

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

“ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DEL AGUA DE MAR EN LA ESTABILIZACIÓN  
A NIVEL DE AFIRMADO EN LA TROCHA CARROZABLE,  
TRAMO: PLAYA EL CHASQUI – JOSÉ OLAYA,  
DISTRITO DE LA YARADA LOS PALOS,  
TACNA – 2022”

**TESIS**

Presentada por:

**Bach. ROBERTO WILBER MAMANI PACOHUANACO**

Para optar el Título Profesional de:

**INGENIERO CIVIL**

TACNA – PERÚ  
2022

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**


**Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia**

**Escuela Profesional de Ingeniería Civil**

**“ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DEL AGUA DE MAR EN LA ESTABILIZACIÓN  
A NIVEL DE AFIRMADO EN LA TROCHA CARROZABLE, TRAMO:  
PLAYA EL CHASQUI – JOSÉ OLAYA, DISTRITO DE LA  
YARADA LOS PALOS, TACNA – 2022”**

Tesis sustentada y aprobada el día 21 de junio de 2022 estando integrado  
el Jurado Calificador por:

**PRESIDENTE**

  
: .....  
MSc. Ing. Edgar Chura Arocutipa


**SECRETARIO**

  
: .....  
Mtro. Ing. César José Avendaño Jihuallanga

**VOCAL**

  
: .....  
Mtro. Ing. Martín Paucara Rojas

**ASESOR DE TESIS**

  
: .....  
Dr. Ing. Víctor Yapuchura Platero

## **DEDICATORIA**

*A Dios, quien nos brinda su protección en cada paso por el sendero de la vida.*

*A mis padres, mis hermanos y a todos quienes me brindaron su apoyo incondicional.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios, por el aliento de vida que nos brinda, su protección y su deseo de grandeza.*

*A todos los docentes que han sido parte de mi formación profesional, por su apoyo incondicional, sus enseñanzas y sus conocimientos compartidos.*

*A mis padres, mis hermanos, y amistades, quienes son mi inspiración y razón ser.*

## INDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT .....	xv
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES .....	2
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	4
1.2.1 Interrogante general.....	4
1.2.2 Interrogantes específicas.....	4
1.3 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....	5
1.3.1 Hipótesis general .....	5
1.3.2 Hipótesis específicas.....	5
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	5
1.4.1 Justificación económica.....	6

1.4.2	Justificación ambiental .....	6
1.4.3	Justificación metodológica .....	7
1.4.4	Justificación legal .....	7
1.4.5	Justificación social.....	7
1.5	DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS .....	8
1.5.1	Objetivo general .....	8
1.5.2	Objetivos específicos .....	8
1.6	DEFINICIÓN DE VARIABLES E INDICADORES .....	8
1.6.1	Variable dependiente .....	8
1.6.2	Variable independiente .....	9
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO .....		11
2.1	ANTECEDENTES .....	11
2.2	BASES TEÓRICAS .....	20
2.2.1	Mecánica de suelos .....	20
2.2.2	Tipos de deterioros en carreteras no pavimentadas .....	21
2.2.3	Estabilización de suelos.....	22
2.2.4	Agua de mar.....	26
2.2.5	Ensayos de laboratorio.....	28
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO .....		35
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	35
3.2	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	35

3.3	NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.....	35
3.4	POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN.....	36
3.4.1	Población.....	36
3.4.2	Muestra.....	36
3.5	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	36
3.6	RECONOCIMIENTO DEL MALECÓN TURÍSTICO.....	37
3.6.1	Ubicación del Malecón turístico.....	37
3.7	EQUIPOS Y MATERIALES.....	38
3.7.1	Estudio del estado físico de la vía.....	38
3.7.2	Estudio de tráfico.....	38
3.7.3	Estudio de mecánica de suelos.....	39
3.8	METODOLOGIA DE ESTUDIO.....	41
3.8.1	Estudio del estado físico de la vía.....	41
3.8.2	Estudio de tráfico.....	46
3.8.3	Estudio de mecánica de suelos.....	48
3.8.4	Análisis de datos.....	64
	CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	65
4.1	RESUMEN DE LOS RESULTADOS.....	65
4.2	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	68
4.3	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	75
	CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	77

5.1	CONCLUSIONES .....	77
5.2	RECOMENDACIONES .....	79
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	80
	ANEXOS.....	86

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tipos de fallas y su nivel de gravedad.....	22
Tabla 2. Características del suelo de acuerdo al índice de plasticidad. ....	31
Tabla 3. Coordenadas geográficas del malecón turístico. ....	38
Tabla 4. Especificaciones de las dimensiones de la vía.....	43
Tabla 5. Volumen de tráfico promedio diario. ....	47
Tabla 6. Tráfico vehicular.....	47
Tabla 7. Resultados del ensayo de contenido de humedad.....	51
Tabla 8. Clasificación del material de afirmado.....	53
Tabla 9. Resultados del análisis granulométrico. ....	53
Tabla 10. Ensayo de límites de Atterberg con uso de agua potable.....	56
Tabla 11. Resultado del ensayo de límites de Atterberg con uso de mar.....	57
Tabla 12. Resultado del ensayo de Proctor modificado con agua potable.....	59
Tabla 13. Resultado del ensayo de Proctor modificado con agua de mar.....	60
Tabla 14. Dimensiones y estado físico de la vía. ....	65
Tabla 15. Ensayo granulométrico por tamizado del afirmado. ....	66
Tabla 16. Resultados del análisis granulométrico.....	66

Tabla 17. Límites de consistencia con agua potable y agua de mar. ....	67
Tabla 18. Ensayo Proctor Modificado con agua potable y agua de mar. ....	67
Tabla 19. CBR con agua potable y agua de mar. ....	68
Tabla 20. Indicadores de calidad del agregado. ....	68
Tabla 21. Tipo de afirmado de acuerdo al IMD. ....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Gramos de sal/litro .....	26
Figura 2. Propiedades del agua de mar. ....	28
Figura 3. Ubicación geográfica del malecón turístico. ....	37
Figura 4. Ancho de la trocha carrozable. ....	42
Figura 5. Espesor de la capa de afirmado de la trocha carrozable. ....	42
Figura 6. Presencia de huecos progresiva 0+000 Km a 0+300 Km. ....	43
Figura 7. Fallas por desprendimiento de material pétreo Km 0+800. ....	44
Figura 8. Segregación y desprendimiento de material pétreo Km 1+700. ....	45
Figura 9. Fallas por desprendimiento de material pétreo Km 2+100. ....	45
Figura 10. Fallas por desprendimiento de material pétreo Km 3+700. ....	46
Figura 11. Toma de muestra de agua de mar. ....	49
Figura 12. Toma de muestras del afirmado de la trocha carrozable. ....	49
Figura 13. Proceso de secado del material de afirmado. ....	50
Figura 14. Ensayo de granulometría por tamizado. ....	52
Figura 15. Grafica de la distribución del material de afirmado. ....	54
Figura 16. Ensayo de límites de Atterberg. ....	55
Figura 17. Limite liquido con el empleo de agua potable. ....	56
Figura 18. Limite liquido con el empleo de agua mar. ....	57

Figura 19. Ensayo de Proctor modificado. ....	58
Figura 20. Determinación de la humedad optima con agua potable. ....	59
Figura 21. Determinación de la humedad optima con agua de mar. ....	60
Figura 22. Ensayo de CBR. ....	61
Figura 23. Gráfico obtenido de los ensayos CBR con agua potable. ....	62
Figura 24. Gráfico para la determinación del CBR con agua potable. ....	62
Figura 25. Gráfico obtenido de los ensayos CBR con agua de mar. ....	63
Figura 26. Gráfico para la determinación del CBR con agua de mar. ....	63
Figura 27. Gradación del material de afirmado de la trocha carrozable. ....	70
Figura 28. Límite de consistencia con agua de mar y agua potable. ....	71
Figura 29. Proctor modificado con agua potable y agua de mar. ....	73
Figura 30. Ensayo CBR con agua potable y agua de mar. ....	74

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación pretende analizar la influencia del uso de agua de mar en el material de afirmado para la conformación de la trocha carrozable, tramo: Playa El Chasqui – José Olaya, distrito La Yarada Los Palos, Tacna. En efecto, la investigación surge a razón de la situación precaria de la capa de rodadura y la contaminación por polución que ocasiona el tránsito de los vehículos, siendo necesario una estabilización de suelos. Por ello, se plantea estudiar la aplicación del método de estabilización química con el uso de agua de mar, que se efectúa mediante los ensayos de laboratorio estándares y especiales. Ante todo, se buscó contrastar los beneficios de su empleo en las propiedades físico mecánicas en comparación con el empleo de agua potable.

De acuerdo a su metodología, la investigación ejecutada es de tipo aplicada. Del mismo modo, su diseño es de tipo experimental, que pretende analizar los efectos del uso de agua de mar en los ensayos de laboratorio de mecánica de suelos. Así mismo, el nivel de la investigación es explicativa con enfoque cuantitativo.

En ese sentido, se realizó los ensayos de contenido de humedad y granulometría para caracterizar las propiedades físicas del material de afirmado. Así como también, los ensayos de Límites de Atterberg, Proctor Modificado y CBR para

caracterizar las propiedades mecánicas; con la particularidad del uso de agua de mar y agua potable. Por consiguiente, analizando los resultados obtenidos se afirma que el uso de agua de mar tiene beneficios considerables en las propiedades físico mecánicas en el material de afirmado de la trocha carrozable; siendo el cloruro de sodio la responsable de esta mejora. Además, el cloruro de sodio tiene la propiedad de ser higroscópico, es decir absorbe humedad del aire y de los materiales que lo rodean, reduciendo la pérdida de humedad del material de afirmado. Por ende, la aplicación de agua de mar en el material de afirmado contribuirá en la conservación de la vía y la preservación del medio ambiente.

En conclusión, el principal objetivo de analizar los efectos del uso de agua de mar a nivel afirmado ha sido logrado, encontrándose que es una buena alternativa para plantear un proyecto de mantenimiento con estabilización a nivel de afirmado para mejorar la transitabilidad de los vehículos y preservar el medio ambiente.

**Palabras clave:** Estabilización de suelos, agua de mar, estabilización química, cloruro de sodio, CBR, transitabilidad.

## **ABSTRACT**

The present research work aims to analyze the influence of the use of seawater on the material of affirmation in the conformation of the floatable trail, section: Playa El Chasqui – José Olaya, district La Yarada Los Palos, Tacna. In fact, the research arises from the precarious situation of the tread layer and pollution caused by the transit of vehicles, being necessary a stabilization of soils. Therefore, it is proposed to study the application of the chemical stabilization method with the use of seawater, which is carried out through standard and special laboratory tests. First of all, we sought to contrast the benefits of its use in physical-mechanical properties compared to the use of drinking water.

According to its methodology, the research carried out is of an applied type. In the same way, its design is of an experimental type, which aims to analyze the effects of the use of seawater in soil mechanics laboratory tests. Likewise, the level of research is explanatory with a quantitative approach.

In this sense, the tests of moisture content and granulometry were carried out to characterize the physical properties of the affirmed material. As well as the tests of Atterberg Limits, Modified Proctor and CBR to characterize the mechanical properties; with the particularity of the use of seawater and drinking water.

Therefore, analyzing the results obtained, it is affirmed that the use of seawater has considerable benefits in the physical-mechanical properties in the affirming material of the floatable gauge; sodium chloride is responsible for this improvement. In addition, sodium chloride has the property of being hygroscopic, that is, it absorbs moisture from the air and the materials that surround it, reducing the loss of moisture from the affirming material. Therefore, the application of seawater in the affirming material will contribute to the conservation of the road and the preservation of the environment.

In conclusion, the main objective of analyzing the effects of the use of seawater at the affirmed level has been achieved, finding that it is a good alternative to propose a maintenance project with stabilization at the affirmed level to improve the passability of vehicles and preserve the environment.

**Keywords:** Soil stabilization, seawater, chemical stabilization, sodium chloride, CBR, walkability.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, tras la creación de un nuevo distrito litoral de La Yarada Los Palos, viene impulsado su economía implementando vías de comunicación y fortaleciendo sus principales actividades la agricultura y el turismo. En efecto, se mejoraron las carreteras principales a nivel de carpeta asfáltica, se ejecutaron proyectos de mantenimiento de carreteras no pavimentadas e implementaron la creación de nuevas vías como la trocha carrozable Playas El Chasqui - José Olaya.

La creación del malecón turístico en mención da acceso a 4.5 kilómetros de playas y a los terrenos cultivables. Su alta demanda en la época de verano ocasiona el deterioro de la capa de rodadura, acarreado problemas de intrasitabilidad y la generación de polvo que perjudica a los cultivos aledaños.

En este contexto, el cloruro de sodio presente en el agua de mar es un estabilizante natural, por esta razón su uso es una alternativa atractiva en la estabilización del material de afirmado ya que se encuentra cercano a la zona y en abundancia. Además, este elemento es higroscópico, es decir absorbe humedad del medio ambiente, evitando la pérdida de humedad.

Por lo tanto, la presente investigación pretende analizar los efectos del agua de mar en el material de afirmado de la trocha carrozable, para mejorar su transitabilidad y preservar el medio ambiente.

## **CAPITULO I**

### **ASPECTOS GENERALES**

#### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La creación de un nuevo distrito litoral busca impulsar el crecimiento de su economía, por lo que es primordial, fundamental la habilitación de las vías de comunicación para incrementar el dinamismo del malecón turístico y económicos entre sus pueblos. Se han construido muchas carreteras principales, sin embargo, las carreteras menores no se viabilizan, necesiéndose dar una opción que solucione para conectar a las pequeñas comunidades con las ciudades.

La vía de investigación posee diferentes tipos de suelo y cada uno es particular, por lo que las soluciones se hacen específicas de acuerdo a las características y propiedades físico-mecánicas, por lo que los problemas de transitabilidad en la zona deben ser resueltos en su totalidad o parcialmente. La zona es utilizada para el transporte de productos de la zona y personas desde la Playa el Chasqui hasta el poblado de José Olaya, y uso del malecón turístico hacia la Playa el Chasqui como nuevo balneario, asimismo esta vía contribuye a la integración de la población del distrito La Yarada Los Palos para mejorar la calidad de vida del sector de la población.

La zona de investigación desarrolla actividades en el malecón turístico y la agricultura como sus actividades más resaltantes en su economía, por ello es muy importante interconectar mediante caminos vecinales a todos los predios agrícolas con la zona urbana del distrito hacia el mercado regional.

Las trochas carrozables a nivel de afirmado son las que aportan soluciones a bajo costo haciendo un comparativo con las carreteras asfaltadas, al mismo tiempo también ocasiona problemas de salud, por la presencia del polvo, entonces se hace necesario la utilización de un estabilizador natural que solucione el problema del polvo pero que sea amigable con el medio ambiente.

En el tramo de la zona de investigación, la capa de rodadura de la trocha carrozables tiene un tipo de suelo arenoso, por lo que hace necesario plantear la colocación de un afirmado y en ella analizar los efectos del uso del agua de mar en la estabilización a nivel de afirmado como uno de los objetivos de la presente investigación.

En la investigación se realizarán ensayos de laboratorio, primero para conocer las condiciones actuales del suelo a nivel de subrasante y luego en el afirmado que se pretende colocar y ensayos de laboratorio en las mezclas del agua de mar en el afirmado para una adecuada estabilización, con un adecuado comportamiento físico-mecánico, sin generar impacto al medioambiente.

## 1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

### 1.2.1 Interrogante general

¿Cómo influye el uso del agua de mar en la estabilización a nivel de afirmado en la trocha carrozable, tramo: Playa El Chasqui – José Olaya, distrito La Yarada Los Palos, Tacna - 2022?

### 1.2.2 Interrogantes específicas

¿Cómo influye el uso de agua de mar en las propiedades del suelo a nivel de afirmado en la trocha carrozable, tramo: Playa El Chasqui – José Olaya, distrito La Yarada Los Palos, Tacna - 2022?

¿Cómo analizamos la dosificación óptima del uso del agua de mar en la estabilización a nivel de afirmado en la trocha carrozable, tramo: Playa El Chasqui – José Olaya, distrito La Yarada Los Palos, Tacna - 2022?

¿Cómo determinamos la máxima capacidad de soporte del suelo estabilizado a nivel de afirmado con el uso de agua de mar en la trocha carrozable, tramo: Playa El Chasqui – José Olaya, distrito La Yarada Los Palos, Tacna - 2022?

### 1.3 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

#### 1.3.1 Hipótesis general

La determinación de la influencia del agua de mar en la estabilización a nivel de afirmado, mejorará la trocha carrozable, tramo: Playa El Chasqui – José Olaya, distrito La Yarada Los Palos, Tacna – 2022.

#### 1.3.2 Hipótesis específicas

La determinación de las propiedades físico-mecánicas del suelo a nivel de afirmado con el uso de agua de mar, mejorará la trocha carrozable, tramo: Playa El Chasqui – José Olaya, distrito La Yarada Los Palos, Tacna - 2022.

El cálculo de la dosificación óptima del agua de mar en la estabilización a nivel de afirmado mejoraría la trocha carrozable, tramo: Playa El Chasqui- José Olaya, distrito La Yarada Los Palos, Tacna - 2022.

La determinación de la máxima capacidad de soporte del suelo estabilizado a nivel de afirmado con el uso del agua de mar, mejorará la trocha carrozable, tramo: Playa El Chasqui – José Olaya, distrito La Yarada Los Palos, Tacna - 2022.

### 1.4 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación busca encontrar una sustancia que ayude en la mejora de las condiciones físico-mecánicas del material afirmado que se quiere colocar en la trocha carrozable del malecón turístico de la Playa El Chasqui, la sustancia a

utilizarse debe ser abundante, económicamente viable y no debe afectar al medio ambiente.

Se justifica, porque se logrará resolver el problema de la generación del polvo estabilizando el afirmado, para logra una vía adecuada, sin ocasionar intransitabilidad, generando el bienestar de la población usuaria de la vía.

Se justifica, dado que el agua de mar reduce la evaporación del agua del suelo estabilizado, mejorando la cohesión aumentando la capacidad de soporte del suelo, produciendo menores deformaciones, lo que conlleva a la mejora de la calidad de vida de la población asentada en el lugar de investigación.

#### 1.4.1 Justificación económica

La investigación propuesta busca, optimizar los recursos para contribuir en la estabilización y mejoramiento del afirmado del tramo vial del malecón turístico de la Playa El Chasquí, mejorando económicamente por la transitabilidad adecuada de la trocha.

#### 1.4.2 Justificación ambiental

El planteamiento del problema y los objetivos permite encontrar soluciones concretas a los problemas de la estabilización del suelo a nivel de afirmado utilizando agua de mar, que aportará a la preservación del medio ambiente.

#### 1.4.3 Justificación metodológica

Para lograr los objetivos de la investigación, se acude a las técnicas que mejoren las propiedades físico-mecánico del suelo, la utilización de las normas vigentes en el Perú, dejar registros de los resultados de la investigación para el aporte a futuras investigaciones de estabilización del suelo utilizando agua de mar.

#### 1.4.4 Justificación legal

En la investigación se aplica las metodologías de las normas AASHTO, SUCS, ASTM y normas del MTC.

#### 1.4.5 Justificación social

Con respecto a la parte social, los resultados beneficiarán a los estudiantes de ingeniería civil, tendrán a disposición todo el material de la investigación como material de consulta para próximas ideas. También llega a la sociedad, porque permitirá mejorar las condiciones de transitabilidad en el malecón turístico de la playa El Chasqui y la mejora de la calidad de vida de la población.

En la actualidad se desconoce de algún proyecto de mejoramiento de la trocha carrozables en la zona de investigación desde La Playa El Chasqui hasta el poblado de José Olaya del distrito de La Yarada Los Palos, los resultados de esta investigación sirvan como base para plantear un proyecto de mantenimiento con una estabilización a nivel de afirmado utilizando el agua de mar, como una alternativa de solución para mejorar las condiciones del conductor y los peatones.

## **1.5 DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS**

### 1.5.1 Objetivo general

- Determinar la influencia del uso del agua de mar en la estabilización a nivel de afirmado en la trocha carrozable, tramo: Playa El Chasqui – José Olaya, distrito La Yarada Los Palos, Tacna - 2022.

### 1.5.2 Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físico-mecánicas del suelo a nivel de afirmado con el uso de agua mar en la trocha carrozable, tramo: Playa El Chasqui – José Olaya, distrito La Yarada Los Palos, Tacna - 2022.
- Calcular la dosificación óptima del uso del agua de mar en la estabilización a nivel de afirmado en la trocha carrozable, tramo: Playa El Chasqui – José Olaya, distrito La Yarada Los Palos, Tacna - 2022.
- Determinar la máxima capacidad de soporte del suelo estabilizado a nivel de afirmado con el uso de agua de mar en la trocha carrozable, tramo: Playa El Chasqui – José Olaya, distrito La Yarada Los Palos, Tacna - 2022.

## **1.6 DEFINICIÓN DE VARIABLES E INDICADORES**

### 1.6.1 Variable dependiente

**Estabilización a nivel de afirmado.**

- Definición conceptual.

Son procesos sometidos a los suelos en estado natural o de préstamo, para aprovechar de mejor manera sus propiedades para obtener una capa firme y estable para soportar los efectos del tráfico vehicular.

- Definición operacional.

Suelo estabilizado con cloruro de sodio, reduce la generación de polvo y mantienen la humedad en la trocha.

Indicadores

- Humedad
- Granulometría
- Plasticidad.
- Densidad máxima
- Próctor
- Capacidad de soporte (CBR)

#### 1.6.2 Variable independiente

##### **Análisis de los efectos del agua de mar.**

- Definición conceptual.

Es un tipo de agua que se encuentra en los océanos y contiene principalmente cloruro de sodio.

- Definición operacional.

Agua con una salinidad de 35 000 ppm, equivalente a 35 gramos de sal por litro.

Indicadores:

- Composición
- Propiedades químicas
- Variación de la salinidad
- Características el Cloruro de Sodio.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES**

##### **Revistas científicas**

En el artículo científico titulado “Uso de cloruro de sodio en bases granulares” de (Reyes, O., Camacho, J. y Troncoso, J., 2006) analiza el NaCl industrial utilizado en bases granulares para determinar los efectos en sus propiedades mecánicas en función de la granulometría del INVIAS. Al mismo tiempo la investigación demostró que a partir de los ensayos del CBR, existe una incidencia en las propiedades de la base granular, desarrollándose ensayos de compresión simple y compresión diametral. El uso del NaCl en la investigación ayudo a determinar la humedad óptima con el proctor modificado para un material en estado natural y otro material con contenido de NaCl. Obteniéndose resultados buenos, determinando mayor resistencia del material, incrementando el valor CBR en 9 veces para una adición del 15% de NaCl.

La conferencia presentada en la XIV Convención anual de investigación científica de docentes de la Universidad Nacional del Santa, titulado “Estabilización de subrasantes y afirmados en caminos rurales empleando agua de mar en el C.P.

Tangay” presentado por (Rivasplata, 2011), donde la investigación trata de la posibilidad de realizar técnicas de estabilización de suelos a nivel de subrasante y afirmados empleando agua de mar, haciendo que las superficies de rodadura actual de los caminos rurales en el C.P. Tangay presenten una adecuada transitabilidad para los vehículos que circulan en la zona y solucionar de manera práctica y eventual los problemas de tránsito vehicular que existe en la actualidad en las vías carrozables de acceso al C.P. Tangay, en el Distrito de Nuevo Chimbote.

### **Tesis de pregrado**

En la tesis denominada “Estabilización de la subrasante con cloruro de sodio en el Sector 24 la Villa de Huacariz - Cajamarca” presentado por (Gambini, 2021), determina el análisis de la estabilización, las propiedades del cloruro, como se obtiene este aditivo y definición de los ensayos que se usó. La investigación considera es experimental, donde la población investigada viene a ser el terreno natural de 380 m. de longitud y 6 m. de ancho, en la evaluación del terreno natural se realizó una calicata, del cual se obtuvieron las muestras mediante los protocolos o fichas, como instrumentos. Después de los ensayos efectuados en laboratorio, se obtiene la clasificación de los suelos, los límites de consistencia y la granulometría de acuerdo a la metodología AASHTO, finalmente, se determinó la capacidad de soporte CBR. Con los resultados obtenidos, se realizan las comparaciones del incremento que se logra en la capacidad de soporte, llegando a concluir que el

cloruro de sodio si mejora el CBR de un suelo arcilloso, el cual puede usarse para mejorar la calidad de la subrasante.

En la tesis denominada “Análisis comparativo de los efectos del agua de mar y de cal en la estabilización de suelos arcillosos en calles que conforman el Barrio 2 de noviembre de la comuna Engabao perteneciente al Canton Playas, provincia del Guayas” presentado por (Silvestre, 2018) donde se determinó, mediante análisis en laboratorio, que el suelo natural del sitio no es apto para la conformación de la capa subrasante debido a su alto hinchamiento y contenido de arcilla plástica, también a su bajo porcentaje de CBR. Mediante la estabilización de suelo utilizando la cal hidratada al 3, 5, y 7%, se determinan las mejoras de las propiedades físicas y mecánicas del suelo estabilizado, ello en comparación a las propiedades del suelo natural. La estabilización del suelo utilizando el agua de mar, no ayudó a mejorar la resistencia, razón por el cual se descartó como alternativa de solución, por lo que, se efectuaron ensayos en tres muestras con la adición de cal hidratada, en las que se realizaron análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas modificadas, llegando a la conclusión de que la opción más óptima es la adición de cal al 7% en peso seco.

En la tesis denominada “Aplicación de agua salina en la modificación de los parámetros geotécnicos de suelos no cohesivos en Villa El Salvador, Chilca y Asia

– Lima” presentado por (Cuya, J. y Paco, R., 2021), donde se expone el uso del agua salina y/o agua de mar como sustancia en la mejora de los parámetros geotécnicos del suelo no cohesivo, procedente de los distritos de Villa El Salvador, Chilca y el balneario de Asia al sur de Lima, indicando los efectos del agua salina sobre estos. En la investigación se desarrolla una estabilización del suelo natural con la adición del agua salina y el análisis en sus efectos en las condiciones físico-mecánicas en el comportamiento del suelo, con la finalidad de encontrar mejoras en su resistencia o su capacidad de soporte, al mismo tiempo se analizaron comportamientos y efectos en el suelo natural con la adición del agua de mar y mediante los resultados obtenidos en el laboratorio, dejar como evidencia y registro de lo realizado mediante equipos especializados.

En la tesis denominada “Determinación de las propiedades índices y mecánicas de los suelos expansivos en la vía San Mateo – Esmeraldas zona de Winchele, realizando los ensayos con agua potable y con agua de mar” presentado por (Moreno, S. y Rodríguez, J., 2013), donde presentan los resultados de cómo varían las propiedades índice y mecánicas de los suelos expansivos una vez mezclados con agua de mar, que será de utilidad para determinar si es una alternativa para la estabilización, mejorando su resistencia, donde el agua de mar es un recurso abundante, de bajo costo y renovable, es fácil la obtención en las zonas costeras. Estos tipos de estabilización se han estudiado en países como México, Perú,

Colombia con buenos resultados, siendo una opción para nuestro país donde el recurso agua de mar es abundante.

En la tesis denominada “Estabilización de la red vial vecinal AN-873 0+000 al 2+400 km con cloruro de sodio proveniente del agua de mar, Santa, Santa, Ancash-2019” presentado por (Luna, 2019), donde el tipo de investigación fue cuasi – experimental ya que se llegó a modificar las propiedades del suelo patrón utilizando el cloruro de sodio. La estabilización se efectuó en un suelo limo arcilloso de acuerdo a la clasificación AASHTO, mediante la adición del cloruro de sodio al 91.70%; en la experimentación se prepararon dos muestras con la adición del 5% y 7%, obteniéndose resultados en la resistencia un valor de CBR igual a 16,06% con la adición del 5% de NaCl, por otro lado, con la adición del 7% de NaCl se obtuvo un valor CBR igual a 7,55%; al ser comparado con el valor CBR del suelo sin estabilizar, se demostró que el suelo estabilizado con la adición del 5% de NaCl aumenta el valor del CBR, sin embargo el suelo estabilizado con la adición del 7% reduce su valor CBR en comparación del suelo natural. En conclusión, se recomienda la utilización del suelo estabilizado con NaCl adicionando el 5%, por los buenos resultados en el incremento de la resistencia, es decir el valor CBR.

En la tesis denominada “Efecto del cloruro de sodio y ceniza agrícola en la estabilización del suelo en carretera no pavimentada, Huamachuco” presentada por

(De la Cruz, A. y Rosas, I., 2021), donde la investigación tiene como finalidad determinar el Efecto del cloruro de sodio y ceniza agrícola en la estabilización del suelo, en carretera no pavimentada, para cumplir con los objetivos propuestos, teniendo como referencia las normas ASTM, DG-2018, MTC y siguiendo la metodología SUCS y AASHTO. En la investigación se considera en la estabilización del suelo la adición del cloruro de sodio y el uso de la ceniza agrícola, preparándose tres muestras con la adición del cloruro de sodio en 2%, 4% y 6% y tres muestras con la adición de ceniza agrícola en 10%, 15% y 20%, obteniéndose buenos resultados. Los ensayos de capacidad de soporte CBR realizados a las 3 muestras, adicionando un 6% de cloruro de sodio, se obtuvo un valor CBR de 26.70%, en relación del suelo natural de 20.50%. Para los ensayos con la adición de ceniza agrícola, tenemos resultado buenos, adicionando el 10% de Ceniza Agrícola se obtiene, un valor de CBR igual a 15.95% en relación del suelo natural 15.60%.

En conclusión, el efecto del cloruro de sodio y ceniza agrícola en una carretera no pavimentada aumenta su capacidad de soporte adicionando el 6% de cloruro de sodio y el 10% de ceniza agrícola, donde mejora sus propiedades físicas y mecánicas del suelo, incrementa el valor CBR para la estabilización de la carretera no pavimentada.

En la tesis denominada “Estabilización y durabilidad de subbase cuando la cantera

de Challhua con adición de cloruro de sodio en 2, 4 y 6%, Huaraz – 2017” presentado por (Cochachin, 2018), donde el propósito de esta investigación fue determinar la estabilización y durabilidad de la sub base con el uso del agregado de la cantera de Challhua con la adición del cloruro de sodio al 2, 4 y 6%, con la finalidad de aumentar el índice CBR con la adición del cloruro de sodio en los diferentes porcentajes mencionados y además verificar su durabilidad, modificando sus propiedades físicas y mecánicas. La presente investigación es experimental de nivel “cuasi – experimental”, determinándose en el laboratorio la granulometría, proctor modificado, límites de Atterberg y valores CBR, determinándose que la adición del NaCl en 2% aumenta la resistencia del valor CBR en un 3,1% respecto al suelo natural.

En la tesis denominada “Influencia del aditivo cloruro de sodio como estabilizante de la subrasante de la carretera, tramo Cruce El Porongo–Aeropuerto–Cajamarca” presentado por (Caruajulca, 2018), donde se busca determinar la influencia que presenta el adicionar cloruro de sodio como estabilizante de la subrasante, mejorando la capacidad de soporte de terreno. En la investigación se efectuaron dosificaciones de 1%, 2% y 3% de NaCl por m<sup>3</sup> de material, realizándose la excavación de 12 calicatas en todo el tramo de la vía, de donde se extrajo material para los ensayos en laboratorio como granulometría, Limite Liquido, Limite Plástico, Proctor, CBR. Al finalizar con la investigación, se concluyó que la

dosificación óptima para estabilizar la subrasante de la carretera, es la adición del 2% al 3% de NaCl por m<sup>3</sup> de material, resultando que el valor de la resistencia del suelo aumenta en un 11% con respecto a la muestra de suelo natural.

En la tesis denominada “Estabilización de suelos de la red vial vecinal AN-876 con cloruro de sodio obtenido de diferentes salineras, distrito de Santa, Ancash – 2019” presentado por (Eche, K. y Pelaez, A., 2019), busca mejorar la red vial vecinal AN-876, con el propósito de determinar la influencia del cloruro de sodio en la estabilización de suelos, determinando el porcentaje de pureza de las muestras de cloruro de sodio obtenido de la Minera Adolfo y la Minera Tortugas; seleccionando la muestra óptima para estabilizar el suelo de la red vial vecinal AN-876. En la investigación se determinó las propiedades físicas y mecánicas del suelo estabilizado adicionando un 2%, 4% y 6 % de NaCl. Concluyéndose que el suelo estabilizado en la vía AN-876 con NaCl, influye positivamente con la adición del 2%, mejorando la capacidad de soporte del suelo estabilizado.

En la tesis denominada “Estabilización de suelo arcilloso para el mejoramiento de la subrasante adicionando cloruro de sodio, tramo Primorpampa – Cascapara, Yungay, Ancash – 2021” presentado por (Méndez, 2021), donde el objetivo fue determinar la influencia de la adición de cloruro de sodio en la estabilización de la subrasante en el tramo vial comprendido entre el centro poblado de Primorpampa y

el Distrito de Casapara. La investigación es experimental, los datos fueron alterados en el laboratorio para determinar sus propiedades mecánicas y físicas, obteniendo resultados de la granulometría y la capacidad de soporte, un valor CBR igual a 5,80%, se prepararon tres muestras adicionando NaCl en 1,50%, 3,00% y 4,50%, obteniendo resultados del CBR 6.30%, 6.50% y 6.00% respectivamente, finalmente, la adición del NaCl logró incrementar la capacidad de soporte del suelo estabilizado, en un valor CBR hasta 6.5% de máxima densidad seca.

En la tesis denominada “Influencia de la adición de cloruro de sodio en el índice California Bearing Ratio (CBR) de un suelo arcilloso, Cajamarca 2016” presentado por (Palomino, 2016), donde evaluar la influencia de la adición de cloruro de sodio en 4%, 8% y 12% en el índice California Bearing Ratio(CBR) de un suelo arcilloso, es el objetivo de la investigación. En la investigación se prepararon tres muestras de suelo adicionándole NaCl en 4%,8% y 12 % en un suelo arcilloso, los ensayos realizados permitieron obtener resultados para un CBR al 0.1’’: con la muestra del suelo natural un CBR de 4,43%, adicionando 4% de NaCl un CBR de 4,50%, adicionando 8% de NaCl el CBR de 4,70%, adicionando 12% de NaCl el CBR de 4,85%; para el CBR al 0.2’’, con la muestra del suelo natural el CBR de 4,85%, adicionando 4% de NaCl el CBR de 5,01%, adicionando 8% de NaCl el CBR de 5,21%, adicionando 12% de NaCl el CBR de 4.32% confirmando la hipótesis planteada puesto que la adición del NaCl en porcentajes de 4%, 8% y 12%

incrementa el valor del CBR hasta en un 10% en comparación a la muestra del suelo natural.

En la tesis denominado “Estabilización de suelos con cloruro de sodio (NaCl) para bases y subbases” presentado por (Roldán, 2010), donde se analiza la adición del cloruro de sodio al suelo, se incrementa la densidad seca máxima y se reduce la humedad óptima, se obtienen resultados favorables para los porcentajes de CBR, los cuales aumentan con porcentajes de NaCl no mayores al 2% en condiciones críticas. En la presente investigación, los mejores resultados se observan cuando se pierde la humedad y se incrementa el contenido de sal en el suelo, ya que se obtiene una cimentación firme con la mezcla suelos-cloruro de sodio. La adición del NaCl en el suelo permitió realizar los ensayos de triaxial, donde el suelo aumenta su cohesión y disminuye su ángulo de fricción interna en ambos materiales. El NaCl, es un estabilizante adecuado y de bajo costo, pero se debe tener cuidado en la aplicación, porque está conformado con propiedades corrosivas que afectan la maquinaria utilizada.

## 2.2 BASES TEÓRICAS

### 2.2.1 Mecánica de suelos

“La mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o la

descomposición química de las rocas, independientemente de que tengan o no materia orgánica”. (Terzagui, 1978)

Según Terzagui (1978) clasifica a los suelos de la siguiente manera:

#### *Arenas*

Son partículas menores a 2 milímetros que no presentan cohesión, producto de la fragmentación de rocas y minerales.

#### *Gravas*

Son partículas mayores a 2 milímetros hasta los 15 o 20 centímetros, superiores a este tamaño se les denomina piedras.

#### *Limos*

Se encuentran como limos inorgánicos que son suelos de grano fino con poca o sin plasticidad y limos orgánicos que son suelos que contienen granos finos más o menos plásticos con la particularidad de estar mezclado con partículas orgánicas muy finas.

#### *Arcillas*

Son partículas microscópicas y submicroscópicas producidos de la desintegración química de las rocas. Se caracteriza principalmente por su alta plasticidad en contacto con la humedad, alta dureza en seco y una permeabilidad extremadamente baja.

### 2.2.2 Tipos de deterioros en carreteras no pavimentadas.

Según MTC (2018) “la condición de las carreteras no pavimentadas (afirmadas) se califica por sus deterioros o fallas, la velocidad promedio y la sinuosidad de la trayectoria del vehículo como resultado de los daños de la carretera.”

Clasifica los tipos de fallas según la siguiente tabla:

**Tabla 1**

*Tipos de fallas y su nivel de gravedad.*

<b>Código de daño</b>	<b>Deterioros / Fallas</b>	<b>Gravedad</b>
1	Deformación	1: Huellas/hundimientos sensibles al usuario pero < 5cm 2: Huellas/hundimientos entre 5 cm y 10 cm 3: Huellas/hundimientos ≥ 10 cm
2	Erosión	1: Sensible al usuario pero profundidad < 5 cm 2: Profundidad entre 5 cm y 10 cm 3: Profundidad ≥ 10 cm
3	Baches (Huecos)	1: Pueden repararse por conservación rutinaria 2: Se necesita una capa de material adicional 3: Se necesita una reconstrucción
4	Encalaminado	1: Sensible al usuario pero profundidad < 5 cm 2: Profundidad entre 5 cm y 10 cm 3: Profundidad ≥ 10 cm
5 y 6	Lodazal y cruce de agua	1: Transitabilidad baja o intransitabilidad en épocas de lluvia No se definen niveles de gravedad

*Nota. MTC (2018) Manual de carreteras mantenimiento o conservación vial.*

### 2.2.3 Estabilización de suelos

“La estabilización del suelo puede definirse como la alteración o preservación de una o más propiedades del suelo para mejorar las características de ingeniería y rendimiento de un suelo” (Habiba, 2017) pp.365

Mediante la estabilización de suelos se espera mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos que no reúnen las condiciones necesarias para su utilización. Crea poco impacto ambiental, ya que ahorra transportar a un botadero cantidad de volúmenes de material excedente, y por otro lado, traer cantidad de material de préstamo. (Roldán, 2010)

Estabilizar un suelo natural consiste en mejorar sus características físicas y/o mecánicas, tales como la resistencia al esfuerzo cortante, la deformabilidad o compresibilidad, la estabilidad volumétrica ante la presencia de agua, entre otros, buscando en todos los casos un buen comportamiento esfuerzo deformación de los suelos y de la estructura que se coloque sobre ellos, a lo largo de su vida útil (Brazzini, 2011)

#### Métodos de estabilización de suelos

Existen diversos métodos de estabilización, las más conocidas y utilizadas son los siguientes:

- Estabilización mecánica
- Estabilización por medio químico, generalmente logrado por la adición de agentes estabilizantes específicos como el cemento, las sales, la cal, el asfalto u otros.
- Estabilización térmica, por medio de calor o calcinación
- Estabilización electroquímica.

Los métodos más utilizados son: estabilización mecánica, estabilización química (Hinrichsen, 2012).

### Estabilización mecánica

Se pretende mejorar las propiedades del suelo, por acción de la compactación estática o dinámica. La estabilización se realiza con la adición de roca triturada o el tamizado para removerlas partículas de cierto tamaño que son perjudiciales para fines ingenieriles. Este tipo de estabilización se lleva a cabo por compactación, vibración y uso de explosivos (Rodríguez, 2008).

### Estabilización química

Es la aplicación de un agente estabilizador químico que tiene como objetivo estabilizar el suelo al mezclarse con este. Estabilización química, que se refiere al cambio de las propiedades del suelo por efectos físico-químicos de superficie mediante la adición de cal, cemento, asfalto, cloruro de sodio, permeabilizantes entre otros. Un ejemplo claro es en el desarrollo de un proyecto de vía; estas adiciones químicas se la aplican principalmente a bases, sub-bases y terraplén para proveerle una estabilización garantizada a la vía. El agente estabilizador utilizado será el debidamente escogido y nombrado en el proyecto.

Entre los agentes químicos más utilizados se encuentran el cemento Portland, asfalto, cloruro de sodio, cenizas volantes, cloruro de calcio y desperdicios de fábricas de papel; estos materiales se usan para modificar la plasticidad, controlar el cambio de volumen y mejorar la resistencia (Rodríguez, 2008).

### *Estabilización de suelos con sales.*

Según MTC (2013) la estabilización de suelos con sales es la construcción de una o varias capas de suelos estabilizados con sales, que pueden ser cloruro de sodio, cloruro de calcio y cloruro de magnesio. Así como también, recomienda aplicar este método para zonas de bajas precipitaciones pluviales y altitudes hasta 500 m.s.n.m.

La sal es un estabilizante natural, que tiene la propiedad de ser higroscópico, es decir absorbe la humedad del medio que lo rodea, reduciendo la pérdida de humedad e incrementando la cohesión del suelo. Su capacidad coagulante requiere un menor esfuerzo mecánico para obtener una densidad deseada, provocada por el intercambio iónico entre el cloruro de sodio y los minerales que constituyen la matriz fina de los materiales.

El material empleado debe estar libre de materia orgánica llegando hasta un máximo del 3%. Su índice de plasticidad debe ser mayor a 8%. El tamaño máximo de agregado grueso no debe sobrepasar de 2" y el espesor de capa estabilizada debe ser mínimo de 15 cm.

La cantidad de sal que recomienda es de 50 a 80 kg por metro cúbico de suelo a estabilizar, que este sujeto a los resultados obtenidos en el tramo de prueba. El agua a utilizar debe estar en un pH de 5 a 8 y un contenido de sulfato menor a 1000 ppm.

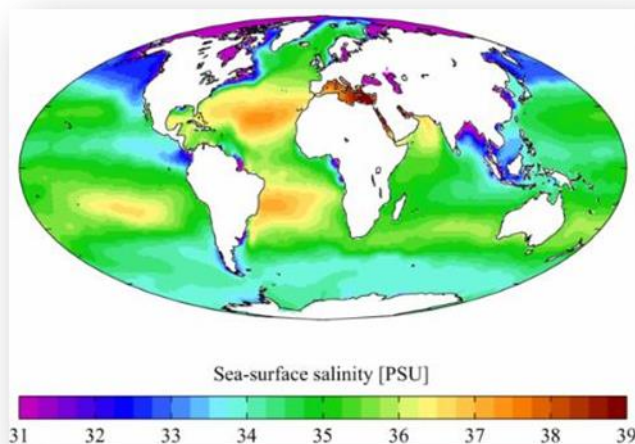
#### 2.2.4 Agua de mar

Agua salina que se encuentra en todos los océanos, tiene un contenido de cloruro de sodio, y clasifica en tres categorías de salinidad:

La concentración de sal en el agua ligeramente salina es de alrededor de 1.000 a 3.000 ppm (0,1-0,3%), en forma moderada el agua salina de 3.000 a 10.000 ppm (0,3-1%) y en agua de alta salinidad de 10.000 a 35.000 ppm (1-3,5%). El agua de mar tiene una salinidad de aproximadamente 35 000 ppm, equivalente a 35gramos de sal por litro (o kilogramo) de agua (Cuya, J. y Paco, R., 2021).

#### **Figura 1**

*Gramos de sal/litro*



*Nota. Cuya, J. y Paco, R., 2021.*

### Propiedades del agua de mar

Las características del agua de mar se encuentran definidas en las propiedades físicas y químicas, y sobre las propiedades físicas del agua de mar se conocen las importantes: (Cuya, J. y Paco, R., 2021)

**Propiedades térmicas:** Cuando intervienen directamente sobre la masa del océano, las menos densas y calientes están en la parte superior y las más densas y frías están en la interior.

**Propiedades mecánicas:** la densidad es la característica principal y esta se debe a la salinidad, compuesta por los cloruros, sulfatos y carbonatos los cuales varían en el cuerpo del agua de mar.

Y dentro de las propiedades químicas importantes se conocen los siguientes:

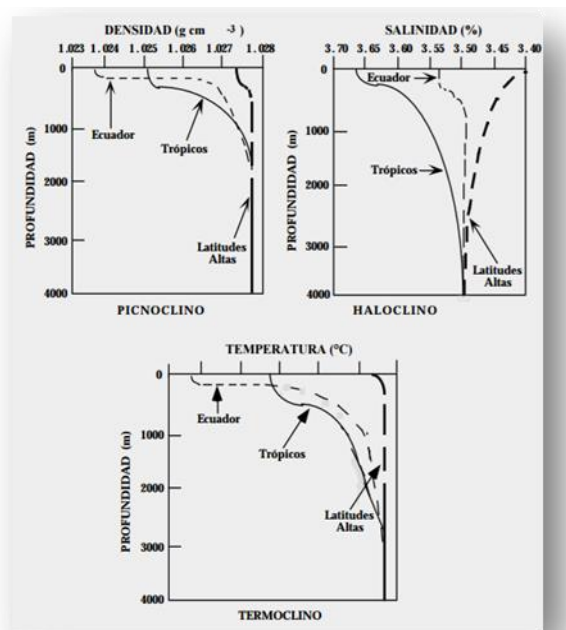
**Salinidad:** Propiedad importante, el cual representa el total de sales disueltas en el agua, en el agua de mar la sal importante es el cloruro de sodio, que viene a ser la sal común.

**Clorinidad:** Cantidad de cloro existente en un kilogramo de agua de mar el cual permite calcular la cantidad de salinidad en el agua de mar.

**Ph:** Es ligeramente alcalina, su valor varía desde 7.5 y 8.4 de acuerdo a la temperatura, la salinidad y otros factores.

**Figura 2**

*Propiedades del agua de mar.*



Nota. Cuya, J. y Paco, R., 2021

### 2.2.5 Ensayos de laboratorio

#### Contenido de humedad

Según INACAL (1999) en la Norma Técnica Peruana 339.127:1999, la humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas. El contenido de humedad se determina pesando una muestra representativa de suelo en su estado húmedo, secado luego dicha muestra a una temperatura constante de 100 a 110 °C y pesándola después. La diferencia entre el peso de la muestra antes

y después de secada al horno representa el peso del agua que contenía la muestra. Este peso del agua expresada como porcentaje del peso seco de la muestra proporción el contenido de humedad. El contenido de humedad del suelo puede variar desde cero cuando está perfectamente seco hasta un máximo determinado y variable cuando está completamente saturado. Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula.

$$w = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso de suelo al horno}} * 100 = \frac{Mcws - Mcs}{Mcs - Mc} \quad (1)$$

$$w = \frac{Mw}{Ms} * 100 \quad (2)$$

En donde:

w: Es el contenido de humedad, en porcentaje.

Mcws: Es el peso del contenedor más el suelo húmedo.

Mcs: Es el peso del contenedor más el suelo secado en horno.

Mc: Es el peso del contenedor.

Mw: Es el peso del agua.

Ms: Es el peso de las partículas sólidas.

### Granulometría por tamizado.

Según INACAL (1999) en la Norma Técnica Peruana 339.128:1999, este método fija el modo de obtener mediante el tamizado la distribución de las partículas por tamaño en cada malla, en una muestra sirve para determinar su clasificación y según esto su uso más adecuado.

Al finalizar este ensayo obtenido los pesos retenidos en los tamices se proceden a calcular el porcentaje por cada tamiz como sigue:

$$\%Retenido = \frac{W_{tamiz}}{W_1} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

W tamiz : Peso retenido en cada tamiz

W1 : Peso de la muestra secada al horno.

### Límites de Atterberg

Según INACAL (1999) en la Norma Técnica Peruana 339.129:1999, la plasticidad de un suelo depende, no de los elementos gruesos que contiene, sino únicamente de sus elementos finos. El método descrito por el sueco Atterberg, el cual consiste en definir los límites correspondientes a los tres estados del suelo: líquido, plástico o sólido. Estos límites, llamados límites de Atterberg, son: el límite de liquidez (LL), el límite de plasticidad (LP) y el límite de retracción (LR). Para respetar las

notaciones internacionales más empleadas, LL, LP y LP pueden ser llamados WL, WP y WS.

## **Tabla 2**

*Características del suelo de acuerdo al índice de plasticidad.*

Índice de plasticidad	Características
IP > 20	Suelos muy arcillosos
20 > IP > 10	Suelos arcillosos
10 > IP > 4	Suelos poco arcillosos
IP = 0	Suelos exentos de arcillas

*Nota. Sanz, 1995.*

### Próctor modificado

Según INACAL (1999), el ensayo de Proctor modificado respecto a la norma NTP 339.141 (ASTM D 1557) se realiza por el Método C. Se necesitará para el ensayo en laboratorio los siguientes equipos y herramientas:

- Balanza digital de 20 Kg con una precisión de 0.1 gr.
- Horno eléctrico capaz de mantener una temperatura hasta  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Molde para Proctor Modificado.
- Pisón de operación manual de sección circular con un peso de 4.54 Kg para Proctor Modificado.

- Mallas de 3/4", 3/8" y N° 4
- Equipo complementario: Espátulas, regla metálica, bandeja probeta graduada de 1 litro, martillo de goma, badilejo, cucharón, bolsas plásticas, recipientes vacíos.

California Bearing Ratio (CBR)

Según INACAL (1999), el ensayo de CBR respecto a la norma NTP 339.145 (ASTM D1883), para suelos arenosos a estos suelos les afecta la humedad de compactación y la densidad obtenida, por lo que se las ensayará cada muestra después de colocarlas en agua durante 4 días, se realizará tanto a la muestra patrón como también a la muestra con las dosificaciones de agua de mar. Para el ensayo del CBR se necesitan equipos y herramientas, los cuales se describen seguidamente:

- Equipo CBR (3 moldes cilíndricos con placa de base y collar de extensión, 3 discos espaciadores, 3 placas de expansión, 3 sobrecargas cada una de 4.5kg de peso y 3 trípodes
- Pisón Próctor modificado.
- Balanza con precisión de 1 gr.
- 3 diales de expansión.
- Estufa con control de temperatura.

- Probeta de 1000 ml.
- Recipiente de 6 Kg de capacidad.
- Espátula.
- Taras idénticas.

### **5.3 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS.**

- **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS**

Es mejorar un suelo existente adicionando un tipo de material para mejorar sus características físico-mecánicas.

- **CLORURO DE SODIO.**

La sal es un estabilizador químico natural que modifica la estructura del material pétreo mejorando sus propiedades físicas, para aumentar la resistencia a los esfuerzos de tracción y compresión. Su uso es para todo tipo de suelo.

- **CBR.**

Capacidad de soporte de un suelo, medido por la penetración de una fuerza dentro de la masa del suelo.

- AGUA DE MAR.

Agua salina que se encuentra en los océanos y que contiene cloruro de sodio (sal).

- ESTABILIZACIÓN QUÍMICA.

Aplicación de un producto químico para la estabilización del suelo, denominado estabilizador químico el cual es mezclado homogéneamente con un suelo en tratamiento de acuerdo a las especificaciones técnicas.

- TRANSITABILIDAD

Infraestructura vial que asegura y permite un flujo regular de tránsito en un tiempo determinado.

## **CAPITULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El tipo de la investigación es aplicada, se caracteriza por la aplicación de tecnologías para la estabilización de suelos, el cual debe cumplir con la normativa y calidad, investigación que nos permite el uso del agua de mar para mejorar su capacidad de soporte. (Hernández, R. Fernández, C. y Baptista, M., 2014).

#### **3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

El diseño de la investigación es experimental, porque se pretende en la investigación la adición del agua de mar en porcentajes para analizar los efectos en la estabilización a nivel de afirmado y determinar la capacidad de soporte. (Hernández, R. Fernández, C. y Baptista, M., 2014).

#### **3.3 NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación es explicativa con enfoque cuantitativo, se estudia sus variables y los indicadores, midiendo y registrando valores de los instrumentos de recolección

de datos. La base de la investigación está en la toma de datos en campo y los ensayos en laboratorio por la adición en porcentajes del agua de mar. (Hernández, R. Fernández, C. y Baptista, M., 2014).

Se tomo en consideración la metodología y herramientas propuestas por Pérez (1993) y Lapo (2012), añadiendo las consideraciones para los casos específicos tratados.

### 3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN

#### 3.4.1 Población

La población para el estudio son todas las vías existentes en el distrito La Yarada Los Palos.

#### 3.4.2 Muestra

La muestra de estudio es la Trocha Carrozable que comprende el tramo desde La Playa El Chasqui hasta el poblado de José Olaya, zona de la playa, donde se plantea estabilizar a nivel de afirmado usando agua de mar.

### 3.5 TÉCNICAS DE RECOLECCION DE DATOS

La técnica utilizada es la observación, todo se registra en una guía en forma cuidadosa y experta, en la obtención de información se utilizará como instrumento

una guía de observación para recolectar la información de todos los ensayos a realizarse en el laboratorio.

### 3.6 RECONOCIMIENTO DEL MALECÓN TURÍSTICO

#### 3.6.1 Ubicación del Malecón turístico.

El proyecto se encuentra en la región Tacna, provincia de Tacna, distrito de la Yarada los Palos. El distrito de La Yarada-Los Palos es uno de los once distritos que conforman la provincia de Tacna en el departamento homónimo en el sur del Perú.

#### **Figura 3**

*Ubicación geográfica del malecón turístico.*



*Nota. Google Earth*

El malecón turístico es una trocha carrozable que inicia en la playa El Chasqui y culmina en la playa José Olaya, tiene una longitud total de 4.5 km. Se ejecuto para fomentar el turismo en las playas del litoral del distrito e impulsar su economía.

**Tabla 3**

*Coordenadas geográficas del malecón turístico.*

	PROGRESIVA	COORDENADAS UTM		ALTITUD m.s.n.m.
Inicio	0+000 km	333310 E	7985347 N	15
Fin	4+500 km	337175 E	7983063 N	16

*Nota. Google Earth.*

### 3.7 EQUIPOS Y MATERIALES

#### 3.7.1 Estudio del estado físico de la vía.

- Celular con cámara fotográfica.
- Flexómetro.
- Cuaderno de apuntes.

#### 3.7.2 Estudio de tráfico.

- Plantilla para conteo vehicular
- Bolígrafo.
- Tableros.

### 3.7.3 Estudio de mecánica de suelos

#### Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo

##### MTC E108-1999 NTP 339.127

- Horno de secado
- Balanzas
- Recipientes
- Desecador
- Utensilios para manipulación de recipientes

##### Ensayo granulométrico por tamizado -NTP 339.128, 1999

- Tamizador electrónico
- Tamices 1 ½"; 1"; ¾"; ½"; 3/8"; 1/4"; N°10; N°20; N°40; N°60; N°100 y N°200.
- Balanza electrónica.
- Cucharas
- Bolsas plásticas

##### Límites de Atterberg (NTP 339.129, 1999).

- Dispositivo de limite liquido
- Acanalador
- Calibre

- Contenedores
- Contenedor para almacenaje
- Placa de vidrio pulido
- Espátula
- Tamiz
- Frasco de lavado
- Horno
- Recipiente de lavado.
- Balanza con una aproximación de 0.01 gr.

*Ensayo Proctor modificado NTP 339.141(ASTM D 1557)*

- Balanza digital de 20 Kg con una precisión de 0.1 gr.
- Horno eléctrico capaz de mantener una temperatura hasta  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Molde para Proctor Modificado.
- Pisón de operación manual de sección circular con un peso de 4.54 Kg para Proctor Modificado.
- Mallas de 3/4", 3/8" y N° 4.

Ensayo de relación de soporte -California Bearing Ratio (CBR) NTP 339.145  
(ASTM D1883)

- Equipo CBR (3 moldes cilíndricos con placa de base y collar de extensión, 3 discos espaciadores, 3 placas de expansión, 3 sobrecargas cada una de 4.5kg de peso y 3 trípodes
- Pisón Proctor modificado.
- Balanza con precisión de 1 gr.
- 3 diales de expansión.
- Estufa con control de temperatura.
- Probeta de 1000 ml.
- Recipiente de 6 Kg de capacidad.
- Espátula.
- Taras idénticas.

### 3.8 METOLOGIA DE ESTUDIO

#### 3.8.1 Estudio del estado físico de la vía.

El estudio del estado físico de la troca carrozable se realiza con el propósito de mostrar la condición actual de vía, que concierne a la capa de afirmado, para ello se hará un recorrido tomando fotografías e identificando el tipo deterioro.

En primer lugar, se hizo el reconocimiento de la vía, el cual inicia en la playa El Chasqui que corresponde a la progresiva 0+ 000 Km y termina en la playa José

Olaya a 4+500 Km, luego se tomó los datos de la dimensión de la sección típica, tomando medidas del ancho y espesor de la capa de afirmado.

**Figura 4**

*Ancho de la trocha carrozable.*



*Nota. Elaboración propia.*

**Figura 5**

*Espesor de la capa de afirmado de la trocha carrozable.*



*Nota. Elaboración propia.*

El resultado de la toma de datos de la sección de la trocha carrozable se especifica en la siguiente tabla.

**Tabla 4**

*Especificaciones de las dimensiones de la vía.*

DIMENSIONES	
Ancho de vía	7.5 m
Espesor de la capa	0.3 m
Longitud total	4.5 Km

*Nota. En la tabla se muestra las dimensiones de la vía investigada.*

Después, se recorrió la trocha carrozable realizando una inspección visual tomando fotografías de las patologías encontradas que se describen a continuación.

**Figura 6**

*Presencia de huecos progresiva 0+000 Km a 0+300 Km.*



*Nota. En la figura se muestra los huecos en la vía.*

El estudio se inició en la progresiva 0+000 Km playa El Chasqui, en la que se identificaron huecos, este tipo de falla se extiende hasta la progresiva 0+300 Km. Lo descrito anteriormente se aprecia en la figura 6.

Luego, desde la progresiva 0+300 Km hasta la progresiva 1+800 Km se identificó huecos generados por desprendimiento del material pétreo y pérdida de material fino y hundimiento en los bordes. Lo anterior se aprecia en la figura 7 y 8.

### **Figura 7**

*Fallas por desprendimiento de material pétreo Km 0+800.*



*Nota. En la figura se muestra el desprendimiento del material grueso.*

Posteriormente, desde la progresiva 2+100 Km hasta la progresiva 3+800 Km se identificó huecos generados por desprendimiento del material pétreo y pérdida de material fino y hundimientos. Esto se aprecia en la figura 9 y 10.

**Figura 8**

*Segregación y desprendimiento de material pétreo Km 1+700.*



*Nota. En la figura se muestra el desprendimiento del material pétreo.*

**Figura 9**

*Fallas por desprendimiento de material pétreo Km 2+100.*



*Nota. En la figura se muestra el desprendimiento del material grueso en tramos.*

## **Figura 10**

*Fallas por desprendimiento de material pétreo Km 3+700.*



*Nota. En la figura se muestra el desprendimiento de material en otro tramo de la vía*

En conclusión, la porción de la carretera no pavimentada afectada por las fallas corresponde a 78% de la vía. Por ello es necesario realizar un mantenimiento rutinario con escarificado, adición de material ligante y compactación.

### 3.8.2 Estudio de tráfico.

Este tipo de estudio se ejecutó con el fin de establecer la demanda diaria que cubre la vía, para ello se realiza el conteo vehicular por una semana para hallar el IMDs y el IMDa.

Para iniciar con el conteo vehicular se estableció una estación de conteo en un punto que corresponde en las inmediaciones de la Asoc. De Vivienda José Olaya.

Seguidamente se empezó con el registro de los vehículos en un formato que especifica el tipo de vehículo, hora y dirección. Fecha febrero del presente año.

**Tabla 5**

*Volumen de tráfico promedio diario.*

ESTUDIO DE TRAFICO VEHICULAR																														
PROYECTO: "ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DEL AGUA DE MAR EN LA ESTABILIZACIÓN A NIVEL DE AFIRMADO EN LA TROCHA CARROZABLE, TRAMO: PLAYA EL CHASQUI- JOSE OLAYA DISTRITO DE LA YARADA LOS PALOS, TACNA-2022"																														
Elaborado por: ROBERTO WILBER MAMANI PACOHUANACO																														
RESUMEN VOLUMEN DE TRAFICO PROMEDIO DIARIO																														
Via: Trocha carrozable Playas El Chasqui - Jose Olaya												Ubicación: Tacna-Tacna-La Yarada Los Palos																		
Estación : Km 6-000 Asoc. de Vivienda Jose Olaya												Fc. Veh. Ligeros: 1.07 Fc. Veh. Pesados: 1.032																		
DIA	MOTOS	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS				MICRO	BUS				CAMION					SEMI TRAYLER					TRAYLER			TOTAL	PORC. (%)			
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi				B2	B3 -1	C2	C3	C4	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	C2R2	C2R3	C3R2	C3R3							
LUNES	13	12	4	3	0	3	4	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	12%
MARTES	15	10	3	4	0	2	3	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	11%	
MIERCOLES	15	9	5	5	0	4	2	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	12%	
JUEVES	14	11	4	3	0	2	2	0	0	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	12%	
VIERNES	16	9	2	5	0	3	1	0	0	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43	12%	
SABADO	19	18	7	8	0	6	4	0	0	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	19%	
DOMINGO	22	17	8	9	0	8	5	0	0	8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	79	22%	
TOTAL	114	86	33	37	0	28	21	0	0	37	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	365	100%	
IMDs	16	12	5	5	0	4	3	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52		
%	31%	24%	9%	10%	0%	8%	6%	0%	0%	10%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%		

Nota. En la tabla de muestra el aforo vehicular de la zona de investigación

**Tabla 6**

*Clasificación vehicular.*

TIPO DE VEHÍCULO	IMDa	DISTR. (%)
MOTOS	17	32%
AUTO	13	24%
STATION WAGON	5	10%
CAMIONETAS PICK UP	5	10%
CAMIONETAS PANEL	0	0%
CAMIONETAS RURAL Combi	4	8%
MICRO	3	6%
BUS B2	0	0%
BUS B3 -1	0	0%
CAMION C2	5	10%
CAMION C3	1	2%
CAMION C4	0	0%
SEMI TRAYLER T2S1	0	0%
SEMI TRAYLER T2S2	0	0%
SEMI TRAYLER T2S3	0	0%
SEMI TRAYLER T3S2	0	0%
SEMI TRAYLER T3S2	0	0%
SEMI TRAYLER T3S3	0	0%
TRAYLER C2R2	0	0%
TRAYLER C2R3	0	0%
TRAYLER C3R2	0	0%
TRAYLER C3R3	0	0%
TOTAL IMDa	53	100%

Nota. En la tabla se muestra los tipos de vehículos que circulan por la zona

### 3.8.3 Estudio de mecánica de suelos

El método de trabajo comprende básicamente la toma de muestras del agregado de afirmado dentro de la zona de estudio de la trocha carrozable tramo playas El Chasqui - José Olaya; de igual manera, se tomó muestra de agua de mar. Con las muestras obtenidas se realizaron los ensayos estándares y los ensayos especiales; en efecto se empleó agua potable y agua de mar con la finalidad de realizar un análisis comparativo en la estabilización a nivel de afirmado en la trocha carrozable.

Con los resultados obtenidos se analizó los efectos del uso de agua de mar en la mejora de las propiedades físico mecánicas de la trocha carrozable.

En los ensayos estándares se realizó los ensayos de contenido de humedad y granulometría para caracterizar las propiedades físicas del material de afirmado. Así como también, en los ensayos especiales se realizó los ensayos de Límites de Atterberg, Proctor Modificado y CBR para caracterizar las propiedades mecánicas; con la particularidad del uso de agua de mar y agua potable.

Con la finalidad de obtener una información real de las condiciones actuales del agregado afirmado se hicieron los muestreos en campo estas fueron distribuidas convenientemente en el área más crítica del estudio, de manera que las muestras obtenidas sean representativas para los análisis del material de afirmado.

Las muestras alteradas obtenidas fueron enviadas al laboratorio de suelos CORPORACION LEMCON S.R.L, para realizar los ensayos correspondientes.

**Figura 11**

*Toma de muestra de agua de mar.*



*Nota. En la figura se muestra la muestra de agua de mar.*

**Figura 12**

*Toma de muestras del afirmado de la trocha carrozable.*



*Nota. En la figura de muestra la obtención del material del suelo, para preparar las muestras a ensayar en el laboratorio.*

*Procedimiento para el método de ensayo para determinar el contenido de humedad de muestras de afirmado MTC E108-1999 NTP 339.127*

Primero se pesó y se registró el contenedor a emplear. Luego se extrajo una muestra representativa del material de afirmado empleando el método de cuarteo.

Se peso el contenedor con el material es su estado natural. Seguidamente se colocó el material en el horno de secado a 110 °C hasta que alcance una masa constante. Posteriormente se colocó en un desecador, después se pesó y registro el material seco.

**Figura 13**

*Proceso de secado del material de afirmado.*



*Nota. Se muestra el proceso de secado del material obtenido de la zona de investigación*

Con los datos obtenidos se calculó la humedad del afirmado que se muestra a continuación.

**Tabla 7**

*Resultados del ensayo de contenido de humedad.*

<b>MUESTRA M-01</b>			
<b>CARACTERISTICAS</b>		<b>M - 01</b>	<b>M - 02</b>
RECIPIENTE (Nº)		<b>01</b>	<b>02</b>
1. Peso de recipiente	<b>grs</b>	85.45	90.74
2. Peso recipiente + muestra húmeda	<b>grs</b>	314.65	329.35
3. Peso recipiente + muestra seca	<b>grs</b>	313.05	328.30
4. Peso de agua	<b>cc</b>	1.60	1.05
5. Peso de la muestra seca neta	<b>grs</b>	227.60	237.56
6. Contenido de humedad	<b>%</b>	0.70	0.44
<b>PROMEDIO DE CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>		<b>0.57</b>	

*Nota. En la tabla se muestran los resultados obtenidos de los ensayos.*

*Procedimiento para el ensayo granulométrico por tamizado NTP 339.128, 1999*

Para iniciar se extrajo la muestra necesaria para el tamizado para proceder a su secado en el horno a 110 °C hasta alcanzar un peso constante, esto con el fin de facilitar el tamizado.

Después se seleccionaron los siguientes tamaños de tamices 2 ½"; 2 "; 1 ½"; 1"; ¾ "; 3/8"; N°4 ; N°10; N°40; y N°200.

Luego se realizó el tamizado de forma manual evitando la sobrecarga y siguiendo las recomendaciones de la norma para posteriormente para pesar y registrar los

pesos retenidos de cada tamiz en la balanza electrónica. Como recomendación de la norma se obtuvo una diferencia menor a 0.3% entre la masa total original y la obtenida luego del tamizado.

Por último, se realizó los cálculos de la distribución granulométrica para realizar la clasificación de material de afirmado.

#### **Figura 14**

*Ensayo de granulometría por tamizado.*



*Nota. Se muestra el ensayo de la granulometría*

Con el registro de datos se elaboró la siguiente tabla.

**Tabla 8***Clasificación del material de afirmado.*

TAMIZ	DIAM (mm)	Peso Ret.	Peso corr.	% Ret.	% Pasa
2 1/2	63.500	0	0	0	<b>100</b>
2	50.000	0	0	0	<b>100</b>
1 1/2	37.500	0	0	0	<b>100</b>
1	25.000	221.30	221.30	5.72	<b>94.28</b>
3/4	19.000	255.00	255.00	6.59	<b>87.7</b>
3/8	9.500	410.10	410.10	10.59	<b>77.11</b>
4	4.760	595.00	595.00	15.37	<b>61.74</b>
10	2.000	583.20	583.20	15.06	<b>46.67</b>
40	0.420	821.30	821.30	21.21	<b>25.46</b>
200	0.070	634.70	634.70	16.39	<b>9.07</b>
cazuela		351.00	351.00	9.07	<b>0</b>
Total		3871.60	3871.60	100.00	

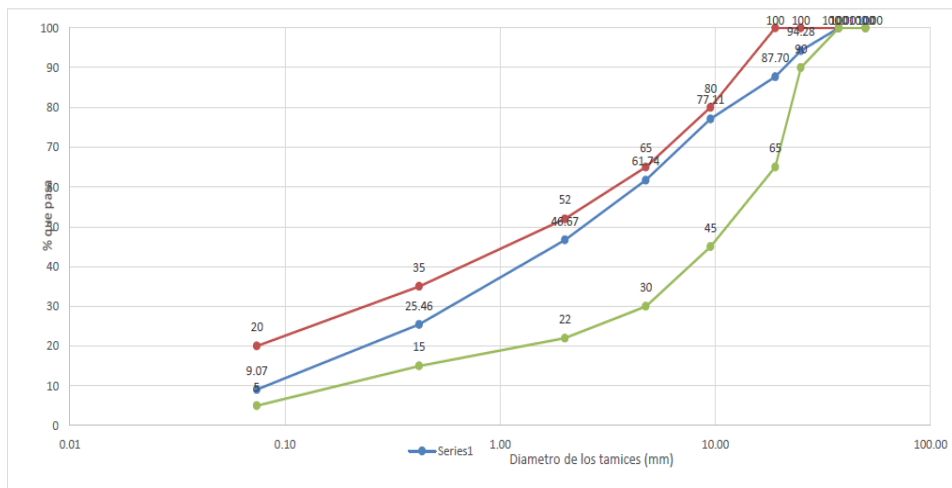
*Nota. Se muestra la clasificación del material afirmado preparado.***Tabla 9***Resultados del análisis granulométrico.*

DESCRIPCIÓN	
Características:	
Grava (%)	22.89
Arena (%)	68.04
Finos (%)	9.07
Clasificación	
Limite Líquido (%)	25.91
Limite Plástico (%)	20.5
Índice de Plasticidad (%)	5.5

*Nota. En la tabla se muestra los resultados del análisis granulométrico.*

**Figura 15**

*Grafica de la distribución del material de afirmado.*



*Nota. En la figura se muestra la forma de distribución del material afirmado.*

*Procedimiento para el ensayo de Límites de Atterberg NTP 339.129, 1999.*

En primer lugar, se obtuvo una muestra representativa de 200 g de material pasante del tamiz N 40. Luego se procedió a la calibración del aparato. Después, se preparó la muestra en una vasija de porcelana mezclándola con agua 15 a 20 ml, amasándola e incrementando de 1 a 3 ml hasta alcanzar una consistencia requerida para alcanzar de 20 a 30 golpes.

Luego se colocó una porción de la mezcla en la cazuela de bronce, nivelando con la ayuda de la espátula y evitando la inclusión de burbujas dentro de la masa.

Prosiguiendo, se divide con el acanalador a lo largo de su diámetro en la línea central de la masa.

Como parte fundamental se precedió a girar la manija a una velocidad a 1.9 a 2.1 golpes por segundo hasta lograr que se junten las dos mitades en el fondo de la cazuela a lo largo de una distancia de 13 mm. Al mismo tiempo, se ajustó el contenido de humedad de acuerdo a cantidad de golpes requerido. Finalmente, se retiró una porción de muestra para contenido de humedad en cada ensayo.

### **Figura 16**

*Ensayo de límites de Atterberg.*



*Nota. En la figura se muestra el ensayo de los límites de consistencia.*

**Tabla 10**

*Ensayo de límites de Atterberg con uso de agua potable.*

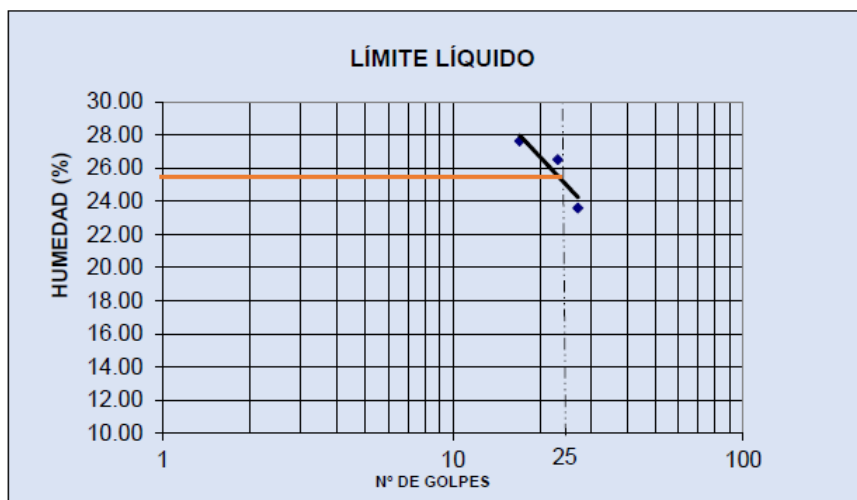
Nº DE GOLPES	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	17	23	27		
Nº DE TARA				0	0
PESO SUELO HUMEDO + TARA	58.14	56.23	57.48	30.21	0
PESO SUELO SECO + TARA	47.88	46.56	48.52	26.99	0
PESO DE TARA	10.8	10.1	10.5	11.25	0
PESO DEL AGUA	10.26	9.67	8.96	3.22	0
SUELO SECO	37.127	36.476	37.989	15.74	0
HUMEDAD %	27.63	26.51	23.59	20.46	0.00

LL: 25.91	LP: 20.5	IP: 5.5
-----------	----------	---------

*Nota. En la tabla se muestra los resultados del uso de agua potable.*

**Figura 17**

*Límite líquido con el empleo de agua potable.*



*Nota. Se muestra en la figura resultado del límite líquido usando agua potable.*

**Tabla 11**

*Resultado del ensayo de límites de Atterberg con uso de mar.*

LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
Nº DE GOLPES	19	25	32		
Nº DE TARA				0	0
PESO SUELO HUMEDO + TARA	54.63	52.45	55.26	33.17	0
PESO SUELO SECO + TARA	44.12	43.14	46.17	29.12	0
PESO DE TARA	10.8	10.1	10.5	11.25	0
PESO DEL AGUA	10.51	9.31	9.09	4.05	0
SUELO SECO	33.37	33.06	35.64	17.87	0
HUMEDAD %	31.50	28.16	25.51	22.66	0.00

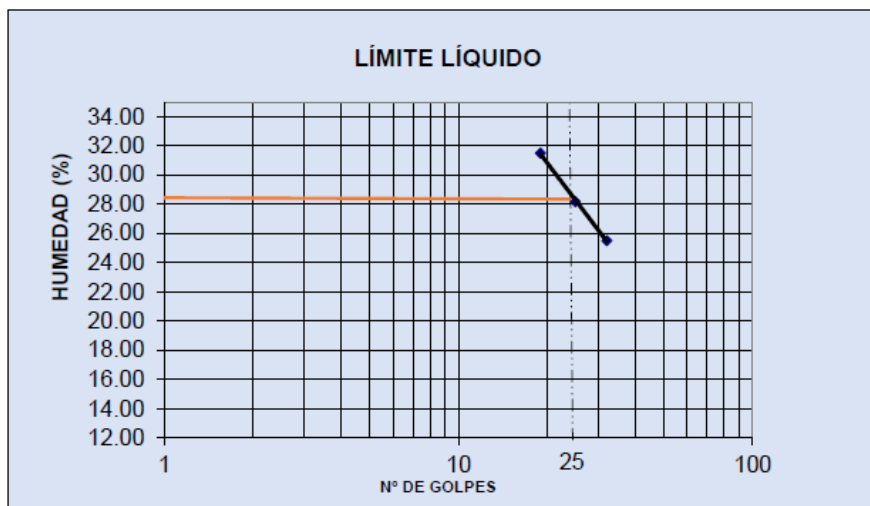
  

LL: 28.39	LP: 22.7	IP: 5.7
-----------	----------	---------

*Nota. Elaboración propia.*

**Figura 18**

*Límite líquido con el empleo de agua mar.*



*Nota. Elaboración propia.*

*Procedimiento para el ensayo Proctor modificado NTP 339.141(ASTM D 1557)*

Al principio, se extrajo una muestra representativa por el método de cuarteo.

De acuerdo a los resultados del análisis granulométrico se optó por método C, por lo que se conformara de 5 capas, con 56 golpes cada uno y molde de diámetro de 6"; que emplea material pasante por el tamiz  $\frac{3}{4}$ ".

**Figura 19**

*Ensayo de Proctor modificado.*



*Nota. Elaboración propia.*

A continuación, se pesó el molde. Luego se introdujo el material humedecido en el molde compactándolo con un martillo de 44.5 N, en cinco capas, con 56 golpes. Se empleo 4 muestras 4%, 6%, 9% y 11% de contenido de humedad aproximadamente. Por último, se pesa el molde con el afirmado compactado y se extrajo una muestra para la determinación de contenido de humedad. Todos los datos se registraron de acuerdo al procedimiento de la NTP.

**Tabla 12**

*Resultado del ensayo de Proctor modificado con agua potable.*

MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE				2104 cc
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA				56
Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	11360	11795	12068	11998	
Peso del Molde	gr.	7105	7105	7105	7105	
Peso del Suelo Humedo	gr/cc.	4255	4690	4963	4893	
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc	2.022	2.229	2.359	2.326	

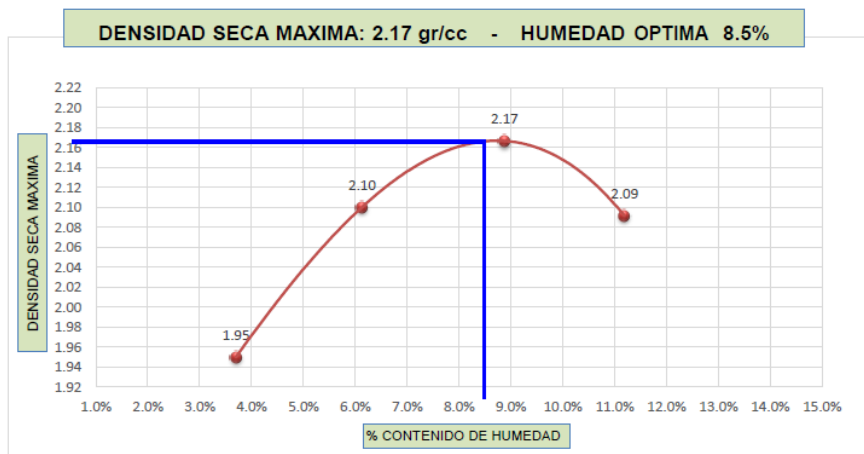
  

Capsula No	No	1	2	3	4
Suelo Humedo + Tara	gr.	326.40	325.70	336.20	330.70
Peso del Suelo Seco +Tara	gr.	316.18	310.35	312.05	303.45
Peso del Agua	gr.	10.22	15.35	24.15	27.25
Peso de la Tara	gr.	40.00	60.00	40.00	60.00
Peso del Suelo Seco	gr.	276.18	250.35	272.05	243.45
% de Humedad	%	3.70%	6.13%	8.88%	11.19%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	3.7%	6.1%	8.9%	11.2%
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	1.95	2.10	2.17	2.09

*Nota. Elaboración propia.*

**Figura 20**

*Determinación de la humedad optima con agua potable.*



*Nota. Elaboración propia.*

**Tabla 13**

*Resultado del ensayo de Proctor modificado con agua de mar.*

MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE				2104 cc
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA				56
Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	11635	11967	12166	12105	
Peso del Molde	gr.	7105	7105	7105	7105	
Peso del Suelo Humedo	gr/cc.	4530	4862	5061	5000	
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc	2.153	2.311	2.405	2.376	

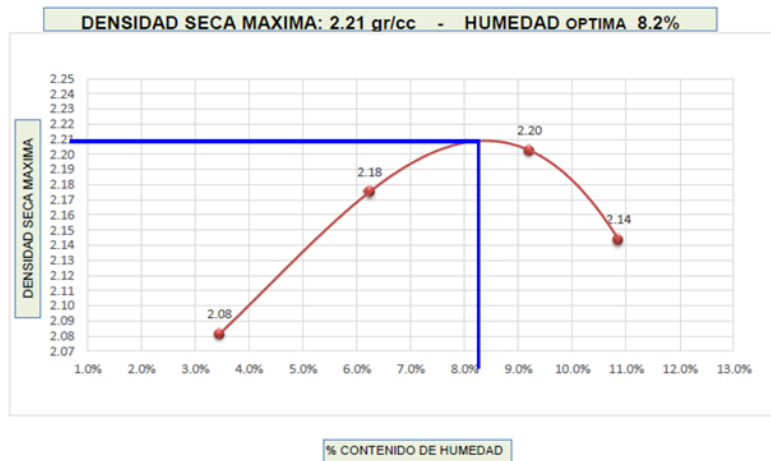
  

Capsula No	No	1	2	3	4		
Suelo Humedo + Tara	gr.	436.36	425.47	484.20	452.84		
Peso del Suelo Seco +Tara	gr.	423.15	404.02	451.05	414.36		
Peso del Agua	gr.	13.21	21.45	33.15	38.48		
Peso de la Tara	gr.	40.00	60.00	90.90	60.00		
Peso del Suelo Seco	gr.	383.15	344.02	360.15	354.36		
% de Humedad	%	3.45%	6.24%	9.20%	10.86%		
<b>Promedio de Humedad</b>	%	3.4%	6.2%	9.2%	10.9%		
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	2.08	2.18	2.20	2.14		

*Nota. Elaboración propia.*

**Figura 21**

*Determinación de la humedad optima con agua de mar.*



*Nota. Elaboración propia.*

Procedimiento para el ensayo de relación de soporte -California Bearing Ratio (CBR) NTP 339.145 (ASTM D1883)

Al principio, se seleccionó el material pasante a la malla N 3/4". De acuerdo a los resultados del ensayo de Proctor modificado se preparó la muestra con el contenido de humedad óptima. La prueba consistió de 3 moldes de 5 capas de 12, 25 y 56 golpes. Par ello se pesó el molde, posteriormente se introdujo el disco separador, luego se colocó el collar y se compacto el material en 5 capas con los respectivos golpes.

**Figura 22**

*Ensayo de CBR.*



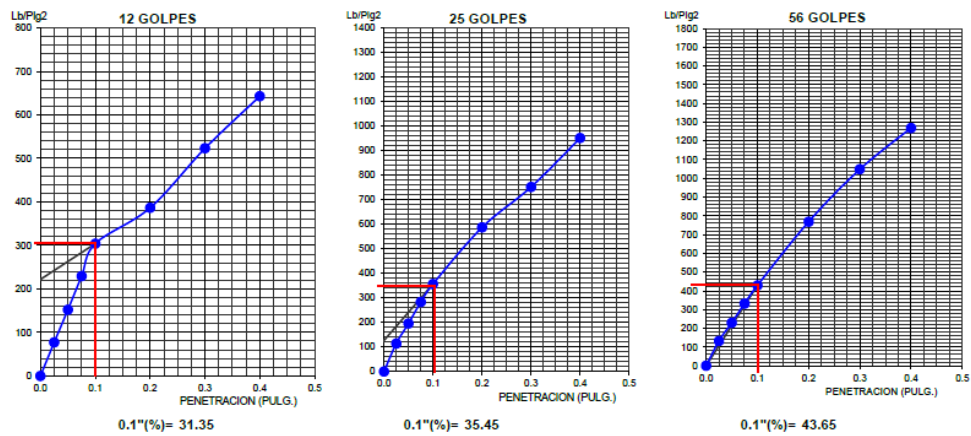
*Nota. Elaboración propia.*

Para la prueba de penetración se colocó una sobrecarga de 4.5 kg, se aplicó la carga de penetración de la prensa CBR. Paralelamente se realizó el registro de la carga

aplicada y la penetración. Con los datos obtenidos se calculó el CBR del material de afirmado

**Figura 23**

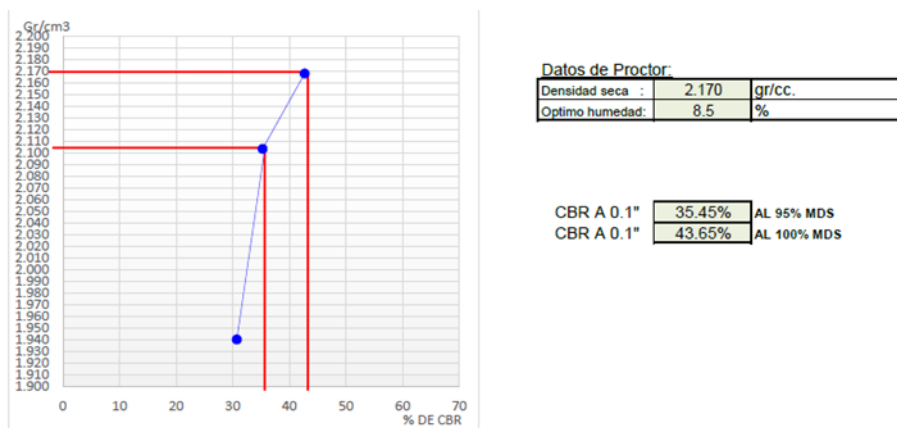
Gráfico obtenido de los ensayos CBR con agua potable.



Nota. Elaboracion propia.

**Figura 24**

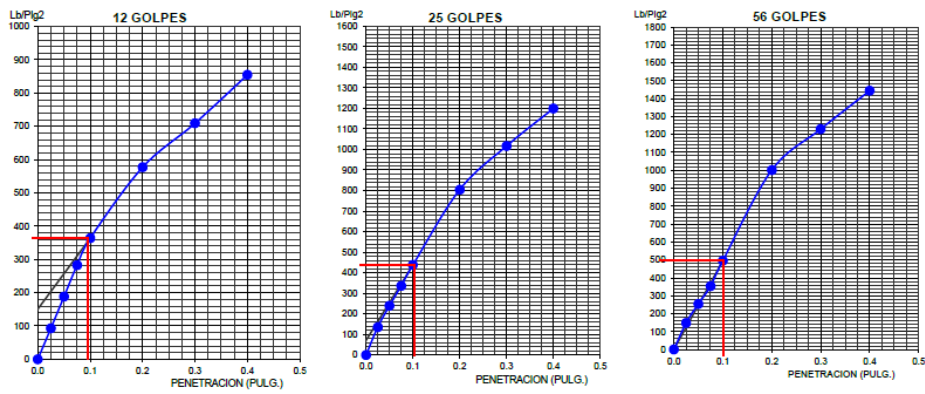
Gráfico para la determinación del CBR con agua potable.



Nota. Elaboración propia

**Figura 25**

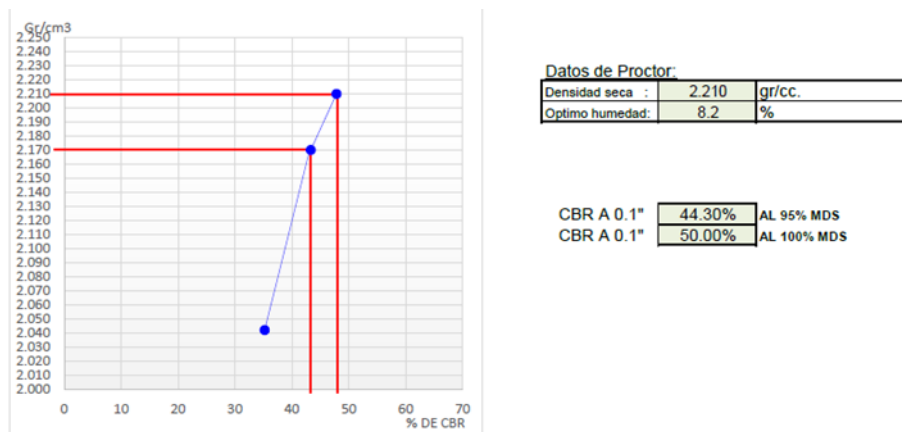
*Gráfico obtenido de los ensayos CBR con agua de mar.*



*Nota. Elaboracion propia.*

**Figura 26**

*Gráfico para la determinación del CBR con agua de mar.*



Datos de Proctor:		
Densidad seca :	2.210	gr/cc.
Optimo humedad:	8.2	%

CBR A 0.1"	44.30%	AL 95% MDS
CBR A 0.1"	50.00%	AL 100% MDS

*Nota. Elaboración propia.*

#### 3.8.4 Análisis de datos

En base a la información de los ensayos de laboratorio, se procesarán utilizando la hoja electrónica Excel y algunos métodos estadísticos descriptivos o inferenciales, se utilizarán para la presentación de los resultados.

## CAPITULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 RESUMEN DE LOS RESULTADOS

##### Estudio de tráfico

IMD 54 vehículos/día.

##### Estudio del estado físico.

##### Tabla 14

*Dimensiones y estado físico de la vía.*

DIMENSIONES	
Ancho de vía	7.5 m
Espesor de la capa	0.3 m
Longitud total	4.5 Km
ESTADO DE LA VIA	
78 % de la vía presenta patologías.	

*Nota. Elaboración propia.*

##### Humedad natural norma ASTM D 2216 NTP 339.127

Humedad natural: 0.57 %

## Análisis granulométrico Norma ASTM C-136

**Tabla 15**

*Ensayo granulométrico por tamizado del afirmado.*

DESCRIPCIÓN	
Características:	
Grava (%)	22.89
Arena (%)	68.04
Finos (%)	9.07
Clasificación	
Limite Líquido (%)	25.91
Limite Plástico (%)	20.5
Índice de Plasticidad (%)	5.5

*Nota. Elaboración propia.*

**Tabla 16**

*Resultados del análisis granulométrico.*

Clasificación SUCS
GP
Clasificación AASHTO
A-1-b
Granulometría A-1
Grava mal graduada- mezcla de arena con material fino

*Nota. Elaboración propia.*

### **Límites de Atterberg Norma ASTM D 4318**

**Tabla 17**

*Límites de consistencia con agua potable y agua de mar.*

Consistencia	Agua potable	Agua de mar
Límite líquido (%)	25.91	28.39
Límite plástico (%)	20.5	22.7
Índice de plasticidad (%)	5.5	5.7

*Nota. Elaboración propia.*

### **Proctor Modificado Norma ASTM D 1557**

**Tabla 18**

*Ensayo Proctor Modificado con agua potable y agua de mar.*

Densidad-Humedad	Agua potable	Agua de mar
Densidad máxima (gr/cc)	2.17	2.21
Óptimo contenido de humedad (gr/cc)	8.5	8.2

*Nota. Elaboración propia.*

## CBR Norma ASTM D 1883

**Tabla 19**

*CBR con agua potable y agua de mar.*

CBR 0.1"-0.1"	Agua potable	Agua de mar
95 %	35.45 %	44.30 %
100 %	43.65 %	50.00 %

*Nota. Elaboración propia.*

## 4.2 ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Según MTC (2008) el material de afirmado empleado en la conformación de la trocha carrozable debe cumplir los siguientes indicadores de calidad.

**Tabla 20**

*Indicadores de calidad del agregado.*

Indicadores de calidad	
Desgate Los Ángeles	50% máx. (MTC E 207)
Limite liquido	35% máx. (MTC E 110)
Índice de plasticidad	4-12 % (MTC E 111)
CBR	40% min. (MTC E 132)

*Nota. MTC (2008).*

## Del Análisis granulométrico Norma ASTM C-136

La distribución granulométrica en los materiales de afirmado es de vital importancia para determinar la clase de material y su uso.

Según MTC (2008) clasifica a la gradación de los materiales de la capa de afirmado empleados en carreteras no pavimentadas en tres tipos: Tipo 1, Tipo 2 y Tipo 3; esta clasificación está en función del IMD. En la tabla 12 se aprecia la gradación necesaria para un IMD determinado.

**Tabla 21**

*Tipo de afirmado de acuerdo al IMD.*

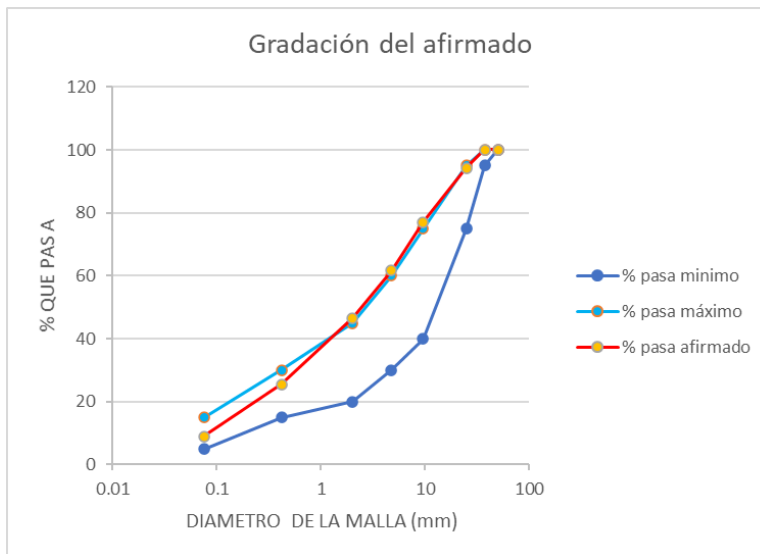
<b>PORCENTAJE QUE PASA DEL TAMIZ</b>	<b>TRÁFICO T0 Y T1: TIPO 1 IMD&lt;50 VEH.</b>	<b>TRÁFICO T2: TIPO 2 51 - 100 VEH.</b>	<b>TRÁFICO T3: TIPO 3 101 – 200 VEH.</b>
50 mm (2")	100	100	
37.5 mm (1 ½")		95 – 100	100
25 mm (1")	50 – 80	75 – 95	90 – 100
19 mm (¾")			65 – 100
12.5 mm (½")			
9.5 mm (3/8")		40 – 75	45 – 80
4.75 mm (Nº 4)	20 – 50	30 – 60	30 – 65
2.36 mm (Nº 8)			
2.00 mm (Nº 10)		20 – 45	22 – 52
4.25 um (Nº 40)		15 – 30	15 – 35
75 um (Nº 200)	4 – 12	5 – 15	5 – 20
<b>Índice de plasticidad</b>	<b>4 - 9</b>	<b>4 - 9</b>	<b>4 - 9</b>

*Nota. MTC (2008).*

De acuerdo al estudio de tráfico que se realizó determina un IMD de 54 vehículos /día que constituye un tráfico tipo T2 por ende la gradación que debe cumplir es del afirmado tipo 2. Para tal efecto, se analizó la gradación del material de afirmado tomando en consideración la granulometría adecuada para la demanda, que determina un rango de gradación mínima y máxima.

**Figura 27**

*Gradación del material de afirmado de la trocha carrozable.*



*Nota. Elaboración propia.*

De acuerdo a la figura se puede observar que la distribución granulométrica del afirmado empleado en la trocha carrozable en estudio se encuentra dentro del rango de la gradación solicitada. Por ende, el material empleado es aceptable para este tipo de vía.

### De los Límites de Atterberg Norma ASTM D 4318

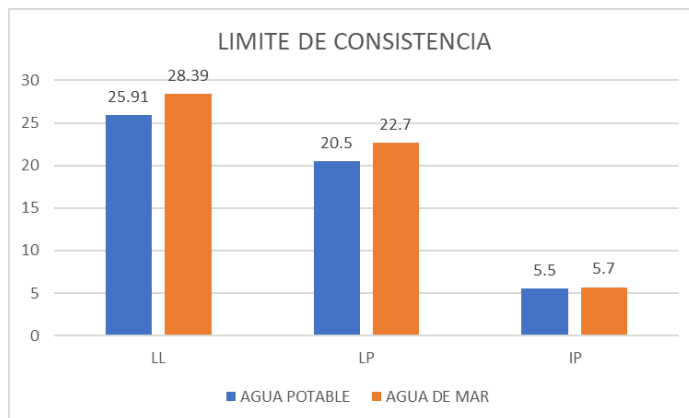
Según MTC (2008) indica que el rango de plasticidad debe estar entre 4% hasta un máximo de 12% y el límite liquido debe alcanzar hasta un máximo de 35%, esto se aprecia en la Tabla 20.

Según los resultados del ensayo Límites de consistencia del afirmado se obtuvo 5.5% de índice de plasticidad, y un límite liquido de 25.91%. Por lo tanto, estos indicadores cumplen con la calidad requerida.

Por otra parte, con la finalidad de analizar el comportamiento de las propiedades del afirmado con empleo del agua de mar. Realizado el ensayo se obtuvo los siguientes resultados que se aprecian en la siguiente figura.

**Figura 28**

*Límite de consistencia con agua de mar y agua potable.*



*Nota. Elaboración propia.*

De la figura se visualiza una notable mejora en los indicadores de plasticidad del material con el uso de agua de mar, el límite líquido se incrementa de 25.91% a 28.39%, el límite plástico de 20.5% a 22.7% y su índice de plasticidad de 5.5% a 5.7%.

El agua de mar posee una considerable cantidad de cloruro de sodio, que es un estabilizante natural por ser higroscópico. Al constituirse la mezcla de agua de mar y el material de afirmado se produce el intercambio iónico entre el sodio y los minerales de la arcilla, facilitando la acción cementante y mejorando la cohesión del material de afirmado.

#### **Del Proctor Modificado Norma ASTM D 1557**

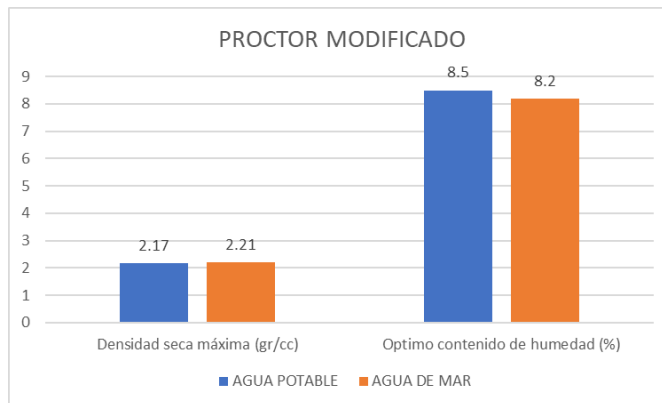
El propósito de la compactación de los materiales que constituyen la estructura de una carretera se realiza para mejorar sus propiedades geotécnicas como son la resistencia al corte, compresibilidad y permeabilidad. Previo a ello se realizan las pruebas de compactación en el laboratorio con el fin de cuantificar los indicadores de las propiedades del material de afirmado, de la densidad seca máxima alcanzado en la compactación y el óptimo contenido de humedad. Con los resultados obtenidos se realiza el control de la calidad de los trabajos de compactación durante la ejecución de las vías.

El uso del agua de mar como se mencionó anteriormente incrementa la cohesión del material de afirmado; por esta razón en la compactación se alcanza una densidad

seca máxima mayor paso de 2.17gr/cc a 2.21 gr/cc, con un contenido de humedad optima menor de 8.5% a 8.2% en comparación con el uso de agua potable, esto se refleja en la figura 29.

### Figura 29

*Proctor modificado con agua potable y agua de mar.*



*Nota. Elaboración propia.*

De acuerdo a la densidad seca máxima y el óptimo contenido de humedad se determinó la cantidad necesaria de agua de mar 181.22 L para un metro cubico de material de afirmado.

### Del CBR Norma ASTM D 1883

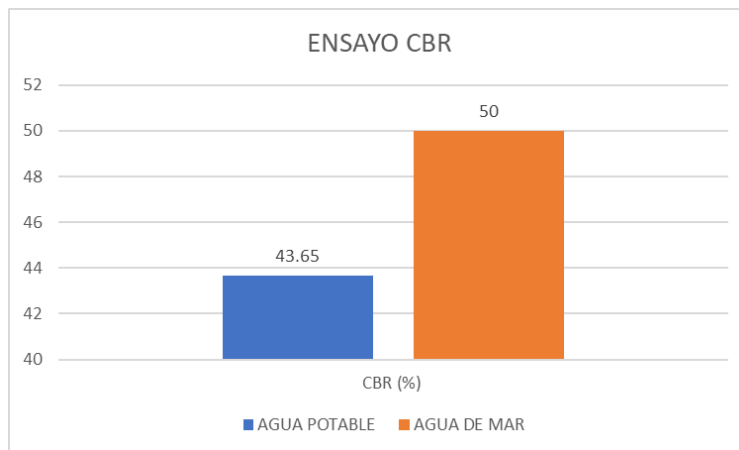
El CBR es la relación de soporte al tanto por ciento de la presión ejercida para una penetración determinada.

Según MTC (2008) el CBR del material de afirmado debe ser como mínimo 40% referido al 100 % de la máxima densidad seca y una penetración de 0.1”.

De los resultados obtenidos en laboratorio con agua potable y agua de mar se aprecia en la siguiente figura.

### Figura 30

*Ensayo CBR con agua potable y agua de mar.*



*Nota. Elaboración propia.*

Con respecto a la calidad del material de afirmado de acuerdo al indicador de resistencia a la penetración CBR cumple con la calidad requerida ya que sobrepasa del 40%. De la figura 30 se aprecia que la resistencia a la penetración de material de afirmado se incrementa considerablemente de 43.65 % con agua potable a 50 % con el agua mar, es decir se mejora sus propiedades mecánicas.

### **4.3 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

El objeto de esta investigación ha sido determinar la influencia que tiene el uso de agua de mar en el material de afirmado usado en la conformación de la trocha carrozable, para ello se aplicaron ensayos de laboratorio con agua potable y agua de mar. Ante todo, se buscó contrastar los beneficios de su empleo en las propiedades físico mecánicas.

En ese sentido, se realizó los ensayos de contenido de humedad y granulometría para caracterizar las propiedades físicas del material de afirmado. Así como también, los ensayos de Límites de Atterberg, Proctor Modificado y CBR para caracterizar las propiedades mecánicas; con la particularidad del uso de agua de mar y agua potable. De los resultados del ensayo de granulometría el material de afirmado cumple con la gradación permitida de acuerdo al estudio de tráfico. En el ensayo de Límites de Atterberg el uso de agua de mar incrementa su plasticidad debido al incremento de la cohesión por el enlace iónico entre la matriz del material fino y iones de la sal disuelta en el agua de mar. En el ensayo de Proctor Modificado con el agua de mar se incrementó la densidad seca máxima del material de afirmado esto a consecuencia de un mejor acomodamiento de los materiales que ocasiona la cohesión y un óptimo contenido de humedad. En el ensayo de CBR con el agua de mar se mejoró la resistencia a la penetración, esto debido a la acción cementante del cloruro de sodio.

Por medio de este análisis, se puede afirmar que el uso del agua de mar tiene beneficios considerables en las propiedades físico mecánicas en el material de afirmado de la trocha carrozable. Además, es un material higroscópico, es decir absorbe humedad del aire y de materiales que lo rodean, reduciendo la pérdida de humedad del material de afirmado que conforma.

Bajo este contexto, el principal objetivo de analizar los efectos del uso de agua de mar a nivel afirmado ha sido logrado, encontrándose que es una buena alternativa para plantear un proyecto de mantenimiento con estabilización a nivel de afirmado para mejorar la transitabilidad de los vehículos y preservar el medio ambiente.

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

- En la presente investigación se determinó la influencia del uso del agua de mar en la estabilización a nivel de afirmado en la trocha carrozable, tramo: Playa El Chasqui – José Olaya, distrito La Yarada Los Palos, Tacna.
- Se determinó la mejora de las propiedades físico-mecánicas del material de afirmado con el uso de agua de mar en comparación con el agua potable en la trocha carrozable. Para tal efecto, de los resultados del análisis granulométrico según la AASHTO se clasificó como un material tipo grava mal graduada- mezcla de arena con material fino, el índice de plasticidad pasó de 5.5% a 5.7%, densidad seca máxima de 2.17 gr/cc a 2.21 gr/cc, el óptimo contenido de humedad disminuye de 8.5% a 8.2% y la resistencia a la penetración CBR mejoró de 43.65% a 50 %.
- Se calculó la dosificación óptima del uso del agua de mar en la estabilización a nivel de afirmado en la trocha carrozable, resultando ser 82 kg de agua de mar para 1000 kg de afirmado.
- Se determinó la máxima capacidad de soporte 50%, referido al 100 % de la máxima densidad seca y una penetración de 0.1”, para una densidad seca

máxima de 2.21 gr/cc y un óptimo contenido de humedad de 8.2% del suelo estabilizado a nivel de afirmado con agua de mar en la trocha carrozable en estudio.

## 5.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda a la Municipalidad Distrital de la Yarada Los Palos con respecto a la trocha carrozable en estudio:

- Realizar un estudio de la patología para efectos de determinar el diagnóstico de su condición y las posibles medidas correctivas.
- Emplear agua de mar en el mantenimiento periódico a nivel de afirmado para restablecer las condiciones óptimas de transitabilidad y cuidado con del medio ambiente.
- Emplear agua de mar en el mantenimiento rutinario para evitar la pérdida de material fino.
- Colocar señales de velocidad máxima permisible para la conservación de la capa de rodadura para efectos de evitar el desprendimiento de material pétreo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brazzini, G. (2011). *Suelos estabilizados, una buena alternativa para la conservación de caminos no pavimentados*. Lima.
- Caruajulca, E. (2018). *Influencia del aditivo cloruro de sodio como estabilizante de la subrasante de la carretera, tramo Cruce El Porongo – Aeropuerto – Cajamarca*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Cochachin, R. (2018). *Estabilización y durabilidad de subbase usando la cantera de Challhua con adición de cloruro de sodio en 2, 4 y 6%, Huaraz – 2017*. Huaráz: Universidad San Pedro.
- Cuya, J. y Paco, R. (2021). *Aplicación de agua salina en la modificación de los parámetros geotécnicos de suelos no cohesivos en Villa El Salvador, Chilca y Asia – Lim*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- De la Cruz, A. y Rosas, I. (2021). *Efecto del cloruro de sodio y ceniza agrícola en la estabilización del suelo en carretera no pavimentada, Huamachuco*. Trujillo: Universidad César Vallejo.
- Eche, K. y Pelaez, A. (2019). *Estabilización de suelos de la red vial vecinal AN-876 con cloruro de sodio obtenido de diferentes salineras, distrito de Santa, Ancash – 2019*. Chimbote: Universidad César Vallejo.

Gambini, J. (2021). *Estabilización de la subrasante con cloruro de sodio en el Sector 24 la Villa de Huacariz - Cajamarca*. Cajamarca: Universidad César Vallejo.

Habiba, A. (2017). Stabilization of Clayey Soils Using Chloride Components. *American Journal of Civil Engineering Vol. 5 (6)*, 365-370.

Hernández, R. Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación Sexta edición*. México: McGRAW-HILL-Interamericana Editores S.A. de C.V.

Hinrichsen, N. (2012). *Estudio de comportamiento de suelo estabilizado con sal frente a la acción del agua para distintas mezclas*. Chile: Universidad Austral de Chile.

INACAL, Instituto Nacional de Calidad. (1999). *Norma Técnica Peruana: Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo (NTP 339.127:1999)*. Lima, Perú: Dirección de Normalización.

INACAL, Instituto Nacional de Calidad. (1999). *Norma Técnica Peruana: Método de ensayo para determinar la granulometría de un suelo (NTP 339.128:1999)*. Lima, Perú: Dirección de Normalización.

INACAL, Instituto Nacional de Calidad. (1999). *Norma Técnica Peruana: Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de*

*plasticidad de suelos (NTP 339.129:1999)*. Lima, Perú: Dirección de Normalización.

INACAL, Instituto Nacional de Calidad. (1999). *Norma Técnica Peruana: Método de ensayo para la compactación en laboratorio de las características del suelo utilizando una energía modificada 2700 KN-m/m<sup>3</sup>* (NTP 339.141:1999). Lima, Perú: Dirección de Normalización.

INACAL, Instituto Nacional de Calidad. (1999). *Norma Técnica Peruana: Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio (NTP 339.145:1999)*. Lima, Perú: Dirección de Normalización.

Luna, V. y. (2019). *Estabilización de la red vial vecinal AN-873 0+000 al 2+400 km con cloruro de sodio proveniente del agua de mar, Santa, Santa, Ancash-2019*. Chimbote: Universidad César Vallejo.

Méndez, J. (2021). *Estabilización de suelo arcilloso para el mejoramiento de la subrasante adicionando cloruro de sodio, tramo Primorpampa – Cascapara, Yungay, Ancash – 2021*. Huaraz: Universidad César Vallejo.

Moreno, S. y Rodríguez, J. (2013). *Determinación de las propiedades índices y mecánicas de los suelos expansivos en la vía San Mateo – Esmeraldas zona*

*de Winchele, realizando los ensayos con agua potable y con agua de mar.*

Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

MTC, Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). *Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito*. Lima, Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.

MTC, Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). *Manual especificaciones técnicas generales para construcción de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito*. Lima, Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.

MTC, Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de carreteras especificaciones técnicas generales para construcción*. Lima, Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.

MTC, Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Lima, Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.

- MTC, Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Manual de carreteras mantenimiento o conservación vial*. Lima, Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.
- Palomino, Y. (2016). *Influencia de la adición de cloruro de sodio en el índice California Bearing Ratio (CBR) de un suelo arcilloso, Cajamarca 2016*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Reyes, O., Camacho, J. y Troncoso, J. (2006). Uso de cloruro de sodio en bases granulares. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina Vol.16 N° 1*, 63-71.
- Rivasplata, J. (2011). *Estabilización de subrasantes y afirmados en caminos rurales empleando agua de mar en el C.P. Tangay*. Nuevo Chimbote: Universidad Nacional del Santa.
- Rodriguez, A. (2008). *La ingeniería de suelos en las vías terrestres*. México: Limusa S.A.C.
- Roldán, J. (2010). *Estabilización de suelos con cloruro de sodio (NaCl) para bases y subbases*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Sanz, J. (1995). *Mecánica de suelos*. Barcelona: Editions Eyrolles.
- Silvestre, J. (2018). *Análisis comparativo de los efectos del agua de mar y de cal en la estabilización de suelos arcillosos en calles que conforman el Barrio*

*2 de noviembre de la comuna Engabao perteneciente al Canton Playas, provincia del Guayas. Guayaquil -Ecuador: Universidad de Guayaquil.*

Terzaghi, K y Peck, R. (1978). *Mecanica de suelos en la ingenieria practica (2da. Ed.)*. Barcelona, España: El Ateneo S.A.

# **ANEXOS**

# **ENSAYOS DE LABORATORIO**



## ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD (%)

**TESIS** : "ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DEL AGUA DE MAR EN LA ESTABILIZACIÓN A NIVEL DE AFIRMADO EN LA TROCHA CARRO  
TRAMO: PLAYA EL CHASQUI - JOSE OLAYA, DISTRITO DE LA YARADA LOS PALOS, TACNA - 2022".

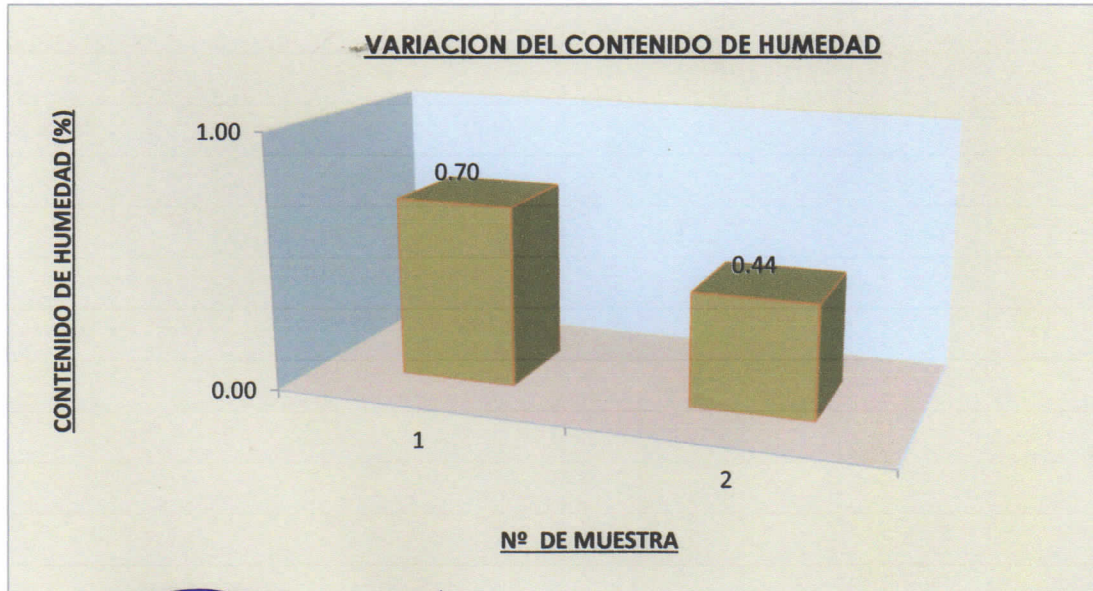
**UBICACIÓN** : DISTRITO LA YARADA LOS PALOS - REGION TACNA DEPARTAMENTO DE TACNA.

**SOLICITANTE** : SR. ROBERTO WILBER MAMANI PACOHUANACO.

**MUESTRA** : MATERIAL DE AFIRMADO M-01.

**FECHA** : TACNA, MARZO DEL 2022.

MUESTRA M-01		
CARACTERÍSTICAS	M - 01	M - 02
RECIPIENTE (N°)	01	02
1. Peso de recipiente	grs 85.45	90.74
2. Peso recipiente + muestra húmeda	grs 314.65	329.35
3. Peso recipiente + muestra seca	grs 313.05	328.30
4. Peso de agua	cc 1.60	1.05
5. Peso de la muestra seca neta	grs 227.60	237.56
6. Contenido de humedad	% 0.70	0.44
<b>PROMEDIO DE CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>	<b>0.57</b>	



*Roberto Carlos Huanchi Quispe*  
TCO. LABORATORISTA  
Mecánica de Suelos, Concreto y Pavimentos



*Jonathan E. Baluarte Huanchi*  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. N° 198888



## ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

NORMA MTC AASHTO M - 147 - ASTM D 422

**TESIS** : "ANALISIS DE LOS EFECTOS DEL AGUA DE MAR EN LA ESTABILIZACION A NIVEL DE AFIRMADO EN LA TROCHA CARROZABLE  
TRAMO: PLAYA EL CHASQUI - JOSE OLAYA, DISTRITO DE LA YARADA LOS PALOS, TACNA - 2022".

**UBICACIÓN** : DISTRITO LA YARADA LOS PALOS - REGION TACNA DEPARTAMENTO DE TACNA.

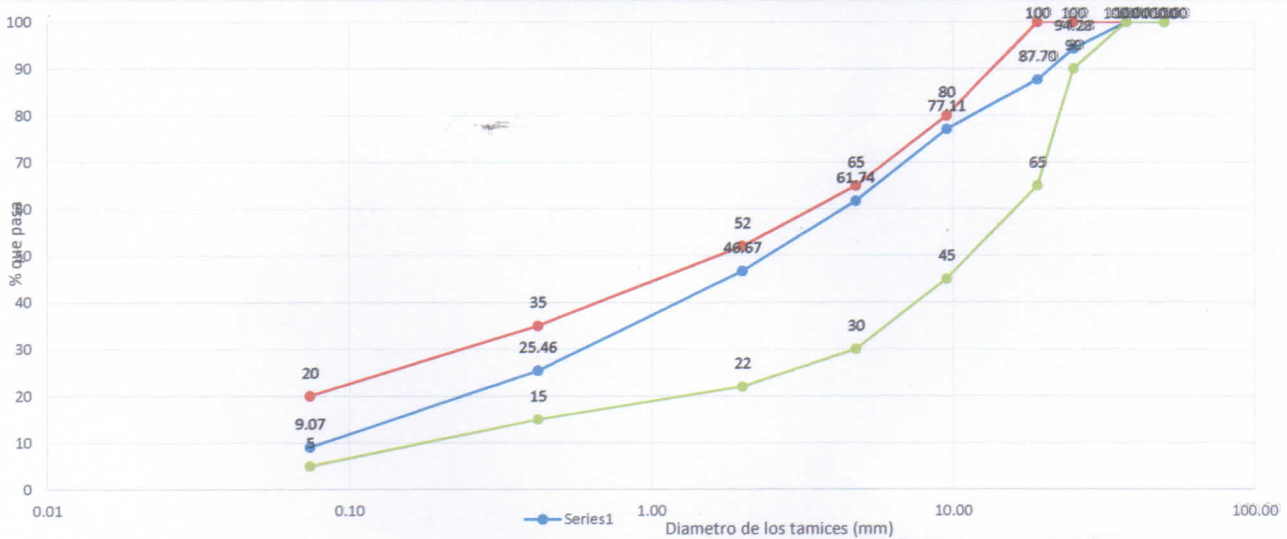
**SOLICITANTE** : SR. ROBERTO WILBER MAMANI PACOHUANACO.

**MUESTRA** : MATERIAL DE AFIRMADO M-01.

**ENSAYO** : PROCTOR MODIFICADO CON AGUA POTABLE.

**FECHA** : TACNA, MARZO DEL 2022.

Tamiz	Diam(mm)	Peso Ret.	Peso Corr.	% Ret.	% Pasa	OBSERVACIONES
2 1/2	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00	
2	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00	<b>CLASIFICACION</b>
1 1/2	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00	
1	25.00	221.30	221.30	5.72	94.28	
3/4	19.00	255.00	255.00	6.59	87.70	LP : 20.5%
3/8	9.50	410.10	410.10	10.59	77.11	IP : 5.5%
4	4.76	595.00	595.00	15.37	61.74	<b>CLASIFICACION</b>
10	2.00	583.20	583.20	15.06	46.67	SUCS GP
40	0.42	821.30	821.30	21.21	25.46	AASHTO : A-1-b
200	0.07	634.70	634.70	16.39	9.07	GRANULOMETRIA A-1
cazuela	0.00	351.00	351.00	9.07	0.00	Grava Mal graduada - mezcla de arena . Con Material fino.
		3871.60	3871.60	100.00		
<b>D60</b>	<b>D30</b>	<b>D10</b>	<b>Cu</b>	<b>Cc</b>	<b>% GRAVA</b>	<b>% ARENA</b>   <b>% FINOS</b>
4.44	0.76	0.09	47.4	1.38	22.89	68.04   9.07



### ESPECIFICACIONES

Tamiz	Porcentaje que pasa					
	A-1	A-2	C	D	E	F
50 mm (2")	100	-				
37,5 mm (1 1/2")	100	-				
25 mm (1")	90-100	100	100	100	100	100
19 mm (3/4")	65-100	80-100				
9,5 mm (3/8")	45-80	65-100	50-85	60-100		
4,75 mm (N.º 4)	30-65	50-85	35-65	50-85	55-100	70-100
2,0 mm (N.º 10)	22-52	33-67	25-50	40-70	40-100	55-100
425 µm (N.º 40)	15-35	20-45	15-30	25-45	20-50	30-70
75 µm (N.º 200)	5-20	5-20	5-15	5-20	6-20	8-25

*Roberto Carlos Huanchi Quispe*  
TCO. LABORATORISTA  
Mecánica de Suelos, Concretos y Pavimentos

*Jonathan E. Buluarte Huanchi*  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. N° 190399





**CORPORACIÓN LEMCON S.R.L.**  
CONTRATISTAS GENERALES - MECÁNICA DE SUELOS - CONCRETO Y PAVIMENTOS



**TESIS** : "ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DEL AGUA DE MAR EN LA ESTABILIZACIÓN A NIVEL DE AFIRMADO EN LA TROCHA CARROZABLE TRAMO: PLAYA EL CHASQUI - JOSE OLAYA, DISTRITO LA YARADA LOS PALOS, TACNA - 2022".

**UBICACIÓN** : DISTRITO LA YARADA LOS PALOS - REGION TACNA DEPARTAMENTO DE TACNA.

**SOLICITANTE** : SR. ROBERTO WILBER MAMANI PACOHUANACO.

**MUESTRA** : MATERIAL DE AFIRMADO M-01.

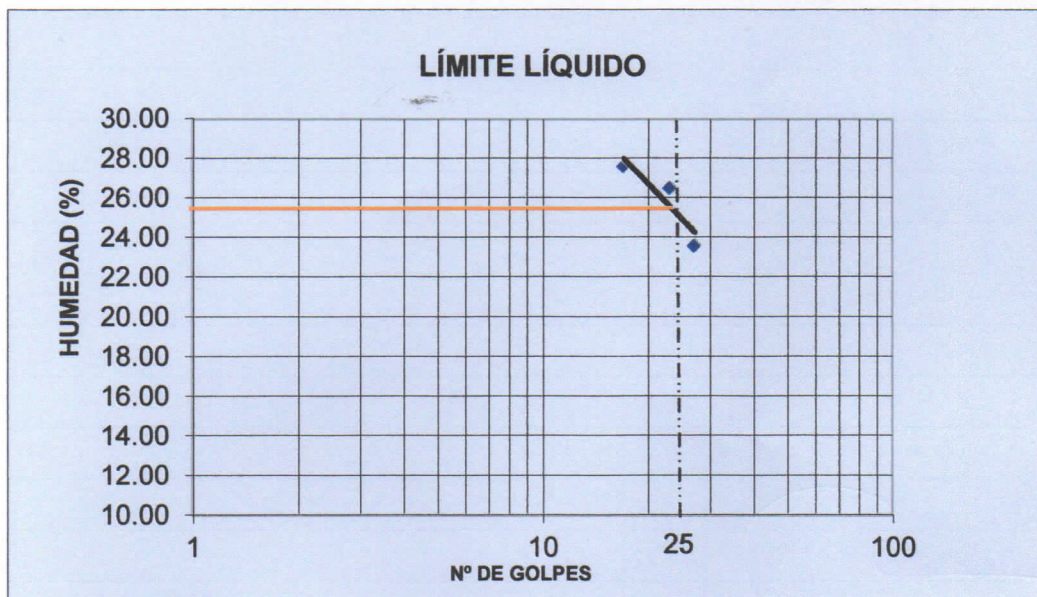
**ENSAYO** : PROCTOR MODIFICADO CON AGUA POTABLE.

**FECHA** : TACNA, MARZO DEL 2022.

**LIMITES DE ATTERBERG**  
**NORMA ASTM D-4318**

Nº DE GOLPES	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	17	23	27		
Nº DE TARA				0	0
PESO SUELO HUMEDO + TARA	58.14	56.23	57.48	30.21	0
PESO SUELO SECO + TARA	47.88	46.56	48.52	26.99	0
PESO DE TARA	10.8	10.1	10.5	11.25	0
PESO DEL AGUA	10.26	9.67	8.96	3.22	0
SUELO SECO	37.127	36.476	37.989	15.74	0
HUMEDAD %	27.63	26.51	23.59	20.46	0.00

**LL: 25.91      LP: 20.5      IP: 5.5**



*Roberto Carlos Huanchi Quispe*  
TCO. LABORATORISTA  
Mecánica de Suelos Concretos y Pavimentos



*Roberto Carlos Huanchi Quispe*  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. N° 198383



**CORPORACIÓN LEMCON S.R.L.**  
CONTRATISTAS GENERALES - MECÁNICA DE SUELOS - CONCRETO Y PAVIMENTOS

**TESIS** : "ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DEL AGUA DE MAR EN LA ESTABILIZACIÓN A NIVEL DE AFIRMADO EN LA TROCHA CARROZABLE TRAMO: PLAYA EL CHASQUI - JOSE OLAYA, DISTRITO DE LA YARADA LOS PALOS, TACNA - 2022".

**UBICACIÓN** : DISTRITO LA YARADA LOS PALOS - REGION TACNA DEPARTAMENTO DE TACNA.

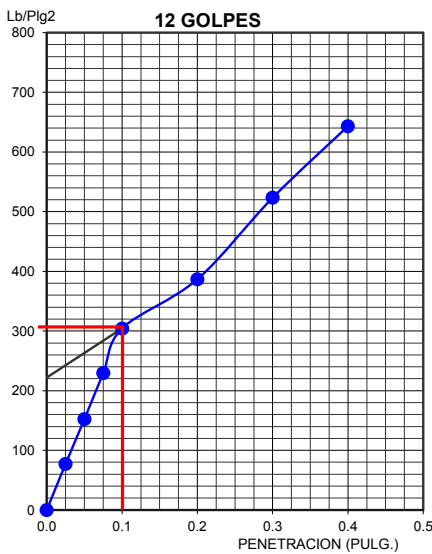
**SOLICITANTE** : SR. ROBERTO WILBER MAMANI PACOHUANACO.

**MUESTRA** : MATERIAL DE AFIRMADO M-01.

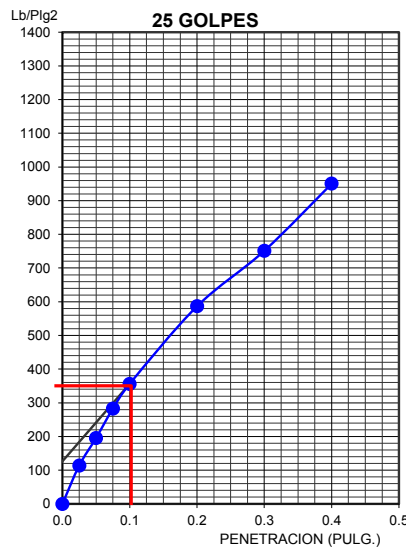
**ENSAYO** : PROCTOR MODIFICADO CON AGUA POTABLE.

**FECHA** : TACNA, MARZO DEL 2022.

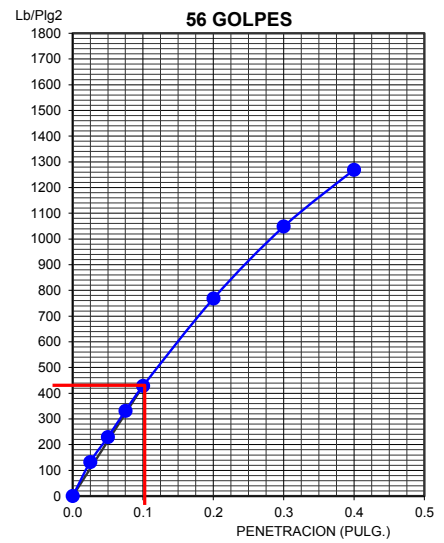
## GRAFICO PENETRACION DE CBR



0.1"(%)= 31.35

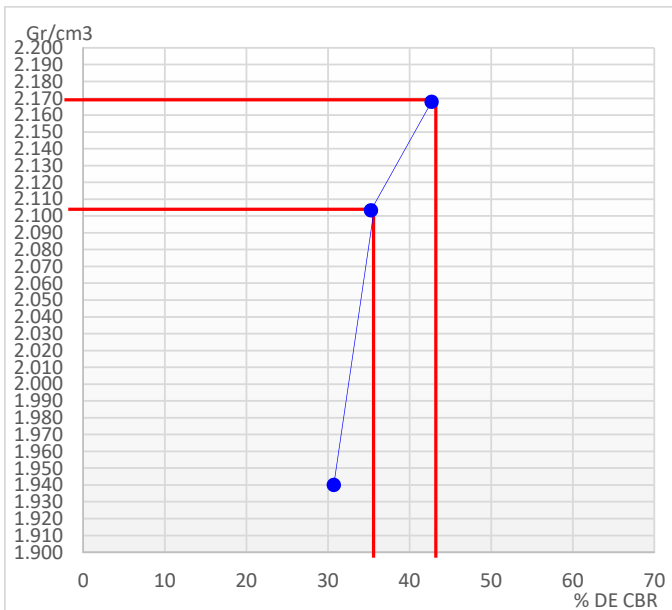


0.1"(%)= 35.45



0.1"(%)= 43.65

## DETERMINACION DE CBR



### Datos de Proctor:

Densidad seca :	2.170	gr/cc.
Óptimo humedad:	8.5	%

CBR A 0.1" **35.45%** AL 95% MDS  
CBR A 0.1" **43.65%** AL 100% MDS

Roberto Carlos Huanchi Quispe  
TCC. LABORATORISTA  
Mecánica de Suelos Concretos y Pavimentos

Jonathan E. Buluarte Huanchi  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. N° 198888

## ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO NORMA ASTM D 1557

**TESIS** : "ANALISIS DE LOS EFECTOS DEL AGUA DE MAR EN LA ESTABILIZACION A NIVEL DE AFIRMADO EN LA TROCHA CARROZABLE  
TRAMO: PLAYA EL CHASQUI - JOSE OLAYA, DISTRITO DE LA YARADA LOS PALOS, TACNA - 2022".

**UBICACIÓN** : DISTRITO LA YARADA LOS PALOS - REGION TACNA DEPARTAMENTO DE TACNA.

**SOLICITANTE** : SR. ROBERTO WILBER MAMANI PACOHUANACO.

**MUESTRA** : MATERIAL DE AFIRMADO M-01.

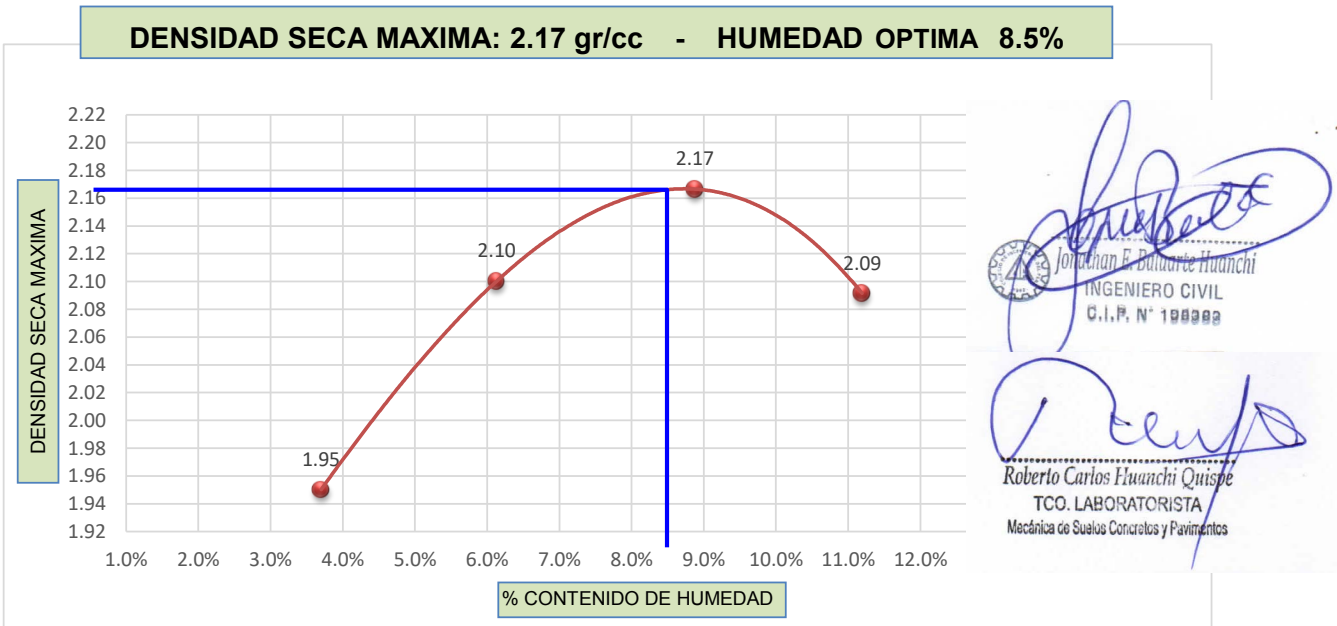
**ENSAYO** : PROCTOR MODIFICADO CON AGUA POTABLE.

**FECHA** : TACNA, MARZO DEL 2022.

<b>MOLDE No</b>	1	<b>VOLUMEN DEL MOLDE</b>	2104 cc
<b>No DE CAPAS</b>	5	<b>GOLPES POR CAPA</b>	56

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	11360	11795	12068	11998	
Peso del Molde	gr.	7105	7105	7105	7105	
Peso del Suelo Humedo	gr/cc.	4255	4690	4963	4893	
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc	2.022	2.229	2.359	2.326	

Capsula No	No	1	2	3	4	
Suelo Humedo + Tara	gr.	326.40	325.70	336.20	330.70	
Peso del Suelo Seco +Tara	gr.	316.18	310.35	312.05	303.45	
Peso del Agua	gr.	10.22	15.35	24.15	27.25	
Peso de la Tara	gr.	40.00	60.00	40.00	60.00	
Peso del Suelo Seco	gr.	276.18	250.35	272.05	243.45	
% de Humedad	%	3.70%	6.13%	8.88%	11.19%	
<b>Promedio de Humedad</b>	%	3.7%	6.1%	8.9%	11.2%	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	1.95	2.10	2.17	2.09	



**TESIS** : "ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DEL AGUA DE MAR EN LA ESTABILIZACIÓN A NIVEL DE AFIRMADO EN LA TROCHA CARROZABLE TRAMO: PLAYA EL CHASQUI - JOSE OLAYA, DISTRITO LA YARADA LOS PALOS, TACNA - 2022".

**UBICACIÓN** : DISTRITO LA YARADA LOS PALOS - REGION TACNA DEPARTAMENTO DE TACNA.

**SOLICITANTE** : SR. ROBERTO WILBER MAMANI PACOHUANACO.

**MUESTRA** : MATERIAL DE AFIRMADO M-02.

**ENSAYO** : PROCTOR MODIFICADO CON AGUA DE MAR.

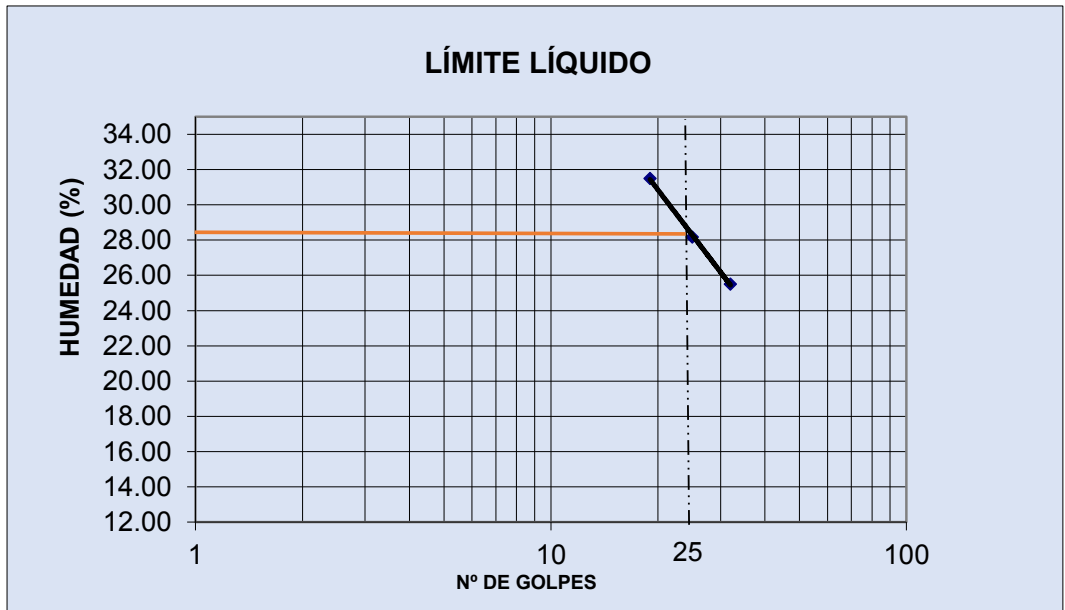

**FECHA** : TACNA, MARZO DEL 2022.

**LIMITES DE ATTERBERG**

**NORMA ASTM D-4318**

	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	19	25	32		
Nº DE GOLPES	19	25	32		
Nº DE TARA				0	0
PESO SUELO HUMEDO + TARA	54.63	52.45	55.26	33.17	0
PESO SUELO SECO + TARA	44.12	43.14	46.17	29.12	0
PESO DE TARA	10.8	10.1	10.5	11.25	0
PESO DEL AGUA	10.51	9.31	9.09	4.05	0
SUELO SECO	33.37	33.06	35.64	17.87	0
HUMEDAD %	31.50	28.16	25.51	22.66	0.00

**LL: 28.39      LP: 22.7      IP: 5.7**

Jonathan P. Buladere Huanqui  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. N° 199999



Roberto Carlos Huanqui Quispe  
TCO. LABORATORISTA  
Mecánica de Suelos Concretos y Pavimentos



**CORPORACIÓN LEMCON S.R.L.**  
CONTRATISTAS GENERALES - MECÁNICA DE SUELOS - CONCRETO Y PAVIMENTOS

**TESIS** : "ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DEL AGUA DE MAR EN LA ESTABILIZACIÓN A NIVEL DE AFIRMADO EN LA TROCHA CARROZABLE TRAMO: PLAYA EL CHASQUI - JOSE OLAYA, DISTRITO DE LA YARADA LOS PALOS, TACNA - 2022".

**UBICACIÓN** : DISTRITO LA YARADA LOS PALOS - REGION TACNA DEPARTAMENTO DE TACNA.

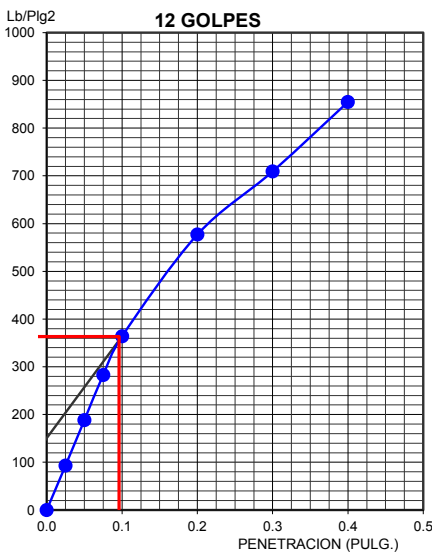
**SOLICITANTE** : SR. ROBERTO WILBER MAMANI PACOHUANACO.

**MUESTRA** : MATERIAL DE AFIRMADO M-02.

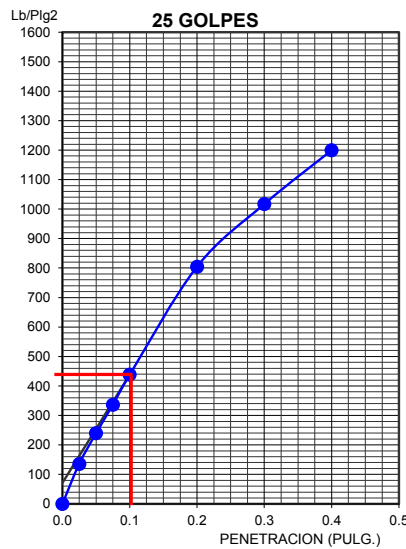
**ENSAYO** : PROCTOR MODIFICADO CON AGUA DE MAR.

**FECHA** : TACNA, MARZO DEL 2022.

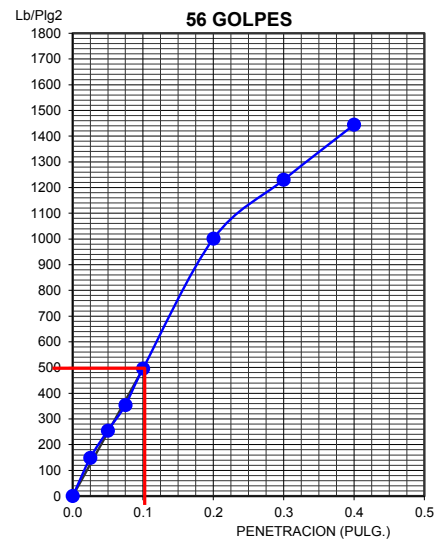
## GRAFICO PENETRACION DE CBR



0.1"(%)= 36.20

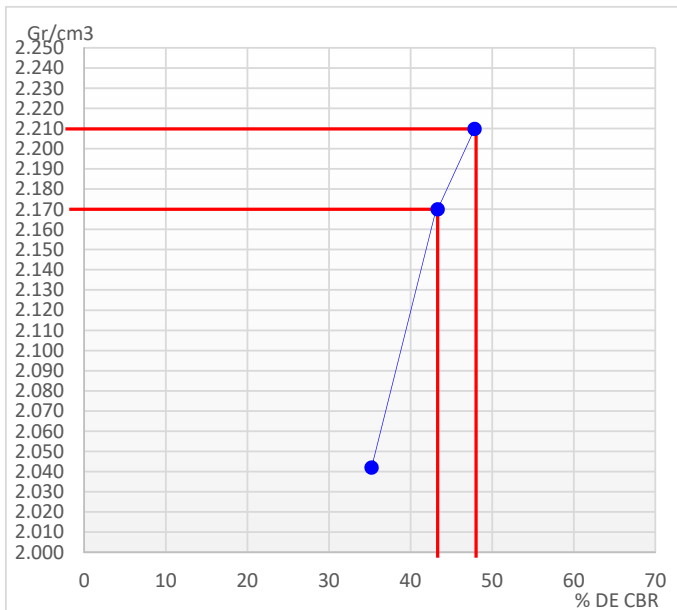


0.1"(%)= 44.30



0.1"(%)= 49.40

## DETERMINACION DE CBR



### Datos de Proctor:

Densidad seca :	2.210	gr/cc.
Óptimo humedad:	8.2	%

CBR A 0.1" **44.30%** AL 95% MDS  
CBR A 0.1" **50.00%** AL 100% MDS

*Jonathan E. Buluarte Huanchi*  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. N° 198882

*Roberto Carlos Huanchi Quispe*  
TCO. LABORATORISTA  
Mecánica de Suelos Concretos y Pavimentos

## ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO NORMA ASTM D 1557

**TESIS** : "ANALISIS DE LOS EFECTOS DEL AGUA DE MAR EN LA ESTABILIZACION A NIVEL DE AFIRMADO EN LA TROCHA CARROZABLE  
TRAMO: PLAYA EL CHASQUI - JOSE OLAYA, DISTRITO DE LA YARADA LOS PALOS, TACNA - 2022".

**UBICACIÓN** : DISTRITO LA YARADA LOS PALOS - REGION TACNA DEPARTAMENTO DE TACNA.

**SOLICITANTE** : SR. ROBERTO WILBER MAMANI PACOHUANACO.

**MUESTRA** : MATERIAL DE AFIRMADO M-02.

**ENSAYO** : PROCTOR MODIFICADO CON AGUA DE MAR.

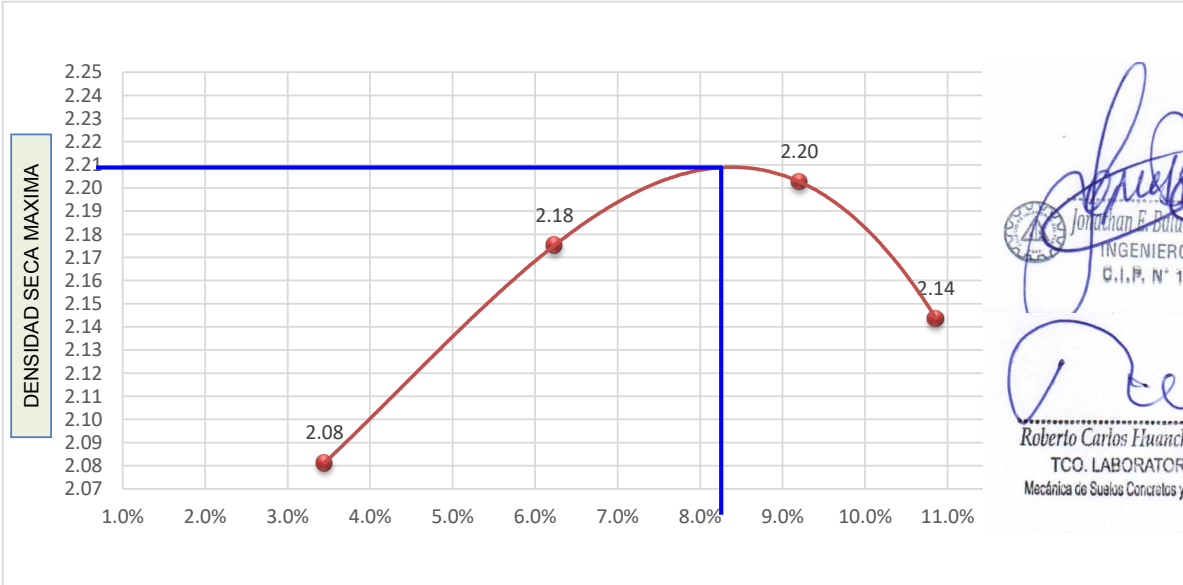
**FECHA** : TACNA, MARZO DEL 2022.


<b>MOLDE No</b>	1	<b>VOLUMEN DEL MOLDE</b>	2104 cc
<b>No DE CAPAS</b>	5	<b>GOLPES POR CAPA</b>	56

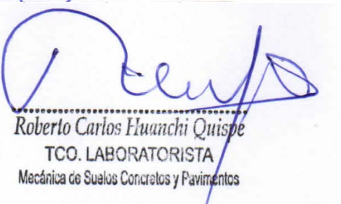
Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	11635	11967	12166	12105	
Peso del Molde	gr.	7105	7105	7105	7105	
Peso del Suelo Humedo	gr/cc.	4530	4862	5061	5000	
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc	2.153	2.311	2.405	2.376	

Capsula No	No	1	2	3	4	
Suelo Humedo + Tara	gr.	436.36	425.47	484.20	452.84	
Peso del Suelo Seco +Tara	gr.	423.15	404.02	451.05	414.36	
Peso del Agua	gr.	13.21	21.45	33.15	38.48	
Peso de la Tara	gr.	40.00	60.00	90.90	60.00	
Peso del Suelo Seco	gr.	383.15	344.02	360.15	354.36	
% de Humedad	%	3.45%	6.24%	9.20%	10.86%	
<b>Promedio de Humedad</b>	%	3.4%	6.2%	9.2%	10.9%	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	2.08	2.18	2.20	2.14	

**DENSIDAD SECA MAXIMA: 2.21 gr/cc - HUMEDAD OPTIMA 8.2%**



  
 Jonathan E. Durante Huanchi  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.P. N° 198982

  
 Roberto Carlos Huanchi Quispe  
 TCO. LABORATORISTA  
 Mecánica de Suelos Concretos y Pavimentos

% CONTENIDO DE HUMEDAD

**PANEL FOTOGRÁFICO**

## PANEL FOTOGRAFICO MATERIAL DE AFIRMADO – MUESTRA M-1 (AGUA POTABLE)

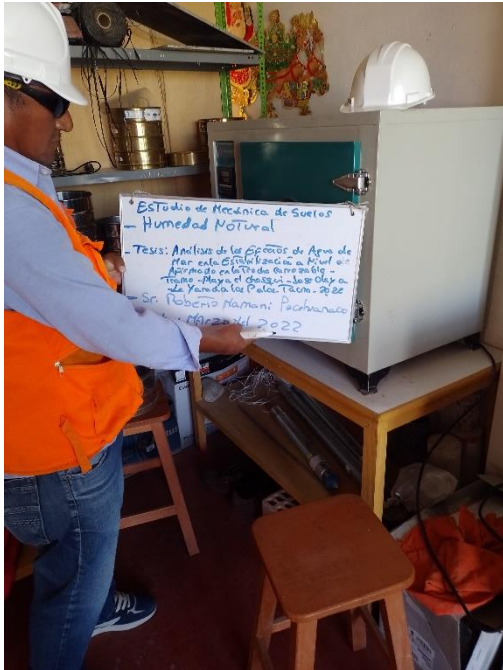


Gráfico N° 01: Humedad Natural.



Gráfico N° 02: Humedad Natural.



Gráfico N° 03: Humedad Natural.

## PANEL FOTOGRAFICO MATERIAL DE AFIRMADO – MUESTRA M-1 (AGUA POTABLE)



Gráfico N° 04: Análisis Granulométrico.

Gráfico N° 05: Granulometría.



Gráfico N° 06: Granulometría.

## PANEL FOTOGRAFICO MATERIAL DE AFIRMADO – MUESTRA M-1 (AGUA POTABLE)



Gráfico N° 07: Límites de Atterberg.

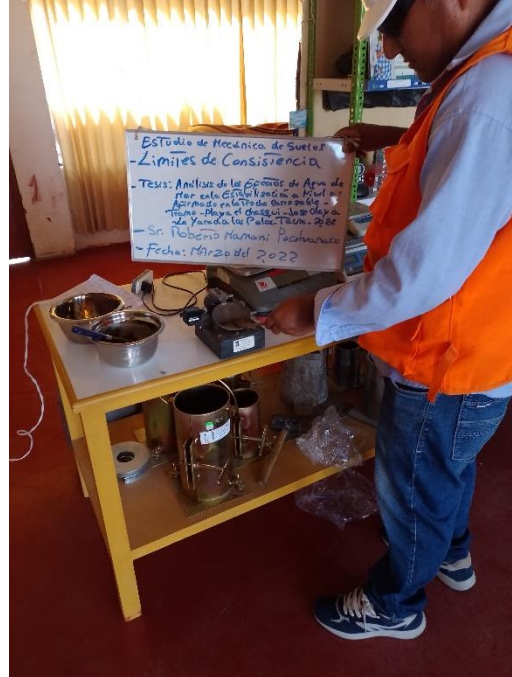


Gráfico N° 08: Límites de Atterberg.



Gráfico N° 09: Límites de Atterberg.

## PANEL FOTOGRAFICO MATERIAL DE AFIRMADO – MUESTRA M-1 (AGUA POTABLE)



Gráfico N° 10: Proctor Modificado.



Gráfico N° 11: Proctor Modificado.



Gráfico N° 12: Proctor Modificado.

## PANEL FOTOGRAFICO MATERIAL DE AFIRMADO – MUESTRA M-1 (AGUA POTABLE)

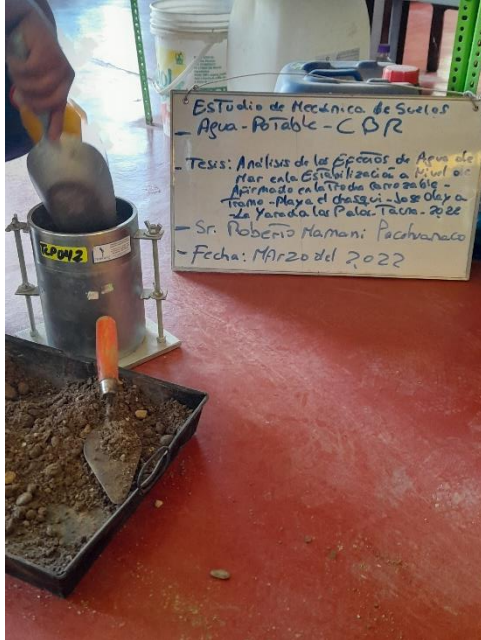


Gráfico N° 13: C.B.R.

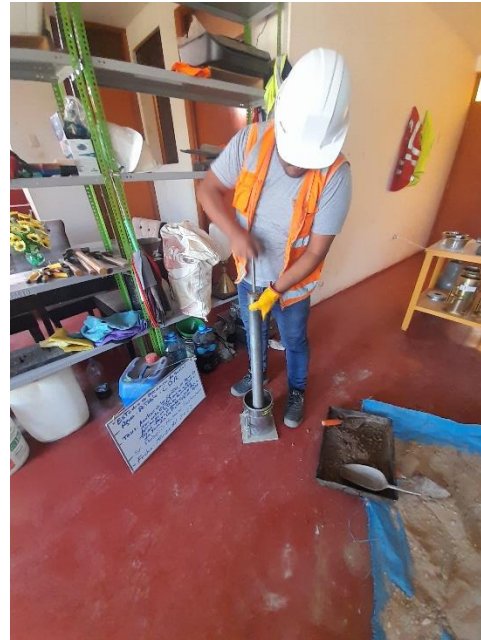


Gráfico N° 14: C.B.R.



Gráfico N° 15: C.B.R.



Gráfico N° 16: C.B.R.

## PANEL FOTOGRÁFICO MATERIAL DE AFIRMADO – MUESTRA M-2 (AGUA DE MAR)



Gráfico N° 01: Límites de Atterberg.



Gráfico N° 02: Límites de Atterberg.



Gráfico N° 03: Límites de Atterberg.

## PANEL FOTOGRAFICO MATERIAL DE AFIRMADO – MUESTRA M-2 (AGUA DE MAR)

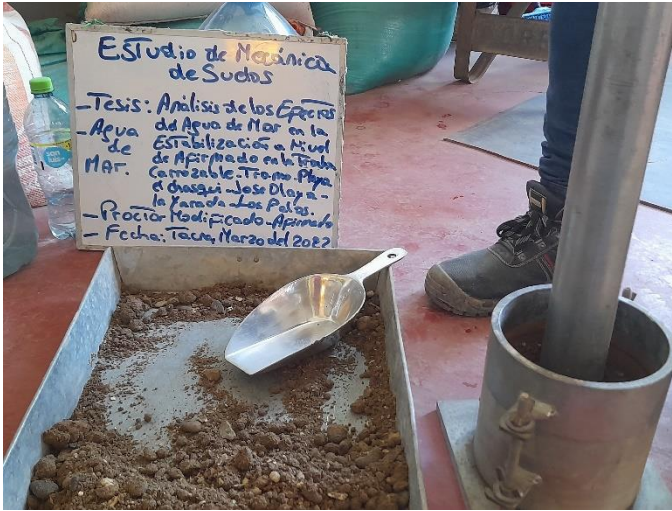


Gráfico N° 04: Proctor Modificado.



Gráfico N° 05: Proctor Modificado.



Gráfico N° 06: Proctor Modificado.

## PANEL FOTOGRÁFICO MATERIAL DE AFIRMADO – MUESTRA M-2 (AGUA DE MAR)



Gráfico N° 07: C.B.R.

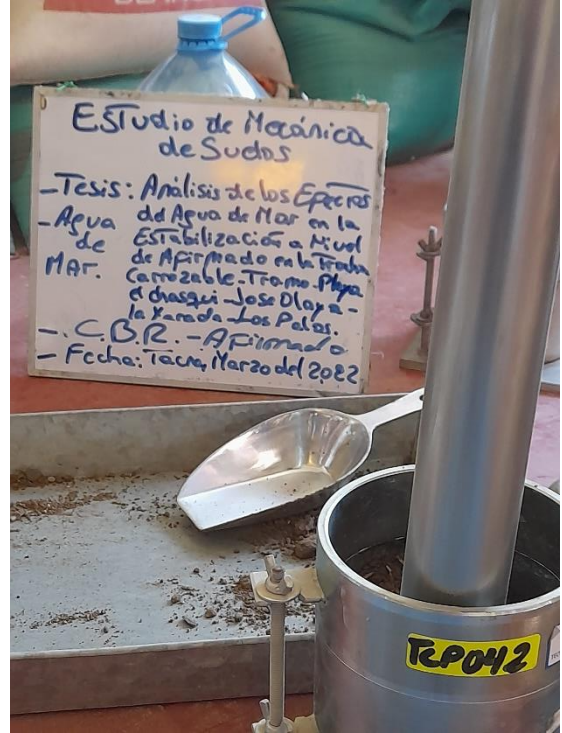


Gráfico N° 8: C.B.R.



Gráfico N° 9: C.B.R.



Gráfico N° 10: C.B.R.