

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El suelo, como cualquier elemento natural, posee un equilibrio entre los diversos factores que lo influyen. Un cambio de este equilibrio puede provocar una alteración física, química o biológica. La compactación es la principal causa de alteración del suelo.

Hay dos situaciones con elevado riesgo de compactación: áreas con fuerte tránsito de vehículos y personas, y áreas cercanas a lugares en construcción. Hay suelos con una tendencia más o menos acentuada a la compactación, en función de la composición, estructura y contenido de humedad. Las constructoras a menudo trabajan con maquinarias muy pesadas, sin delimitar la zona en la que se encuentran y se plantarán árboles. Se desconocen cual es la superficie que abarca el aparato radical, así como, se ignoran los efectos derivados de la compactación y dificultad que se encuentran para intentar resolverlo.

Los suelos poseen varias formas de compactación, pero por diversos factores puede variar según el lugar, el tipo de suelo y la funcionalidad del ensayo.

En los suelos finos lo más recomendable es la compactación mecánica por golpes propuesta por Proctor, pero en suelos granulares este tipo de compactación puede no ser la más eficiente y en su contrario se utiliza la compactación bajo carga constante.

El trabajo tratara de mostrar una comparación de densidades máximas de suelos granulares en 2 ensayos diferentes en diferentes granulometrías.

Se tiene conocimiento de un trabajo de proyecto de grado realizado por un estudiante de demostró la obtención de densidades en la mesa vibratoria, este se utilizó como guía para la realización del ensayo que realiza el estudiante en esta investigación.

1.2. SITUACIÓN PROBLÉMICA

Los métodos de compactación, en la ingeniería son los métodos que se pueden usar para la compactación de un suelo de diferentes características, para ello se puede utilizar métodos en laboratorio y métodos que son en campo, aunque los métodos en laboratorio muestran valores más reales de la curva de compactación.

En la elección de un método de compactación para suelos no cohesivos en laboratorio, principalmente se usaría el método de la mesa vibratoria con carga constante, ya que este método suele mostrar valores de densidades más exactas para ser utilizados en obra, ya sabiendo que el método de compactación mecánica (T-180) no suele ser el adecuado para su uso en suelos no cohesivos.

Para una compactación eficiente de un suelo arenoso o rocoso principalmente se debe asumir un método de compactación adecuado para evitar problemas en un futuro, ya que el efecto podría ser un mal cálculo para cualquier tipo de uso de una compactación de suelo aluvial ya sea como una estabilización de suelo para mejoramiento de sub rasante, una capa base y una capa sub base, esto podría generar un perjuicio para la empresa constructora.

Por este motivo se considera adecuado comparar los efectos de los métodos de la mesa vibratoria con el método de proctor modificado(T-180), aunque este método no es utilizado para suelos no cohesivos, pero se realizara de igual manera para verificar la teoría.

1.2.1. Problema

¿Cuáles son los efectos en la densidad de un suelo no cohesivo cuando se aplican el método mecánico de golpe (T-180) y el método de la vibración bajo carga constante?

1.2.2. Relevancia y factibilidad del problema

En los tiempos actuales en nuestro país el conocimiento de la densidad en una compactación de material nos ayuda para el logro de una compactación efectiva, sin embargo el método de compactación adecuado para cada material es dado por investigación en caso de un material granular es recomendable el uso de una

compactación vibratoria pero su costo del equipo en obra dificulta la obtención de estos datos por eso se ve conveniente realizar la comparación con el método mecánico para poder evidenciar la variación del valor de la densidad máxima.

El equipo y el material utilizado para el problema es factible ya que la universidad posee el equipo necesario para la solución del problema.

1.2.3. Delimitación temporal y espacial del problema

➤ Delimitación temporal

La delimitación temporal en la que se encuentra el problema sería de un tiempo presente.

➤ Delimitación espacial

Área de trabajo; está en el área de Suelos.

Base de operaciones; Laboratorio de suelo y base aluvial de un río.

Aplicación; mejoramiento de subrasante estabilización de suelo, capa base y capa sub base.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La eficiencia de cualquier equipo de compactación depende de varios factores y para poder analizar la influencia particular de cada uno, se requiere disponer de procedimientos estandarizados que reproduzcan en el laboratorio la compactación que se puede lograr en el campo con el equipo disponible.

La importancia de la compactación de los suelos estriba en el aumento de resistencia y disminución de capacidad de deformación que se obtiene al sujetar el suelo a técnicas convenientes que aumenten su peso específico secos, disminuyendo sus vacíos. Por lo general, las técnicas de compactación se aplican a rellenos artificiales, tales como cortinas de presas de tierra, diques, terraplenes para caminos y ferrocarriles, bordos de defensa, muelles, pavimentos, etc. Algunas veces se hace necesario compactar el suelo natural, como en el caso de cimentaciones sobre arenas sueltas.

Los métodos utilizados para la compactación de los suelos dependen de los tipos de materiales con los que se trabaje en cada caso; con base en un experimento sencillo que los materiales puramente friccionantes, como la arena, se compactan eficientemente por métodos vibratorios, en tanto que en los suelos plásticos el procedimiento de carga estática resulte más ventajoso.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Comparar los efectos de los métodos de compactación en laboratorio Proctor modificado (T-180) y mesa vibratoria con carga constante, para los suelos no cohesivos, de tal manera, se pueda determinar la densidad máxima del material para su uso en obras civiles.

1.4.2. Objetivos específicos

- Extraer muestra de suelo aluvial de 3 bancos de material.
- Caracterizar el suelo de los 3 bancos de material.
- Determinar la densidad máxima bajo el ensayo de compactación bajo carga constante.
- Realizar el ensayo de compactación mecánica (T-180) a la muestra.
- Validar los datos obtenidos por los ensayos.

1.5. HIPÓTESIS

Si al realizar la comparación de los métodos de compactación tanto el de vibración bajo carga constante y el método mecánico (T-180) para densidades máximas se podrá evidenciar el mejor método para un suelo no cohesivo.

1.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Las variables identificadas son las siguientes:

- Variable independiente: Los métodos de compactación (el método mecánico (T-180) y el método de vibración bajo carga constante).
- Variable dependiente: La densidad máxima del suelo no cohesivo.

Se muestra una relación de causa y efecto entre las variables analizadas.

La variable independiente, antecede en el tiempo a la dependiente. Se trata de una hipótesis del tipo explicativo o causal.

1.6.1. Variable independiente

Tabla N° 1 Conceptualización de variable independiente

Variable independiente	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor/acción
Los métodos de compactación (el método mecánico (T-180) y el método de vibración bajo carga constante)	El método de la vibración bajo carga constante trabaja mediante el asentamiento y el peso, mientras el método mecánico (T-180) su acción se basa en generar una compactación mecánica a la muestra de suelo aluvial a 56 golpes en 5 capas de suelo.	Asentamiento	Milímetros (mm)	Se lectura la altura inicial y final del suelo vibrado.
		Peso	Gramos (gr)	El peso de la muestra deberá ser en estado saturado y seco.
		Suelo aluvial	Gramos (gr)	El peso de suelo aluvial necesario para el ensayo mecánico.
		Humedad	Porcentaje (%)	Incrementación del contenido de humedad para encontrar el contenido de humedad óptimo.
		Golpes	Numero de golpes	Se determina los numero de golpes según la practica en el caso seria 56.
		Capas de suelo	Numero de capas	Las capas vienen dadas por la norma que se utilizarían 5 capaz

Fuente: Elaboración propia

1.6.2. Variable dependiente

Tabla N° 2 Conceptualización de variable dependiente

Variable dependiente	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor/acción
La densidad máxima del suelo no cohesivo	La densidad máxima del suelo es la densidad en el estado más denso obtenible por medio de ensayos, la cual deberá ser analizada en su variación por los métodos estudiados.	Porcentaje de humedad optimo	Porcentaje (%)	Determinar el porcentaje de humedad óptimo de la muestra de suelo.
		Densidades relativas	(gr/cm ³)	Las densidades conseguidas en todo el proceso.
		Grafica humedad vs densidad	Resultados de los datos	Grafica donde se encuentra la densidad máxima del material.
		Calibración del molde	Volumen del molde (cm ³)	Calibración del molde de mesa vibratoria.
		Tamaño nominal de muestra	Milímetro (mm)	Tamaño nominal de la muestra de suelo que será ensayado.
		Procedimiento de vibración en seco y saturación	Datos durante el proceso	Registro de datos de tiempo y peso durante la vibración en seco y saturado.
		Resultados de ambos métodos	Informe final	Proceso de cálculos normados, análisis de resultados y comparación.

Fuente: Elaboración propia

1.7. IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es experimental, con una relación causal entre las variables, en la categoría de pre experimento.

1.8. ALCANCE

El tipo de investigación es experimental que posee una relación causal entre la variable independiente (los métodos de compactación) y la variable dependiente (la densidad máxima de un suelo no cohesivo), en la categoría de pre experimento por el poco control de las variables extrañas; alcance final del proyecto será la comparación de dos métodos de compactación para un suelo no cohesivo.

Para poder determinar el alcance final del proyecto se deberá realizar la extracción de suelo aluvial que pertenezca al grupo de suelo A-1 a un grupo A-2 que son pertenecientes a los suelos aluviales.

Realizar trabajos en el laboratorio de caracterización como granulometrías, este suelo al ser un suelo aluvial su índice de plasticidad será directamente 0 ya que posee un valor mínimo de material fino.

Para poder realizar el ensayo de compactación Proctor (t-180) se separa las partículas en 3 valores máximos como ser a 1 1/2", 1" y a 3/4", se deberá tener en cuenta los valores del porcentaje de humedad para obtener la densidad ya que en un suelo aluvial para poder llegar a una saturación corresponde máximo a un 12%, se realizará a 4 porcentajes de humedad a 3, 6, 9 y 12% como valor máximo, para este ensayo se realizarán en total 27 ensayos de los 3 bancos de material.

Para el ensayo de la vibración bajo carga constante al igual que el anterior ensayo se realizará la separación a 3 tamaños máximos a 1 1/2", 1" y a 3/4", se realizarán los ensayos en los dos moldes que proporciona el laboratorio a cada tamaño máximo tal que los moldes deben ser enrazados con suelo y ser sometidos a dos cargas de peso de 25 kg y 80 kg, posterior a una vibrado a una frecuencia de 3660 vibraciones por minuto a una velocidad de 9 en un tiempo de 8 minutos, en dos métodos que son en seco y húmedo.

Para método húmedo se adoptará los valores promedios de la humedad optima que se determinaran en el método del Proctor para una comparación más certera de las densidades.

Los datos obtenidos de densidades dadas por ambos métodos de compactación serán analizados por método estadístico descriptivo, que sería el más adecuado, para finalmente realizar una prueba de hipótesis.

CAPÍTULO II

LOS MÉTODOS DE COMPACTACIÓN

2.1. COMPACTACIÓN DE SUELOS

La compactación de suelos es el proceso artificial por el cual las partículas de suelo son obligadas a estar más en contacto las unas con las otras, mediante una reducción del índice de vacíos (aire), empleando medios mecánicos, lo cual se traduce en un mejoramiento de sus propiedades ingenieriles (Lopez, 2009).

2.2. COMPACTACIÓN DE SUELOS NO COHESIVOS

Son suelos compuestos de rocas, piedras, Gravas y arenas, o sea suelos de granos gruesos. En el caso de suelos granulares el proceso de compactación más adecuado resulta el de la vibración, pero debe tenerse en cuenta, como ya se sabe, que el comportamiento de los suelos gruesos depende mucho de la granulometría. Se requiere una fuerza moderada aplicada en una amplia área, o choque y vibración. La compactación eficiente en los suelos cohesivos requiere presiones más altas para los suelos secos que para los húmedos, pero el tamaño del área cargada no es crítico. La eficiencia se mejora aumentando la presión durante la compactación a medida que el peso específico y la resistencia aumentan.

2.3. PROPÓSITO DE LA COMPACTACIÓN DE SUELOS

La compactación es un proceso fundamental a la hora de iniciar cualquier trabajo ingenieril basado en la construcción, pues no es más que preparar el terreno para realizar las bases de nuestra edificación, vialidad o drenaje, este proceso nos permite obtener ciertos beneficios como lo son:

- **Aumenta la capacidad para soportar cargas:** Los vacíos producen debilidad del suelo e incapacidad para soportar cargas pesadas. Estando apretadas todas las partículas, el suelo puede soportar cargas mayores; debidas a que las partículas mismas que soportan mejor (Hidalgo, 2018).

- **Impide el hundimiento del suelo:** Si la estructura se construye en el suelo sin afirmar o afirmado con desigualdad, el suelo se hunde dando lugar a que la estructura se deforme produciendo grietas o un derrumbe total (Hidalgo, 2018).
- **Reduce el escurrimiento del agua:** Un suelo compactado reduce la penetración de agua. El agua fluye y el drenaje puede entonces regularse (Hidalgo, 2018).
- **Reduce el esponjamiento y la contracción del suelo:** Si hay vacíos, el agua puede penetrar en el suelo y llenar estos vacíos. El resultado sería el esponjamiento del suelo durante la estación de lluvias y la contracción del mismo durante la estación seca (Hidalgo, 2018).
- **Impide los daños de las heladas:** El agua se expande y aumenta el volumen al congelarse. Esta acción a menudo causa que el pavimento se hinche, y a la vez, las paredes y losas del piso se agrieten. La compactación reduce estas cavidades de agua en el suelo (Hidalgo, 2018).

2.4. MÉTODOS DE COMPACTACIÓN

Hay varios medios para lograr la compactación de un material. Algunos son más apropiados para la compactación del suelo que otros, mientras que algunas técnicas solo son adecuadas para suelos particulares o suelos en condiciones particulares. Algunos son más adecuados para la compactación de materiales que no son del suelo, como el asfalto. En general, aquellos que pueden aplicar cantidades significativas de corte, así como el esfuerzo de compresión, son más efectivos (Pacheco).

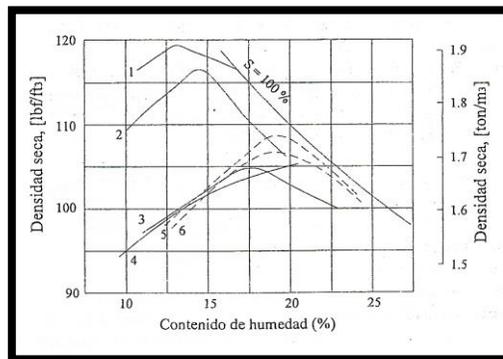
2.4.1. Compactación en campo

La compactación en campo se la realiza con diferentes tipos de compactadoras. Estas compactadoras tienen que realizar una compactación del terreno de tal manera que reproduzcan los valores de la compactación realizada en laboratorio. Para poder lograr esto es necesario tratar de reproducir todas las condiciones que se tendrán en campo al realizar una prueba de laboratorio. El tipo de compactadora que se utilizara juega un papel importante en esto pues cada tipo de compactadora tiene un proceso distinto de

compactar el terreno, pueden ser por procesos vibratorios, manipuleo, presión estática o presión dinámica (Pacheco).

La figura N°1 compara la compactación en campo y la compactación en laboratorio para un mismo suelo. Además, muestra la dificultad de elegir una prueba de laboratorio que reproduzca un determinado método de compactación en campo. Las pruebas de laboratorio indican generalmente una humedad óptima algo inferior a la óptima en una obra real (Pacheco).

Figura N° 1 Comparación de compactaciones en laboratorio y campo



Fuente: Pacheco

- **Compactación estática por presión:** La compactación se logra utilizando una maquina pesada, cuyo peso comprime las partículas del suelo, sin necesidad de movimiento vibratorio. Rodillo estático (UNAM, 2012).

Figura N° 2 Compactador con rodillo estático



Fuente: Blog, 2018

- **Compactación por impacto:** La compactación es producida por una placa apisonadora con golpes y se separa del suelo a alta velocidad. Por ejemplo, un apisonador (impacto) (UNAM, 2012).

Figura N° 3 Compactación con apisonador



Fuente: Blog, 2018

- **Compactación por vibración:** La compactación se logra aplicando al suelo vibraciones de alta frecuencia por ejemplo placa o rodillos vibratorios (UNAM, 2012).

Figura N° 4 Compactadora de rodillo vibratorio



Fuente: Ramos, 2012

- **Compactación por amasado:** La compactación se logra aplicando al suelo altas presiones distribuidas en áreas más pequeñas que los rodillos lisos. Ejemplo rodillo pata de cabra (UNAM, 2012).

Figura N° 5 Compactadora pata de cabra



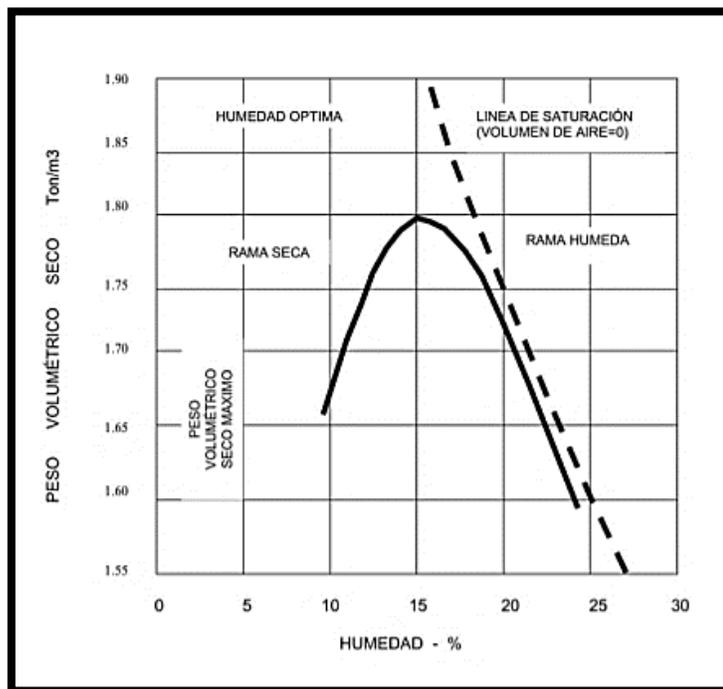
Fuente: Piqueras, 2019

2.4.2. Compactación en laboratorio

Los ensayos de compactación en campo son generalmente demasiados lentos y costosos como para poder repetirlos varias veces, cada vez que se desee estudiar cualquiera de sus detalles, debido a esto es que los ensayos de compactación se realizan principalmente en laboratorio.

El propósito de la compactación en laboratorio es al igual que la compactación en campo determinar el peso específico o densidad seca máxima para un contenido de humedad óptimo esto se realiza mediante pruebas que consiste en hallar la curva de compactación del suelo (Pacheco).

Figura N° 6 Curva de compactación típica



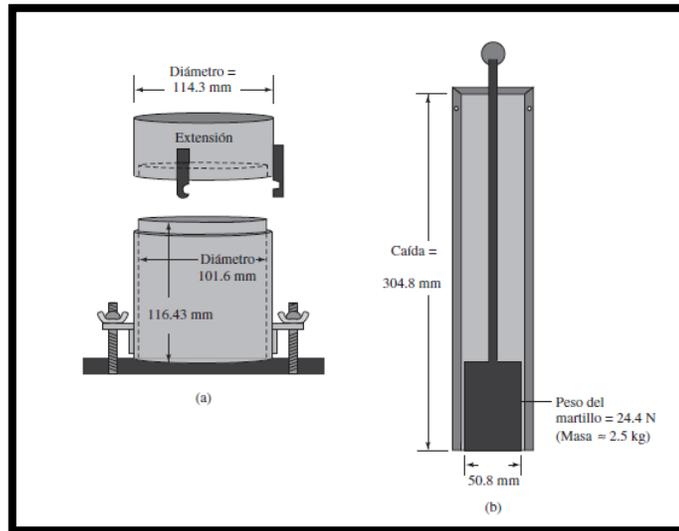
Fuente: Azompa, 2020

2.4.2.1. Ensayos de laboratorio

2.4.2.1.1. Ensayo proctor estándar

En la prueba Proctor, el suelo se compacta en un molde que tiene un volumen de 943,3 cm³. El diámetro del molde es 101,6 mm. Durante la prueba de laboratorio el molde se une a una placa de base en la parte inferior y a una extensión en la parte superior. El suelo se mezcla con cantidades variables de agua y luego es compactado en tres capas iguales por un martillo que entrega 25 golpes a cada capa (Braja, 2014).

Figura N° 7 Equipo para Proctor estándar



Fuente: Braja, 2014

El martillo pesa 24,4 N (masa < 2,5 kg) y tiene una caída de 304,8 mm. Para cada prueba, el peso unitario húmedo de compactación γ se puede calcular como (Braja, 2014):

$$\gamma = \frac{W}{V_{(m)}}$$

Donde:

W= Peso del suelo compactado en el molde

$V_{(m)}$ = Volumen del molde (943,3 cm³)

Para cada prueba, el contenido de humedad del suelo compactado es determinado en el laboratorio. Si se conoce el contenido de humedad, el peso unitario seco γ_d puede calcularse como (Braja, 2014):

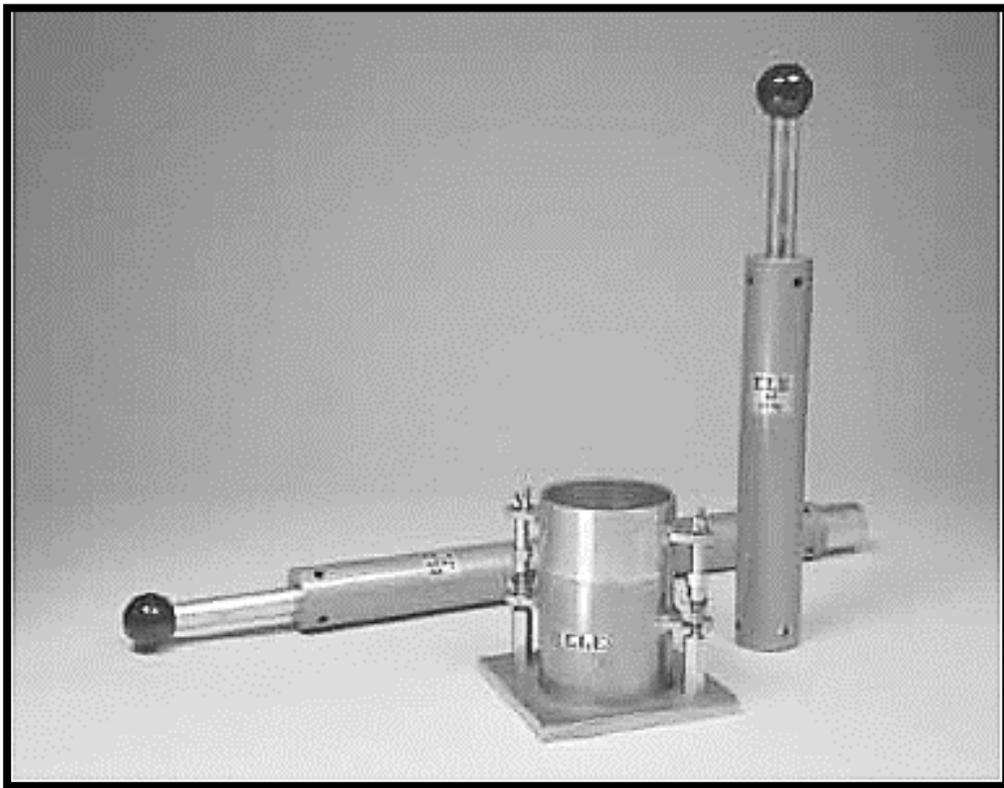
$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{w(\%)}{100}}$$

donde w (%) = Porcentaje de contenido de humedad.

2.4.2.1.2. Ensayo proctor modificado

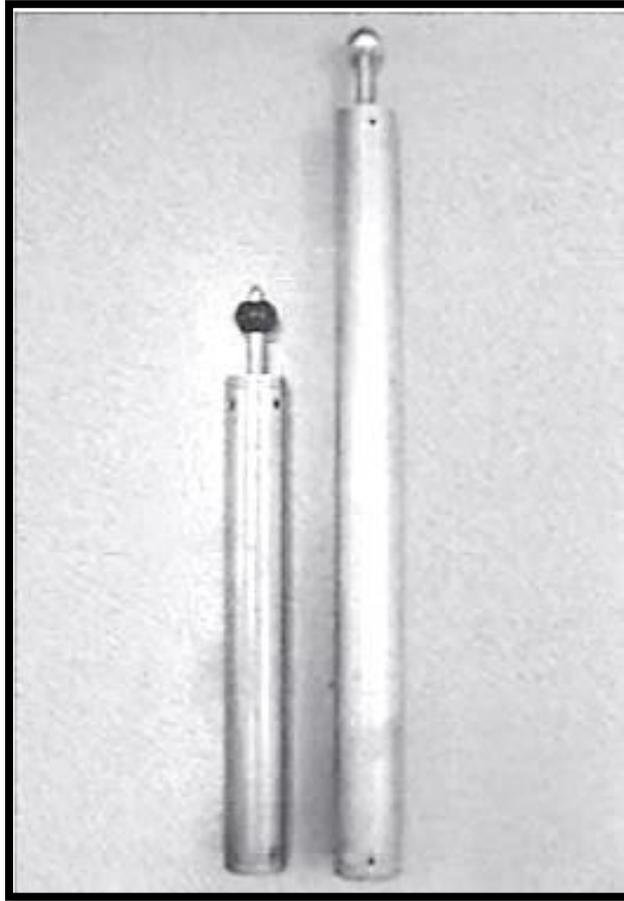
Con el desarrollo de rodillos pesados y su uso en la compactación en campo, la prueba Proctor estándar fue modificada para representar mejor las condiciones de campo. Esto se refiere a veces como la prueba Proctor modificada. Para la realización de la prueba Proctor modificada se utiliza el mismo molde, con un volumen de $943,3 \text{ cm}^3$, como en el caso de la prueba Proctor estándar. Sin embargo, el suelo es compactado en cinco capas por un martillo que pesa $44,5 \text{ N}$ (masa= $4,536 \text{ kg}$) y tiene una caída de $457,2 \text{ mm}$ (Braja, 2014).

Figura N° 8 Equipo para proctor modificado



Fuente: Braja, 2014

Figura N° 9 Martillo para proctor modificado y proctor estándar



Fuente: Braja, 2014

El número de golpes de martillo para cada capa se mantiene en 25, como en el caso de la prueba Proctor estándar. La energía de compactación por unidad de volumen de suelo en la prueba modificada puede ser calculada mediante (Braja, 2014):

$$E = \frac{(25 \text{ golpes/capa}) * (5 \text{ capas}) * (44,5 \times 10^{-3} \text{ KN}) * (0,4572 \text{ m})}{943,3 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 2696 \text{ KN} * \text{m}/\text{m}^3$$

Debido a que el esfuerzo de compactación aumenta, los resultados de la prueba Proctor modificada resulta en un aumento del peso unitario seco máximo de suelo. El aumento del peso unitario seco máximo se acompaña de una disminución del contenido de humedad óptimo (Braja, 2014).

Tabla N° 3 Especificaciones de la prueba T-180

Especificaciones de la Prueba Proctor Modificado (ASTM Prueba 1577)			
Elemento	Método A	Método B	Método C
Diámetro del molde (mm)	101,6	101,6	152,4
Volumen del molde (cm ³)	943,3	943,3	2124
Peso del martillo (N)	44,5	44,5	44,5
Altura de la caída del martillo (mm)	457,2	457,2	457,2
Número de golpes de martillo por capa de suelo	25	25	56
Número de capas de compactación	5	5	5
Energía de compactación (KN*m/m ³)	2696	2696	2696
Suelo utilizado	Porción que pasa el tamiz núm. 4 (4,57 mm). Puede ser utilizada si 20% o menos del peso de material es retenido en el tamiz núm. 4.	Porción que pasa el tamiz de 9,5 mm. Puede utilizarse si el suelo retenido en el tamiz núm. 4 es más de 20% y 20% o menos del peso es retenido en el tamiz de 9,5 mm	Porción que pasa el tamiz de 19 mm. Puede utilizarse si más de 20% del material es retenido en el tamiz de 9,5 mm y menos de 30% del peso es retenido en el tamiz de 19 mm

Fuente: Norma ASTM 1577

2.4.2.1.3. Ensayo de la mesa vibratoria

Se establece un procedimiento para determinar las densidades secas máximas y mínimas de suelos no cohesivos, no cementados, de flujo libre, con un tamaño máximo nominal hasta 80 mm y que contiene hasta un 12 % en masa de partículas menores que 0,08 mm (Camacho, 2012)

El método es aplicable a suelos en que la compactación por impacto no produce una curva bien definida de relación humedad – densidad y la densidad máxima por impacto resulta generalmente menor que la obtenida por métodos vibratorios (Camacho, 2012).

La densidad máxima se determina mediante compactación por vibrado y la densidad mínima mediante vaciado (Camacho, 2012).

Karl Terzaghi expresó el grado de compacidad de estos suelos en términos de la densidad relativa también denominado índice de densidad (ID), la cual se encuentra en función de las densidades máxima y mínima obtenidas en laboratorio (Camacho, 2012).

Figura N° 10 Equipo para el ensayo de la mesa vibratoria



Fuente: Navarro, 2009

2.5. NORMA DEL ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR

La norma que se basa en el ensayo de compactación Proctor estándar según la ASTM es la ASTM D-698 y por la AASHTO T-99.

Esta norma ha sido publicada bajo la designación fija D-698 y el número inmediatamente siguiente a la designación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de la última revisión. Un número entre paréntesis indica la aprobación. El superíndice epsilon (ϵ) indica un cambio editorial desde la última revisión o re aprobación. Esta norma ha sido aprobada para su uso por agencias del departamento de defensa.

Según el manual de ensayos proporcionado por la ABC sería:

- S0401. ENSAYO DE COMPACTACIÓN CONSIDERANDO FAMILIAS DE CURVAS MÉTODO DE UN PUNTO (AASHTO T272)

- S0402. RELACIONES DE PESO UNITARIO-HUMEDAD EN SUELOS – MÉTODO ESTÁNDAR (ASTM D698; AASHTO T-99)

2.6. NORMA DEL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

La norma q se basa el ensayo de compactación Proctor modificado según la ASTM es la Norma ASTM D-1557 y Norma AASHTO T-180.

Esta norma ha sido publicada bajo la designación fija D-1557 y el numero inmediatamente siguiente a la designación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de la última revisión. Un número entre paréntesis indica la aprobación. El superíndice épsilon (ϵ) indica un cambio editorial desde la última revisión o re aprobación. Esta norma ha sido aprobada para su uso por agencias del departamento de defensa.

Según el manual de ensayos proporcionado por la ABC seria:

- S0403. RELACIONES DE PESO UNITARIO – HUMEDAD EN LOS SUELOS – MÉTODO MODIFICADO (ASTM D-422; AASHTO T-180)

2.7. NORMA DEL ENSAYO DE LA MESA VIBRATORIA

La norma q se basa el ensayo de la mesa vibratoria para densidades según la NCH es norma NCh 1726 Of (LNV 96) y la Norma ASTM D-4253.

Esta norma ha sido publicada bajo la designación fija D-4253 y el numero inmediatamente siguiente a la designación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de la última revisión. Un número entre paréntesis indica la aprobación. El superíndice épsilon (ϵ) indica un cambio editorial desde la última revisión o re aprobación. Esta norma ha sido aprobada para su uso por agencias del departamento de defensa.

2.8. POSICIÓN DEL INVESTIGADOR

Se considera que los métodos estudiados en especial en laboratorio deberían ser los más adecuados para su implementación en obra, según el marco teórico los ensayos tanto Proctor modificado y estándar son descartados para su uso en suelos no cohesivos ya que estos podrían mostrar una curva de humedad y densidad no coherente.

No obstante, el proyecto de grado presente tratara de demostrar si en verdad el método de compactación mecánica Proctor (T-180) es realmente inadecuado en este tipo de suelo.

Una vez realizados ambos ensayos y obtenido las densidades máximas de las muestras proporcionadas se realizará la comparación de ventajas y desventajas de cada uno de los ensayos y observaciones tenidas en el proceso de laboratorio. También es útil mencionar que el ensayo de compactación bajo carga constante no posee una norma en nuestro país así que será aplicado con normativa internacional a diferencia del ensayo de compactación mecánica Proctor(T-180) (Elaboración propia).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1.1. Unidad de estudio o muestra

La técnica de muestreo aplicada para el proyecto de grado será el método de muestreo probabilístico estratificado desproporcional, dado que la cantidad de ensayos realizados son adoptados por el proyectista.

3.1.2. Población

Tabla N° 4 Población del proyecto

Fase de investigación	Nombre de los ensayos	Cantidad de ensayos
Extracción de material	Extracción de muestra de suelo no cohesivo banco 1	3
	Extracción de muestra de suelo no cohesivo banco 2	3
	Extracción de muestra de suelo no cohesivo banco 3	3
Clasificación de suelo	Granulometría de suelo no cohesivo banco 1	3
	Granulometría de suelo no cohesivo banco 2	3
	Granulometría de suelo no cohesivo banco 3	3
	Clasificación de suelo no cohesivo según AASHTO trabajo de gabinete	1
Proceso de compactación mecánica (T-180)	Compactación mecánica de muestra de suelo (T-180) banco 1 tamaño máximo 1 1/2"	6
	Compactación mecánica de muestra de suelo (T-180) banco 1 tamaño máximo 1"	6
	Compactación mecánica de muestra de suelo (T-180) banco 1 tamaño máximo 3/4"	6
	Compactación mecánica de muestra de suelo (T-180) banco 2 tamaño máximo 1 1/2"	6
	Compactación mecánica de muestra de suelo (T-180) banco 2 tamaño máximo 1"	6
	Compactación mecánica de muestra de suelo (T-180) banco 2 tamaño máximo 3/4"	6
	Compactación mecánica de muestra de suelo (T-180) banco 3 tamaño máximo 1 1/2"	6
	Compactación mecánica de muestra de suelo (T-180) banco 3 tamaño máximo 1"	6

	Compactación mecánica de muestra de suelo (T-180) banco 3 tamaño máximo 3/4"	6
Proceso de vibración bajo carga constante	Calibración de molde	6
	Compactación bajo carga constante método seco banco 1 tamaño máximo 1 1/2"	6
	Compactación bajo carga constante método seco banco 1 tamaño máximo 1"	6
	Compactación bajo carga constante método seco banco 1 tamaño máximo 3/4"	6
	Compactación bajo carga constante método húmedo banco 1 tamaño máximo 1 1/2"	6
	Compactación bajo carga constante método húmedo banco 1 tamaño máximo 1"	6
	Compactación bajo carga constante método húmedo banco 1 tamaño máximo 3/4"	6
	Compactación bajo carga constante método seco banco 2 tamaño máximo 1 1/2"	6
	Compactación bajo carga constante método seco banco 2 tamaño máximo 1"	6
	Compactación bajo carga constante método seco banco 2 tamaño máximo 3/4"	6
	Compactación bajo carga constante método húmedo banco 2 tamaño máximo 1 1/2"	6
	Compactación bajo carga constante método húmedo banco 2 tamaño máximo 1"	6
	Compactación bajo carga constante método húmedo banco 2 tamaño máximo 3/4"	6
	Compactación bajo carga constante método seco banco 3 tamaño máximo 1 1/2"	6
	Compactación bajo carga constante método seco banco 3 tamaño máximo 1"	6
	Compactación bajo carga constante método seco banco 3 tamaño máximo 3/4"	6
	Compactación bajo carga constante método húmedo banco 3 tamaño máximo 1 1/2"	6
	Compactación bajo carga constante método húmedo banco 3 tamaño máximo 1"	6
	Compactación bajo carga constante método húmedo banco 3 tamaño máximo 3/4"	6
Total, de ensayos		187

Fuente: Elaboración propia

- Unidad elemental de muestra: El ensayo de laboratorio.
- Población: N = 187 ensayos establecidos para la investigación.
- Tamaño de muestra “n”: desconocido.

- Variable a medir: Proceso de laboratorio para el método mecánico (T-180) y el método de vibración bajo carga constante.
- Nivel de confianza NC = 95%, de acuerdo a ello la variable estandarizada es $Z = 1,96$
- El margen de error es: $e = 0,05 \%$
- Varianza de $\sigma^2 = 0,10$

3.1.3. Muestra

Cálculo de la muestra para una población finita con el muestreo estratificado

Tabla N° 5 Muestra del proyecto

Estratos	Ensayos	Ni	σ^2	Ni* σ^2	fi	ni
1	Extracción de muestra de suelo no cohesivo banco 1	3	0,1	0,3	0,0160	2
2	Extracción de muestra de suelo no cohesivo banco 2	3	0,1	0,3	0,0160	2
3	Extracción de muestra de suelo no cohesivo banco 3	3	0,1	0,3	0,0160	2
4	Granulometría de suelo no cohesivo banco 1	3	0,1	0,3	0,0160	2
5	Granulometría de suelo no cohesivo banco 2	3	0,1	0,3	0,0160	2
6	Granulometría de suelo no cohesivo banco 3	3	0,1	0,3	0,0160	2
7	Clasificación de suelo no cohesivo según AASHTO trabajo de gabinete	1	0,1	0,1	0,0053	1
8	Compactación mecánica de muestra de suelo (T-180) banco 1 tamaño máximo 1 1/2"	6	0,1	0,6	0,0321	3
9	Compactación mecánica de muestra de suelo (T-180) banco 1 tamaño máximo 1"	6	0,1	0,6	0,0321	3
10	Compactación mecánica de muestra de suelo (T-180) banco 1 tamaño máximo 3/4"	6	0,1	0,6	0,0321	3
11	Compactación mecánica de muestra de suelo (T-180) banco 2 tamaño máximo 1 1/2"	6	0,1	0,6	0,0321	3
12	Compactación mecánica de muestra de suelo (T-180) banco 2 tamaño máximo 1"	6	0,1	0,6	0,0321	3
13	Compactación mecánica de muestra de suelo (T-180) banco 2 tamaño máximo 3/4"	6	0,1	0,6	0,0321	3
14	Compactación mecánica de muestra de suelo (T-180) banco 3 tamaño máximo 1 1/2"	6	0,1	0,6	0,0321	3

15	Compactación mecánica de muestra de suelo (T-180) banco 3 tamaño máximo 1"	6	0,1	0,6	0,0321	3
16	Compactación mecánica de muestra de suelo (T-180) banco 3 tamaño máximo 3/4"	6	0,1	0,6	0,0321	3
17	Calibración de molde	6	0,1	0,6	0,0321	3
18	Compactación bajo carga constante método seco banco 1 tamaño máximo 1 1/2"	6	0,1	0,6	0,0321	3
19	Compactación bajo carga constante método seco banco 1 tamaño máximo 1"	6	0,1	0,6	0,0321	3
20	Compactación bajo carga constante método seco banco 1 tamaño máximo 3/4"	6	0,1	0,6	0,0321	3
21	Compactación bajo carga constante método húmedo banco 1 tamaño máximo 1 1/2"	6	0,1	0,6	0,0321	3
22	Compactación bajo carga constante método húmedo banco 1 tamaño máximo 1"	6	0,1	0,6	0,0321	3
23	Compactación bajo carga constante método húmedo banco 1 tamaño máximo 3/4"	6	0,1	0,6	0,0321	3
24	Compactación bajo carga constante método seco banco 2 tamaño máximo 1 1/2"	6	0,1	0,6	0,0321	3
25	Compactación bajo carga constante método seco banco 2 tamaño máximo 1"	6	0,1	0,6	0,0321	3
26	Compactación bajo carga constante método seco banco 2 tamaño máximo 3/4"	6	0,1	0,6	0,0321	3
27	Compactación bajo carga constante método húmedo banco 2 tamaño máximo 1 1/2"	6	0,1	0,6	0,0321	3
28	Compactación bajo carga constante método húmedo banco 2 tamaño máximo 1"	6	0,1	0,6	0,0321	3
29	Compactación bajo carga constante método húmedo banco 2 tamaño máximo 3/4"	6	0,1	0,6	0,0321	3
30	Compactación bajo carga constante método seco banco 3 tamaño máximo 1 1/2"	6	0,1	0,6	0,0321	3
31	Compactación bajo carga constante método seco banco 3 tamaño máximo 1"	6	0,1	0,6	0,0321	3
32	Compactación bajo carga constante método seco banco 3 tamaño máximo 3/4"	6	0,1	0,6	0,0321	3
33	Compactación bajo carga constante método húmedo banco 3 tamaño máximo 1 1/2"	6	0,1	0,6	0,0321	3
34	Compactación bajo carga constante método húmedo banco 3 tamaño máximo 1"	6	0,1	0,6	0,0321	3
35	Compactación bajo carga constante método húmedo banco 3 tamaño máximo 3/4"	6	0,1	0,6	0,0321	3
SUMATORIA		187		18,7		97

Fuente: Elaboración propia

$$n = \frac{\sum_{i=1}^n N_i * \sigma^2}{N * \left(\frac{e}{Z}\right)^2 + \frac{\sum_{i=1}^n N_i * \sigma^2}{N}}$$

$$n = \frac{18,7}{187 * \left(\frac{0,05}{1,96}\right)^2 + \frac{18,7}{187}} = 85 \text{ ensayos}$$

Para el proyecto de investigación se considerará el mayor, el tamaño de la muestra será de 97 ensayos

3.1.4. Selección de las técnicas de muestreo

La técnica de muestreo más apropiada para el trabajo de investigación será de forma aleatoria, que se considera conveniente para el tipo de investigación y el alcance del proyecto de grado.

3.2. MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS

3.2.1. Métodos

- **Método empírico:** el método empírico empleado es los ensayos realizados en laboratorio de suelos para poder llegar a cumplir los objetivos empleados.
- **Método teórico:** el método teórico será el análisis de los resultados con la teoría para poder llegar a una síntesis final.

3.2.2. Técnicas

- Investigación bibliográfica: es la técnica aplicada para el análisis de la teoría recopilada para el trabajo con la síntesis del mismo.
- Investigación de campo: es la técnica que aplica a todo el trabajo realizado en campo y en el laboratorio con los diferentes ensayos.

3.3. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Toda la información del trabajo de investigación será analizada para un posterior trabajo estadístico para poder verificar la confiabilidad, la veracidad y la validación de todos los datos.

3.4.UBICACIÓN DE LOS BANCOS DE MATERIAL

Los bancos de material utilizados para el proyecto de investigación se encuentran en el departamento de Tarija.

Tabla N° 6 Resumen de coordenadas de los bancos de material

Numero de banco de material	Coordenada este	Coordenada sur
Banco de material 1	319529	7631155
Banco de material 2	310234	7605551
Banco de material 3	323803	7597291

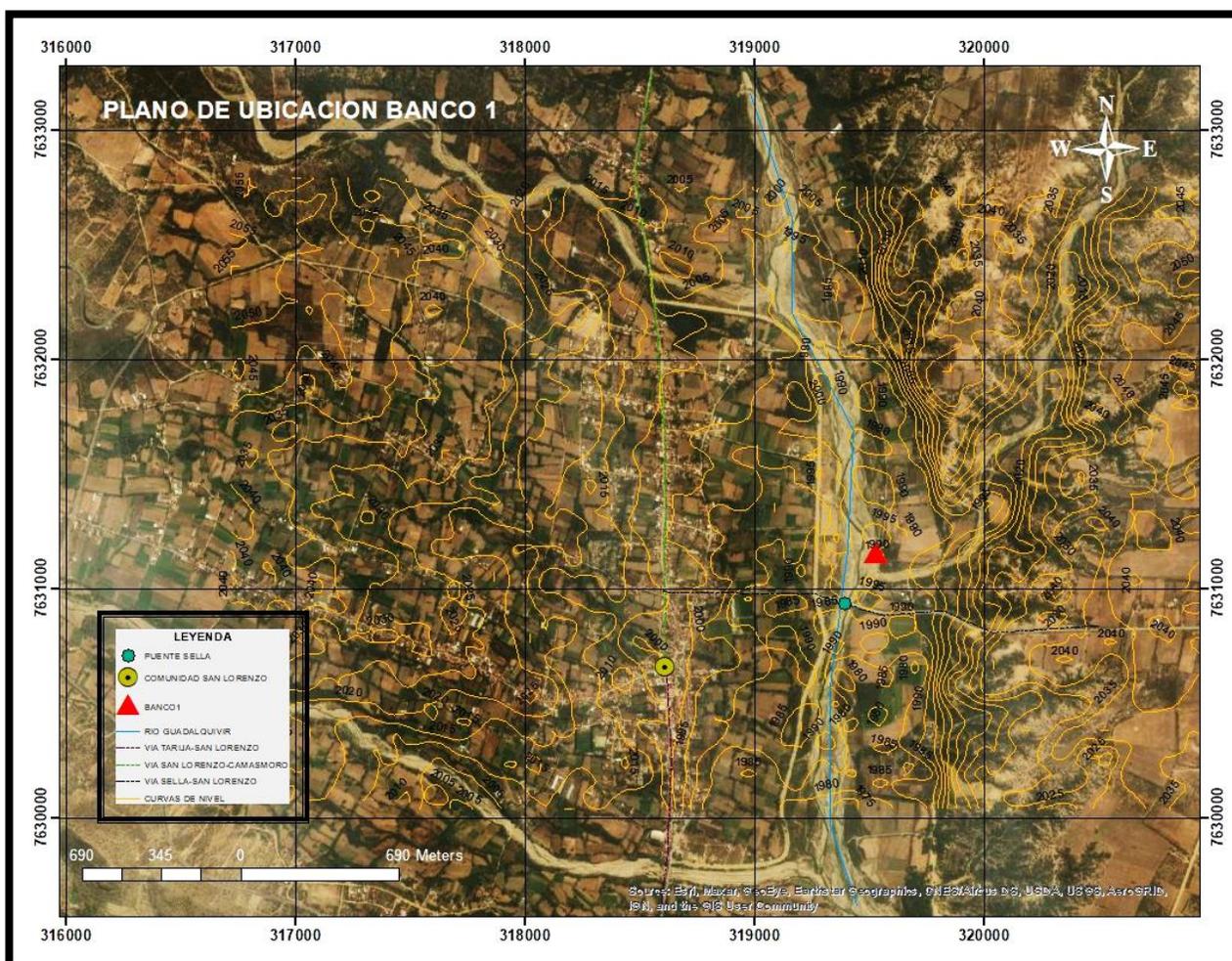
Fuente: Elaboración propia

3.4.1. Banco de material 1

El banco de material número 1 está ubicado en la provincia Méndez del departamento de Tarija perteneciente al municipio de San Lorenzo con coordenadas UTM 20K 319529m E 7631155m S el cual ubica al lugar de extracción que es el río Guadalquivir, el municipio posee una topografía muy irregular, con altitudes variadas como la zona alta, con formaciones montañosas, y la zona baja, constituida por valles y algunas planicies.

El municipio de San lorenzo tiene como temperatura máxima promedio de 29°C en diciembre y de 21°C en junio, con una humedad promedio de 57 a 80% y una velocidad de viento de 18 a 20 km/h, que son datos aproximados ya que no se posee un registro actual de la humedad y la velocidad del viento.

Figura N° 11 Plano de ubicación del banco 1



Fuente: Elaboración propia

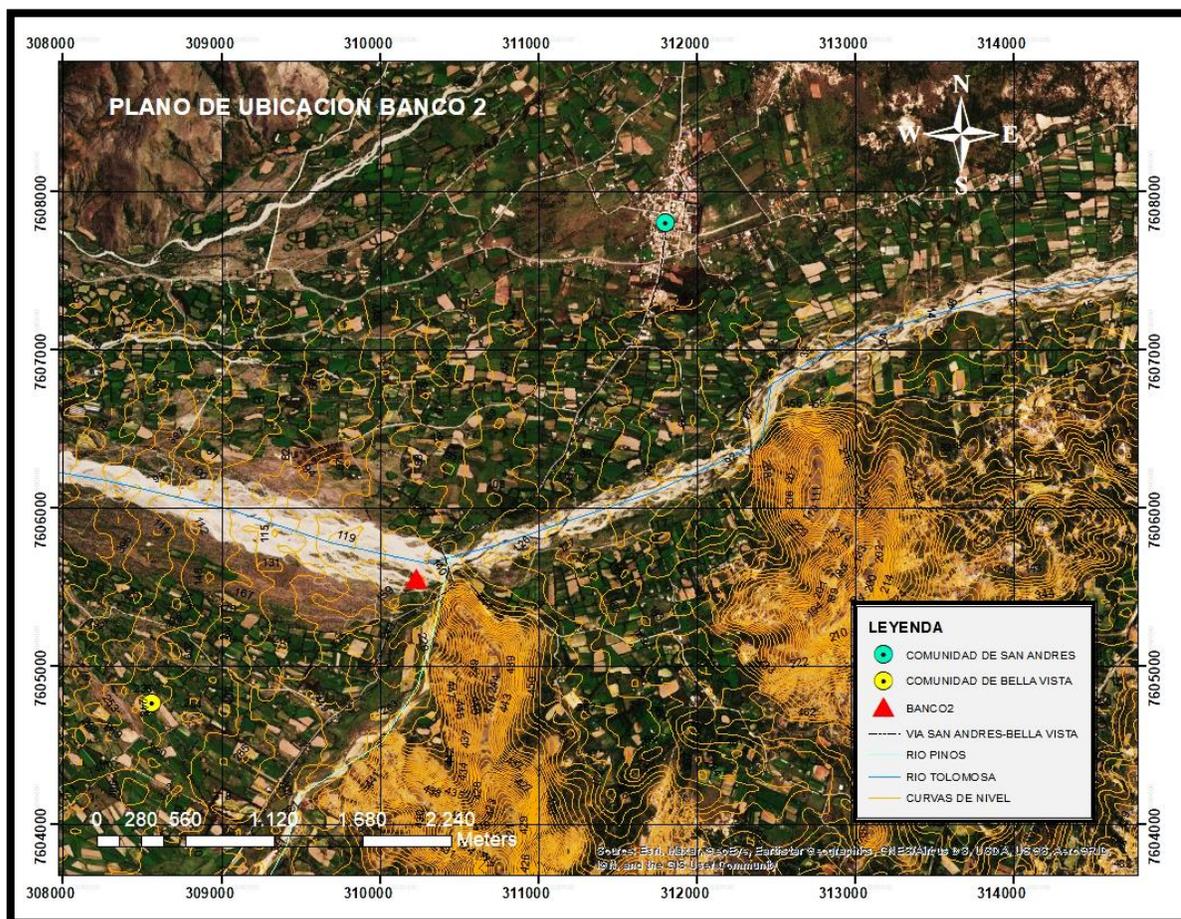
3.4.2. Banco de material 2

El banco de material número 2 está ubicado en la provincia Cercado del departamento de Tarija perteneciente al municipio de Tarija cerca a la comunidad de Bella Vista y San Andrés con coordenadas UTM 20K 310234m E 7605551m S, que son las coordenadas del lugar de extracción que sería el río Tolomosa, el territorio de estas comunidades muestra una zona relativamente plana con algunas cumbres provenientes

de la reserva biológica de Sama está constituido como un valle utilizado como un parque natural.

El municipio de Tarija tiene como temperatura máxima promedio de 30°C en diciembre y de 10°C en junio, con una humedad promedio de 55 a 80% y una velocidad de viento de 18 a 20 km/h.

Figura N° 12 Plano de ubicación del banco 2



Fuente: Elaboración propia

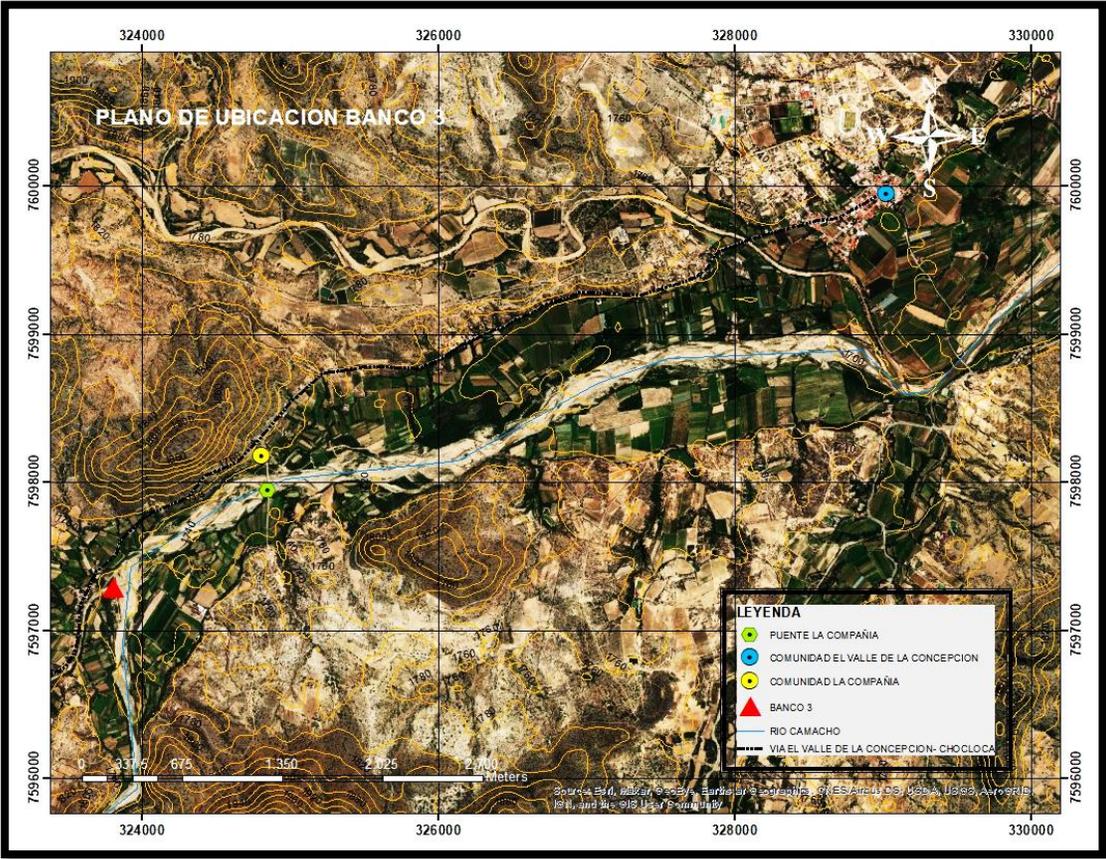
3.4.3. Banco de material 3

El banco de material número 3 está ubicado en la provincia José María Avilés del departamento de Tarija perteneciente al municipio de Uriondo cerca a la comunidad

La Compañía en la carretera el Valle de la Concepción-Chocloca con coordenadas UTM 20K 323803m E 7597291m S, que son la coordenadas del lugar de extracción que sería el río Camacho, en la región se distinguen dos zonas: la montañosa, con serranías importantes como Sama, Laderas y Barrancas; y la de valles, con ondulaciones surcadas por los ríos Camacho y Guadalquivir, unión de la cual nace el río Tarija. Otros ríos son el Alizos, el Astillero, el Papachajra y el Sauce.

El municipio de Uriondo tiene como temperatura máxima promedio es de 25°C en diciembre y de 8°C en junio con una humedad promedio de 55 a 80% y una velocidad de viento de 18 a 20 km/h.

Figura N° 13 Plano de ubicación del banco 3



Fuente: Elaboración propia

3.5. CARACTERIZACIÓN

3.5.1. Extracción de muestras

- Se extrajo material de 3 bancos de material elegidos de forma aleatoria, los cuales fueron el río Guadalquivir, el río Tolomosa y el río Camacho.
- La extracción fue de forma aleatoria estimando el tamaño máximo de partículas requeridos puestos en bolsas nylon grandes para su traslado.
- Las coordenadas UTM del banco 1 que se encuentra en el río Guadalquivir es de 20K 319529m E 7631155m S:

Figura N° 14 Imagen del río Guadalquivir



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 15 Extracción de muestras del banco 1



Fuente: Elaboración propia

- Las coordenadas UTM del banco 2 que se encuentra en el río Tolomosa es de 20K 310234m E 7605551m S:

Figura N° 16 Imagen del río Tolomosa



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 17 Extracción de muestras del banco 2



Fuente: Elaboración propia

- Las coordenadas UTM del banco 3 que se encuentra en el río Camacho es de 20K 323803m E 7597291m S:

Figura N° 18 Imagen del río Camacho



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 19 Extracción de muestras del banco 3



Fuente: Elaboración propia

3.5.2. Granulometrías

- Se realizó un análisis granulométrico a todas las muestras de los 4 bancos de material.

Figura N° 20 Imagen del ensayo de granulometría



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 21 Imagen del ensayo de granulometría



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 22 Imagen de tamices utilizados



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 23 Imagen de muestra y balanza



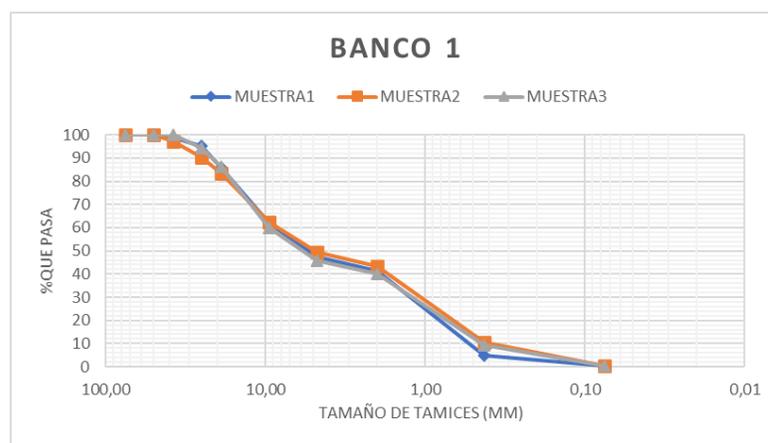
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 7 Resumen banco 1

Tamices	Tamaño (mm)	%Que pasa m-1	%Que pasa m-2	%Que pasa m-3
3"	75,000	100,000	100,000	100,000
2"	50,000	100,000	100,000	100,000
1 1/2"	37,500	98,826	97,435	100,000
1"	25,000	95,326	90,169	94,353
3/4"	19,000	85,843	83,288	86,159
3/8"	9,500	62,106	62,574	59,824
N°4	4,750	47,545	49,360	45,989
N°10	2,000	41,446	43,200	40,015
N°40	0,425	4,885	10,705	9,451
N°200	0,075	0,245	0,396	0,350
BASE	0,000	0,000	0,000	0,000

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 1 Resumen banco 1



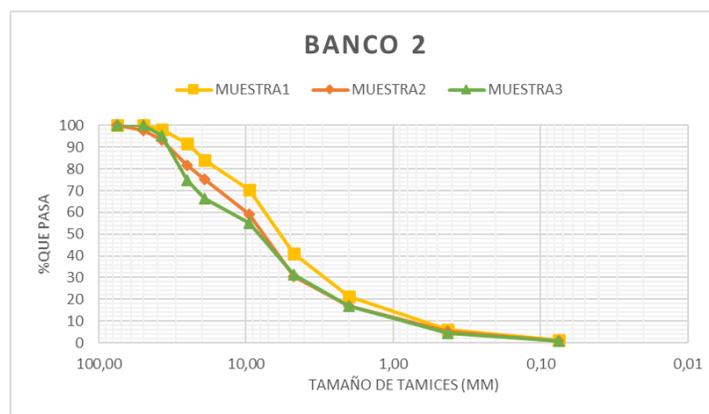
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 8 Resumen banco 2

Tamices	Tamaño (mm)	%Que pasa m-1	%Que pasa m-2	%Que pasa m-3
3"	75,000	100,000	100,000	100,000
2"	50,000	100,000	97,625	100,000
1 1/2"	37,500	98,179	93,409	95,521
1"	25,000	91,663	81,645	74,919
3/4"	19,000	84,226	75,280	66,460
3/8"	9,500	70,511	59,329	54,961
N°4	4,750	40,923	30,644	31,351
N°10	2,000	21,251	17,099	16,935
N°40	0,425	6,210	5,082	4,502
N°200	0,075	1,399	0,971	0,769
BASE	0,000	0,000	0,000	0,000

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 2 Resumen banco 2



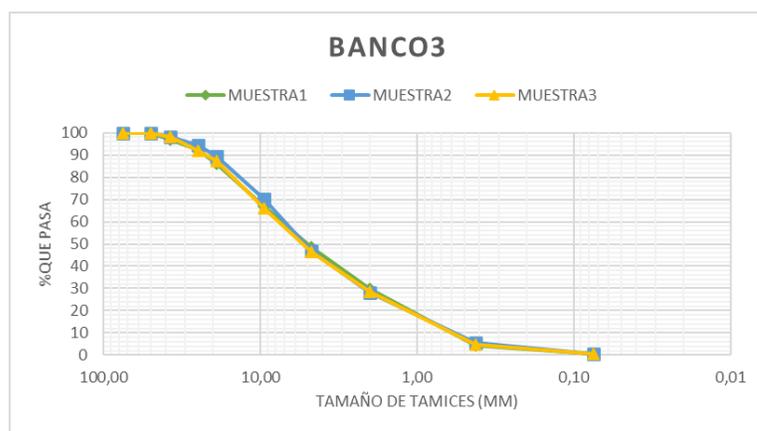
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 9 Resumen banco 3

Tamices	Tamaño (mm)	%Que pasa m-1	%Que pasa m-2	%Que pasa m-3
3"	75,000	100,000	100,000	100,000
2"	50,000	100,000	100,000	100,000
1 1/2"	37,500	96,731	98,151	98,036
1"	25,000	92,538	94,226	92,041
3/4"	19,000	85,896	89,518	87,510
3/8"	9,500	66,806	70,356	66,103
N°4	4,750	48,431	46,904	46,406
N°10	2,000	29,681	28,091	28,566
N°40	0,425	4,410	5,486	4,755
N°200	0,075	0,373	0,466	0,394
BASE	0,000	0,000	0,000	0,000

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 3 Resumen banco 3



Fuente: Elaboración propia

3.5.3. Clasificación de suelos método AASHTO

En el banco 1 según la clasificación AASHTO es un tipo de suelo A-2-5 perteneciente al grupo de suelos granulares.

Tabla N° 10 Resumen de datos banco 1

N° de muestra	m-1	m-2	m-3
%Que pasa N°4	47,545	49,360	45,989
%Que pasa N°10	41,446	43,200	40,015
%Que pasa N°40	4,885	10,705	9,451
%Que pasa N°200	0,245	0,396	0,350
Límite líquido (LL)	0	0	0
Límite plástico (LP)	0	0	0
Índice de plasticidad (IP)	0	0	0
Índice de grupo (IG)	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

En el banco 2 según la clasificación AASHTO es un tipo de suelo A-2-5 perteneciente al grupo de suelos granulares.

Tabla N° 11 Resumen de datos banco 2

N° de muestra	m-1	m-2	m-3
%Que pasa N°4	40,923	30,644	31,351
%Que pasa N°10	21,251	17,099	16,935
%Que pasa N°40	6,210	5,082	4,502
%Que pasa N°200	1,399	0,971	0,769
Límite líquido (LL)	0	0	0
Límite plástico (LP)	0	0	0
Índice de plasticidad (IP)	0	0	0
Índice de grupo (IG)	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

En el banco 3 según la clasificación AASHTO es un tipo de suelo A-2-5 perteneciente al grupo de suelos granulares.

Tabla N° 12 Resumen de datos banco 3

N° de muestra	m-1	m-2	m-3
%Que pasa N°4	48,431	46,904	46,406
%Que pasa N°10	29,681	28,091	28,566
%Que pasa N°40	4,410	5,486	4,755
%Que pasa N°200	0,373	0,466	0,394
Límite líquido (LL)	0	0	0
Límite plástico (LP)	0	0	0
Índice de plasticidad (IP)	0	0	0
Índice de grupo (IG)	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 13 Resumen de caracterización de suelos

Numero de banco de material	Tipo de suelo
Banco 1	A-2-5
Banco 2	A-2-5
Banco 3	A-2-5

Fuente: Elaboración propia

3.6. COMPACTACIÓN PROCTOR T-180

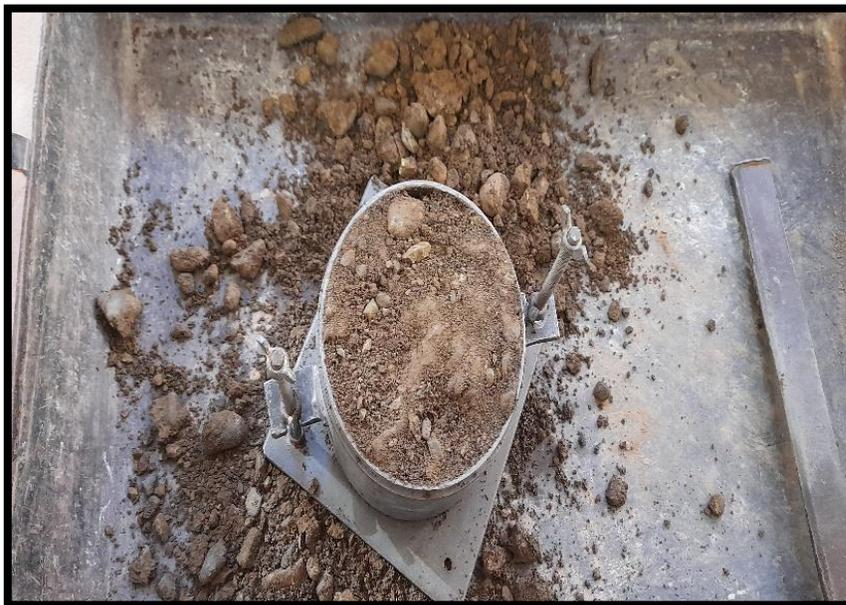
Se realizó el ensayo proctor t-180 a todas las muestras de los bancos 1,2,3 y 4.

Figura N° 24 imagen de ensayo compactación t-180



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 25 imagen de ensayo compactación t-180



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 26 imagen de ensayo compactación t-180



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 14 Resumen de compactación (t-180) banco 1

N° de ensayo	1	2	3
N° de golpes por capa	56	56	56
N° de capas	5	5	5
Tamaño máximo 1 1/2"			
Humedad óptima (%)	5,306	4,797	5,151
Densidad máxima (gr/cm ³)	2,263	2,260	2,249
Tamaño máximo 1"			
Humedad óptima (%)	7,313	5,518	5,314
Densidad máxima (gr/cm ³)	2,264	2,273	2,223
Tamaño máximo 3/4"			
Humedad óptima (%)	9,807	8,813	8,946
Densidad máxima (gr/cm ³)	2,127	2,143	2,145

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 15 Resumen de compactación (t-180) banco 2

N° de ensayo	1	2	3
N° de golpes por capa	56	56	56
N° de capas	5	5	5
Tamaño máximo 1 1/2"			
Humedad óptima (%)	2,624	3,620	3,776
Densidad máxima (gr/cm ³)	2,196	2,183	2,183
Tamaño máximo 1"			
Humedad óptima (%)	3,909	4,806	4,635
Densidad máxima (gr/cm ³)	2,220	2,261	2,213
Tamaño máximo 3/4"			
Humedad óptima (%)	3,445	3,646	3,906
Densidad máxima (gr/cm ³)	2,219	2,236	2,221

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 16 Resumen de compactación (t-180) banco 3

N° de ensayo	1	2	3
N° de golpes por capa	56	56	56
N° de capas	5	5	5
Tamaño máximo 1 1/2"			
Humedad óptima (%)	6,616	7,992	7,302
Densidad máxima (gr/cm ³)	2,212	2,202	2,208
Tamaño máximo 1"			
Humedad óptima (%)	6,914	7,135	7,675
Densidad máxima (gr/cm ³)	2,193	2,179	2,192
Tamaño máximo 3/4"			
Humedad óptima (%)	8,431	7,760	7,043
Densidad máxima (gr/cm ³)	2,142	2,196	2,168

Fuente: Elaboración propia

3.7. COMPACTACIÓN BAJO CARGA CONSTANTE

3.7.1. Materiales

El ensayo se realizará con los siguientes materiales:

- Mesa vibradora, de acero, con cubierta vibradora de aproximadamente 750 x 750 mm, apoyada sobre amortiguadores y accionada por un vibrador electromagnético. El vibrador debe ser semi-silencioso y con una masa igual o mayor que 45 kg, una frecuencia de 3660 vibraciones por minuto y una amplitud de vibrado vertical entre 0,05 y 0,64 mm bajo una carga de 1112 N.

Figura N° 27 Imagen de la mesa vibratoria



Fuente: Elaboración propia

- Moldes metálicos, con una capacidad nominal de 2,8 y 14,2 L respectivamente. Deben cumplir con los requisitos dimensionales normalizados.

Figura N° 28 Imagen de los moldes metálicos



Fuente: Elaboración propia

- Tubos guías, metálicos, ajustables a cada tipo de molde. Con un sistema de ajuste consistente en tres juegos de tornillos, dos de los cuales deben tener tuercas de fijación.
- Placas base de acero de 12,5 mm de espesor, para cada tamaño de molde.
- Sobrecargas, una para cada tamaño de molde. Para molde grande sobrecarga de 80 kg y para molde pequeño sobrecarga de 25 kg.
- Una manilla para cada placa base sujeción del calibre
- Deformómetro o extensómetro para comparar calibres con indicador de dial, un recorrido de 50 mm y graduaciones de 0,01 mm
- Barra de metálica para enrasar los moldes.
- Bandejas de mezclado.
- Tamices de tamaño necesario.

- Balanzas; una de 100 kg de capacidad y otra de 20 kg de capacidad con resolución de 1gr.
- Herramientas y accesorios; pala, poruña, brocha, contador de tiempo o cronómetro que indique minutos y segundos.

Figura N° 29 Imagen de materiales de laboratorio



Fuente: Elaboración propia

3.7.2. Calibración de molde

Para la calibración del molde se realizó el método de llenado de agua, este método se basa en llenar los moldes metálicos de agua en una superficie plana asta poder enrasar el molde y pesar el peso de agua y molde.

Figura N° 30 Imagen de la calibración del molde



Fuente: Elaboración propia

Posterior al llenado se medirá la temperatura del agua para poder determinar el volumen.

Tabla N° 17 Densidad de agua en función de la temperatura

Temperatura (°C)	Densidad (gr /cm ³)
16	0,99909
18	0,99859
20	0,99829
23	0,99754
26	0,99678
29	0,99594

Fuente: Ojeda, 2018

Se determina la capacidad volumétrica (V_c) aproximando a 1 cm³ (1 ml), dividiendo la masa del agua que llena el molde por su densidad:

$$V_c = \frac{mw}{\rho_w}$$

3.7.3. Tamaño de la muestra

Obtenga una muestra de ensayo representativa del tamaño indicado en la Tabla N° 20 de acuerdo con el tamaño máximo nominal de partículas del suelo en estudio.

Tabla N° 18 Densidad de agua en función de la temperatura

Tamaño máximo (in)	Tamaño máximo (mm)	Masa de muestra requerida (Kg)	Dispositivo para ensayo de densidad	Tamaño de molde (cm ³)
3	75	34	Pala o cuchara extra grande	14200
1 1/2	38,1	34	Cuchara	14200
3/4	19	11	Cuchara	2830
3/8	9,5	11	Embudo con diámetro de 25 mm	2830
≤N°4	≤4,75	11	Embudo con diámetro de 12,5 mm	2830

Fuente: Norma ASTM-D4254

3.7.4. Procedimiento para densidad máxima

3.7.4.1. Método seco

- Seleccione el aparato de llenado y el molde según Tabla N° 20, en función del tamaño máximo nominal de partículas.

Figura N° 31 Imagen de molde y cuchara



Fuente: Elaboración propia

- Coloque el molde sobre una superficie firme, plana y horizontal. Llene con material de la muestra acondicionada y enrase mediante uno de los procedimientos siguientes, según el tamaño máximo nominal de partículas del suelo en estudio y evitando golpear y/o vibrar el molde.
- Enrase el material excedente mediante una pasada continua con la regla de acero, procurando no compactar el material. Si no se remueve todo el material excedente, efectúe una pasada adicional.

- Colocar el molde en la mesa atornillando, colocar la placa metálica y realizar la lectura inicial con el extensómetro en ambos frentes para poder sacar un promedio.

Figura N° 32 Imagen de lectura inicial



Fuente: Elaboración propia

- Fije el tubo guía al molde y coloque la placa base sobre la superficie del suelo. Coloque la sobrecarga encima de la placa base.

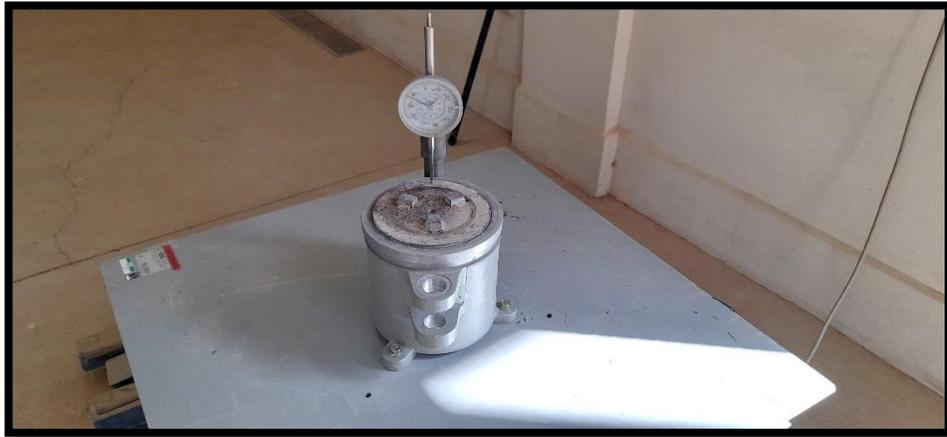
Figura N° 33 Imagen del equipo armado



Fuente: Elaboración propia

- Coloque el control del vibrador a la amplitud máxima y vibre el molde cargado durante un periodo de 8 min. Retire la sobrecarga y el tubo guía.
- Realizar la lectura final con el extensómetro.
- metro después del tiempo de vibrado.

Figura N° 34 Imagen de lectura final



Fuente: Elaboración propia

- Pese el molde con el suelo. Determine y registre la masa seca del suelo que llena el molde aproximando a 100 gr para el molde de 14,2 litros y a 1 gr para el molde de 2,8 litros.

Figura N° 35 Imagen del molde en la balanza



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 19 Resumen de compactación método seco banco 1

N° de ensayo	1	2	3
Tamaño máximo de 1 1/2"			
Volumen del molde (cm³)	13998,57	13998,57	13998,57
Peso del suelo vibrado + molde (Kg)	36,975	36,835	36,940
Densidad máxima seca (gr/cm³)	2,245	2,250	2,242
Tamaño máximo de 1"			
Volumen del molde (cm³)	13998,57	13998,57	13998,57
Peso del suelo vibrado + molde (Kg)	36,275	36,335	36,570
Densidad máxima seca (gr/cm³)	2,246	2,242	2,241
Tamaño máximo de 3/4"			
Volumen del molde (cm³)	2803,72	2803,72	2803,72
Peso del suelo vibrado + molde (Kg)	9,120	9,100	9,110
Densidad máxima seca (gr/cm³)	2,137	2,150	2,146

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 20 Resumen de compactación método seco banco 2

N° de ensayo	1	2	3
Tamaño máximo de 1 1/2"			
Volumen del molde (cm³)	13998,57	13998,57	13998,57
Peso del suelo vibrado + molde (Kg)	36,950	36,390	36,975
Densidad máxima seca (gr/cm³)	2,177	2,164	2,192
Tamaño máximo de 1"			
Volumen del molde (cm³)	13998,57	13998,57	13998,57
Peso del suelo vibrado + molde (Kg)	36,485	36,765	36,125
Densidad máxima seca (gr/cm³)	2,196	2,241	2,236
Tamaño máximo de 3/4"			
Volumen del molde (cm³)	2803,72	2803,72	2803,72
Peso del suelo vibrado + molde (Kg)	9,400	9,450	9,415
Densidad máxima seca (gr/cm³)	2,222	2,255	2,222

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 21 Resumen de compactación método seco banco 3

N° de ensayo	1	2	3
Tamaño máximo de 1 1/2"			
Volumen del molde (cm³)	13998,57	13998,57	13998,57
Peso del suelo vibrado + molde (Kg)	36,125	36,070	36,260
Densidad máxima seca (gr/cm³)	2,214	2,205	2,201
Tamaño máximo de 1"			
Volumen del molde (cm³)	13998,57	13998,57	13998,57
Peso del suelo vibrado + molde (Kg)	35,985	35,950	36,100
Densidad máxima seca (gr/cm³)	2,153	2,151	2,150
Tamaño máximo de 3/4"			
Volumen del molde (cm³)	2803,72	2803,72	2803,72
Peso del suelo vibrado + molde (Kg)	9,155	9,310	9,340
Densidad máxima seca (gr/cm³)	2,134	2,187	2,183

Fuente: Elaboración propia

3.7.4.2. Método húmedo

- El método húmedo puede efectuarse con el material de la muestra acondicionada agregando suficiente agua o, si se prefiere, con el suelo húmedo del terreno. En este caso se utilizó la humedad óptima del suelo.
- Llene el molde con suelo húmedo por medio de una poruña o pala.
- Los siguientes pasos serán iguales al método seco.

Figura N° 36 Imagen de suelo húmedo enrasado



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 37 Imagen de suelo húmedo después de la vibración



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 22 Resumen de compactación método húmedo banco 1

N° de ensayo	1	2	3
Tamaño máximo de 1 1/2"			
Contenido de humedad óptimo (%)	5,085		
Volumen del molde (cm³)	13998,570	13998,570	13998,570
Peso del suelo vibrado + molde (Kg)	31,460	31,440	31,280
Densidad máxima (gr/cm³)	2,258	2,264	2,238
Tamaño máximo de 1"			
Contenido de humedad óptimo (%)	6,048		
Volumen del molde (cm³)	13998,570	13998,570	13998,570
Peso del suelo vibrado + molde (Kg)	31,010	31,065	31,005
Densidad máxima (gr/cm³)	2,271	2,280	2,283
Tamaño máximo de 3/4"			
Contenido de humedad óptimo (%)	9,189		
Volumen del molde (cm³)	2803,720	2803,720	2803,720
Peso del suelo vibrado + molde (Kg)	8,929	8,886	8,990
Densidad máxima (gr/cm³)	2,145	2,127	2,147

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 23 Resumen de compactación método húmedo banco 2

N° de ensayo	1	2	3
Tamaño máximo de 1 1/2"			
Contenido de humedad óptimo (%)	3,340		
Volumen del molde (cm³)	13998,570	13998,570	13998,570
Peso del suelo vibrado + molde (Kg)	31,130	31,305	31,420
Densidad máxima (gr/cm³)	2,179	2,187	2,197
Tamaño máximo de 1"			
Contenido de humedad óptimo (%)	4,450		
Volumen del molde (cm³)	13998,570	13998,570	13998,570
Peso del suelo vibrado + molde (Kg)	31,200	31,025	31,135
Densidad máxima (gr/cm³)	2,224	2,218	2,263
Tamaño máximo de 3/4"			
Contenido de humedad óptimo (%)	3,561		
Volumen del molde (cm³)	2803,720	2803,720	2803,720
Peso del suelo vibrado + molde (Kg)	8,935	8,735	8,690
Densidad máxima (gr/cm³)	2,188	2,131	2,134

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 24 Resumen de compactación método húmedo banco 3

N° de ensayo	1	2	3
Tamaño máximo de 1 1/2"			
Contenido de humedad óptimo (%)	7,303		
Volumen del molde (cm³)	13998,570	13998,570	13998,570
Peso del suelo vibrado + molde (Kg)	31,000	31,005	31,085
Densidad máxima (gr/cm³)	2,288	2,269	2,235
Tamaño máximo de 1"			
Contenido de humedad óptimo (%)	7,241		
Volumen del molde (cm³)	13998,570	13998,570	13998,570
Peso del suelo vibrado + molde (Kg)	31,050	31,040	31,005
Densidad máxima (gr/cm³)	2,245	2,249	2,244
Tamaño máximo de 3/4"			
Contenido de humedad óptimo (%)	7,745		
Volumen del molde (cm³)	2803,720	2803,720	2803,720
Peso del suelo vibrado + molde (Kg)	8,980	8,995	8,980
Densidad máxima (gr/cm³)	2,129	2,156	2,154

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 25 Resumen de ensayos realizados

N° de Banco de Material	Tipo de Suelo Según AASHTO	Tamaño Máximo (in)	Compactación Mecánica proctor t-180		Compactación Vibratoria Bajo Carga Constante		
			Densidad Máxima (gr/cm ³)	Contenido de Humedad Optimo (%)	Método seco	Método Húmedo	
					Densidad Máxima (gr/cm ³)	Densidad Máxima (gr/cm ³)	Contenido de Humedad (%)
1	A-2-5	1 1/2"	2,263	5,306	2,245	2,264	5,085
			2,260	4,797	2,250	2,258	
			2,249	5,151	2,242	2,238	
		1"	2,264	7,313	2,246	2,280	6,048
			2,273	5,518	2,242	2,271	
			2,223	5,314	2,241	2,283	
		3/4"	2,127	9,807	2,137	2,127	9,189
			2,143	8,813	2,150	2,147	
			2,145	8,946	2,146	2,145	
2	A-2-5	1 1/2"	2,196	2,624	2,177	2,197	3,340
			2,183	3,620	2,164	2,187	
			2,183	3,776	2,192	2,179	
		1"	2,220	3,909	2,236	2,224	4,450
			2,261	4,806	2,241	2,263	
			2,213	4,635	2,196	2,218	
		3/4"	2,219	3,445	2,222	2,188	3,561
			2,236	3,646	2,255	2,131	
			2,221	3,593	2,222	2,134	
3	A-2-5	1 1/2"	2,212	6,616	2,214	2,288	7,303
			2,202	7,992	2,205	2,269	
			2,208	7,302	2,201	2,235	
		1"	2,193	6,914	2,153	2,245	7,241
			2,179	7,135	2,151	2,249	
			2,192	7,675	2,150	2,244	
		3/4"	2,142	8,431	2,134	2,156	7,745
			2,196	7,760	2,187	2,129	
			2,168	7,043	2,183	2,154	

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. DENSIDADES MÁXIMAS PARA ANÁLISIS DESCRIPTIVO

La siguiente tabla muestra las densidades máximas sacadas del trabajo de gabinete en 3 ensayos diferentes.

Tabla N° 26 Densidades máximas de 3 bancos y sus variaciones

Número de ensayo	Número de banco	Tamaño máximo	Densidad máxima (T-180) (gr/cm ³)	Densidad máxima (Mesa Mto. Seco) (gr/cm ³)	Densidad máxima (Mesa Mto. Húmedo) (gr/cm ³)
1	1	1 1/2"	2,263	2,245	2,264
2			2,260	2,250	2,258
3			2,249	2,242	2,238
4		1"	2,264	2,246	2,280
5			2,273	2,242	2,271
6			2,223	2,241	2,283
7		3/4"	2,127	2,137	2,127
8			2,143	2,150	2,147
9			2,145	2,146	2,145
10	2	1 1/2"	2,196	2,177	2,197
11			2,183	2,164	2,187
12			2,183	2,192	2,179
13		1"	2,220	2,236	2,224
14			2,261	2,241	2,263
15			2,213	2,196	2,218
16		3/4"	2,219	2,222	2,188
17			2,236	2,255	2,131
18			2,221	2,222	2,134
19	3	1 1/2"	2,212	2,214	2,288
20			2,202	2,205	2,269
21			2,208	2,201	2,235
22		1"	2,193	2,153	2,245
23			2,179	2,151	2,249
24			2,192	2,150	2,244
25		3/4"	2,142	2,134	2,156
26			2,196	2,187	2,129
27			2,168	2,183	2,154

Fuente: Elaboración propia

4.2. CURVAS DE FRECUENCIA

Se realizará la obtención de todas las gráficas de curvas de frecuencia para un análisis descriptivo.

4.2.1. Curva de frecuencia Dmax (t-180)

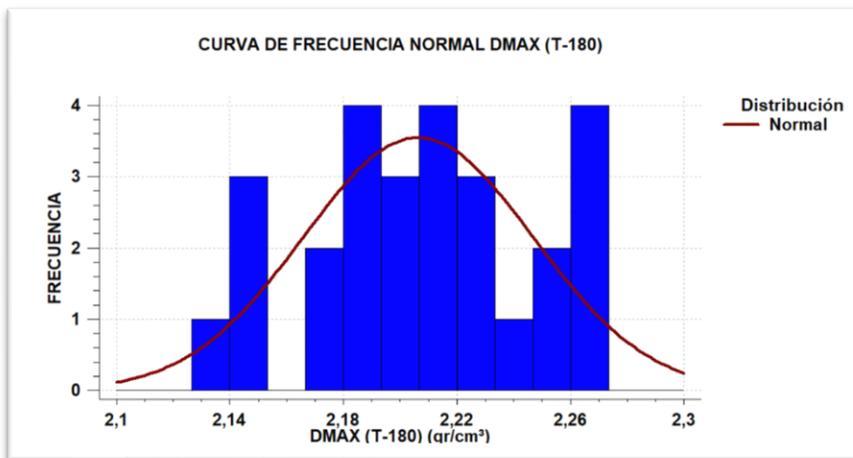
Se realizó la curva de frecuencia para el método proctor t-180 y el polígono de frecuencia relativo y acumulado:

Tabla N° 27 Tabla de frecuencia método t-180

Tabla de frecuencias para Dmax (T-180)							
Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Porcentaje de frecuencia relativa (%)	Frecuencia acumulada	Porcentaje de frecuencia rel. acum. (%)
	Menor o igual	2,100		0	0,000	0	0,000
1	2,100	2,113	2,107	0	0,000	0	0,000
2	2,113	2,127	2,120	0	0,000	0	0,000
3	2,127	2,140	2,133	1	3,700	1	3,700
4	2,140	2,153	2,147	3	11,110	4	14,810
5	2,153	2,167	2,160	0	0,000	4	14,810
6	2,167	2,180	2,173	2	7,410	6	22,220
7	2,180	2,193	2,187	4	14,810	10	37,040
8	2,193	2,207	2,200	3	11,110	13	48,150
9	2,207	2,220	2,213	4	14,810	17	62,960
10	2,220	2,233	2,227	3	11,110	20	74,070
11	2,233	2,247	2,240	1	3,700	21	77,780
12	2,247	2,260	2,253	2	7,410	23	85,190
13	2,260	2,273	2,267	4	14,810	27	100,000
14	2,273	2,287	2,280	0	0,000	27	100,000
15	2,287	2,300	2,293	0	0,000	27	100,000
	Mayor de	2,300		0	0,000	27	100,000

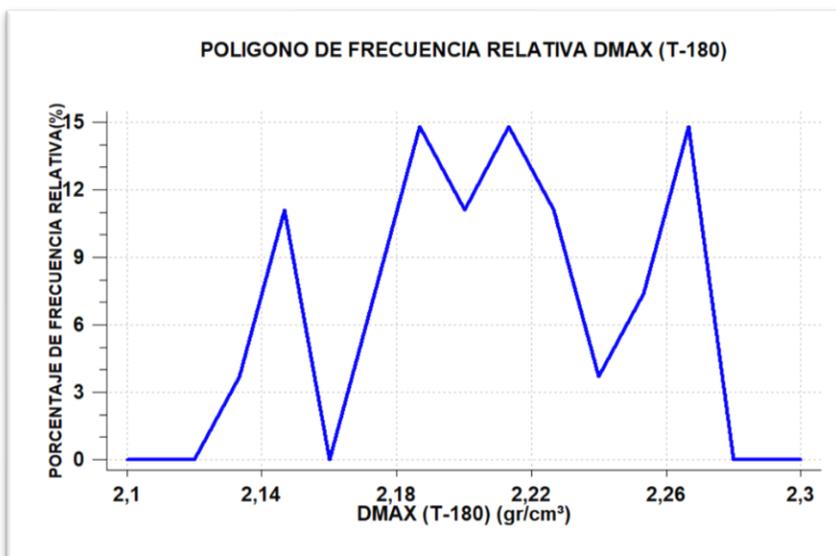
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 4 Curva de frecuencia t-180 distr. normal



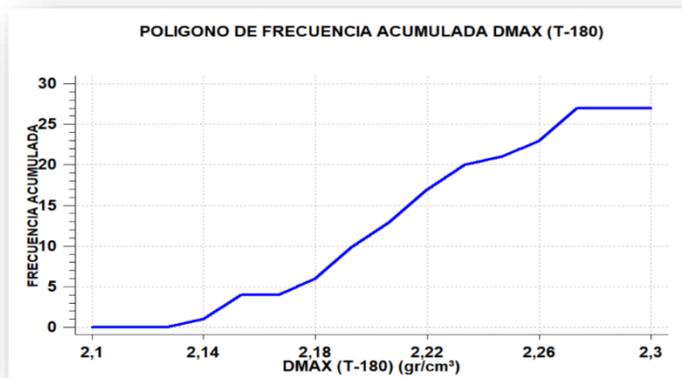
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 5 Polígono de frecuencia relat. t-180



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 6 Polígono de frecuencia acum. t-180



Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Curva de frecuencia Dmax (Mesa Mto. Seco)

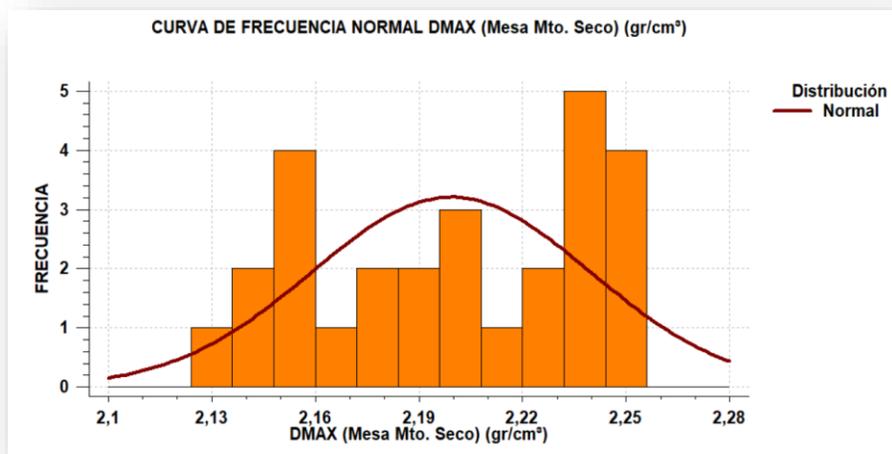
Se realizó la curva de frecuencia para el método de la mesa vibratoria en su método seco y el polígono de frecuencia relativo y acumulado:

Tabla N° 28 Tabla de frecuencia mesa método seco

Tabla de frecuencias para Dmax (Mesa Mto. Seco)							
Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Porcentaje de frecuencia relativa (%)	Frecuencia acumulada	Porcentaje de frecuencia rel. acum. (%)
	menor o igual	2,100		0	0,000	0	0,000
1	2,100	2,112	2,106	0	0,000	0	0,000
2	2,112	2,124	2,118	0	0,000	0	0,000
3	2,124	2,136	2,130	1	3,700	1	3,700
4	2,136	2,148	2,142	2	7,410	3	11,110
5	2,148	2,160	2,154	4	14,810	7	25,930
6	2,160	2,172	2,166	1	3,700	8	29,630
7	2,172	2,184	2,178	2	7,410	10	37,040
8	2,184	2,196	2,190	3	11,110	13	48,150
9	2,196	2,208	2,202	2	7,410	15	55,560
10	2,208	2,220	2,214	1	3,700	16	59,260
11	2,220	2,232	2,226	2	7,410	18	66,670
12	2,232	2,244	2,238	5	18,520	23	85,190
13	2,244	2,256	2,250	4	14,810	27	100,000
14	2,256	2,268	2,262	0	0,000	27	100,000
15	2,268	2,280	2,274	0	0,000	27	100,000
	mayor de	2,280		0	0,000	27	100,000

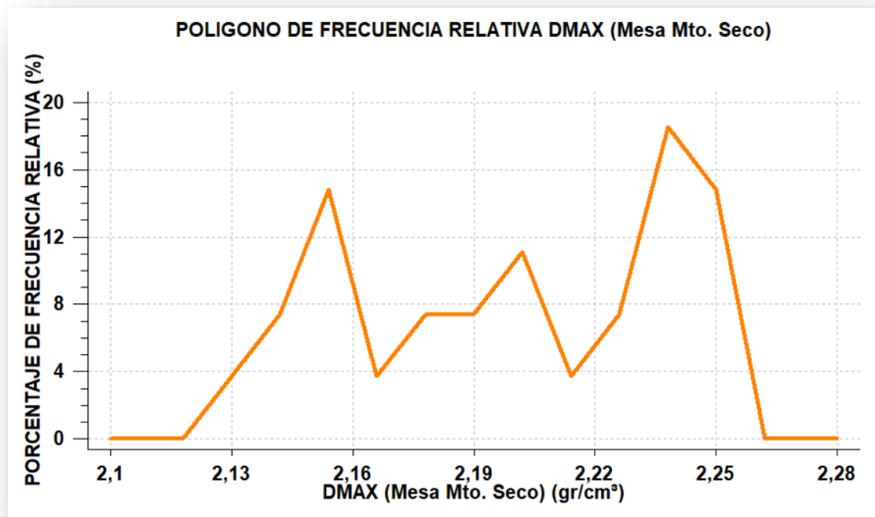
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 7 Curva de frecuencia método seco distr. normal



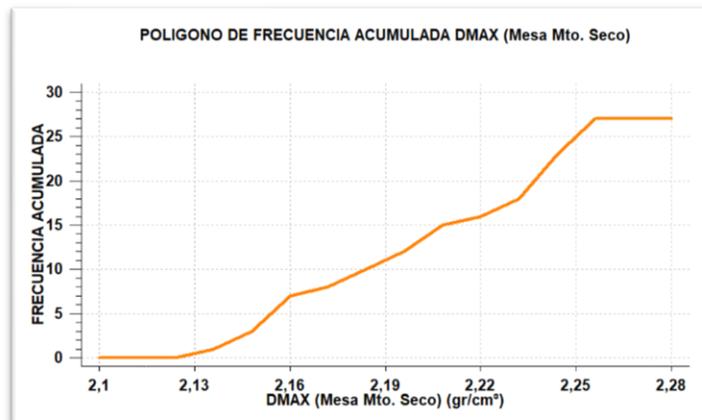
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 8 Polígono de frecuencia relat. mesa mto. seco



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 9 Polígono de frecuencia acum. mesa Mto. seco



Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Curva de frecuencia Dmax (Mesa Mto. Húmedo)

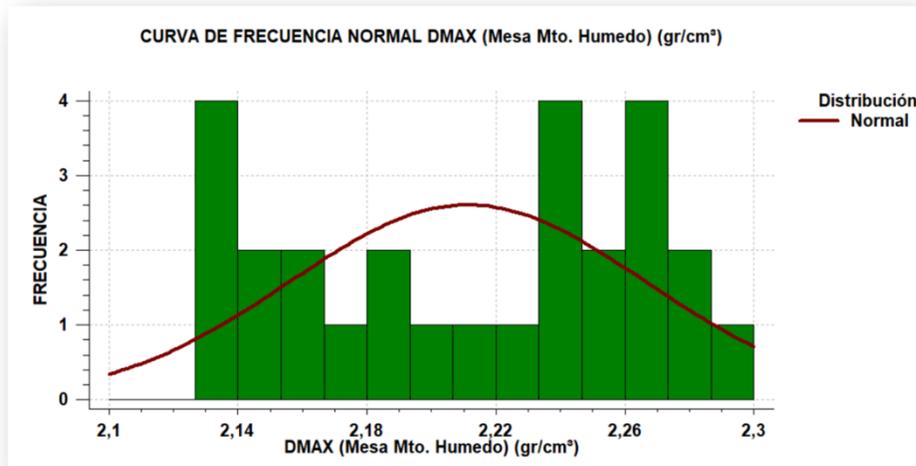
Se realizó la curva de frecuencia para el método de la mesa vibratoria en su método húmedo y el polígono de frecuencia relativo y acumulado:

Tabla N° 29 Tabla de frecuencia mesa método húmedo

Tabla de frecuencias para Dmax (Mesa Mto. Húmedo)							
Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Porcentaje de frecuencia relativa (%)	Frecuencia acumulada	Porcentaje de frecuencia rel. acum. (%)
	menor o igual	2,100		0	0,000	0	0,000
1	2,100	2,113	2,107	0	0,000	0	0,000
2	2,113	2,127	2,120	0	0,000	0	0,000
3	2,127	2,140	2,133	4	0,148	4	0,148
4	2,140	2,153	2,147	2	0,074	6	0,222
5	2,153	2,167	2,160	2	0,074	8	0,296
6	2,167	2,180	2,173	1	0,037	9	0,333
7	2,180	2,193	2,187	2	0,074	11	0,407
8	2,193	2,207	2,200	1	0,037	12	0,444
9	2,207	2,220	2,213	1	0,037	13	0,482
10	2,220	2,233	2,227	1	0,037	14	0,519
11	2,233	2,247	2,240	4	0,148	18	0,667
12	2,247	2,260	2,253	2	0,074	20	0,741
13	2,260	2,273	2,267	4	0,148	24	0,889
14	2,273	2,287	2,280	2	0,074	26	0,963
15	2,287	2,300	2,293	1	0,037	27	1,000
	mayor de	2,300		0	0,000	27	1,000

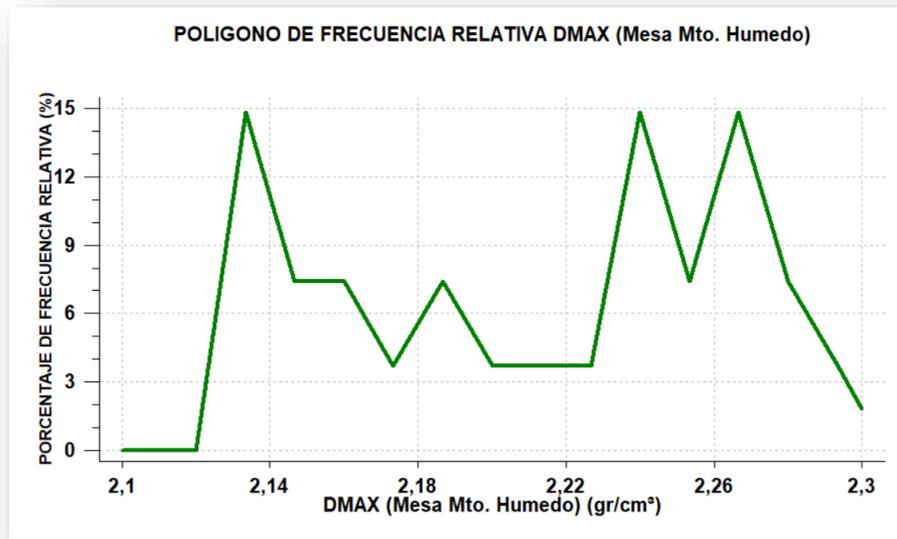
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 10 Curva de frecuencia Mto. húmedo distri. normal



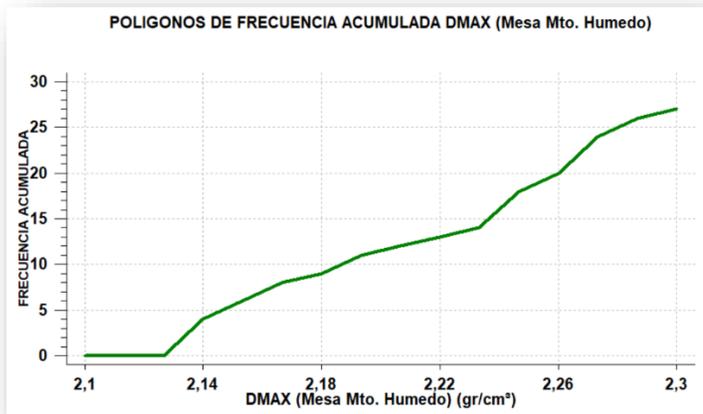
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 11 Polígono de frecuencia relat. mesa Mto. húmedo



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 12 Polígono de frecuencia acum. mesa Mto. húmedo



Fuente: Elaboración propia

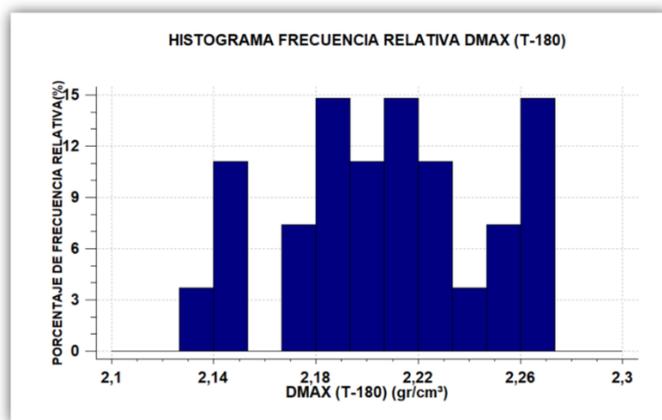
4.3. HISTOGRAMAS

Para el análisis estadístico se deberá realizar los histogramas de frecuencia.

4.3.1. Histograma de frecuencia Dmax (t-180)

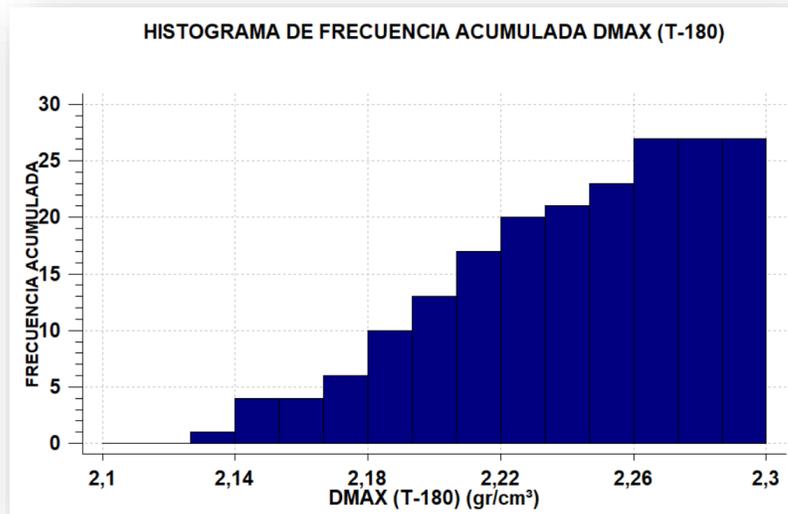
Se realizaron los histogramas para el ensayo de Proctor t-180 tanto en datos de frecuencia relativos y acumulados.

Gráfico N° 13 Histograma de frecuencia relat. t-180



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 14 Histograma de frecuencia acum. t-180

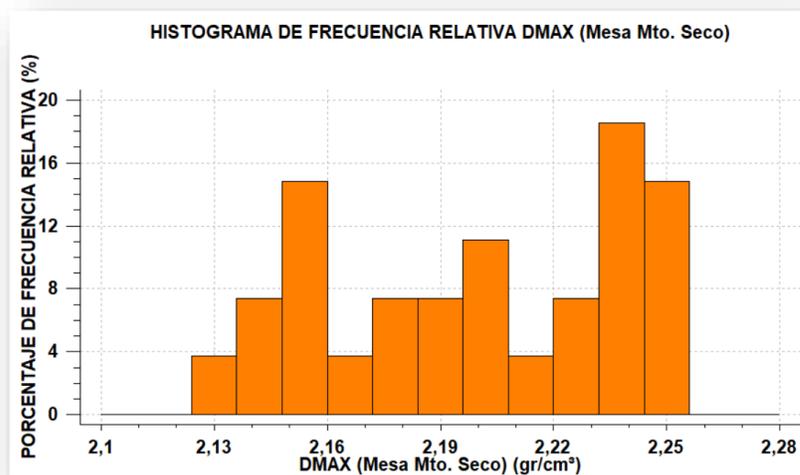


Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Histograma de frecuencia Dmax (Mesa Mto. Seco)

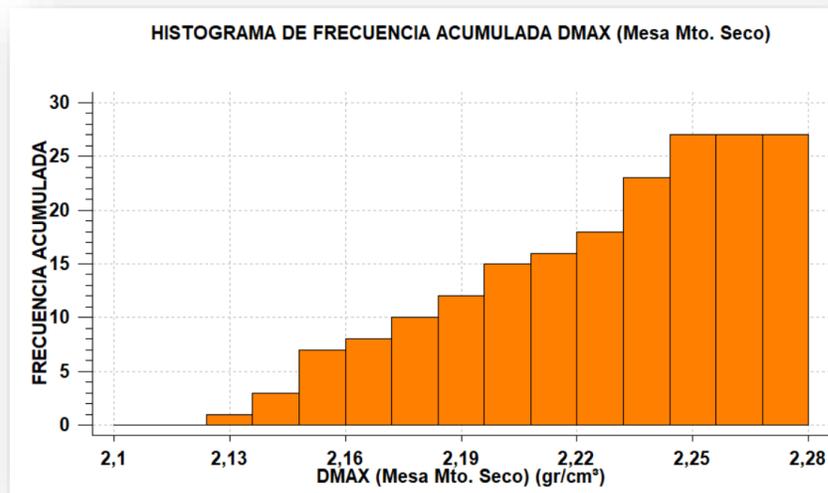
Se realizaron los histogramas para el ensayo de la mesa vibratoria en su método seco tanto en datos de frecuencia relativos y acumulados.

Gráfico N° 15 Histograma de frecuencia relat. mesa Mto. seco



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 16 Histograma de frecuencia acum. mesa Mto. Seco

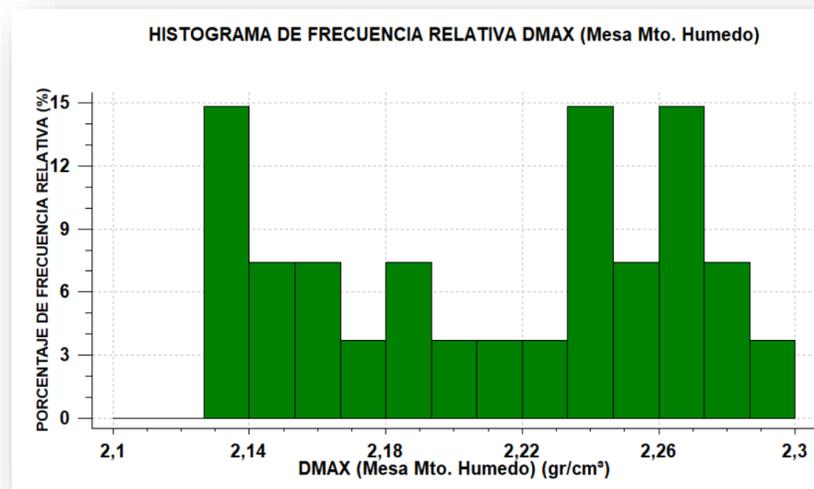


Fuente: Elaboración propia

4.3.3. Histograma de frecuencia Dmax (Mesa Mto. Húmedo)

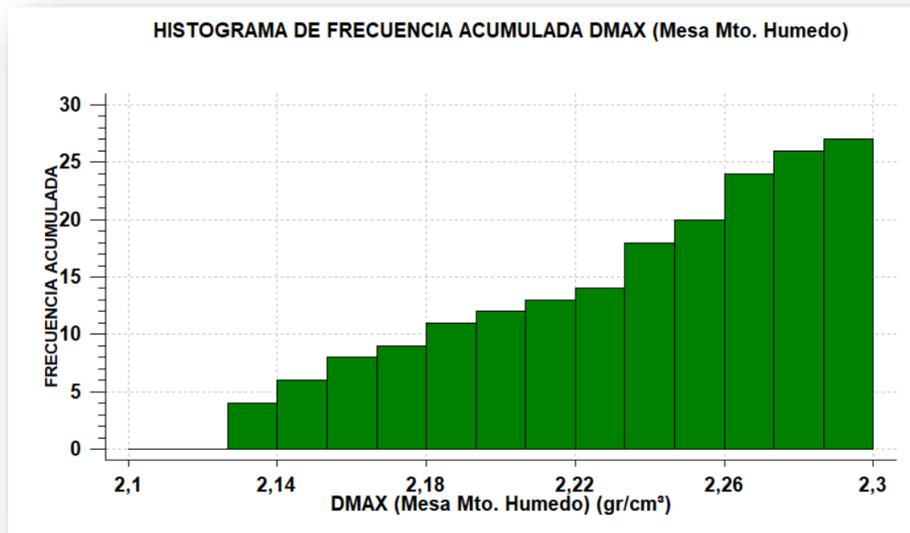
Se realizaron los histogramas para el ensayo de la mesa vibratoria en su método húmedo tanto en datos de frecuencia relativos y acumulados.

Gráfico N° 17 Histograma de frecuencia relat. mesa Mto. húmedo



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 18 Histograma de frecuencia acum. mesa Mto. húmedo



Fuente: Elaboración propia

4.4. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL Y MEDIDAS DE DISPERSIÓN

Se realizará el cálculo de las medidas tanto centrales como de dispersión para el análisis descriptivo y posterior para el análisis inferencial.

➤ Media

La media (también llamada promedio o media aritmética) de un conjunto de datos es una medida de posición central. La definiremos como el valor característico de la serie de datos resultado de la suma de todas las observaciones dividido por el número total de datos.

$$\text{Media}(X) = \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}$$

➤ Moda

En la estadística, la moda es el valor que aparece con mayor frecuencia en un conjunto de datos.

➤ **Mediana**

La mediana es un estadístico de posición central que parte la distribución en dos, es decir, deja la misma cantidad de valores a un lado que a otro.

$$M_e = \frac{\sum_{i=1}^N X_i * f_i}{N}$$

➤ **Desviación estándar**

La desviación estándar o desviación típica es una medida que ofrece información sobre la dispersión media de una variable. La desviación estándar es siempre mayor o igual que cero.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N}}$$

➤ **Varianza**

La varianza es una medida de dispersión que representa la variabilidad de una serie de datos respecto a su media. Formalmente se calcula como la suma de los residuos al cuadrado divididos entre el total de observaciones.

$$\text{Var}(X) = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}$$

➤ **Rango**

El rango es un valor numérico que indica la diferencia entre el valor máximo y el mínimo de una población o muestra estadística.

$$R = \text{Max}(X_i) - \text{Min}(X_i)$$

Tabla N° 30 Tabla de medidas centrales y de dispersión

Banco de material	1			2			3		
Método de compactación	T-180	Mesa Mto. Seco	Mesa Mto. Húmedo	T-180	Mesa Mto. Seco	Mesa Mto. Húmedo	T-180	Mesa Mto. Seco	Mesa Mto. Húmedo
Densidad máxima (gr/cm³)	2,263	2,245	2,264	2,196	2,177	2,197	2,212	2,214	2,288
	2,260	2,250	2,258	2,183	2,164	2,187	2,202	2,205	2,269
	2,249	2,242	2,238	2,183	2,192	2,179	2,208	2,201	2,235
	2,264	2,246	2,280	2,220	2,236	2,224	2,193	2,153	2,245
	2,273	2,242	2,271	2,261	2,241	2,263	2,179	2,151	2,249
	2,223	2,241	2,283	2,213	2,196	2,218	2,192	2,150	2,244
	2,127	2,137	2,127	2,219	2,222	2,188	2,142	2,134	2,156
	2,143	2,150	2,147	2,236	2,255	2,131	2,196	2,187	2,129
2,145	2,146	2,145	2,221	2,222	2,134	2,168	2,183	2,154	
Media	2,216	2,211	2,224	2,215	2,212	2,191	2,188	2,175	2,219
Moda		2,242		2,183	2,222				
Mediana	2,249	2,242	2,258	2,219	2,222	2,188	2,193	2,183	2,244
Media geométrica	2,216	2,210	2,223	2,215	2,211	2,191	2,188	2,175	2,218
Desviación estándar	0,060	0,050	0,065	0,025	0,031	0,042	0,022	0,029	0,057
Varianza	0,004	0,003	0,004	0,001	0,001	0,002	0,000	0,001	0,003
Rango	0,146	0,113	0,156	0,078	0,091	0,132	0,070	0,080	0,159
Valor máximo	2,273	2,250	2,283	2,261	2,255	2,263	2,212	2,214	2,288
Valor mínimo	2,127	2,137	2,127	2,183	2,164	2,131	2,142	2,134	2,129
Error estándar	0,020	0,017	0,022	0,008	0,010	0,014	0,007	0,010	0,019

Fuente: Elaboración propia

4.5. ESTADÍSTICA INFERENCIAL

➤ Error absoluto

El error absoluto de una medida es la diferencia entre el valor real de la medida y el valor que se ha obtenido en la medición.

El error absoluto puede ser un valor positivo o negativo, según si la medida es superior al valor real o inferior y además tiene las mismas unidades que las de la medida.

$$e = \frac{\sum_{i=1}^N (|X_N - \bar{x}|)}{N}$$

➤ Error relativo

El error relativo de una medida es el cociente entre el error absoluto de la medida y el valor real de ésta.

$$E = \frac{e}{\bar{x}}$$

➤ Error porcentual

El error porcentual es la manifestación de un error relativo en términos porcentuales. En otras palabras, es un error numérico expresado por el valor que arroja un error relativo, posteriormente multiplicado por 100.

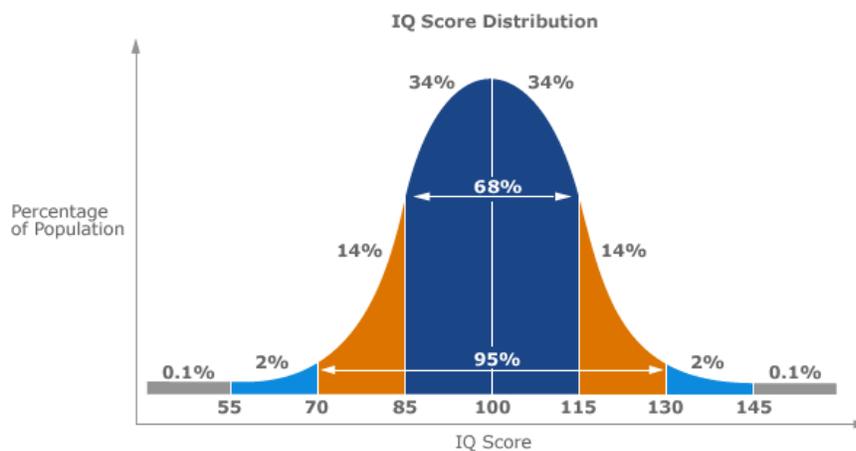
$$E\% = E \times 100$$

➤ **Error probable**

Es una forma estadística de estimar las posibilidades de errores aleatorios en un sistema de medición.

La determinación de este error se basa en una representación gráfica construida en función de la media aritmética la desviación estándar y los valores medidos.

Gráfico N° 19 Ejemplo de campana de Gauss



Fuente: Anónimo

$$\text{Error probable} = 0.95 \times \sigma$$

➤ **Intervalos de confianza**

El intervalo de confianza describe la variabilidad entre la medida obtenida en un estudio y la medida real de la población (el valor real). Corresponde a un rango de valores, cuya distribución es normal y en el cual se encuentra, con alta probabilidad, el valor real de una determinada variable. Esta «alta probabilidad» se ha establecido por consenso en 95%. Así, un intervalo de confianza de 95% nos indica que dentro del rango dado se encuentra el valor real de un parámetro con 95% de certeza.

$$\text{Intervalo de confianza} = \text{media} \pm \text{Error probable}$$

Tabla N° 31 Tabla de errores e intervalos de confianza

Banco de material	1			2			3		
Método de compactación	T-180	Mesa Mto. Seco	Mesa Mto. Húmedo	T-180	Mesa Mto. Seco	Mesa Mto. Húmedo	T-180	Mesa Mto. Seco	Mesa Mto. Húmedo
Densidad máxima (gr/cm³)	2,263	2,245	2,264	2,196	2,177	2,197	2,212	2,214	2,288
	2,260	2,250	2,258	2,183	2,164	2,187	2,202	2,205	2,269
	2,249	2,242	2,238	2,183	2,192	2,179	2,208	2,201	2,235
	2,264	2,246	2,280	2,220	2,236	2,224	2,193	2,153	2,245
	2,273	2,242	2,271	2,261	2,241	2,263	2,179	2,151	2,249
	2,223	2,241	2,283	2,213	2,196	2,218	2,192	2,150	2,244
	2,127	2,137	2,127	2,219	2,222	2,188	2,142	2,134	2,156
	2,143	2,150	2,147	2,236	2,255	2,131	2,196	2,187	2,129
	2,145	2,146	2,145	2,221	2,222	2,134	2,168	2,183	2,154
Error absoluto	0,052	0,045	0,056	0,019	0,026	0,030	0,017	0,025	0,048
Error relativo	0,023	0,020	0,025	0,008	0,012	0,014	0,008	0,012	0,022
Error porcentual	2,343	2,016	2,525	0,837	1,184	1,385	0,767	1,151	2,179
Error probable	0,046	0,039	0,050	0,019	0,024	0,032	0,017	0,022	0,044
Intervalo positivo de confianza	2,263	2,250	2,273	2,234	2,235	2,223	2,205	2,198	2,263
Intervalo negativo de confianza	2,170	2,172	2,174	2,195	2,188	2,159	2,171	2,153	2,175

Fuente: Elaboración propia

4.6. PRUEBA DE HIPÓTESIS

Este procedimiento está diseñado para comparar dos muestras de datos en base a los datos estadísticos recopilados, para determinar si hay diferencias estadísticamente significativas entre las dos muestras, para poder realizar la prueba de hipótesis se vio por conveniente utilizar el método de comparación de medias por una prueba-t en el cual mostraría el nivel de variación entre las medias para la determinación de la variable nula y alternativa.

4.6.1. Prueba de hipótesis D_{max} (T-180) versus D_{max} (Mesa Mto. Seco)

➤ Banco de material 1

✓ Comparación de medias

Se realizará una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -0,050 hasta 0,061. Puesto que el intervalo contiene el valor de 0, no hay diferencia significativa entre las medias de las dos muestras de datos, con un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla N° 32 Tabla de interv. de conf. para la media banco 1

Intervalos de confianza del 95,0% para la media de T-180	2,170	2,263
Intervalos de confianza del 95,0% para la media de Mesa Mto. Seco	2,250	2,172
Intervalos de confianza del 95,0% intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales.	0,061	-0,050

Fuente: Elaboración propia

Prueba-t para comparar medias:

Hipótesis nula:

$$H_0 \rightarrow \bar{X}_1 - \bar{X}_2 = 0$$

Hipótesis Alternativa:

$$H_A \rightarrow \bar{X}_1 - \bar{X}_2 \neq 0$$

suponiendo varianzas iguales:

$$t = 0,204 \quad \text{valor-P} = 0,841$$

No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0,05$.

También puede usarse una prueba-t para evaluar hipótesis específicas acerca de la diferencia entre las medias de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, la prueba se ha construido para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0,0 versus la hipótesis alterna de que la diferencia no es igual a 0,0. Puesto que el valor-P calculado no es menor que 0,05, no se puede rechazar la hipótesis nula.

➤ **Banco de material 2**

✓ **Comparación de medias**

Se realizará una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -0,025 hasta 0,031. Puesto que el intervalo contiene el valor de 0, no hay diferencia significativa entre las medias de las dos muestras de datos, con un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla N° 33 Tabla de interv. de conf. para la media banco 2

Intervalos de confianza del 95,0% para la media de T-180	2,234	2,195
Intervalos de confianza del 95,0% para la media de Mesa Mto. Seco	2,235	2,187
Intervalos de confianza del 95,0% intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales.	0,031	-0,025

Fuente: Elaboración propia

Hipótesis nula:

$$H_0 \rightarrow \bar{X}_1 - \bar{X}_2 = 0$$

Hipótesis Alternativa:

$$H_A \rightarrow \bar{X}_1 - \bar{X}_2 \neq 0$$

suponiendo varianzas iguales:

$$t = 0,226 \quad \text{valor-P} = 0,824$$

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

➤ **Banco de material 3**

✓ **Comparación de medias**

Se realizará una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -0,013 hasta 0,038. Puesto que el intervalo contiene el valor de 0, no hay diferencia significativa entre las medias de las dos muestras de datos, con un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla N° 34 Tabla de interv. de conf. para la media banco 3

Intervalos de confianza del 95,0% para la media de T-180	2,205	2,171
Intervalos de confianza del 95,0% para la media de Mesa Mto. Seco	2,198	2,153
Intervalos de confianza del 95,0% intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales.	0,038	-0,013

Fuente: Elaboración propia

Prueba-t para comparar medias:

Hipótesis nula:

$$H_0 \rightarrow \bar{X}_1 - \bar{X}_2 = 0$$

Hipótesis Alternativa:

$$H_A \rightarrow \bar{X}_1 - \bar{X}_2 \neq 0$$

suponiendo varianzas iguales:

$$t = 1,047 \quad \text{valor-P} = 0,311$$

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

4.6.2. Prueba de hipótesis Dmax (T-180) versus Dmax (Mesa Mto. Húmedo)

➤ Banco de material 1

✓ Comparación de medias

Se realizará una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -0,070 hasta 0,055. Puesto que el intervalo contiene el valor de 0, no hay diferencia significativa entre las medias de las dos muestras de datos, con un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla N° 35 Tabla de interv. de conf. para la media banco 1

Intervalos de confianza del 95,0% para la media de T-180	2,170	2,263
Intervalos de confianza del 95,0% para la media de Mesa Mto. Húmedo	2,273	2,174
Intervalos de confianza del 95,0% intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales.	0,070	-0,055

Fuente: Elaboración propia

Prueba-t para comparar medias:

Hipótesis nula:

$$H_0 \rightarrow \bar{X}_1 - \bar{X}_2 = 0$$

Hipótesis Alternativa:

$$H_A \rightarrow \bar{X}_1 - \bar{X}_2 \neq 0$$

suponiendo varianzas iguales:

$$t = -0,249 \quad \text{valor-P} = 0,806$$

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

➤ **Banco de material 2**

✓ **Comparación de medias**

Se realizará una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -0,011 hasta 0,058. Puesto que el intervalo contiene el valor de 0, no hay diferencia significativa entre las medias de las dos muestras de datos, con un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla N° 36 Tabla de interv. de conf. para la media banco 2

Intervalos de confianza del 95,0% para la media de T-180	2,234	2,195
Intervalos de confianza del 95,0% para la media de Mesa Mto. Húmedo	2,223	2,159
Intervalos de confianza del 95,0% intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales.	0,058	-0,011

Fuente: Elaboración propia

Prueba-t para comparar medias:

Hipótesis nula:

$$H_0 \rightarrow \bar{X}_1 - \bar{X}_2 = 0$$

Hipótesis Alternativa:

$$H_A \rightarrow \bar{X}_1 - \bar{X}_2 \neq 0$$

suponiendo varianzas iguales:

$$t = 1,440 \quad \text{valor-P} = 0,169$$

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

➤ **Banco de material 3**

✓ **Comparación de medias**

Se realizará una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -0,074 hasta 0,012. Puesto que el intervalo contiene el valor de 0, no hay diferencia significativa entre las medias de las dos muestras de datos, con un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla N° 37 Tabla de interv. de conf. para la media banco 3

Intervalos de confianza del 95,0% para la media de T-180	2,205	2,171
Intervalos de confianza del 95,0% para la media de Mesa Mto. Húmedo	2,262	2,175
Intervalos de confianza del 95,0% intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales.	0,012	-0,074

Fuente: Elaboración propia

Prueba-t para comparar medias:

Hipótesis nula:

$$H_0 \rightarrow \bar{X}_1 - \bar{X}_2 = 0$$

Hipótesis Alternativa:

$$H_A \rightarrow \bar{X}_1 - \bar{X}_2 \neq 0$$

suponiendo varianzas iguales:

$$t = 1,511 \quad \text{valor-P} = 0,150$$

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

Tabla N° 38 Tabla resumen de prueba de hipótesis

Banco	Comparación	Media
1	Dmax (T-180) vrs Dmax (Mesa mto. Seco)	Hipótesis Nula Verdadera
	Dmax (T-180) vrs Dmax (Mesa mto. Húmedo)	Hipótesis Nula Verdadera
2	Dmax (T-180) vrs Dmax (Mesa mto. Seco)	Hipótesis Nula Verdadera
	Dmax (T-180) vrs Dmax (Mesa mto. Húmedo)	Hipótesis Nula Verdadera
3	Dmax (T-180) vrs Dmax (Mesa mto. Seco)	Hipótesis Nula Verdadera
	Dmax (T-180) vrs Dmax (Mesa mto. Húmedo)	Hipótesis Nula Verdadera

Fuente: Elaboración propia

Como se puede evidenciar en la tabla final de la prueba de hipótesis, el cual fue realizado con una prueba t de comparación de medias, se puede ver que las densidades máximas en los dos métodos de compactación propuestos para el proyecto de grado, mostraría una prueba de hipótesis nula que indicaría que la diferencia entre las medias no es considerable y tendría una tendencia a ser cero.

Todos los datos estadísticos y la prueba t asumida para la realización de la prueba de hipótesis fueron proporcionados por el programa estadístico statgraphics, que se considera el programa con menor error en calculo y el más adecuado para el análisis estadístico.

4.7.ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

4.7.1. Ensayo Proctor T-180

Para realizar el método “D” del ensayo proctor t-180 que considera como tamaño máximo de partícula 11/2” es necesario tener un molde de aproximadamente un volumen de 2124 cm³ con un diámetro de 152.4 mm, una base metálica, un collar separable aproximadamente de 60 mm de altura, un martillo para proctor t-180, el suelo en su estado seco, taras, probeta de aproximadamente 500 y 1000 ml, un enrasador o regla metálica, un rociador, tamiz de determinado tamaño máximo, cuchara y bandejas las necesarias.

Se debe realizar el tamizado al tamaño máximo requerido ya sea de 11/2, 1 o ¾ de pulgada este debe ser secado con anterioridad de 24 horas en un horno de 100 °C, se debe pesar aproximadamente 6 kg y éste debe llevarse a un contenido de humedad conocido para un suelo aluvial se considera desde el 3% hasta un máximo del 12% ya que sobrepasando este contenido de humedad el suelo se sobre saturaría; se deberá calcular el volumen de agua requerido para poder alcanzar el contenido de humedad necesario se requiere la siguiente fórmula:

$$V_w = \frac{\%W_{\text{ensayado}} - \%W_{\text{actual}}}{100} \times W_{ss}$$

Donde:

V_w = Volumen de agua (ml)

$\%W_{\text{ensayado}}$ = Porcentaje de humedad requerido

$\%W_{\text{actual}}$ = Porcentaje de humedad actual

W_{ss} = Peso de suelo seco (gr)

El suelo debe ser llevado al contenido de humedad con el rociador esparciéndolo de manera uniforme evitando que exista pérdida, se debe pesar el molde con su base metálica en una balanza de la misma manera se pesara las taras necesarias para el

ensayo, posterior colocar el molde en el piso, los 6 kg de suelo humedecido deben ser dividido en 5 capas iguales para poder verter una capa al molde, se deberá colocar el collarín en la parte superior del molde.

Se deberá realizar 56 golpes por capa para la muestra de 6 kg es decir para las cinco capas una vez acabado el proceso se deberá retirar el collarín y se deberá retirar el exceso de suelo enrasando lo en el molde metálico como una vez enrasado el suelo este deberá ser llevado a una balanza para pesar.

Después de este proceso se deberá retirar el suelo del molde con ayuda de un combo sacando una muestra de la parte central para colocarla en una tara que posterior se llevará a una balanza Para poder pesar la masa de suelo humedecido, terminado el proceso se llevará las taras a un horno de 100 grados centígrados durante 24 horas pasado este lapso de tiempo se volverá a pesar la masa de suelo seco.

Este procedimiento se deberá realizar a los diferentes porcentajes de humedad para poder determinar la curva de compactación se lo debe realizar mínimo en tres puntos en los cuales uno de ellos el molde más el suelo húmedo reducirá su masa.

Para el cálculo de la densidad máxima con los datos proporcionados por el ensayo del proctor t-180 se lo determina en base a la curva de compactación de la misma manera el porcentaje de humedad óptimo. La fórmula para el cálculo de la densidad máxima a diferente contenido de humedad es:

$$D_{sh} = \frac{\text{Peso de suelo húmedo}}{\text{Volumen del molde}}$$

$$D_{ss} = \frac{D_{sh}}{100 + W\%} \times 100$$

Donde:

D_{sh} = Densidad de suelo húmedo (gr/cm^3)

D_{ss} = Densidad de suelo seco (gr/cm^3)

W% = Porcentaje de humedad real

4.7.2. Ensayo de la mesa vibratoria método seco

Para realizar el ensayo de la mesa vibratoria en su método seco es necesario tener dos moldes de aproximadamente un volumen de 14200 cm^3 y de 2830 cm^3 , una mesa vibratoria que posea las especificaciones que da la norma ASTM y NCH, un collarín, una placa metálica, carga de 80 y 25 kg aproximadamente, un combo, el suelo en su estado seco, un enrasador o regla metálica, un extensómetro o deformómetro, un cronometro, llaves para tuercas, llaves allen, tamiz de determinado tamaño máximo, cuchara y bandejas las necesarias.

Primeramente, para realizar el ensayo es conveniente realizar una calibración de ambos moldes tanto pequeño como grande, la calibración se basa en llenar los moldes con agua sobre una balanza hasta enrasar, se coloca un termómetro en el agua para medir la temperatura actual del agua, se anota la masa del molde y del agua, se calcula el volumen del molde en base a una fórmula sencilla obteniendo la densidad del agua en las tablas de las normativas ASTM y NCH.

El suelo secado en un horno de temperatura aproximada de 100°C debe ser tamizado ya sea a $1\frac{1}{2}$, 1 o $\frac{3}{4}$ de pulgada como tamaño máximo de preferencia una masa de 34 kg para el molde grande y 11 kg para el molde pequeño, se debe retirar el molde de la mesa vibratoria con ayuda de las llaves para tuercas el molde debe ser pesado, después el suelo seco debe ser vertido en el molde con ayuda de una cuchara evitando golpes o presiones hasta que esté totalmente enrasado, posterior se debe colocar el molde en la mesa con sus pernos de seguridad.

Colocar sobre la muestra la placa metálica de forma delicada y colocar en las ranuras el deformómetro o extensómetro para poder realizar la lectura inicial del suelo, luego se retira el deformómetro y se coloca el collarín asegurándolo con las llaves allen, una vez asegurado se coloca la carga que deberá soportar la muestra.

Se vibra durante un tiempo de 8 minutos a una intensidad de 8.5 a 9, terminada la vibración se retira la carga y el collarín, se procede a realizar una lectura final con el deformómetro para posterior retirar la placa metálica, se retira las tuercas de seguridad de la mesa y se lleva el molde a una balanza para determinar su peso.

Para determinar la densidad máxima por este método la fórmula que se necesita es:

$$D_{\max} = \frac{\text{Peso de suelo vibrado}}{V_m - \left(\frac{L_{\text{inicial}} - L_{\text{final}}}{10}\right) \times A_m}$$

Donde:

D_{\max} = Densidad máxima (gr/cm³)

V_m = Volumen del molde (cm³)

L_{inicial} = Lectura inicial (mm)

L_{final} = Lectura final (mm)

A_m = Área del molde (cm²)

4.7.3. Ensayo de la mesa vibratoria método húmedo

Para realizar el ensayo de la mesa vibratoria en su método húmedo es necesario tener dos moldes de aproximadamente un volumen de 14200 cm³ y de 2830 cm³, una mesa vibratoria que posea las especificaciones que da la norma ASTM y NCH, un collarín, una placa metálica, carga de 80 y 25 kg aproximadamente, un combo, el suelo en su estado seco, un enrasador o regla metálica, un extensómetro o deformómetro, un cronometro, llaves para tuercas, llaves allen, probeta de aproximadamente 500 y 1000 ml, un rociador, tamiz de determinado tamaño máximo, cuchara y bandejas las necesarias.

Primeramente, para realizar el ensayo es conveniente realizar una calibración de ambos moldes tanto pequeño como grande, la calibración se basa en llenar los moldes con agua sobre una balanza hasta enrasar, se coloca un termómetro en el agua para medir

la temperatura actual del agua, se anota la masa del molde y del agua, se calcula el volumen del molde en base a una fórmula sencilla obteniendo la densidad del agua en las tablas de las normativas ASTM y NCH.

El suelo secado en un horno de temperatura aproximada de 100°C debe ser tamizado ya sea a 11/2, 1 o ¾ de pulgada como tamaño máximo de preferencia una masa de 34 kg para el molde grande y 11 kg para el molde pequeño, se debe humedecer el suelo a un determinado contenido de humedad, se debe retirar el molde de la mesa vibratoria con ayuda de las llaves para tuercas el molde debe ser pesado, después el suelo seco debe ser vertido en el molde con ayuda de una cuchara evitando golpes o presiones hasta que esté totalmente enrasado, posterior se debe colocar el molde en la mesa con sus pernos de seguridad.

Colocar sobre la muestra la placa metálica de forma delicada y colocar en las ranuras el deformómetro o extensómetro para poder realizar la lectura inicial del suelo, luego se retira el deformómetro y se coloca el collarín asegurándolo con las llaves allen, una vez asegurado se coloca la carga que deberá soportar la muestra.

Se vibra durante un tiempo de 8 minutos a una intensidad de 8.5 a 9, terminada la vibración se retira la carga y el collarín, se procede a realizar una lectura final con el deformómetro para posterior retirar la placa metálica, se retira las tuercas de seguridad de la mesa y se lleva el molde a una balanza para determinar su peso.

Este procedimiento es igual al método seco con la diferencia que el suelo está humedecido a un contenido de humedad conocido gracias a las probetas o se lo puede realizar a un contenido de humedad desconocido o natural.

Para determinar la densidad máxima por este método la fórmula que se necesita es:

$$D_{\max} = \frac{\text{Peso de suelo vibrado}}{V_m - \left(\frac{L_{\text{inicial}} - L_{\text{final}}}{10} \right) \times A_m}$$

Donde:

D_{\max} = Densidad máxima (gr/cm^3)

V_m = Volumen del molde (cm^3)

L_{inicial} = Lectura inicial (mm)

L_{final} = Lectura final (mm)

A_m = Área del molde (cm^2)

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- En el presente proyecto de grado se logró comparar los efectos de las densidades máximas por medio de dos tipos de ensayos diferentes para un tipo de suelo especial que es el suelo no cohesivo.
- Se concluyó el presente trabajo de investigación con un análisis descriptivo donde se encontraron los valores de medidas de tendencia central y de dispersión de los 3 bancos de material, conjuntamente con el análisis inferencial con la obtención de los rangos de confianza al 95%.
- Se realizó una prueba de hipótesis comparando la media en la cual la hipótesis es nula con datos verdaderos mostrando que ambos métodos como ser el seco y húmedo del ensayo de la mesa vibratoria tiene similitud con el ensayo del proctor t-180.
- Se pudo evidenciar que la densidad máxima puede variar según el tamaño máximo de la partícula, aunque su variación es muy poca y no es relevante.
- Los métodos de compactación tanto con el proctor y el método de vibración bajo carga constante son adecuados a cualquier tipo de suelo a excepción de algunas restricciones.
- Se concluye que el ensayo proctor es más mecánico y necesita una muestra menor del suelo a diferencia del ensayo de la mesa vibratoria donde es un método más directo, pero necesita una muestra muy considerable del suelo.
- El método de vibración bajo carga constante puede mostrar una modelación en laboratorio de lo que sería una compactación en campo con un rodillo vibratorio.

- Finalmente se concluye que el método de vibración bajo carga constante es adecuado para su uso en obras civiles ya que proporciona datos coherentes y reales.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar compactaciones por varios métodos para obtener densidades máximas promedio que sean reales para su uso en cualquier tipo de obra civil.
- Se considera adecuado utilizar guantes de albañil al momento de realizar los ensayos de compactación para poder evitar cualquier tipo de accidente.
- Se recomienda utilizar tamaños máximos de $\frac{3}{4}$ " para su compactación con el proctor (t-180) ya que a tamaños mayores las partículas tienden a romperse.
- Se recomienda utilizar un trípode o un sistema de poleas adecuado para poder manipular la sobrecarga a la cual está sometida la muestra en el método de vibración bajo carga constante ya que la carga no es fácil de manipular con una sola persona.
- Se recomendaría entender a mayores rasgos la norma del método de compactación bajo carga constante.
- Finalmente se recomendaría realizar un mantenimiento a los equipos de laboratorio de la universidad ya que algunos se descalibran y no muestran datos coherentes y reales.