

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE
COMUNICACIÓN**



**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CBR EN SUBRASANTE
COMBINADO CON ÁRIDO DEGRADABLE SOMETIDOS A CICLOS
CONTINUOS DE SATURACIÓN Y SECADO”**

Autor:

FANNY LEIDY CHOQUE MÁRQUEZ

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

Semestre I - 2020

TARIJA-BOLIVIA

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**“DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE
COMUNICACIÓN”**

**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CBR EN SUBRASANTE
COMBINADO CON ÁRIDO DEGRADABLE SOMETIDOS A CICLOS
CONTINUOS DE SATURACIÓN Y SECADO”**

Autor:

FANNY LEIDY CHOQUE MÁRQUEZ

Semestre I - 2020

TARIJA-BOLIVIA

.....
M. Sc. Ing. Ernesto R. Álvarez Gozávez
DECANO FACULTAD DE CIENCIAS
Y TECNOLOGÍA

.....
M. Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa
VICEDECANA FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

TRIBUNAL:

.....
M.Sc. Ing. Luis Alberto Yurquina Flores

.....
Ing. Ada Gladys López Rueda

.....
Ing. José Ricardo Arce Avendaño

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida, bendiciéndome y dándome fuerzas para continuar con mis metas trazadas sin desfallecer.

A mis padres Aníbal e Isabel que con apoyo incondicional, amor y confianza permitieron que logre culminar mi carrera profesional.

A mi segunda familia (Hipólito y Justina), que me acogió como una hija apoyándome y cuidándome en todos estos años.

Y a toda mi familia que estuvo ahí aconsejándome y dándome su apoyo incondicional abuelas, tíos, tías y hermanos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiarme en mi camino y por permitirme concluir con mi objetivo.

A mis padres Aníbal e Isabel quienes son mi motor y mi mayor inspiración, que a través de su amor paciencia, buenos valores, ayudan a trazar mi camino.

A las personas que me ayudaron e incentivaron como una familia (Hipólito y Justina), gracias por todos estos años que viví con ustedes y por todas las enseñanzas.

A mis abuelas Dolores y Nilda, a mis tíos Julio, Ramiro, Gloria, Coralia, Sandra, Guadalupe, Efraín, Waldemar; a mis hermanos Aníbal y Joseline; a todos ellos por siempre estar a mi lado por su confianza, consejos y apoyo en todo momento.

ÍNDICE

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	3
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Hipótesis	4
1.6. Operacionalización de las variables.....	5
1.6.1, Variable independiente.....	5
1.6.2. Variable dependiente	5
1.7. Identificación del tipo de investigación y alcance	6

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE LA CAPACIDAD PORTANTE (CBR) Y EL ÁRIDO DEGRADABLE

	Página
2.1. Definición de Suelos.....	7
2.1.1, Formación de suelos.....	8
2.1.2, Depósitos de suelo en general	8

2.1.3. Composición de los suelos	11
2.1.4. Clases de suelo	13
2.1.5. Tamaño de las partículas de suelos	15
2.1.6. Estudios de los suelos.....	16
2.2. Clasificación del suelo	24
2.2.1. Sistema AASHTO	24
2.2.2. Sistema Unificación de clasificación de suelos (S.U.C.S).	29
2.3. Suelo Subrasante.....	31
2.3.1. Definición.....	31
2.3.2. Categoría de la subrasante.....	32
2.3.3. Funciones de la subrasante	33
2.3.4. Propiedades de la subrasante.....	34
2.4. Árido degradable	35
2.4.1. Definición.....	36
2.4.2. Origen.....	36
2.4.3. Características del árido degradable.....	37
2.4.4. Proceso de meteorización.....	37
2.4.5. Factores que afectan la meteorización	41
2.4.6. Clasificación de los suelos residuales	42
2.5. Ciclos de saturación y secado	45
2.6. Marco estadístico	48
2.6.1. Tratamiento estadístico	48
2.7. Marco normativo	50
2.8. Posición del investigador.....	50

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN Y CARACTERIZACIÓN

	Página
3.1. Introducción	52
3.2. Unidades de estudio y decisión muestral	52
3.2.1. Unidad de estudio	52
3.2.2. Población	52
3.2.3. Muestra	52
3.2.4. Selección de las técnicas de muestreo	54
3.3. Métodos y técnicas empleadas	54
3.3.1. Métodos	54
3.3.2. Técnicas	54
3.4. Procesamiento de la información	54
3.5. Análisis del árido degradable	55
3.6. Ubicación	55
3.7. Caracterización de los suelos	57
3.7.1. Determinación del contenido de humedad	57
3.7.2. Análisis granulométrico método mecánico	59
3.7.3. Límites de Atterberg	61
3.7.4. Compactación del próctor modificado T - 180	63
3.7.5. Clasificación de los suelos	65
3.7.6. Resumen de resultados de caracterización	66
3.8. Ensayo de la relación de soporte del suelo en el laboratorio	68
3.8.1. Resumen de los resultados del ensayo de relación de soporte (CBR)	74

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CBR EN CICLOS

	Página
4.1. Ensayo de la relación de soporte del suelo CBR de subrasante con % de árido degradable en ciclos continuos de saturación y secado	75
4.2. Resumen de los resultados del ensayo de relación de soporte (CBR) de subrasante con % de árido degradable en ciclos continuos de saturación y secado	77
4.3. Análisis estadísticos de los valores de CBR	83
Prueba de hipótesis t	83
4.4. Análisis de resultados	84
4.4.1. Análisis de los suelos estudiados	84
4.4.2. Análisis de los CBR en ciclos continuos de saturación y secado.....	86

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1. Conclusiones	94
5.2. Recomendaciones	95

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXOS A: CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS

ANEXOS B: CARACTERIZACIÓN SUELOS COMBINADOS

ANEXOS C: CBR CON CICLOS CONTINUOS DE SATURACIÓN Y SECADO

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Variable independiente	5
Tabla 2. Variable dependiente.....	5
Tabla 3. Tamaño de suelo	15
Tabla 4. Clasificación de suelos según CBR	22
Tabla 5. Clasificación de materiales para subrasante de carreteras según AASHTO.....	28
Tabla 6. Tabla de clasificación según SUCS	30
Tabla 7. Categoría de subrasante	32
Tabla 8. Sistema de clasificación de los suelos residuales.....	43
Tabla 9. Cálculo de la cantidad de ensayos.....	53
Tabla 10. Características del árido degradable	55
Tabla 11. Contenido de humedad	59
Tabla 12. Análisis granulométrico	60
Tabla 13. Resultados límite de Atterberg.....	63
Tabla 14. Compactación.....	65
Tabla 15. Clasificación de los suelos	65
Tabla 16. Resumen de caracterización muestra 1	66
Tabla 17. Resumen de caracterización muestra 2	66
Tabla 18. Resumen de caracterización con 10%.....	67
Tabla 19. Resumen de caracterización con 20%.....	67
Tabla 20. Resumen de caracterización con 30%.....	68
Tabla 21. Penetración CBR.....	72
Tabla 22. Resultados de CBR	74
Tabla 23..CBR subrasante con árido degradable	74
Tabla 24. Resultados del primer ciclo.....	77
Tabla 25. Resultado del segundo ciclo.....	78
Tabla 26. Resultado del tercer ciclo	79
Tabla 27. Resultados CBR	84

Tabla 28. Valores de CBR a diferentes % de árido degradable en ciclos continuos de saturación y secado87

Tabla 29. Resumen CBR en ciclos de saturación y secado.....88

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Suelo	7
Figura 2. Formación de suelos	8
Figura 3. Suelos glaciales.....	9
Figura 4. Suelos aluviales	9
Figura 5. Suelos eólicos	10
Figura 6. Composición del suelo.....	11
Figura 7. Estados del suelo	12
Figura 8. Suelos arenosos.....	13
Figura 9. Suelos limosos	13
Figura 10. Suelo arcilloso	14
Figura 11. Grava.....	14
Figura 12. CBR laboratorio.....	21
Figura 13. CBR In situ	23
Figura 14. Suelo subrasante	31
Figura 15. Estructura de un pavimento	32
Figura 16. Árido degradable	35
Figura 17. Esquema general de una ladera en un suelo residual de granito.....	37
Figura 18. Proceso de meteorización química	39
Figura 19. Procesos de meteorización.....	39
Figura 20. Zonas de suelo saturado y parcialmente saturado.....	46
Figura 21. Extracción de muestra del tramo de Sella Quebrada	56
Figura 22. Extracción de muestra del tramo Iscayachi	56
Figura 23. Ensayo de contenido de humedad.....	58
Figura 24. Ensayo de granulometría	60
Figura 25. Ensayo límite líquido.....	61
Figura 26. Ensayo límite líquido.....	62
Figura 27. Ensayo límite plástico.....	62
Figura 28. Ensayo de compactación.....	64

Figura 29. Ensayo de compactación.....	64
Figura 30. Materiales CBR	69
Figura 31. CBR humedad óptima a la muestra	70
Figura 32. CBR compactación de la muestra.....	70
Figura 33. Lectura de la expansión	71
Figura 34. Moldes saturados	72
Figura 35. Lectura de las cargas de penetración	73
Figura 36. Muestras para el control de humedades.....	74
Figura 37. CBR Suelos saturados en los ciclos.....	75
Figura 38. CBR suelos en secado.....	76
Figura 39. Lectura de la prensa en seco	76

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Página
Gráfica 1. Curva CBR primer ciclo	78
Gráfica 2. Curva CBR segundo ciclo	79
Gráfica 3. Curva CBR del tercer ciclo	80
Gráfica 4. Subrasante (ciclos) Vs CBR.....	80
Gráfica 5. Subrasante con 10% de árido degradable.....	81
Gráfica 6. Subrasante con 20% de árido degradable.....	81
Gráfica 7. Subrasante con 30% de árido degradable.....	82
Gráfica 8. Densidades en las diferentes combinaciones de CBR.....	85
Gráfica 9. CBR de subrasante con árido degradable.....	86
Gráfica 10. CBR en primer ciclo.....	89
Gráfica 11. Densidad del primer ciclo	89
Gráfica 12. CBR segundo ciclo.....	90
Gráfica 13. Densidad del segundo ciclo.....	91
Gráfica 14. CBR tercer ciclo.....	92
Gráfica 15. Densidad del tercer ciclo	92
Gráfica 16. Gráfica de CBR con los 3 ciclos	93