidad de la copa	C	26,554	27 ±0.5	1,05	0,020
Base	Copa desde la guía del elevador hasta la base	N	47,8	47 ±1	1,88	0,039
	Espesor	K	50,86	50 ±2	2,00	0,08
	Largo	L	149,65	150 ±2	5,89	0,08
	Ancho	M	125,228	125 ±2	4,93	0,08

RANURADOR

Espesor	a	10,06	0,1	0,40	0,004
Borde Cortante	b	2,47	0,1	0,10	0,004
Ancho	c	13,48	0,1	0,53	0,004



Luigi Asarjio G.
Jefe de Metrología



Metrotest^{E.I.R.L.}

LABORATORIO DE METROLOGÍA

Certificado de Calibración
CLM-575-2022 Página 3 de 3

CONTOMETRO

N° Cuentas del Patrón	N° Cuentas del Instrumento	Error de N° de cuentas	Incertidumbre de N° cuentas
2	2	0	1
5	5	0	1
10	10	0	1
15	15	0	1
20	20	0	1
25	25	0	1
30	30	0	1

Incertidumbre

La incertidumbre de medición reportada ha sido calculada de acuerdo con las Guías OIML G1-100-en: 2008 (JCGM 100: 2008) y OIML G1-104-en: 2009 (JCGM 104: 2009) "Guía para la expresión de la incertidumbre en las Mediciones", la cual sugiere desarrollar un modelo matemático que tome en cuenta los factores de influencia durante La Incertidumbre indicada no incluye una estimación de las variaciones a largo plazo.

La Incertidumbre de medición reportada se denomina Incertidumbre expandida (U) y se obtiene de la multiplicación de la Incertidumbre Estándar Combinada (u) por el factor de cobertura (k). Generalmente se expresa un actor $k=2$ para un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

Fin del Certificado de Calibración





PINZUAR LTDA
ATA. TECNOLOGÍA Y CALIDAD - LA MANA ALBINOCCOL, NECOCO

INSPECTION CERTIFICATE CERTIFICADO DE INSPECCIÓN

CAZUELA CASAGRANDE MANUAL

CONFORME CON LA NORMA

NORMA: INV E-125 REFERENCIA: PS11

CERTIFICA QUE CUMPLE CON
LOS SIGUIENTES REQUERIMIENTOS

CARACTERÍSTICAS	RESULTADO	UNIDAD
Peso de la copa y el soporte	203,80	g
Espesor de la copa	2,01	mm
Profundidad de la copa.	26,94	mm
Altura de la base	50,84	mm
Ancho de la base	124,91	mm
Longitud de la base	149,80	mm

No Serie / Lote: 1846 / N.P.

FECHA: 2022-02-06 FIRMA: 

PINZUAR LTDA

AC-P-01-E-140Rev.00 Válido desde 2017-11-10

Este informe expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas y se refiere al momento y condiciones en que se realizaron.

Pinzuar Ltda. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado del instrumento.

TEL: [57 1] 745-4555 | Calle 18 No. 103 B 72
www.pinzuar.com.co Bogotá - Colombia



Metrotest E.I.R.L.

LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIDAD

El presente documento garantiza la calidad y detalla las especificaciones técnicas de nuestro producto.

PRODUCTO	MOLDE PROCTOR MODIFICADO
NORMA	ASTM D-1557
MODELO	MS-40
SERIE	652
MARCA	METROTEST
PROCEDENCIA	PERU
MATERIAL	Molde fabricado en hierro zincado Diámetro interior 6" (152,4mm) y altura de 116,43mm. Incluye base y collar.

* Certificamos que los datos corresponden a lo indicado por nuestro proveedor.

Atentamente





Metrotest^{E.I.R.L.}

LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CTM-100-2022

Página 1 de 5

Solicitante : CONSULTORA ITHENDA E.I.R.L.
Dirección : AV. MICAELA BASTIDAS NRO. 258 INT. 704
 CERCA DO DE WANCHAQ - CUSCO - WANCHAQ
Equipo de Medición : HORNO ELECTRICO
Marca : METROTEST
Modelo : MS-H1
Procedencia : PERÚ
Código de Identificación : NO INDICA
Número de Serie : 839
Temperatura de trab : 110 °C ± 10 °C
Ventilación : Natural
Lugar de Calibración : Lab. Temperatura de Metrotest E.I.R.L.

Misión:
 Prestar servicios con política de mejoramiento continuo y cumplimiento con las normas y especificaciones técnicas requeridas en máquinas y equipos para medición y ensayos.

Visión:
 Lograr la confianza de nuestros clientes en el desarrollo de sus empresas a través de nuestros servicios.
 Tenemos como objetivo alcanzar el liderazgo en el mercado, y de esta manera obtener para nuestros empleados la consecución de ideales en el plano intelectual y personal, con constante investigación e innovación, en la búsqueda de la máxima exactitud en la medición de ensayos.

Instrumento de Medición :

Nombre	Marca	Modelo	Código de Identificación	Alcance de indicación	División mínima	Tipo de Indicación
Termometro controlador	AUTONICS	TCN4S	NO INDICA	200°C	1°C	Digital

Fecha de Calibración : 2022-01-21

Fecha de Emisión : 2022-01-21

Método de Calibración : Empleado

La calibración se realizó tomando como referencia el Método de Comparación entre las indicaciones de lectura del termometro controlador del equipo a calibrar con Termometro patrón con 10 termopares utilizando el "Procedimiento de INDECOPI/SNM PC-005 1ª Ed. "Procedimiento para la Calibración de Homos".

Observaciones

- Se colocó una etiqueta con la indicación "CALIBRADO".
- La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento.



Luigi Asehjo G.
 Jefe de Metrologia



Metrotest E.I.R.L.

LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACION CTM-100-2018

Página 2 de 5

PATRONES DE REFERENCIA:

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
METROTEST E.I.R.L.	Termometro de indicación Digital con 10 sensores	CTM-001-2022
Patrones de referencia de DM-INACAL	Termometro de indicación digital	LT-539-2017

Condiciones Ambientales:

	Inicial	Final
Temperatura (°C)	19,9	20,3
Humedad (%)	43	45

Resultados de la calibración:

CALIBRACIÓN PARA 110 °C ± 10 °C

TIEMPO (min.)	T ind. (°C) Termómetro del equipo	TEMPERATURA EN LAS POSICIONES DE MEDICION (° C)										T prom. (°C)	Tmax-Tmin. (°C)
		NIVEL SUPERIOR					NIVEL INFERIOR						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
00	110	111,3	112,2	112,3	110,1	112,1	111,6	111,6	110,6	110,2	112,5	111,5	2,4
02	110	111,3	112,2	112,3	110,1	112,1	111,6	111,6	110,6	110,2	112,5	111,5	2,4
04	110	111,3	112,2	112,3	110,1	112,1	111,6	111,6	110,6	110,2	112,5	111,5	2,4
06	110	111,3	112,2	112,3	110,1	112,2	111,7	111,6	110,7	110,3	112,5	111,5	2,4
08	110	111,4	112,3	112,4	110,1	112,2	111,7	111,7	110,7	110,3	112,6	111,5	2,5
10	110	111,4	112,3	112,4	110,2	112,2	111,7	111,7	110,8	110,4	112,6	111,6	2,4
12	110	111,4	112,3	112,4	110,2	112,2	111,8	111,7	110,8	110,4	112,6	111,6	2,4
14	110	111,4	112,3	112,4	110,2	112,3	111,9	111,7	110,9	110,4	112,6	111,6	2,4
16	110	111,5	112,3	112,4	110,2	112,3	111,9	111,8	110,9	110,5	112,6	111,6	2,4
18	110	111,5	112,4	112,4	110,3	112,4	111,9	111,8	111,0	110,5	112,7	111,7	2,4
20	110	111,5	112,4	112,4	110,3	112,4	111,9	111,8	111,1	110,5	112,7	111,7	2,4
22	110	111,5	112,4	112,4	110,3	112,4	112,0	111,9	111,1	110,5	112,7	111,7	2,4
24	110	111,6	112,4	112,4	110,3	112,4	112,0	111,9	111,1	110,6	112,7	111,7	2,4
26	110	111,6	112,4	112,4	110,4	112,5	112,0	112,0	111,2	110,6	112,7	111,8	2,3
28	110	111,6	112,4	112,4	110,4	112,5	112,0	112,0	111,2	110,6	112,7	111,8	2,3
30	110	111,6	112,4	112,4	110,4	112,5	112,0	112,0	111,2	110,6	112,7	111,8	2,3
32	110	111,6	112,4	112,4	110,4	112,5	112,1	112,0	111,3	110,6	112,7	111,8	2,3
34	110	111,7	112,4	112,4	110,5	112,6	112,1	112,1	111,3	110,7	112,7	111,9	2,2
36	110	111,7	112,4	112,5	110,5	112,6	112,1	112,2	111,3	110,7	112,7	111,9	2,2
38	110	111,7	112,4	112,5	110,5	112,6	112,1	112,2	111,3	110,7	112,7	111,9	2,2
40	110	111,7	112,5	112,5	110,5	112,6	112,1	112,2	111,3	110,7	112,7	111,9	2,2
42	110	111,8	112,5	112,5	110,6	112,6	112,1	112,2	111,3	110,8	112,7	111,9	2,1
44	110	111,8	112,5	112,5	110,6	112,6	112,2	112,2	111,4	110,8	112,7	111,9	2,1
46	110	111,9	112,5	112,6	110,6	112,6	112,2	112,2	111,4	110,8	112,6	111,9	2,0
48	110	111,9	112,5	112,6	110,7	112,6	112,2	112,2	111,4	110,9	112,6	112,0	1,9
50	110	112,0	112,5	112,6	110,7	112,7	112,3	112,2	111,4	110,9	112,6	112,0	2,0
52	110	112,0	112,7	112,6	110,7	112,7	112,3	112,3	111,5	110,9	112,6	112,0	2,0
54	110	112,1	112,5	112,6	110,8	112,7	112,4	112,4	111,5	110,9	112,6	112,1	1,9
56	110	112,1	112,5	112,6	110,8	112,7	112,4	112,4	111,5	111,0	112,5	112,1	1,9
58	110	112,1	112,5	112,6	110,9	112,7	112,4	112,4	111,5	111,0	112,5	112,1	1,8
60	110	112,1	112,5	112,6	110,9	112,7	112,4	112,5	111,5	111,0	112,5	112,1	1,8
T.PROM	110	111,7	112,4	112,5	110,4	112,5	112,0	112,0	111,1	110,6	112,6	111,8	
T.MAX	110	112,1	112,7	112,6	110,9	112,7	112,4	112,5	111,5	111,0	112,7		
T.MIN	110	111,3	112,2	112,3	110,1	112,1	111,6	111,6	110,6	110,2	112,5		
DTT	0,0	0,8	0,5	0,3	0,8	0,6	0,8	0,9	0,9	0,8	0,2		



Jr. Aristides Salazar 484 Dpto. 102 Urb. Parques de Villa Sol - Los Olivos www.metrotesteirl.com / metrotestlogistica@hotmail.com / ventas@metrotesteirl.com

Tel.: 528-7898 Telefax: 528-3324 Entel: 997 045 343 / #962 889 991

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE METROTEST EIRL



Metrotest E.I.R.L.
LABORATORIO DE METROLOGÍA

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
CTM-100-2018**

Página 3 de 5

PARÁMETRO	Valor (°C)	Incertidumbre Expandida (°C)
Máxima Temperatura Medida	112,7	0,2
Mínima Temperatura Medida	110,1	0,3
Desviación de Temperatura en el Tiempo	0,9	0,1
Desviación de Temperatura en el Espacio	2,2	0,3
Estabilidad	± 0,45	0,04
Uniformidad	2,5	0,3

- T.PROM. Promedio de la temperatura en una posición de medición durante el tiempo de calibración.
- T.prom. Promedio de la temperatura en las diez posiciones de medición para un instante dado.
- T.MAX. Temperatura máxima
- T.MIN. Temperatura mínima
- DTT. Desviación de Temperatura en el tiempo.

Para cada posición de medición su "desviación de temperatura en el tiempo" DTT esta dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura registradas en dicha posición

Entre dos posiciones de medición su "desviación de temperatura en el espacio" está dada por la diferencia entre los promedios de temperaturas registradas en ambas posiciones.

Incertidumbre expandida de las indicaciones del termómetro propio del medio isotérmico: **0,5 °C**

La uniformidad es la máxima diferencia medida de temperatura entre las diferentes posiciones espaciales para un mismo instante de tiempo.

La estabilidad es considerada igual a $\pm 1/2$ máx. DTT.



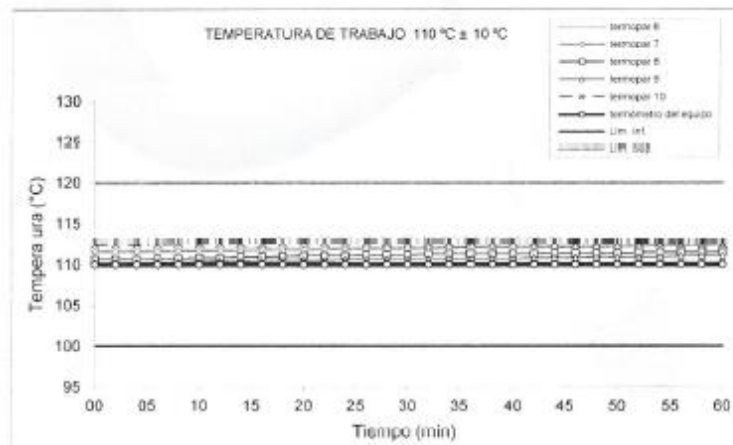
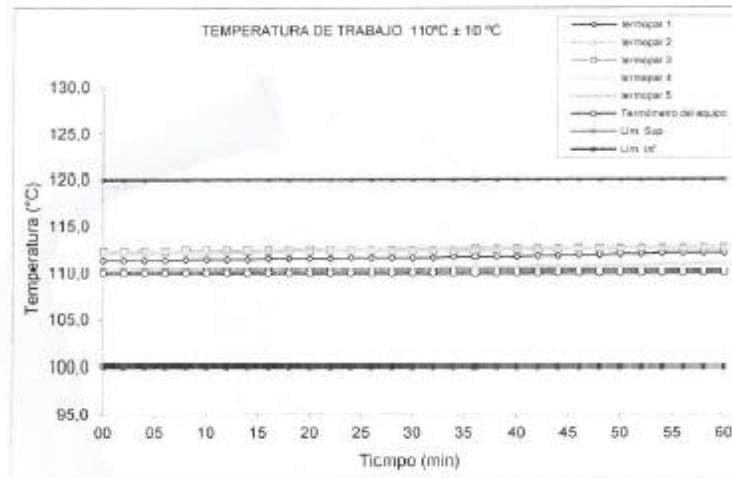


Metrotest E.I.R.L.

LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CTM-100-2018

Página 4 de 5

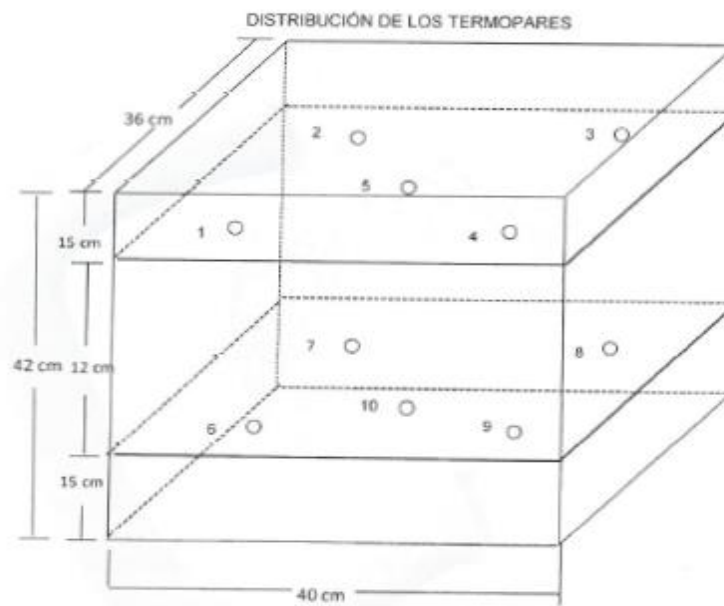




Metrotest E.I.R.L.
LABORATORIO DE METROLOGÍA

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
CTM-100-2018**

Página 5 de 5



Los termopares 5 y 10 están ubicados en el centro de los planos inferior y superior.
Los termopares del 1 al 4 y del 6 al 10 están ubicados a 9 cm de las paredes laterales.
Los termopares del 1 al 4 y del 6 al 10 están ubicados a 10 cm y a 12 cm respectivamente de la parte superior e inferior del horno tal como se muestra en el dibujo.





Metrotest E.I.R.L.
LABORATORIO DE METROLOGÍA

Página 1 de 2

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
CLM-631-2019

Solicitante	: ARBULU JURADO CESAR	Misión: Prestar servicios con política de mejoramiento continuo y cumplimiento con las normas y especificaciones técnicas requeridas en máquinas y equipos para medición y ensayos.
Dirección	: AV. MICAELA BASTIDAS 258 OF. 704 - WANCHAQ - CUSCO	
Instrumento de Medición	: Cono Dinamico para CBR de Campo	Visión: Lograr la confianza de nuestros clientes en el desarrollo de sus empresas a través de nuestros servicios. Tenemos como objetivo alcanzar el liderazgo en el mercado, y de esta manera obtener para nuestros empleados la consecución de ideales en el plano intelectual y personal, con constante investigación e innovación, en la búsqueda de la máxima exactitud en la medición de ensayos.
Marca:	: METROTEST	
Modelo:	: MS-64	
Serie:	: 147	
Identificación:	: NO INDICA	
Procedencia:	: PERÚ	
Alcance máximo:	: 1000 mm	
División mínima:	: 10 mm	
Tipo:	: ANALOGO	
Lugar de Calibración	: Lab. Longitud de Metrotest E.I.R.L.	
Fecha de Calibración	: 2019-06-15	
Fecha de Emisión	: 2019-06-15	

Método de Calibración Empleado

La calibración se efectuó con patrones que tienen trazabilidad al INACAL-DM. El método que se uso fue de comparación directa. Se tomó como referencia la norma ASTM D6951-03 "Método de ensayo estándar para el uso del Penetrómetro Dinámico de Cono en estructuras de pavimentos"

Resultados de las Mediciones

Los resultados de las mediciones efectuadas se muestran en las siguientes páginas del presente documento.

La incertidumbre de la medición que se presenta esta basada en una incertidumbre estándar multiplicado por un factor de cobertura k=2, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95 %.

Condiciones Ambientales:

	Inicial	Final
Temperatura	21,6 °C	21,4 °C
Humedad Relativa	61 %	62 %

Observaciones:

- Se colocó una etiqueta con la indicación "CALIBRADO".
- (*) Código Asignado a la Masa y Equipo
- La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento.
- Los errores encontrados son menores a los errores máximos permitidos (e.m.p.) según DIN 878-1983



Luigi Cienzo G.
Jefe de Metrología



Metrotest E.I.R.L.

LABORATORIO DE METROLOGÍA

Certificado de Calibración CLM-631-2019

Página 2 de 2

Trazabilidad

Los resultados de la calibración realizada son trazables ala Unidad Medida de los Patrones Nacionales de Presión del Servicio Nacional de Metrologia SNM - INDECOPI en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades dev Medida (SI) y el Sistema de Unidades del Perú (SLUMP).

PATRONES DE REFERENCIA:

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrones de referencia de METROTEST E.I.R.L	Cinta Metrica Patrón con incertidumbre de 0,3 mm	CLM-003-2019
Patrones de referencia de METROTEST E.I.R.L	Balanza 10 kg de clase I	CMM-002-2019
Patrones de referencia de METROTEST E.I.R.L	Pie de Rey Digital	CLM-001-2019

MEDIDAS A TOMAR EN CUENTA :

DIAMETRO DE LA BARRA DE ACERO	15,87 mm
CAIDA DE LA MASA	575,9 mm
DIAMETRO DE LA BASE DE LA PUNTA - CONO	20,01 mm
ESCALA GRADUADA	1000 mm
BARRA DE LA ESCALA GRADUADA	1005 mm

ALCANCE DEL ERROR DE INDICACION (f_e)			
VALOR PATRON (cm)	INDICACION DE LA REGLA (cm)	ERROR DE INDICACION (mm)	ERROR MÁXIMO PERMISIBLE ($\pm \mu\text{m}$)
0,000	0,000	0,0	0,6
10,000	10,000	0,0	1,0
20,000	20,000	0,0	1,4
30,000	30,000	0,0	1,8
50,000	50,000	0,0	1,8
60,000	60,000	0,0	1,8
80,000	80,000	0,0	1,8
100,000	100,000	0,0	1,8

Error de Repetibilidad (f_w) : 0 μm
Incertidumbre de medición : 0,3 mm

VALOR DE LA MASA

VALOR NOMINAL	IDENTIF.	MASA CONVENCIONAL	INCERTI.	MATERIAL
8 kg \pm 0,01 Kg	No indica	7998 g	0,03 g	ACERO



Luigi Aserjdo G.
Jefe de Metrología



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° 1425-145-2022

Página 1 de 3

Arsou Group

Laboratorio de Metrología

Fecha de emisión 2022/03/30

Solicitante CÉSAR EDILBERTO ARBULÚ JURADO

Dirección AV. MICAELA BASTIDAS 258- WANCHAQ - CUZCO-
PERU

Instrumento de medición PRESA HIDRAULICA PARA ROTURA DE CONCRETO

Identificación 1425-145-2020

Marca ARSOU

Modelo PR701

Serie 2138

Capacidad 120000KG

Indicador DIGITAL

Bomba MANUAL

Procedencia PERÚ

Laboratorio de Suelos y Concreto

Ubicación

Lugar de calibración Laboratorio de ARSOU GROUP SAC

Fecha de calibración 2022/03/30

Método/Procedimiento de calibración

El procedimiento toma como referencia a la norma ISO 7500-1 "Metallic materials - Verification of static uniaxial testing machines", Se aplicaron dos series de carga al Sistema Digital mediante la misma prensa. En cada serie se registraron las lecturas de las cargas.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.



ARSOU GROUP S.A.C
Ing. Hugo Luis Arévalo Carnica
METROLOGIA

ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
ventas@arsougroup.com
www.arsougroup.com



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° 1425-145-2022

Página 2 de 3

Arso Group

Laboratorio de Metrología

Patrones e Instrumentos auxiliares

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
Patrones de referencia de PUCP	Celda de Carga de 100 TN	192-19 con trazabilidad INF-LE 250-18.

Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental	Inicial: 20,3 °C	Final: 20,5 °C
Humedad Relativa	Inicial: 63 %hr	Final: 65 %hr
Presión Atmosférica	Inicial: 1015 mbar	Final: 1015 mbar

Resultados

TABLA N° 01

CAUBRACION DE PRENSA HIDRAULICA PARA CONCRETO

SISTEMA DIGITAL "A" KG	SERIES DE VERIFICACIÓN PATRON (Kg)				PROMEDIO "B" kg	ERROR Ep %	RPTBLD Rp %
	SERIE (1) kg	SERIE (2) kg	ERROR %	ERROR (2) %			
10000	10001.4	10000.9	0.0	0.0	10001.2	0.0115	0.00
20000	19999.0	19999.5	0.0	0.0	19999.3	0.00	0.00
30000	30000.0	29999.8	0.0	0.0	29999.9	0.00	0.00
40000	40000.5	39999.4	0.0	0.0	40000.0	0.00	0.00
50000	50000.0	50000.0	0.0	0.0	50000.0	0.00	0.00
60000	60000.4	59999.4	0.0	0.0	59999.9	0.00	0.00
70000	69998.8	69999.4	0.0	0.0	69999.1	0.00	0.00
80000	80000.0	79999.5	0.0	0.0	79999.8	0.00	0.00

NOTAS SOBRE CALIBRACION

1. - La Calibración se hizo según el Método C de la norma ISO 7500-1
- 2.- Ep y Rp son el Error Porcentual y la Repetibilidad definidos en la citada Norma:

$$Ep = ((A-B) / B) * 100 \quad Rp = Error(2) - Error(1)$$
3. - La norma exige que Ep y Rp no excedan el +/- 1.0 %
4. - Incertidumbre expandida del Error (Ep) = 0,35 % (1,73 kg)



ARSOU GROUP S.A.C

Ing. Hugo Luis Arevalo Carnica
METROLOGÍA

ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martin de Porres, Lima, Perú
 Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
 ventas@arsougroup.com
 www.arsougroup.com



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° 1425-145-2022

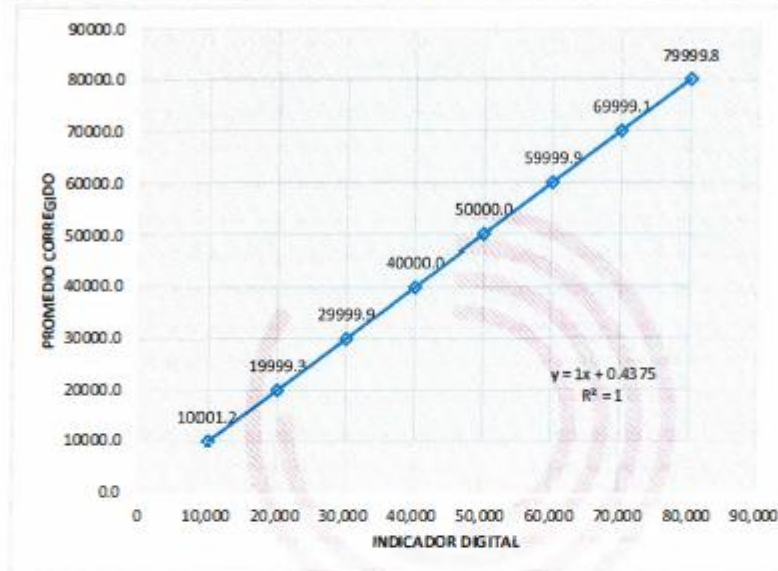
Página 3 de 3

Arsou Group

Laboratorio de Metrología

Gráfica (Coeficiente de correlación y Ecuación de Ajuste)

GRAFICO N° 01



Ecuación de ajuste:

Donde: $y = 1x + 0,4375$

Coeficiente Correlación $R^2 = 1$

X : Lectura de la pantalla (kg)

Y : fuerza promedio (kg)

Observaciones

1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. La incertidumbre de la medición ha sido calculada para un nivel de confianza de aproximadamente del 95 % con un factor de cobertura $k=2$.
3. (*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
4. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CAUBRADO"

ARSOU GROUP S.A.C

Ing. Hugo Luis Arevalo Carnica
METROLOGÍA



ARSOU GROUP S.A.C

Asoc. Mv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú

Tel: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437

ventas@arsougroup.com

www.arsougroup.com



Matriz de consistencia

“Efecto de incorporación de desperdicio avícola tiene un efecto significativo en las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante limo-arcilloso de la calle Ciro Alegría, San Sebastián, Cusco-2022”

Tabla 86

Matriz de consistencia.

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables		Dimensiones	Indicadores	Niveles del Indicador	Instrumentos de investigación	Instrumentos de ingeniería
Problema general: ¿En qué medida la incorporación de desperdicio avícola influye, en las propiedades físicas y mecánicas, del suelo de subrasante limo-arcilloso, de la calle Ciro Alegría, distrito San Sebastián, Cusco- 2022?	Objetivo general: Demostrar los efectos de incorporar, desperdicio avícola en las propiedades físicas y mecánicas, del suelo de subrasante limo-arcilloso, de la calle Ciro Alegría, distrito de San Sebastián, Cusco-2022.	Hipótesis general: La incorporación de desperdicio avícola tiene un efecto significativo en las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante limo-arcilloso de la calle Ciro Alegría, distrito San Sebastián, Cusco-2022.	Independiente	Desperdicio avícola	Queratina de las plumas	Dosis de plumas	0% 8% 30%	Guía de experimentación	Balanza de precisión al décimo de gramo calibrada
					Calcio de cáscara de huevo	Dosis de cascara de huevo	0% 15% 20%	Guía de experimentación	Balanza de precisión al décimo de gramo calibrada
					Agua	Dosis de agua en porcentaje del peso seco del suelo	8% - 16%	Guía de experimentación	Balanza de precisión al décimo de gramo calibrada
Problemas específicos: ¿En qué medida la incorporación de desperdicio avícola afecta, la densidad seca, del suelo de subrasante limo - arcilloso, de la calle Ciro Alegría, distrito San Sebastián, Cusco-2022?	Objetivos específicos: Determinar la medida en que la incorporación de desperdicio avícola afecta, la densidad seca, del suelo de subrasante limo-arcilloso, de la calle Ciro Alegría, distrito San Sebastián, Cusco-2022.	Hipótesis específicas: La incorporación de residuos de la industria avícola afecta significativamente la densidad seca del suelo de subrasante de la calle Ciro Alegría, distrito San Sebastián, Cusco-2022.	Dependiente	Propiedades físicas	Densidad seca	Proctor modificado	1.6 – 2.1	Guía de experimentación	ASTM D7263



<p>¿En qué medida la incorporación de desperdicio avícola afecta, la cohesión en el suelo de subrasante limo-arcilloso, de la calle Ciro Alegría, distrito San Sebastián, Cusco-2022?</p>	<p>Determinar la medida en que la incorporación de desperdicio avícola afecta la cohesión, del suelo de subrasante limo-arcilloso de la calle Ciro Alegría, distrito San Sebastián, Cusco-2022.</p>	<p>La incorporación de desperdicio avícola afecta significativamente la cohesión del suelo de subrasante de la calle Ciro Alegría, distrito San Sebastián, Cusco-2022.</p>	<p>Propiedades mecánicas</p>	<p>Cohesión</p>	<p>Cohesión</p>	<p>1.5 kg/cm² - 12 kg/cm²</p>	<p>Guía de experimentación</p>	<p>ASTM D2166 Máquina de compresión simple calibrada</p>
<p>¿En qué medida la incorporación de desperdicio avícola afecta, la resistencia compresiva, del suelo de subrasante limo -arcilloso, de la calle Ciro Alegría, distrito San Sebastián, Cusco-2022?</p>	<p>Determinar la medida en que la incorporación de desperdicio avícola afecta, la resistencia compresiva, del suelo de subrasante limo-arcilloso, de la calle Ciro Alegría, distrito San Sebastián, Cusco-2022.</p>	<p>La incorporación de residuos de la industria avícola afecta significativamente la resistencia compresiva del suelo de subrasante de la calle Ciro Alegría, distrito San Sebastián, Cusco-2022.</p>		<p>Resistencia compresiva</p>	<p>Resistencia a la compresión simple</p>	<p>3 kg/cm² - 20 kg/cm²</p>	<p>Guía de experimentación</p>	<p>ASTM D2166 Máquina de compresión simple calibrada</p>
<p>¿En qué medida la incorporación de desperdicio avícola afecta el CBR , del suelo de subrasante limo -arcilloso, de la calle Ciro Alegría, distrito San Sebastián, Cusco-2022?</p>	<p>Determinar la medida en que la incorporación de desperdicio avícola afecta el CBR, del suelo de subrasante limo-arcilloso, de la calle Ciro Alegría, distrito San Sebastián, Cusco-2022.</p>	<p>La incorporación de residuos de la industria avícola afecta significativamente el CBR del suelo de subrasante de la calle Ciro Alegría, distrito San Sebastián, Cusco-2022.</p>		<p>Resistencia al corte</p>	<p>Resistencia CBR</p>	<p>3% - 12%</p>	<p>Guía de experimentación</p>	<p>ASTM D 6951 PDC</p>

Panel fotografico

Ensayos de laboratorio

Caracterización del suelo, granulometría:

- Se busco representar, el tamaño de granulometría del suelo, por medio del tamizado, de conformidad a las especificaciones técnicas (Ensayo MTC EM 107). Pudiendo determinarse a partir de ello, sus propiedades, por el tamaño de sus partículas, se determinó un suelo con mayor presencia de limos y arcillas.

Figura 76

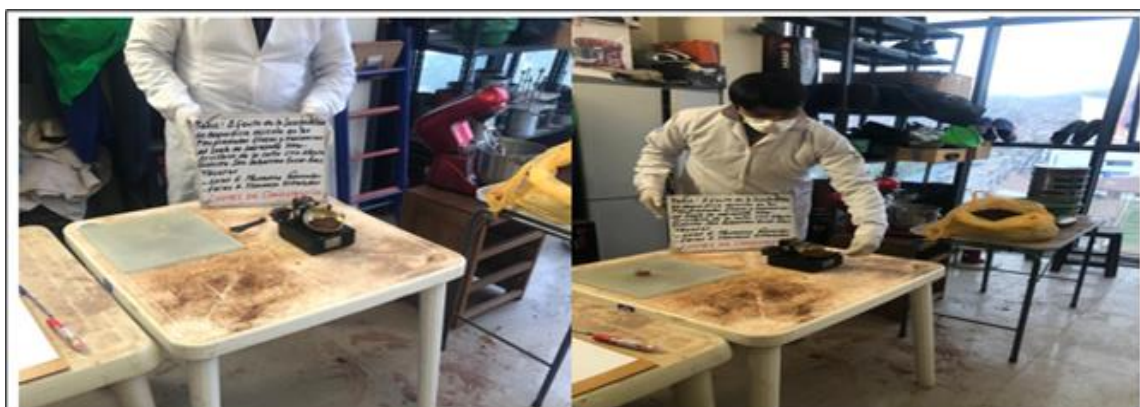
Caracterización del suelo.



- Los Límites de Atterberg se aplicaron para determinar el comportamiento del suelo, en relación a su comportamiento de humedad, definiendo los límites de los tres estados de consistencia correspondientes a su humedad y según los cuales el suelo puede presentarse: líquido, plástico o sólido. Estos límites de Atterberg, que miden la cohesión del suelo, son: el límite líquido (LI según el ensayo MTC EM 110), el límite plástico (según el LP según el ensayo MTC EM 111) y el límite de retracción (LC según la prueba MTC EM 112).

Figura 77

Límites de consistencia





- La Experimentación, del diseño o dosificación deben indicar: formula de trabajo, tipo de suelo, la dosis necesaria para lograr estabilizar (desperdicio avícola), cantidad de agua, valor de CBR o resistencia a la compresión simple.

Figura 78

Dosificación



- Se efectúa el mezclado de suelo, cascara de huevo molido, plumas de conformidad a la dosificación elaborada, en un tiempo establecido.

Figura 79

Dosificación y mezclado



- La sellado de especimenes

Figura 80

Sellado de especímenes



- La eyección, del os especímenes, se efectuó el retiro de las probetas

Figura 81

Proceso de eyección.



- Se procedió con el marcado de las probetas

Figura 82

Marcado





- Se mantiene en reposo las probetas en un margen de tiempo de 8 horas

Figura 83

Reposo y secado



- Una vez mantenidas en reposo se procedio con secar al horno para su posterior prueba de compresion simple

Figura 84

Secado al horno



- Se efectuó el ensayo de la resistencia a la compresión simple de los 16 especímenes.

Figura 85

Compresión simple





Apéndice

Recurso y presupuesto.

Tabla 87

Profesionales

PROFESIONALES	UNI	CANT	C.U.	UNI	PRIMERA FASE		SEGUNDO FASE		PARCIAL	TOTAL
					1	2	1	2		
Asesor	GLOBAL	1	800	S/.	800	800	800	800	3200	3200
Tesistas	GLOBAL	1	100	S/.	100	100	100	100	400	400
									TOTAL	3800

Tabla 88

Gastos operativos

GASTOS OPERATIVOS	UNI	CANT	C.U.	UNI	PRIMERA FASE		SEGUNDO FASE		PARCIAL	TOTAL
					1	2	1	2		
FOTOCOPIAS	COPIA	1	0.1	S/.	50	50	50	50	50	250
MOVILIDAD	S/.	10	15	S/.	30	40	40	40	150	150
ENSAYOS INSITU	S/.	1	50	S/.	40	40	40	40	160	160
IMPRESIONES	S/.	1	0.1	S/.	50	150	50	50	300	300
INTERNET	S/.	1	40	S/.	40	40	40	40	160	160
									TOTAL	820

Tabla 89

Oficina

OFICINA	UNI	CANT	C.U.	UNI	PRIMERA FASE		SEGUNDO FASE		PARCIAL	TOTAL
					1	2	1	2		
PAPEL A4	MILLAR	1 1/2	12	S/.	1				1	12
INTERNET	S/.	1	30	S/.	1				1	30
LAPICEROS, LAPIZ, COLORES	CAJAS	1	11	S/.	1				1	11
COMPUTADOR / LAPTOP	S/.	1	3000	S/.	1	1	1	1	1	3000
USB	S/.	1	32	S/.	1				1	32
IMPRESORA	S/.	1	800		1				1	800
TONER/TINTA	S/.	1	100		1					100
									TOTAL	398,5

Tabla 90

Total, de gastos

TOTAL	UNI	
PROFESIONALES	S/.	3800,00
GASTOS OPERATIVOS	S/.	820,00
OFICINA	S/.	3985,00
PRESUPUESTO TENTATIVO	S/.	8605,00



DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE PROYECTO Y SU CONTENIDO

Yo, Luwi MENDOZA GONZALES, con DNI N° 44455867, domiciliado en la Jr. Libertad J-8, distrito San Sebastián, alumno de la escuela Profesional de Ingeniera Civil, declaro bajo juramento:

Que, la información señalada, en el proyecto titulado “EFECTO DE INCORPORACIÓN DE DESPERDICIO AVÍCOLA EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS, EN SUELO LIMO-ARCILLOSO DE LA SUBRASANTE, CALLE CIRO ALEGRÍA, SAN SEBASTIÁN, CUSCO-2022”, es autentica, comprometiéndome a presentar documentos originales que acrediten la información.

Por lo expuesto, asumo la responsabilidad por a la veracidad de la información antes mencionada

Cusco, 14 de abril del 2022.

Luwi MENDOZA GONZALES

DNI N° 44455867



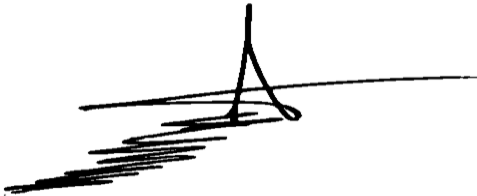
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE PROYECTO Y SU CONTENIDO

Yo, Fredy Américo MENDOZA VILLALOBOS, con DNI N° 43488752, domiciliado en la Urb. Manco Capac A-8, distrito Santiago, alumno de la escuela Profesional de Ingeniería Civil, declaro bajo juramento:

Que, la información señalada, en el proyecto titulado “EFECTO DE INCORPORACIÓN DE DESPERDICIO AVÍCOLA EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS, EN SUELO LIMO-ARCILLOSO DE LA SUBRASANTE, CALLE CIRO ALEGRÍA, SAN SEBASTIÁN, CUSCO-2022”, es auténtica, comprometiéndome a presentar documentos originales que acrediten la información.

Por lo expuesto, asumo la responsabilidad por la veracidad de la información antes mencionada

Cusco, 14 de abril del 2022.



Fredy A. MENDOZA VILLALOBOS
DNI N° 43488752