

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE
COMUNICACIÓN**



**“COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD IN SITU EN SUBRASANTES
NATURALES ENTRE LOS MÉTODOS CONO DE ARENA Y
DENSÍMETRO NUCLEAR”**

Por:

DALMA LIZETH RUEDA CHOQUE

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

DEDICATORIA

A mis padres Milton Rueda

Aparicio y Lucia Choque
Grimaldo, por el apoyo y
confianza puesta en mi persona.

A mis hermanos Cristian y Pablo
por su apoyo y protección
incondicional.

A mi sobrina Alba Luciana.

A mi querido papá Pablo.

A mis ángeles Pastora, Benita y
Delio por haberme guiado e
iluminado mi camino, sé que
están orgullosos de lo que
estamos logrando.

CONTENIDO GENERAL

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Página
1.1 Antecedentes	1
1.2 Situación problemática	2
1.2.1 Problema	2
1.2.2 Relevancia y factibilidad del problema.....	2
1.2.3 Delimitación temporal y espacial del problema.....	2
1.3 Justificación	3
1.4 Objetivos.....	3
1.4.1 Objetivo General.....	3
1.4.2 Objetivos específicos	3
1.5 Hipótesis	4
1.6 Operacionalización de variables	4
1.6.1 Variable dependiente	4
1.6.2 Variable independiente	4
1.7 Identificación del tipo de investigación	5
1.8 Unidades de estudio y decisión muestral	5
1.8.1 Unidad de estudio	5
1.8.2 Población.....	5
1.8.3 Muestra	5
1.8.4 Selección de las técnicas de muestreo	5
1.9 Métodos y técnicas empleada	6

1.9.1	Métodos.....	6
1.9.2	Técnicas	6
1.10	Procesamiento de la información.....	6
1.11	Alcance de la investigación	6

CAPÍTULO II

DENSIDAD IN SITU EN SUBRASANTES

		Página
2.1	Suelo	8
2.1.1	Propiedades físicas de las partículas del suelo.....	9
2.1.2	Tamaño de partícula de suelo.....	9
2.1.3	Minerales de arcilla.....	9
2.2	Subrasante	12
2.2.1	Funciones de la subrasante.....	13
2.2.2	Características de una subrasante.....	13
2.2.3	Subrasante constituida por limos plásticos y arcillas.....	13
2.2.4	Materiales de una subrasante	14
2.3	Regularización de la subrasante	14
2.4	Granulometría	16
2.5	Plasticidad	17
2.5.1	Límites de Atterberg	17
2.6	Clasificación de los suelos	19
2.6.1	Sistema de clasificación AASHTO.....	19
2.7	Compactación	21

2.7.1	Factores que afectan a la compactación.....	22
2.7.2	Especificaciones para la prueba Proctor modificado	24
2.8	Grado de compactación.....	25
2.9	Densidad	26
2.9.1	Densidad natural o densidad in situ	26
2.9.2	Densidad seca máxima.....	28
2.10	Métodos para la determinación de la densidad del suelo.....	29
2.10.1	Método cono de arena.....	29
2.10.2	Método densímetro nuclear.....	31
2.10.3	Método balón de caucho (ASTM D2167)	34
2.10.4	Método del densímetro eléctrico.....	35
2.10.5	Determinación de la densidad mediante obtención de muestras inalteradas	36
2.10.6	Determinación de la densidad de campo mediante el penetrómetro.....	37
2.10.7	Determinación de la densidad mediante volumen de la tierra extraída	37
2.10.8	Empleo de aceite grueso	38
2.10.9	Método para determinar la densidad mediante cono de arena	38
2.3.1.1.	Equipos y Materiales.....	38
2.3.1.2.	Procedimiento	39
2.10.10	Método para determinar la Densidad mediante densímetro nuclear.....	39
2.10.11	Preparación del terreno	41
2.10.12	Configuración de los parámetros	43
2.11	Estadística	45
2.11.1	Estadística descriptiva.....	45

CAPÍTULO III

DESARROLLO EXPERIMENTAL

	Página
3.1 Ubicación del proyecto	49
3.2 Caracterización de la zona de estudio	52
3.3 Caracterización de la muestra	52
3.3.1 Determinación del contenido de humedad del suelo (ASTM D2216).....	53
3.3.2 Análisis granulométrico de suelos (ASTM D422 - AASHTO T88).....	55
3.3.3 Determinación del límite líquido de los suelos.....	57
3.3.4 Determinación del límite plástico e índice de plasticidad.....	58
3.3.5 Clasificación de suelos (Método AASHTO)	60
3.3.6 Relaciones de peso unitario- humedad en los suelos – método modificado.....	61
3.3.7 Método cono de arena (ASTM D1556 - AASHTO T191)	63
3.3.8 Método densímetro nuclear (ASTM 2922 - AASHTO T238).....	66

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y COMPARACIÓN

	Página
4.1 Introducción	68
4.2 Correlación de densidades secas.....	68
4.2.1 Correlación de Pearson	68
4.3 Tabla resumen.....	69
4.4 Comparación de densidad seca	70
4.5 Comparación grado de compactación.....	71

4.6	Comparación de humedad (%).....	72
4.7	Porcentaje de variación	73
4.8	Prueba de normalidad para la densidad seca (cono de arena).....	75
4.9	Prueba de normalidad para la densidad seca (Densímetro nuclear).....	76
4.10	Intervalos de confianza de la densidad obtenida por el cono de arena	77
4.11	Intervalos de confianza de la densidad obtenida por el densímetro nuclear	78
4.12	Correlación de densidad seca.....	79
4.12.1	Modelo Inversa-Y, Cuadrado-X	82
4.13	Correlación de la humedad (%)	83
4.13.1	Cuadrado Doble	85
4.14	Depuración de datos para la densidad seca.....	86
4.14.1	Correlación de la densidad seca entre cono de arena y densímetro nuclear	88
4.15	Resumen estadístico ensayo cono de arena	89
4.16	Resumen estadístico ensayo densímetro nuclear	90
4.17	Comparación de la densidad seca por tipo de suelo.....	91
4.17.1	Densidades secas para los suelos A-4	91
4.17.2	Densidades secas para los suelos A-6.....	92
4.17.3	Densidades secas para los suelos A-7	93
4.18	Correlación de la densidad seca por tipo de suelo	94
4.18.1	Correlación de la densidad de los suelos A-4	94
4.18.2	Correlación de la densidad de los suelos A-6.....	95
4.18.3	Correlación de la densidad de los suelos A-7	96
4.19	Prueba de hipótesis	97
4.19.1	Verificación de hipótesis.....	97

4.19.2	Prueba de hipótesis densidad seca cono de arena	98
4.19.3	Prueba de hipótesis densidad densímetro nuclear.....	98

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página	
5.1	Conclusiones	99
5.2	Recomendaciones	102

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO I: Caracterización del suelo

ANEXO II: Planillas de densidad In Situ cono de arena

ANEXO III: Planillas de densidad In Situ densímetro nuclear

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1 Variable dependiente.....	4
Tabla 1.2 Variable independiente	4
Tabla 2.1 Materiales de una subrasante	14
Tabla 2.2 Características de los materiales de una subrasante.....	15
Tabla 2.3 Sistema de clasificación AASHTO.....	20
Tabla 2.4 Características generales de compactación	23
Tabla 2.5 Especificaciones para la prueba Proctor Modificado.....	24
Tabla 2.6 Coeficientes de correlación de Pearson.	48
Tabla 3.1 Puntos de Extracción.....	51
Tabla 3.2 Contenido de humedad.....	54
Tabla 3.3 Granulometría	56
Tabla 3.4 Límites de Atterberg	59
Tabla 3.5 Clasificación AASHTO	60
Tabla 3.6 Compactación T-99.....	62
Tabla 3.7 Densidad seca cono de arena	65
Tabla 3.8 Densidad seca densímetro nuclear	67
Tabla 4.1 Tabla resumen	69
Tabla 4.2 Porcentaje de variación	74
Tabla 4.3 Prueba de normalidad densidades cono de arena.....	75
Tabla 4.4 Prueba de normalidad densidades densímetro nuclear	76
Tabla 4.5 Media y desviación de densidad seca	79
Tabla 4.6 Modelos de ajuste.....	80

Tabla 4.7 Rangos de Correlación de Pearson.....	81
Tabla 4.8 Correlación de la humedad (%)	83
Tabla 4.9 Rangos de correlación de Pearson	84
Tabla 4.10 Límites de confianza	86
Tabla 4.11 Puntos depurados	87
Tabla 4.12 Modelos de ajuste correlación densidad seca	88
Tabla 4.13 Resumen estadístico cono de arena.....	89
Tabla 4.14 Resumen estadístico densímetro nuclear	90
Tabla 4.15 Densidad suelos A-4	91
Tabla 4.16 Densidad suelos A-6	92
Tabla 4.17 Densidad suelos A-7	93
Tabla 4.18 Modelos de ajuste suelo A-4.....	94
Tabla 4.19 Modelos de ajuste suelo A-6.....	95
Tabla 4.20 Modelos de ajuste suelo A-7.....	96
Tabla 4.21 Prueba de Hipótesis.....	97
Tabla 4.22 Prueba de hipótesis densidad seca cono de arena	98
Tabla 4.23 Prueba de hipótesis densidad seca densímetro nuclear	98
Tabla 5.1 Ventajas.....	101
Tabla 5.2 Desventajas	101

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1 Perfil del suelo	8
Figura 2.2 Minerales de la arcilla.....	10
Figura 2.3 Capa doble difusa	11
Figura 2.4 Subrasante natural.....	12
Figura 2.5 Subrasante constituida por limos plásticos y arcillas.....	13
Figura 2.6 Límites de Atterberg	17
Figura 2.7 Límite Plástico	18
Figura 2.8 Equipo Casa grande	18
Figura 2.9 Carta de plasticidad.....	20
Figura 2.10 Influencia de la humedad.....	22
Figura 2.11 Equipo cono de arena – arena del Saire.....	29
Figura 2.12 Extracción arena del Saire	30
Figura 2.13 Equipo densímetro nuclear	31
Figura 2.14 Tipos de transmisión.....	32
Figura 2.15 Densímetro eléctrico	36
Figura 2.16 Partes del densímetro nuclear	40
Figura 2.17 Nivelación de superficie con la placa	41
Figura 2.18 Varilla de perforación	42
Figura 2.19 Introducción de varilla y la fuente	42
Figura 3.1 Zona de estudio.....	49
Figura 3.2 Subrasante Segunda Circunvalación.....	50
Figura 3.3 Caracterización de la muestra	52

Figura 3.4 Ensayo contenido de humedad	53
Figura 3.5 Ensayo granulométrico por método del lavado	55
Figura 3.6 Ensayo límite líquido.....	57
Figura 3.7 Ensayo límite plástico.....	58
Figura 3.8 Ensayo de compactación T-99.....	61
Figura 3.9 Ensayo cono de arena	63
Figura 3.10 Ensayo cono de arena	64
Figura 3.11 Ensayo densímetro nuclear	66

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Página

Gráfica 2.1 Granulometría	16
Gráfica 2.2 Determinación de densidad máxima	28
Gráfica 2.3 Equipo balón de caucho	34
Gráfica 4.1 Densidad seca cono de arena y densímetro nuclear	70
Gráfica 4.2 Comparación grado de compactación	71
Gráfica 4.3 Comparación de humedad (%).....	72
Gráfica 4.4 Histograma de densidad (cono de arena)	75
Gráfica 4.5 Histograma de densidad (densímetro nuclear).....	76
Gráfica 4.6 Intervalos de confianza del 95%	77
Gráfica 4.7 Intervalos de confianza al 95%	78
Gráfica 4.8 Densímetro nuclear vs cono de arena.....	82
Gráfica 4.9 Humedad densímetro nuclear vs cono de arena.....	85
Gráfica 4.10 Representación de los límites de confianza.....	86
Gráfica 4.11 Cono de arena Vs Densímetro nuclear	88
Gráfica 4.12 Probabilidad normal cono de arena.....	89
Gráfica 4.13 Probabilidad normal densímetro nuclear.....	90
Gráfica 4.14 Comparación de densidades suelos A-4.....	91
Gráfica 4.15 Comparación de densidad suelos A-6	92
Gráfica 4.16 Comparación de densidad suelos A-7	93
Gráfica 4.17 Cono de arena vs Densímetro nuclear.....	94
Gráfica 4.18 Cono de arena vs Densímetro nuclear.....	95
Gráfica 4.19 Cono de arena vs Densímetro nuclear.....	96