

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO

TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN



**“CORRELACIÓN ENTRE LÍMITES DE ATTERBERG Y DENSIDADES
COMPACTADAS DINÁMICAMENTE A LA HUMEDAD OPTIMA EN
ARCILLAS DE BAJA PLASTICIDAD”**

Por:

MARIA RENE CALIZAYA ARAMAYO

Proyecto presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

Semestre II – 2023

TARIJA - BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO

TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN

**“CORRELACIÓN ENTRE LÍMITES DE ATTERBERG Y DENSIDADES
COMPACTADAS DINÁMICAMENTE A LA HUMEDAD ÓPTIMA EN
ARCILLAS DE BAJA PLASTICIDAD”**

Por:

MARIA RENE CALIZAYA ARAMAYO

Semestre II – 2023

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA:

El presente trabajo de investigación es dedicado a toda mi familia, a mis padres: Rene Calizaya y Fanny Aramayo, hermanas Sara y Paula, sobrinos Santiago, Luciana y Thiago porque ellos me dieron las fuerzas para seguir adelante y poder culminar esta etapa en mi vida. También es dedicado con mucho cariño a todos mis amigos, Ivan, Marcelo, Maria, Tatiana, Cinthia, Cristhian, y Dalma. porque con ellos vivimos experiencias inolvidables en el tiempo que estuvimos como compañeros, fortaleciendo así nuestra amistad.

ÍNDICE
CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

| | Página |
|---|--------|
| 1.1. Antecedentes..... | 1 |
| 1.2. Situación problemática..... | 2 |
| 1.2.1. Problema | 3 |
| 1.2.2. Relevancia y factibilidad del problema | 3 |
| 1.2.3. Delimitación temporal y especial del problema..... | 4 |
| 1.3. Justificación | 4 |
| 1.4. Objetivos | 6 |
| 1.4.1. Objetivo General | 6 |
| 1.4.2. Objetivos específicos | 6 |
| 1.5. Hipótesis..... | 7 |
| 1.6. Operacionalización de variables | 7 |
| 1.6.1. Variable independiente | 7 |
| 1.6.2. Variable dependiente | 8 |
| 1.7. Identificación del tipo de investigación | 8 |
| 1.8. Unidades de estudio y decisión maestra | 8 |
| 1.8.1. Unidad de estudio | 8 |
| 1.8.2. Población..... | 8 |
| 1.8.3. Muestra | 9 |
| 1.8.4. Selección de las técnicas de muestreo | 9 |
| 1.9. Métodos y técnicas empleadas | 9 |

| | |
|---|---|
| 1.9.1. Métodos..... | 9 |
| 1.9.2. Técnicas | 9 |
| 1.10. Procesamiento de la información | 9 |
| 1.11. Alcance de la investigación..... | 9 |

CAPITULO II

CONSIDERACIONES GENERALES DE LOS LÍMITES DE ATTERBERG Y COMPACTACIÓN

| | Página |
|--|--------|
| 2.1. Suelo..... | 11 |
| 2.1.1. Suelos finos | 11 |
| 2.1.2. Distribución del tamaño de partícula..... | 12 |
| 2.2. Granulometría de suelos..... | 13 |
| 2.2.1. Método de tamizado | 14 |
| 2.3. Clasificación SUCS | 15 |
| 2.4. Límites de un suelo | 16 |
| 2.4.1. Plasticidad de suelos | 17 |
| 2.4.2. Estados de consistencia, límites de plasticidad | 19 |
| 2.4.3. Determinación del límite líquido..... | 20 |
| 2.4.4. Determinación actual del límite plástico | 23 |
| 2.4.5. Índice de plasticidad | 24 |
| 2.5. Compactación de suelos | 25 |
| 2.5.1. Pruebas de compactación..... | 27 |
| 2.5.2. Curva de saturación | 32 |
| 2.5.3. Consideraciones sobre el significado de los términos “humedad óptima” y "densidad seca máxima” | 39 |

| | |
|---|----|
| 2.6. Teoría de la correlación..... | 44 |
| 2.6.1. Relación entre variables..... | 44 |
| 2.6.2. Regresión | 46 |
| 2.6.3. Correlación lineal | 47 |
| 2.6.4. Coeficiente de determinación (R cuadrado)..... | 52 |
| 2.7. Prueba de normalidad..... | 54 |
| 2.7.1. Prueba de shapiro wilk..... | 56 |
| 2.7.2. Prueba de kolmogorov-smirnov | 56 |
| 2.8. Statgraphics | 56 |

CAPITULO III
 APLICACIÓN PRACTICA

| | Página |
|---|--------|
| 3.1. Zona de estudio..... | 57 |
| 3.1.1. Criterio de selección de Muestras..... | 58 |
| 3.1.2. Selección de los puntos de estudio | 61 |
| 3.2. Extracción de muestras | 62 |
| 3.2.1. Ensayo de granulometría para suelos finos ASTM D422..... | 62 |
| 3.3. Ensayo para determinar la consistencia del suelo..... | 67 |
| 3.3.1. Ensayo de limite liquido ASTM D4318 | 67 |
| 3.3.2. Ensayo de limite plástico ASTM D4318 | 72 |
| 3.4. Ensayo para determinar la humedad optima y densidad máxima seca de las muestras. | 76 |

CAPITULO IV
ANÁLISIS DE RESULTADOS

| | Página |
|---|--------|
| 4.1. Datos obtenidos en laboratorio. | 81 |
| 4.2. Pruebas de normalidad. | 82 |
| 4.2.1. Prueba de normalidad para la variable limite liquido | 82 |
| 4.2.2. Prueba de normalidad para la variable limite plástico. | 83 |
| 4.2.4. Prueba de normalidad para la densidad máxima seca | 84 |
| 4.2.5. Prueba de normalidad para contenido de humedad optimo | 84 |
| 4.3. Correlación de variables. | 85 |
| 4.3.1. Correlación simple entre densidad máxima seca vs limite liquido | 85 |
| 4.3.2. Correlación simple entre densidad máxima seca vs limite plástico. | 88 |
| 4.3.4. Correlación simple entre contenido de humedad optimo vs limite liquido | 90 |
| 4.3.5. Correlación simple entre contenido de humedad optimo vs limite plástico | 93 |
| 4.3.7. Resultados obtenidos en el statgraphis para una correlación simple entre Dmaxsec vs LL,LP y CHO vs LL,LP..... | 95 |
| 4.4. Correlación múltiple | 97 |
| 4.4.1. Correlación múltiple Dmaxsec vs LL,LP | 97 |
| 4.4.2. Correlación múltiple CHO vs LL,LP..... | 98 |
| 4.5. Diagnóstico de la correlación. | 99 |
| 4.5.1. Validación para la ecuación mediante correlación múltiple de datos observados vs datos predichos | 101 |
| 4.6. Hipótesis de la investigación | 102 |

CAPITULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | Página |
|----------------------------|--------|
| 5.1. Conclusiones..... | 104 |
| 5.2. Recomendaciones | 105 |

Bibliografía

Anexos

Anexo 1 Ensayos de caracterización

Anexo 2 Ensayos de compactación

Anexo 3 Reporte fotográfico

ÍNDICE DE TABLAS

| | Página |
|--|--------|
| Tabla 1 Operacionalización de variable independiente | 7 |
| Tabla 2 Variable dependiente..... | 8 |
| Tabla 3 Características de suelos finos | 12 |
| Tabla 4 Características de suelos finos | 13 |
| Tabla 5 Clasificación mediante SUCS..... | 15 |
| Tabla 6 Plasticidad de diversos suelos arcillosos/limosos | 24 |
| Tabla 7 Tamaño de muestra de ensayo | 36 |
| Tabla 8 Especificación para la prueba Proctor Modificado | 43 |
| Tabla 9 Interpretación del coeficiente de correlación..... | 50 |
| Tabla 10 Coordenadas de los 30 puntos en los barrios elegidos. | 61 |
| Tabla 11 Granulometría barrio San Mateo..... | 64 |
| Tabla 12 Resumen de Granulometría para los 30 suelos | 65 |
| Tabla 13 Limite plástico barrio San Mateo | 74 |
| Tabla 14 Resumen del límite plástico para las 30 muestras..... | 75 |
| Tabla 15 Compactación punto1 Barrio San Mateo..... | 78 |
| Tabla 16 Resumen de datos obtenidos en laboratorio..... | 81 |
| Tabla 17 Prueba de normalidad para la variable limite liquido..... | 82 |
| Tabla 18 Histograma-limite liquido..... | 82 |
| Tabla 19 Prueba de normalidad para la variable limite plástico..... | 83 |
| Tabla 20 Prueba de normalidad-densidad máxima seca | 84 |
| Tabla 21 Modelos ajustados a los datos Dmaxsec vs LL..... | 85 |
| Tabla 22 Valores de coeficientes para la ecuación Dmax sec vs LL..... | 87 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 23 Modelos ajustados a los datos Dmaxsec vs LP..... | 88 |
| Tabla 24 Modelos que se ajustan a los datos contenido de humedad optimo vs LL | 90 |
| Tabla 25 Coeficientes para la ecuación CHO vs LL..... | 91 |
| Tabla 26 Modelos ajustados a los datos de CHO vs LP | 93 |
| Tabla 27 Coeficientes para la ecuación de CHO vs LP | 95 |
| Tabla 28 Correlación simple entre las variables analizadas..... | 96 |
| Tabla 29 Correlación múltiple Dmaxsec vs LL,LP,IP..... | 97 |
| Tabla 30 Correlación múltiple CHO vs LL,LP,IP | 98 |
| Tabla 31 coordenadas geográficas de los puntos para la validación | 99 |
| Tabla 32 Rangos máximos y mínimos para la validación..... | 100 |
| Tabla 33 Datos de los puntos para la validación | 100 |
| Tabla 34 Validación de las ecuaciones Dmaxsec vs LL,LP y CHO vs LL,LP. | 101 |
| Tabla 35 Interpretación del coeficiente de correlación..... | 102 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Página |
|---|--------|
| Figura 1 Suelo fino | 11 |
| Figura 2 Carta de plasticidad..... | 25 |
| Figura 3 Curvas de compactación Proctor Estándar y Modificado | 30 |
| Figura 4 Compactación de suelo fino | 43 |
| Figura 5 Diagrama de dispersión..... | 45 |
| Figura 6 Diagramas de dispersión | 48 |
| Figura 7 Relación positiva perfecta | 52 |
| Figura 8 Función monótona | 54 |
| Figura 9 12 Histograma de la forma de la campana de Gauus..... | 55 |
| Figura 10 Delimitación de la provincia Cercado-Tarija | 57 |
| Figura 11 Ubicación Geográfica de los 30 diferentes barrios de Tarija | 58 |
| Figura 12 Barrios: San Blas, Mira Flores, Obrajes, San Antonio, Catedral | 59 |
| Figura 13 Barrios: San Mateo, Las Palmas, Chura Primavera, 19 de Marzo..... | 59 |
| Figura 14 Barrios: Pedro Antonio Flores, San Pedro de Buena Vista..... | 60 |
| Figura 15 Che Guevara, Juan Pablo Segundo, Andalucía | 60 |
| Figura 16 Método de tamizado por lavado para suelos finos..... | 63 |
| Figura 17 Tamizado de suelos finos | 63 |
| Figura 18 Curva granulométrica del barrio San Mateo | 64 |
| Figura 19 Formación de la pasta para realizar el limite liquido | 67 |
| Figura 20 Proceso de colocar la muestra en el equipo Casagrande | 68 |
| Figura 21 Muestra de suelo en equipo Casagrande | 68 |
| Figura 22 Ranuración de la muestra en equipo Casagrande | 69 |

| | |
|---|----|
| Figura 23 Limite liquido de la muestra 1 barrio San Mateo | 70 |
| Figura 24 Grafica de limite liquido barrio San Mateo | 70 |
| Figura 25 Resumen del límite líquido para las 30 muestras | 71 |
| Figura 26 formación de rollitos para limite plástico..... | 72 |
| Figura 27 Forma de rollitos igual a 3mm..... | 73 |
| Figura 28 Selección de rollitos para limite plástico..... | 73 |
| Figura 29 Preparación de muestras para llevar a secar al horno | 74 |
| Figura 30 Proceso de mezcla par la muestra de compactación | 76 |
| Figura 31 Compactación de la muestra barrio San Mateo | 77 |
| Figura 32 Enrazado de muestra | 77 |
| Figura 33 Peso del molde más la muestra..... | 78 |
| Figura 34 Compactación barrio San Mateo | 79 |
| Figura 36 Histograma-limite Plástico | 83 |
| Figura 37 Histograma-densidad máxima seca..... | 84 |
| Figura 39 Histograma-densidad máxima seca..... | 85 |
| Figura 40 Modelo ajustado Dmax sec vs LL | 87 |
| Figura 41 Modelo ajustado Dmaxsec vs LP..... | 89 |
| Figura 42 Valores de coeficientes para la ecuación Dmaxsec vs LP | 89 |
| Figura 43 Modelo ajustado CHO vs LL | 92 |