

1.1 INTRODUCCIÓN.

La compactación de suelos es el proceso mecánico con el cual se busca mejorar las características de resistencia que puede portar dicho suelo, mediante una reducción de los vacíos y como consecuencia de ello en el suelo se presentan cambios volumétricos, esto principalmente por la pérdida de aire.

En este proceso de compactación, la mecánica de suelos distingue dos características fundamentales, como lo son la densidad máxima seca y su correspondiente humedad óptima. La densidad seca máxima de un suelo es la relación de peso y volumen, mayor que puede llegar a tener dicho suelo cuando este adquiera su humedad óptima y recibe una compactación normalizada ; la humedad óptima es la cantidad de agua que debe poseer un suelo para que este adquiera dicha densidad máxima.

Desde varios años atrás la compactación de suelos cumple una función muy importante en la construcción de obras viales, puesto que es preciso obtener la óptima compactación de los suelos de dichas vías, por seguridad, confort y sobre todo darle una mayor resistencia y vida útil a los caminos evitando o disminuyendo las deformaciones que se pueden presentar a causa de las cargas ocasionadas por los vehículos que circulan por dichas vías.

Algunos países en América toman muy cuenta la compactación de suelos para sus proyectos basándose en la norma AASHTO, el cual tiene un procedimiento de compactación normado, el cual nos da valores precisos de humedad óptima y densidad máxima de suelos, la realidad actual de nuestra zona, es que adoptamos dicha norma mencionada para nuestros trabajos de compactación; sin embargo a través del tiempo se comprobó que dicha norma dio buenos resultados para proyectos viales, con lo cual consolido este procedimiento en nuestro medio.

Lo que pretende el autor con este trabajo, es en base a diversos ensayos a realizar en laboratorio, siguiendo las normas y procedimientos adecuados para su validación, esto para diferentes suelos clasificados según es sistema AASHTO, determinar el

comportamiento de compactación que presentan dichos suelos, obteniendo diversos valores de humedad óptima y densidad seca máxima, de tal manera se pueda realizar un tratamiento estadístico para respaldar dichos valores encontrados, con la finalidad de utilizar estos valores de humedad óptima y densidad seca máxima para realizar controles y verificaciones en las especificaciones, sobre todo en obras viales.

Con el presente trabajo se dará un aporte práctico y teórico, práctico por que se realizaran varios ensayos de compactación a diversos suelos clasificados según el sistema AASHTO, y teórico por que se llegara a obtener una referencia bibliográfica de valores de humedad óptima y densidad máxima de dichos suelos, estos datos tienen mucha importancia social, ya que son necesarios para realizar controles en pliegos de especificaciones de obras.

1.2 JUSTIFICACIÓN.

Tomando en cuenta que la compactación de suelos es un aspecto muy importante para la construcción de diferentes obras en el campo de ingeniería civil, como en cortinas de presas de tierra, diques, terraplenes para caminos y ferrocarriles, bordes de defensas, muelles, pavimentos y otros, es necesario contar con valores de dicha compactación de los diferentes tipos de suelos para poder realizar un mejor diseño o planificación de las obras y de esta manera conocer el comportamiento de compactación de los diferentes suelos, esto es demasiado importante, puesto que el suelo es el primer apoyo de toda construcción y de las características de dicho suelo dependerá la estabilidad, resistencia y vida útil que tendrán las obras.

Los valores de humedad óptima y densidad seca máxima que se lograra encontrar en el trabajo son características fundamentales de los suelos imprescindibles a tener en cuenta, puesto que estos datos nos ayudaran a darnos cuenta de cómo se comporta un suelo en cuanto a la compactación, además indirectamente podremos conocer que densidad seca máxima podemos alcanzar según tipo de suelo que se trate en alguna construcción, en resumen, será dar un aporte práctico y teórico, por los ensayos que se realizaran según el tipo de suelo y se brindara también una referencia bibliográfica

de los valores mencionados para tenerlos como datos confiables que se podrán utilizar en especificaciones de obras, sobre todo viales.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.3.1 SITUACIÓN PROBLÉMICA.

Actualmente en nuestra sociedad no se cuenta con un estudio o documento que respalde o justifique los valores de humedad óptima y densidad seca máxima para los diferentes suelos usados en construcciones de obras viales y otros, por lo cual se realizan ensayos en laboratorio para cada proyecto vial que se quiera construir, por lo cual esto se convierte en un inconveniente económico y en el tiempo, puesto que se debe contemplar un tiempo de espera para los ensayos a realizar a los suelos en laboratorios para obtener dichos valores y además se debe presupuestar un costo adicional para los mencionados ensayos, todo esto a fin de obtener valores de humedad y densidad debidamente respaldados.

1.3.2 PROBLEMA.

¿Se podrá determinar el comportamiento de la compactación que presentan los diferentes tipos de suelo?

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

1.4.1 Objetivo General.

Determinar el comportamiento de compactación que presentan los diferentes tipos de suelo, considerando la densidad seca máxima y humedad óptima de los mismos, en base a diversos ensayos a realizar en laboratorio, de tal manera se puedan utilizar estos valores para realizar controles y verificaciones en las especificaciones de obras donde se necesita el proceso de compactación, como ser en ripiados y en las diferentes capas de una carretera, base, sub base y sub rasante.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Realizar la revisión bibliográfica, en cuanto a la compactación de los suelos granulares, considerando la densidad seca máxima y humedad óptima de los mismos y otros temas relacionados directamente con dichas características de los suelos.
- Relevamiento de la información histórica sobre valores de humedad óptima y densidad máxima de los suelos, que se realizaron en proyectos, sobre en el departamento de Tarija.
- Analizar los diferentes factores de los cuales depende la humedad óptima y densidad máxima de suelos.
- En base al análisis mencionado, identificar y valorar los factores más importantes que afectan a dichas características.
- Determinar el comportamiento y características de compactación de los diferentes tipos de suelo, referidos a la densidad seca máxima y humedad óptima de suelos mismos.

1.5 HIPÓTESIS.

Si, al realizar diversos ensayos para conocer el comportamiento de compactación que presentan los suelos granulares y finos, considerando la humedad óptima y densidad seca máxima de los mismos, se encontrara varios valores de los mismos; entonces, se podrá realizar un tratamiento estadístico de dichos valores, de tal manera se puedan plantear datos confiables de humedad óptima y densidad máxima de dichos suelos.

1.5.1 Definición de variables Independientes y Dependientes.

Variable independiente.- Propiedades de compactación de los diferentes tipos de suelo.

Variable dependiente.- Comportamiento de compactación de los suelos.

1.5.1.2 Conceptualización y Operacionalización.

Variable independiente:

Variable Nominal	Conceptualizacion	OPERACIONALIZACION		
		Dimension	Indicador	Valor-Accion Tecnicas
V₁ Propiedades de compactación de los diferentes tipos de suelo.	Se refiere a los diferentes valores de humedad optima y densidad seca maxima de los suelos clasificados según el sistema AASHTO.	Clasificacion de suelos	Agregados	Granulometria-Tamizado
				Tamaño maximo
			Plasticidad	Aparato Casa Grande
				Procedimiento de rollos de 3mm
		Compactacion	Grado de compactacion	Densidad "in situ"
				Cono de arena
			Forma de compactacion	Equipo T-99
				Equipo T-180
		Utilizacion de suelos	Base	CBR
				Granulometria
			Sub base	CBR
				Tamaño maximo y Tamaño minimo
Terraplenes	Grado de permeabilidad			
	Ensayos de evaluacion			

Variable dependiente:

Variable Nominal	Conceptualizacion	OPERACIONALIZACION		
		Dimension	Indicador	Valor-Accion Tecnicas
V₂ Comportamiento de compactación de los suelos.	Se refiere a la determinacion de la varacion de la compactacion para los distintos tipos de suelo.	Densidad y compresibilidad.	Deformacion	Metodos,tecnicas de medicion.
			Porosidad	Porcentaje de agregado grueso y finos.
		Humedad de suelos.	Porcentaje de Humedad	Ensayos estandarizados
				Ensayos no estandarizados
			Permeabilidad	Permeametro de carga constante. Permeametro de carga variable.
		Curvas de compactacion.	Contenido de humedad optimo	Clase de suelo.
			Densidad seca maxima	Metodos, medir densidad.

1.6 UNIDADES DE ESTUDIO Y DECISIÓN MUESTRAL.

1.6.1 UNIDAD DE ESTUDIO:

Comportamiento de la compactación en los diferentes tipos de suelo.

La unidad o el área a estudiarse es la variación de la compactación para diferentes tipos de suelo, esto para suelos con porcentajes de grava, arena, limo y arcilla en cantidades diferentes para cada tipo suelo.

1.6.2 POBLACIÓN:

Diferentes tipos de suelos.

La población comprenderá los diferentes tipos de suelos, tanto materiales granulares como material fino, los tipos de suelo a tomar en cuenta para el proyecto se diferenciarán o clasificarán según el sistema de AASHTO.

1.6.3 MUESTRA:

Propiedades de la compactación de los diferentes tipos de suelos.

Las propiedades de la compactación a tomarse en cuenta para el proyecto son concretamente la humedad óptima y densidad seca máxima de los suelos clasificados según el sistema AASHTO.

1.6.4 MUESTREO:

Aleatorio probabilístico.

Consiste en obtener muestras de suelos de los bancos de préstamo, de tal manera cada una de dichas muestras tengan la misma probabilidad de ser elegidas para el trabajo, esto marcando un área de terreno donde se encuentren dichas muestras y elegir las aleatoriamente sin discriminación alguna.

1.7 TIPO DE INVESTIGACIÓN.- CORRELATIVA.

Se considera que se realizara una investigación de tipo correctiva, puesto que pronosticare un evento, dicho evento será el comportamiento de compactación de los diferentes tipos de suelo, esto, simplemente conociendo su clasificación o tipo de suelo; puesto que una investigación correlativa estudia la relación directa de variables, es este caso las variables serán el tipo de suelo, ya sea granular o fino y el comportamiento de compactación que presentan los mismos.

1.8 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.

El proyecto presentara toda la información previa del proyecto de investigación, como ser la introducción de la investigación, que hablara de los conceptos y propósitos del mismo, el planteamiento del problema que tratara la situación problemica y problema por el cual se realiza el proyecto, los objetivos general y específicos, los mismos que se pretenden cumplir con el proyecto y la hipótesis de la investigación, con sus variables dependientes e independientes bien conceptualizadas y operacionalizadas.

Constará de todos los temas importantes que se puedan obtener de la bibliografía para el conociendo necesario, que es prioridad para llevar a cabo de manera correcta el proyecto, entre los más importantes esta la humedad de los suelos y los métodos para obtener dicha humedad, límites de Atterberg , considerando que significan teóricamente y los equipos para su obtención, la clasificación de los suelos, que será según el sistema AASHTO, analizando el tamaño de las partículas mediante la granulometría y sus respectivos coeficientes, tanto de uniformidad y curvatura y lo más importante se tratara la compactación de los suelos, que es el objeto de investigación, analizando su comportamiento y parámetros que considera, como la curva de compactación, humedad optima y densidad seca máxima.

Se considerara todo el relevamiento de información que el proyecto requiera, entre los más importantes el reconocimiento de los bancos de préstamo, para conocer qué tipo de material contienen dichos bancos de préstamo; los criterios de muestreo para tener

en claro de qué forma se realizara la obtención de las muestras de los suelos finos y granular; los criterios de caracterización para tener información sobre las normas y procedimientos a seguir para cada tipo de ensayo que se realice y que grado de exactitud presentan dichos ensayos; los laboratorios a utilizar, si se encuentran normalizados y por último el resumen del relevamiento de información, tanto del reconociendo de los bancos de préstamo y de los resultados o datos obtenidos mediante los ensayos de caracterización de los suelos finos y granulares.

Contempla todo el análisis de datos obtenidos de la caracterización de los suelos y se realizara el proceso de elaboración de la correlación sobre comportamiento de la compactación que presentan los diferentes tipos de suelos, para esto se realizara el análisis de la humedad optima y densidad seca máxima que presentan todos los suelos clasificados según el sistema AASHTO, esto para conocer en qué medida varían estos datos, es decir, si crecen, decrecen, tienen una tendencia, si poseen una rango de variación, etc. Seguidamente se realizara en tratamiento estadístico para validar y conocer a detalle los resultados obtenidos, finalmente realizado todo el análisis de los resultados sobre el comportamiento de la compactación que presentan los diferentes tipo de suelo, se presentara una propuesta final de estos valores para tipo de suelo, tanto granular y fino y un análisis de como varia la compactación en cada uno de dichos suelos y en forma conjunta entre ellos.

Por último se señalara las conclusiones y recomendaciones que al terminar todo el proyecto se observaron, dichas conclusiones hablaran principalmente si los objetivos, tanto general como específicos se cumplieron o en qué grado o porcentaje se cumplieron y las recomendaciones trataran sobre los requisitos que se necesitan cumplir para tomar en cuenta la propuesta final que se presentara y utilizar de manera eficiente los valores de dicha propuesta obtenida durante la realización del proyecto.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 SUELO:

Se dice que un suelo es un agregado de partículas orgánicas e inorgánicas, que no presentan ninguna organización; pero en realidad se trata de un conjunto de partículas con organización definida y propiedades que varían según un tipo de suelo.

2.1.1 AGENTES GENERADORES DE SUELOS:

Cuando hablamos de suelos, nos referimos a todos esos fragmentos que forman parte de la corteza terrestre; la corteza terrestre es atacada principalmente por el aire y las aguas, siendo estos los medios de acción de estas sustancias sumamente variados, sin embargo, según análisis, todos los mecanismos de ataque pueden incluirse en dos grupos: desintegración mecánica y descomposición química.

La desintegración mecánica se refiere a la intemperización de las rocas por agentes físicos, tales como cambios periódicos de temperatura, acción de la congelación del agua en las juntas y grietas de las rocas, efectos de organismos, plantas, etc. Por estos fenómenos las rocas llegan a formar arenas o cuando mucho, limos y solo en casos especiales, arcillas.

La descomposición química es la acción de agentes que atacan las rocas modificando constitución mineralógica o química. El principal agente es el agua, y los mecanismos de ataque más importantes son la oxidación, la hidratación y la carbonatación.

Los efectos químicos de la vegetación juegan un papel no despreciable. Estos mecanismos generalmente producen arcilla como último producto de descomposición.

Todos los efectos anteriores suelen acentuarse con los cambios de temperatura, por lo cual es frecuente encontrar formaciones arcillosas de importancia en zonas húmedas y cálidas, mientras que son típicas de zonas más frías formaciones arenosas o limosas, más gruesas.

2.1.2 SUELOS RESIDUALES Y TRANSPORTADOS

Los suelos que se dieron como resultado del ataque de los agentes del intemperismo pueden quedar en el lugar, directamente sobre la roca de la cual se derivan, dando así origen a suelos llamados **residuales**. Pero estos productos pueden ser removidos del lugar de formación, por los mismos agentes geológicos re depositados en otra zona.

Así se generan suelos que sobre yacen sobre otros estratos sin relación directa con ellos, a estos suelos se les denomina, suelos **transportados**.

Existen en la naturaleza numerosos agentes de transporte, de los cuales pueden citarse como principales los glaciares, los mares y las fuerzas de gravedad, estos factores actúan a menudo combinándose.

La combinación del escurrimiento de aguas en las laderas de colinas y montes y las fuerzas del campo gravitacional, forma los depósitos de talud, en las faldas de las elevaciones, estos depósitos pueden ser heterogéneos, sueltos y predominantemente formados por materiales gruesos.

El escurrimiento de torrentes produce arrastre de materiales de gran tamaño (mayor a velocidades crecientes de agua), que se depositan en forma graduada a lo largo de su curso, correspondiendo los materiales ms finos a las zonas planas de los valles.

Los ríos acarrear materiales de muy diversas graduaciones, depositándolos a lo largo de su perfil, según varié la velocidad de su curso, al ir disminuyendo esta, la capacidad de acarreo de la corriente se hace menor, depositándose los materiales más gruesos.

De esta manera el rio transporta y deposita suelos según sus tamaños decrecientes, correspondiendo las partículas más finas (limos y arcillas) a depósitos próximos a su desembocadura.

2.2 HUMEDAD DE LOS SUELOS:

Se define como contenido de humedad de suelos, a la cantidad de agua que posee una determinada muestra de suelo, expresada en porcentaje y referida al peso seco de la misma.

La fórmula para encontrar dicha humedad es la siguiente:

$$w(\%) = \frac{P_a}{P_{SS}} * 100$$

Dónde:

W (%)= Contenido de humedad

Pa = Peso del agua

Pss = Peso del suelo seco

2.2.1 FORMAS DE AGUA PRESENTES EN EL SUELO:

2.2.1.1 Agua libre.- Es el agua que circula a través de del suelo sin dificultad alguna y por la acción de la gravedad puede ser drenada.

2.2.1.2 Agua retenida.- Se encuentra retenida dentro del suelo y la causa de su formación se define:

- **Agua higroscópica.-** Es la que absorbe un suelo de la humedad del aire.
- **Agua capilar.-** Es la retenida por efecto de la tensión superficial.

2.2.2 MÉTODOS PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD:

Los métodos para determinar el contenido de humedad tienen el principio de conocer el peso de una muestra de suelo en su estado húmedo y también en su estado seco, entonces, con solo conocer la diferencia de estos valores, podemos conocer el contenido de humedad de los diferentes suelos.

2.2.2.1 Método estándar:

Este método utiliza consiste en realizar el secado de la muestra de suelo en un horno estandarizado, manteniendo una temperatura de 100° C por un tiempo de 24 horas, es un método que da resultados muy precisos.

2.2.2.2 Método de la hornalla:

Este método consiste en realizar el secado del material utilizando una hornalla por un tiempo de 30 minutos, se considera que la muestra ya está totalmente seca cuando al instalar un vidrio encima de la muestra, esta no adquiere vapor, si se utiliza este procedimiento se deberá realizar una corrección por el método estándar.

2.2.2.3 Método del alcohol:

Consiste en aplicar alcohol a la muestra de suelo hasta saturarle completamente, entonces se le prende fuego y esperar que la muestra se seque, este procedimiento se debe repetir por lo menos dos veces.

2.3. GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS:

2.3.1 INTRODUCCIÓN:

En los comienzos de la investigación de las propiedades de los suelos se creyó que las propiedades dependían directamente de la distribución de las partículas constituyentes según tamaños; por ello era preocupación especial de los ingenieros la búsqueda de métodos adecuados para obtener tal distribución.

Solamente en suelos gruesos, cuya granulometría puede determinarse por mallas, la distribución por tamaños puede revelar algo referente a las propiedades físicas del material, la experiencia indica que los suelos gruesos bien graduados, es decir, con amplia gama de tamaños, tienen comportamiento ingenieril más favorable, en lo que se refiere a algunas propiedades importantes, que los suelos de granulometría muy uniforme presentan.

2.3.2 SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS BASADOS EN CRITERIOS DE GRANULOMETRÍA:

Los límites de tamaño de las partículas que constituyen un suelo, ofrecen un criterio obvio para una clasificación descriptiva del mismo.

Tal criterio fue usado en mecánica de suelos desde un principio e incluso antes de la etapa moderna de esta ciencia. Originalmente, el suelo se dividía únicamente en tres o cuatro fracciones debido a lo engorroso de los procedimientos disponibles de separación por tamaños.

Posteriormente, con la aparición de la técnica del cribado, fue posible efectuar el trazo de curvas granulométricas, contando con agrupaciones de las partículas del suelo en mayor número de tamaños diferentes. Actualmente se pueden ampliar notablemente las curvas en los tamaños finos, gracias a la aplicación de técnicas de análisis de suspensiones.

Algunas clasificaciones granulométricas de los suelos, según sus tamaños son los siguientes:

2.3.2.1 CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL:

Basada en otra desarrollada en Suecia.

Tamaño en mm				
2.0	0.2	0.02	0.002	0.0002
<i>Arena gruesa</i>	<i>Arena fina</i>	<i>Limo</i>	<i>Arcilla</i>	<i>Ultra-Arcilla (coloides)</i>

2.3.2.2 CLASIFICACIÓN MIT:

Fue propuesta por G. Gilboy y adoptada por Massachusetts Institute of Technology.

Tamaño en mm								
2.0	0.6	0.2	0.06	0.02	0.006	0.002	0.0006	0.0002
<i>Gruesa</i>	<i>Media</i>	<i>Fina</i>	<i>Grueso</i>	<i>Medio</i>	<i>Fino</i>	<i>Gruesa</i>	<i>Media</i>	<i>Fina (coloides)</i>
ARENA			LIMO			ARCILLA		

2.3.3 ANÁLISIS MECÁNICO DEL SUELO.

El análisis mecánico es la determinación del rango del tamaño de partículas presentes en un suelo, expresado como un porcentaje del peso (o masa) seco total. El análisis con cribado se usa para tamaños de partículas mayores de 0.075 mm de diámetro. El análisis por cribado consiste en sacudir la muestra de suelo a través de un conjunto de mallas que tienen aberturas progresivamente más pequeñas, este proceso se utilizara para realizar la caracterización de las muestras o suelos a utilizar en el proyecto.

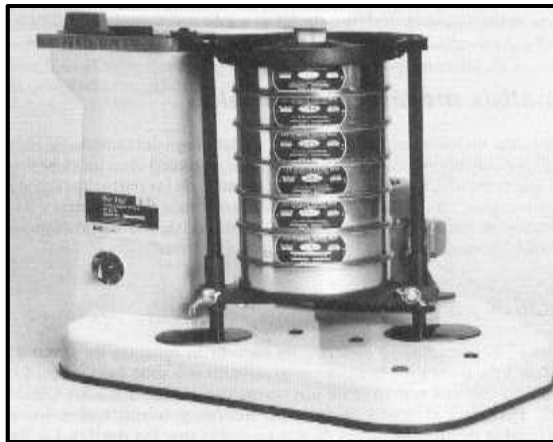


Figura 1. Conjunto de mallas para el análisis mecánico de suelo.

2.3.3.1 Curva de distribución granulométrica.

Los resultados del análisis mecánico (análisis por cribado) se presentan generalmente en gráficas semilogarítmicas como curvas de distribución granulométrica (o de tamaño de grano). Los diámetros de las partículas se grafican en escala logarítmica y el porcentaje correspondiente de finos en escala aritmética.

Se utilizarán estas gráficas o curvas también para caracterizar el material que se va a utilizar.

Siempre que se cuente con suficiente número de puntos, la representación gráfica de la distribución granulométrica de estimarse preferentemente en tablas.

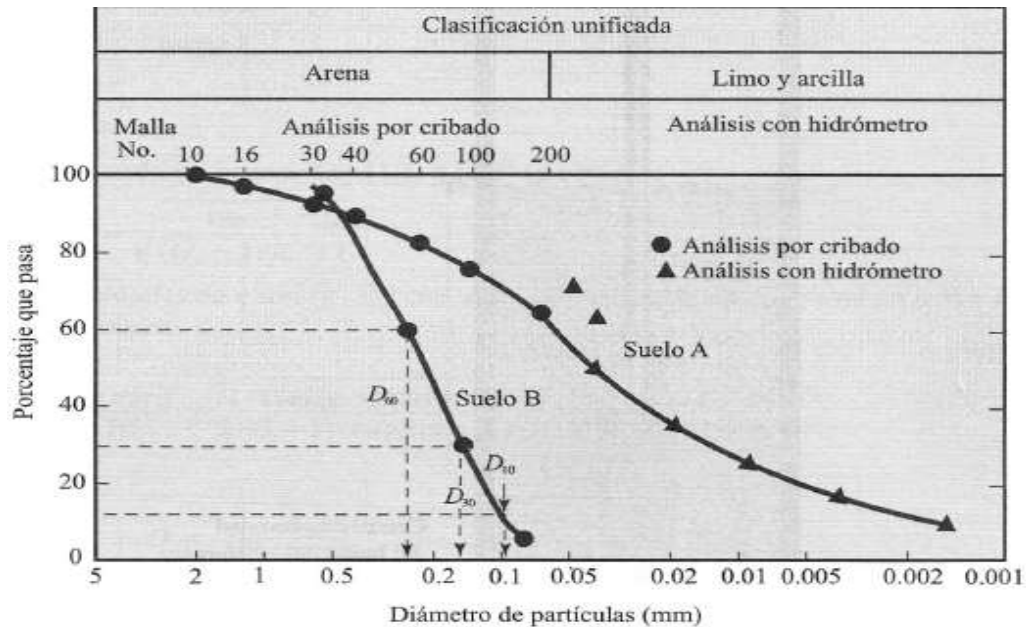


Figura 2. Ejemplo de curva granulométrica.

La curva de distribución granulométrica muestra no sólo el rango de los tamaños de partículas presentes en un suelo, sino también la distribución de varios tamaños de partículas.

Esas curvas se muestran en la figura 3. La curva I representa un tipo de suelo en el que la mayoría de los granos son del mismo tamaño, y se le llama *suelo mal graduado*.

La curva II representa un suelo en el que los tamaños de las partículas están distribuidos sobre un amplio rango y se le llama *bien graduado*.

Un suelo puede tener una combinación de dos o más fracciones uniformemente graduadas.

La curva **III** representa tal suelo y se le llama de **granulometría discontinua**.

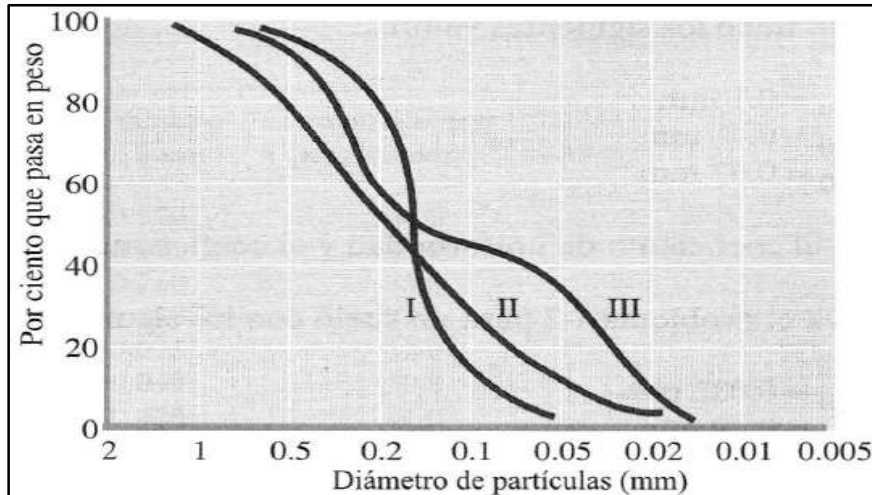


Figura 3. Tipos diferentes de curvas granulométricas.

2.3.4 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MEDIO DEL HIDRÓMETRO

El análisis hidrométrico se basa en el principio de la sedimentación de granos de suelo en agua. Cuando un espécimen de suelo se dispersa en agua, las partículas se asientan a diferentes velocidades, dependiendo de sus formas, tamaños y pesos.

Por simplicidad, se supone que todas las partículas de suelo son esferas y que la velocidad de las partículas se expresa por la *ley de Stokes*, la cual expresa lo siguiente:

$$V = \frac{\int_s - \int_w}{18 \times \eta} \times D^2$$

Dónde:

V = velocidad

ρ_s = densidad de las partículas de suelo

ρ_w = densidad del agua

η = viscosidad del agua

D = diámetro de las partículas del suelo

En el laboratorio, la prueba del hidrómetro se conduce en un cilindro de sedimentación con 50 g de muestra seca al horno. El cilindro de sedimentación tiene 457 mm de altura y 63.5 mm de diámetro; el cilindro está marcado para un volumen de 1000 ml.

Como *agente dispersor* se usa generalmente el hexametáfosfato de sodio. El volumen de la suspensión de suelo dispersado se lleva hasta los 1000 ml añadiendo agua destilada.

Cuando un tipo de hidrómetro se coloca en la suspensión de suelo en un tiempo t , medido desde el principio de la sedimentación, mide la densidad de sólidos en la vecindad de su bulbo a una profundidad L . La densidad de sólidos es una función de la cantidad de partículas de suelo presentes por volumen unitario de suspensión en esa profundidad. En un tiempo t , las partículas de suelo en suspensión a una profundidad L tendrán un diámetro menor que D .

Las partículas más grandes se habrán asentado más allá de la zona de medición. Los hidrómetros son diseñados para dar la cantidad de suelo, en gramos, aún en suspensión. Los hidrómetros son calibrados para suelos que tienen una densidad de sólidos (G_s) de 2.65; para suelos de otra densidad de sólidos, es necesario hacer correcciones.

Conocida la cantidad de peso en suspensión, L y t , podemos calcular el porcentaje de suelo por peso más fino que un cierto diámetro. Note que L es la profundidad medida desde la superficie del agua hasta el centro de gravedad del bulbo del hidrómetro donde se mide la densidad de la suspensión.

El valor de L cambia con el tiempo t , el análisis por hidrómetro es efectivo para separar las fracciones de suelo hasta un tamaño de aproximadamente 0.5μ .

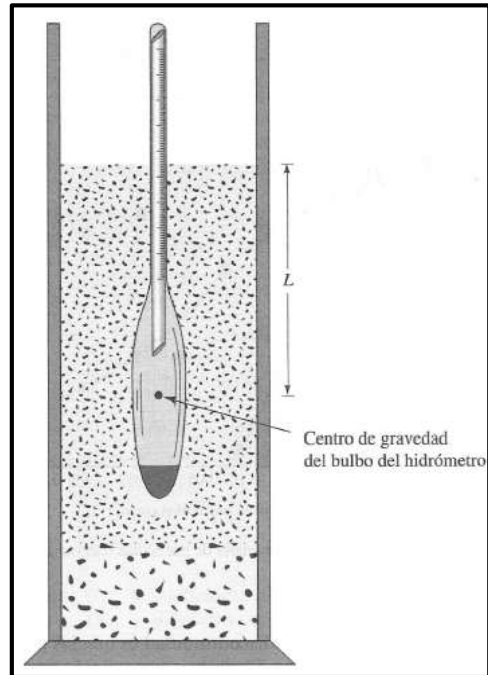


Figura 4. Definición de L en una prueba de hidrómetro.

2.4. LÍMITES DE ATTERBERG:

2.4.1 GENERALIDADES

Existen suelos que al ser remodelados, cambiando su contenido de agua si es necesario, adoptan una consistencia característica, que desde épocas antiguas se ha denominado Plástica.

Estos suelos han sido llamados arcillas, originalmente por los hombres dedicados a la cerámica; este término pasó a la mecánica de suelos, en épocas más recientes, con idéntico significado.

La plasticidad es, en este sentido, una propiedad tan evidente que ha servido para clasificar suelos en forma puramente descriptiva, pronto se reconoció que existía una relación específica entre la plasticidad y las propiedades fisicoquímicas determinantes del comportamiento mecánico de las arcillas.

En este momento la plasticidad se convirtió en una propiedad ingenieril de interés científico estricto, dejando de ser una cualidad puramente descriptiva o de trabajabilidad en cerámica, las investigaciones posteriores han probado que la plasticidad de un suelo es debida a su contenido de partículas más finas de forma laminar.

2.4.2 DEFINICIÓN

Los límites de Atterberg o también llamados límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo de su propia naturaleza y la cantidad de agua que contengan.

Un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico y líquido o viscoso.

La arcilla, por ejemplo, si está seca se encuentra muy suelta o en terrones, añadiendo agua adquiere una consistencia similar a una pasta, y añadiendo más agua adquiere una consistencia fluida.

Cada uno estos cambios o estados varían según el contenido de humedad.

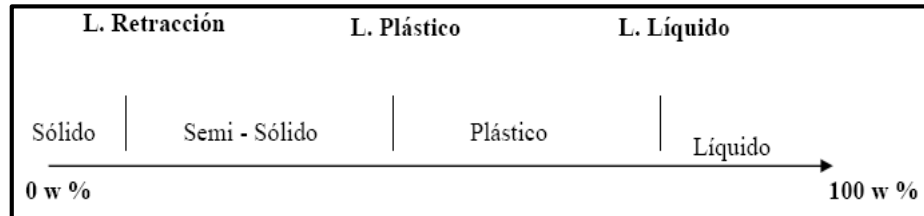


Figura 5. Variación de la plasticidad según el contenido de humedad.

2.4.3 ESTADOS DE CONSISTENCIA

Para medir la plasticidad de las arcillas se han desarrollado varios criterios, de los cuales uno solo, el debido a Atterberg, se mencionara.

Atterberg hizo ver que, en primer lugar, la plasticidad no era una propiedad permanente de las arcillas, sino circunstancial y dependiente de su contenido de agua. Una arcilla muy seca puede tener la consistencia de un ladrillo, con plasticidad nula, y esa misma, con gran contenido de agua, puede presentar las propiedades de un lodo semilíquido o, inclusive, las de una suspensión líquida.

Entre ambos extremos, existe un intervalo del contenido de agua en que la arcilla se comporta plásticamente, en segundo lugar, Atterberg hizo ver que la plasticidad de un suelo exige, para ser expresada en forma conveniente, la utilización de dos parámetros en lugar de uno solo, como hasta su época se había creído, además, señalo esos parámetros y un modo tentativo, hoy perfeccionado, de evaluarlos.

Según su contenido de agua en orden decreciente, un suelo susceptible de ser plástico puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia, definidos por Atterberg.

Estado líquido, con las propiedades y apariencia de una suspensión.

Estado semilíquido, con las propiedades de un fluido viscoso.

Estado plástico, en que el suelo se comporta plásticamente

Estado semilíquido, en el que el suelo tiene la apariencia de un suelo, pero aun disminuye de volumen al estar sujeto a secado.

Estado sólido, en que el volumen del suelo no varía con el secado.

2.4.4 PLASTICIDAD DE LOS SUELOS

Se denomina plasticidad de suelos al rango de contenido de humedad de un suelo, el cual soporta deformaciones pero sin agrietarse, también es llamado índice de plasticidad y su cálculo se determina mediante la diferencia entre el límite líquido y límite plástico.

2.4.5 SELECCIÓN DE MUESTRAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE PLASTICIDAD:

Es importante que las muestras seleccionadas para determinación de los límites sean lo más homogéneas que pueda lograrse. A de tenerse encuentra que el aspecto de una arcilla inalterada es muy engañoso, a simple vista puede no presentar la menor indicación de estratificación, ni cambio de color y su contenido de humedad puede variar grandemente en diferentes zonas de la misma muestra extraída del terreno con correspondientes variaciones apreciables en los límites líquidos.

Si se mezclan porciones de muestra con límites diferentes, se obtiene un material con propiedades distintas a las de cada parte componente.

2.4.5.1 Limite líquido

A la frontera entre el límite plástico y líquido se le llama límite líquido y se determina midiendo la humedad que contiene el suelo cuando con 25 golpes se cierra una ranura hecha a una muestra humedad de suelo en el aparato de Casagrande normalizado.



Figura 6. Copa de Casa Grande.

2.4.5.2 Límite plástico

La frontera entre los estados semisólido y plástico se llama límite plástico, y se obtiene midiendo el contenido de humedad del suelo cuando comienzan a agrietarse pequeños cilindros de suelo de 3 mm de diámetro.



Figura 7. Prueba del límite plástico.

2.4.5.3 Índice de plasticidad

Es la diferencia entre el límite líquido y límite plástico, es un valor que nos da una referencia del rango de plasticidad que presentan los suelos.

2.4.6 Utilización práctica de los límites de Atterberg.

Los límites de Atterberg pertenecen, junto al análisis granulométrico, al tipo de ensayos de identificación. Pero, si el análisis granulométrico nos permite conocer la magnitud cuantitativa de la fracción fina, los límites de Atterberg nos indican su calidad, completando así el conocimiento del suelo. Frecuentemente se utilizan los límites directamente en las especificaciones para controlar los suelos a utilizar en terraplenes.

2.5. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

La clasificación de los suelos se realiza para diferenciar un suelo de otro, ya sea mediante el tamaño de sus partículas, el comportamiento plástico que presentan y otras características, la clasificación que se usó en el proyecto fue la clasificación que realiza el sistema AASHTO, puesto que es el más usado actualmente y se basa en las prestaciones de suelos utilizados en la práctica para construir carreteras, esta clasificación divide a los suelos en siete grupos principales y en varios sub grupos.

Esta clasificación diferencia a los suelos desde un suelo tipo A-1 y uno A-7, considerando que un suelos A-1 será un material granular, es decir de grano grueso en un mayor porcentaje y con poco material fino, esta desigualdad se ira igualando hasta llegar a un suelo A-7, es decir, que a medida que un suelo disminuya su material granular y aumente su material fino, este bajara su clasificación a ser un suelo A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 y A-7 respectivamente.

2.5.1 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASHTO

De acuerdo con éste sistema de clasificación, el suelo se clasifica en siete grupos mayores: A-1 al A-7.

Los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde 35% o menos de las partículas pasan por la malla No. 200.

Los suelos de los que más del 35% pasan por la criba No. 200 son clasificados en los grupos A4, A-5, A-6 Y A-7. La mayoría están formados por materiales tipo limo y arcilla.

El sistema de clasificación se basa en los siguientes criterios:

2.5.1.1 Tamaño del grano:

Grava: fracción que pasa la malla de 75 mm y es retenida en la malla No. 10 (2 mm)

Arena: fracción que pasa la malla No. 10 (2 mm) y es retenida en la malla No. 200 (0.075 mm)

Limo y arcilla: fracción que pasa la malla No. 200

2.5.1.2 PLASTICIDAD:

El término *limoso* se aplica cuando las fracciones de finos del suelo tienen un índice de plasticidad de 10 o menor. El término *arcilloso* se aplica cuando las fracciones de finos tienen un índice de plasticidad de 11 o mayor.

Si cantos rodados y *boleas* (tamaños mayores que 75 mm) están presentes, éstos se excluyen de la porción de la muestra de suelo que se está clasificando. Sin embargo, el porcentaje de tal material se registra.

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos de la muestra que pasa la malla No. 200)						
	A-1			A-2			
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis por cribado (porcentaje que pasa las mallas)							
No. 10	50 máx.						
No. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
No. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción que pasa la malla No. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos usuales de materiales componentes significativos							
	Fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa			
Tasa general de los subrasantes							
	De excelente a bueno						

Tabla 1. Clasificación para suelos granulares mediante el sistema AASHTO.

Clasificación general	Materiales limo-arcilla (más del 35% de la muestra que pasa la malla No. 200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6†
Análisis por cribado (porcentaje que pasa por las mallas)				
No. 10				
No. 40				
No. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción que pasa por la malla No. 40				
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos usuales de materiales componentes significativos				
	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Tasa general de los sobrantes				
	De mediano a pobre			
*Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$				
†Para A-7-6, $PI > LL - 30$				

Tabla 2. Clasificación para suelos finos mediante el sistema AASHTO.

Para clasificar un suelo de acuerdo con las anteriores tablas, los datos de prueba se aplican de izquierda a derecha. Por un proceso de eliminación, el primer grupo desde la izquierda en el que los datos de prueba se ajusten, es la clasificación correcta.

2.5.2 ÍNDICE DE GRUPO.- Para la evaluación de la calidad de un suelo como material para subrasante de carreteras, se incorpora también un número llamado *índice de grupo (GI)* junto con los grupos y subgrupos del suelo. Este número se escribe en paréntesis después de la designación de grupo o de sub grupo.

El índice de grupo está dado por la ecuación:

$$GI = (F - 35) [0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01 (F - 15) (PI - 10)$$

Dónde:

F = porcentaje que pasa la malla No. 200

LL = límite líquido

P = índice de plasticidad

El primer término de la ecuación anterior, es decir, $(F - 35) * [0.2 + 0.005(LL - 40)]$, es el índice de grupo parcial determinado a partir del límite líquido.

El segundo término, es decir $0.01(F - 15) * (PI - 10)$, es el índice de grupo parcial determinado a partir del índice de plasticidad.

A continuación se dan algunas reglas para determinar el índice de grupo:

1. Si la ecuación (2.30) da un valor negativo para GI , éste se toma igual a 0.
2. El índice de grupo calculado se redondea al número entero más cercano (Por ejemplo, $GI = 3.4$ se redondea a 3; $GI = 3.5$ se redondea a 4).
3. No hay un límite superior para el índice de grupo.

4. El índice de grupo de suelos que pertenecen a los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5, Y A-3 siempre es 0.

5. Al calcular el índice de grupo para suelos que pertenecen a los grupos A-2-6 y A-2-7, use el índice de grupo parcial para PI , o $GI = 0.01 (F - 15) (PI - 10)$

En general, la calidad del comportamiento de un suelo como material para subrasantes es inversamente proporcional al índice de grupo.

2.5.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS CLASIFICADOS SEGÚN EL SISTEMA AASHTO:

Toma en cuenta los materiales granulares Y finos, y son específicamente los siguientes:

➤ **GRUPO A-1:**

Son mezclas bien graduadas, compuestas por piedra, grava, arena y poco o casi nada de material fino. Estos se subdividen a su vez en:

A-1-a.- Estos suelos son compuestos principalmente por gravas, con o sin partículas finas de granulometría bien definidas.

A-1-b.- Son arenas con o sin partículas finas de granulometría bien definidas.

➤ **GRUPO A-2:**

Contiene menos del 35% de material fino, este se sub divide a su vez en:

Subgrupo A-2-4 y A-2-5: El contenido de material fino es menor o igual al 35%, la fracción que pasa el tamiz N°40, se comporta igual a los grupos A-4 y A-5 respectivamente.

Son gravas y arenas (arenas gruesas), que contienen limo y arcilla en cantidades reducidas, cuya plasticidad es baja, pero que excede al Grupo A-1, también incluye la arena fina con limos no plásticos.

Subgrupo A-2-6 y A-2-7: La única diferencia de los anteriores, es que la fracción que pasa el tamiz N°40, se comporta en plasticidad igual a los grupos A-5 y A-7.

➤ **GRUPO A-3:**

Son arenas finas conteniendo limos no plásticos, algunas veces pueden contener poca grava y arena gruesa.

➤ **GRUPO A-4:**

Son suelos limosos, poco o nada plásticos, puede contener más de un 75% del material que pasa el tamiz N°200.

➤ **GRUPO A-5:**

Son suelos similares al anterior, pero contiene un material micáceo, que hace que el límite líquido a veces sea elevado, además de aparecer una propiedad elástica rara en los suelos.

➤ **GRUPO A-6:**

Predomina la arcilla, más del 75% del material pasa el tamiz N°200, este suelo suele contener pequeños porcentajes de arena fina y limo, cuyas características son absorbidas por el gran porcentaje de arcilla.

➤ **GRUPO A-7:**

Se parecen mucho al A-6, pero estos tienen propiedades elásticas, además su límite líquido casi siempre es elevado.

Subgrupo A-7-5: Sus índices de plasticidad no son muy altos con respecto a sus límites líquidos.

Subgrupo A-7-6: Sus índices de plasticidad son muy elevados con respecto a sus límites líquidos, además presentan grandes cambios de volumen entre sus estados seco y húmedo.

2.6 COMPACTACIÓN DE SUELOS.

2.6.1 GENERALIDADES

En la construcción de terraplenes para carreteras, presas de tierra y muchas otras estructuras de la ingeniería, los suelos sueltos deben ser compactados para incrementar sus pesos específicos. La compactación incrementa las características de resistencia de los suelos, aumentando así la capacidad de carga de las cimentaciones construidas sobre ellos.

La compactación disminuye también la cantidad de asentamientos indeseables de las estructuras e incrementa la estabilidad de los taludes de los terraplenes. Los rodillos de ruedas lisas, los rodillos patas de cabra, los rodillos con neumáticos de hule y los rodillos vibratorios son usados generalmente en el campo para la compactación del suelo. Los rodillos vibratorios se usan principalmente para la densificación de los suelos granulares.

Cuando se agrega agua al suelo durante la compactación, ésta actúa como un agente ablandador de las partículas del suelo, que hace que se deslicen entre sí y se muevan a una posición de empaque más denso. El peso específico seco después de la compactación se incrementa primero conforme aumenta el contenido de agua.

Cuando el contenido de agua es gradualmente incrementado y se usa el mismo esfuerzo compactador para la compactación, el peso de los sólidos del suelo en un volumen unitario crece en forma gradual.

Más allá de un cierto contenido de agua, cualquier incremento en el contenido de agua tiende a reducir el peso específico seco, debido a que el agua toma los espacios que

También el suelo compactado no debe deformarse tanto, por efecto de las cargas que resiste, de manera que no se dañe dicho suelo ni la estructura que soporta, es decir, no debe retraerse ni expenderse excesivamente.

2.6.4 Grado de compactación.

El grado de compactación de un suelo es la relación, en porcentaje, entre la densidad seca alcanzada en obra y la densidad máxima seca obtenida en laboratorio, esto para un mismo suelo, es decir, si nosotros realizamos la compactación en una vía y sacamos la densidad in situ de esa vía ya compactada, esa densidad deberá ser muy cercana o igual a la densidad máxima obtenida en laboratorio, el control en obra se hace generalmente realizando ensayos de determinación del grado compactación y comparando esos resultados con el porcentaje de requisito en las especificaciones de una vía, como 90%,95%,100%,etc, esto depende del destino y la importancia de la obra.

2.6.5 Curva de compactación.

La curva de compactación de suelos es una gráfica que se dibuja en un eje de coordenadas, en la cual el eje de las abscisas van los valores de contenido de humedad de los suelos expresado en porcentaje y en el eje de las ordenadas van los valores correspondientes a la densidad seca máxima, dicha gráfica es útil para conocer los valores máximos de humedad y densidad de un determinado suelo, una vez ya se haya realizado la compactación por métodos estandarizados, dicha gráfica es la siguiente:

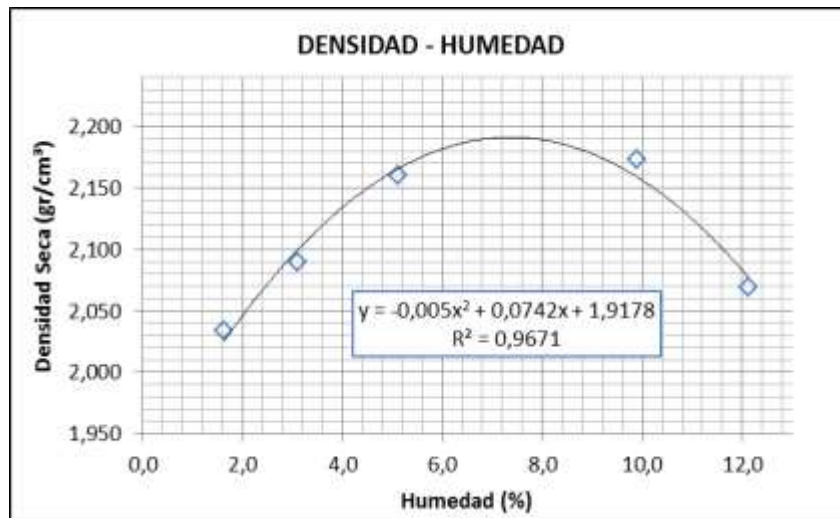


Figura 9. Curva de compactación.

2.6.5.1 Humedad óptima.

Es el contenido de agua bajo el cual un suelo alcanza la máxima densidad seca, un contenido de humedad mayor del óptimo tiende a reducir el peso específico seco, debido a que el agua toma los espacios que podrían haber sido ocupados por las partículas sólidas.

2.6.5.2 Densidad seca máxima.

Es la densidad a la cual una muestra de suelo puede llegar a adquirir, siempre y cuando la compacten a la humedad óptima de dicho suelo.

2.6.5.3 Procedimientos para encontrar los valores máximos de la curva de compactación.

Los valores máximos de la curva de compactación se pueden encontrar gráficamente por simple visualización, siempre y cuando las escalas utilizadas en cada uno de los ejes estén de acuerdo a los valores de dicha curva.

Para una mayor precisión se puede recurrir a la utilización de las derivadas, para ello es imprescindible conocer la ecuación de la curva de compactación, entonces por

simple procedimiento de derivadas, donde la pendiente sea cero se encontrara el punto máximo.

2.7 TEORÍA DEL TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

2.7.1 Análisis de una Variable

El procedimiento **Análisis de Una Variable** es uno de los principales procedimientos para analizar una sola columna de datos numéricos. Calcula estadísticas de resumen, y crea una variedad de gráficos. Los gráficos incluyen gráfico de dispersión, histograma, gráfico de caja y bigotes.

2.7.1.1 Resumen del Análisis

El Resumen del Análisis muestra el número de observaciones en la columna de datos. También se muestran el mayor y el menor de los valores.

2.7.1.2 Gráfico de Dispersión

El **gráfico de dispersión** grafica cada valor de los datos.

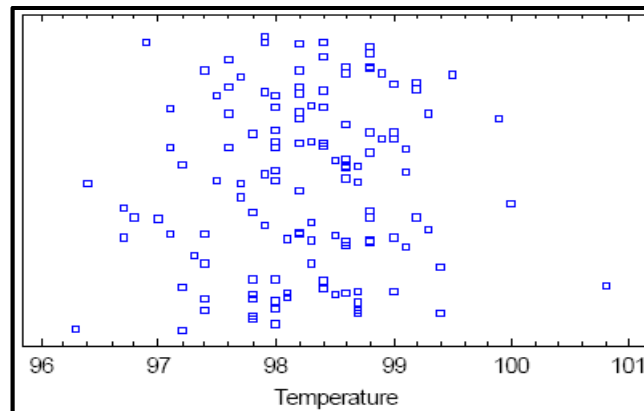


Figura 10. Gráfico de dispersión.

Los valores de los datos se grafican a lo largo del eje horizontal. A lo largo del eje vertical, los puntos se separan aleatoriamente hacia arriba o hacia abajo. Esto se hace para evitar que puntos con igual valor se traslapen.

Advierta que la nube de puntos es más densa cerca del rango medio de temperatura y se hace menos densa en los valores superiores o inferiores. También hay un punto a 100.8° que parece algo extremo.

2.7.1.3 Resumen Estadístico

El resumen estadístico calcula un número de diferentes estadísticas que comúnmente se usan para resumir una muestra de n observaciones:

Resumen Estadístico para Temperature	
Recuento	130
Promedio	98.2492
Mediana	98.3
Moda	98.0
Media Geométrica	98.2465
Media Recortada 5%	98.2517
Media Winsorizada 5%	98.2415
Varianza	0.537558
Desviación Estándar	0.733183
Coficiente de Variación	0.746248%
Error Estándar	0.0643044
Sigma Winsorizada 5%	0.672257
DAM	0.5
Sbi	0.714878
Mínimo	96.3
Máximo	100.8
Rango	4.5
Cuartil Inferior	97.8
Cuartil Superior	98.7
Rango Intercuartílico	0.9
1/6 sextil	97.6
5/6 sextil	98.8
Rango Intersextil	1.2
Sesgo	-0.00441913
Sesgo Estandarizado	-0.0205699
Curtosis	0.780457
Curtosis Estandarizada	1.81642
Suma	12772.4
Suma de Cuadrados	1.25495E6

Tabla 3. Ejemplo de resumen estadístico

La mayoría de las estadísticas caen en una de tres categorías:

Medidas de tendencia central – estadísticas que caracterizan el “centro” de los datos.

Medidas de dispersión – estadísticas que miden la dispersión de los datos.

Medidas de forma – estadísticas que miden la forma de los datos con respecto a una distribución normal.

A continuación se dan enuncian conceptos a tomar en cuenta:

2.7.1.3.1 Recuento – el tamaño n de la muestra.

2.7.1.3.2 Promedio o **media** aritmética (medida de tendencia central) - El Centro de masa de los datos, dado por:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

2.7.1.3.3 Mediana. (Medida de tendencia central) - el valor de en medio cuando los datos se ordenan de menor a mayor. Si n es impar, la mediana muestral es igual a $x_{(0.5+n/2)}$, donde $x(i)$ representa la i -ésima observación más pequeña. Si n es par, la mediana muestral es igual al promedio de los dos valores de en medio:

$$\frac{x_{(n/2)} + x_{(1+n/2)}}{2}$$

2.7.1.3.4 Moda. (Medida de tendencia central) – el valor del dato que se presenta con mayor frecuencia (si lo hubiera). Si ningún valor se presenta con mayor frecuencia que cualquier otro, esta estadística no se calcula.

2.7.1.3.5 Media Geométrica. (Medida de tendencia central) – estima el centro de los datos de acuerdo con:

$$\left(\prod_{i=1}^n x_i \right)^{1/n}$$

Esta estadística se usa frecuentemente para datos que tienen un sesgo positivo, ya que estará más cerca del pico de la distribución que la media aritmética. Nota: esta estadística sólo está definida para una muestra de datos en la cual todos los valores son mayores que 0.

2.7.1.3.6 Varianza. (Medida de dispersión) – una medida de la desviación cuadrada promedio alrededor de la media muestral:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

2.7.1.3.7 Desviación Estándar. (Medida de dispersión) – la raíz cuadrada de la varianza muestral:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

2.7.1.3.8 Coeficiente de Variación o desviación estándar relativa. (Medida de dispersión) – mide la magnitud de la desviación estándar como un porcentaje de la media muestral de acuerdo con:

$$CV = 100 \frac{s}{\bar{x}} \%$$

Está definida solo si $x > 0$.

2.7.1.3.9 Error Estándar. (Medida de dispersión) – el error estándar de la media:

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

2.7.1.3.10 Mínimo. El valor del dato más pequeño $x(1)$.

2.7.1.3.11 Máximo. El valor del dato más grande $x(n)$.

2.7.1.3.12 Rango. (Medida de dispersión) - el máximo menos el mínimo:

$$R = x(n) - x(1)$$

2.7.1.3.13 Cuartil Inferior. El 25 percentil. Aproximadamente 25% de los valores de los datos estarán por debajo de este valor.

2.7.1.3.14 Cuartil Superior. El 75 percentil. Aproximadamente 75% de los valores de los datos estarán por debajo de este valor.

2.7.1.4 Gráfico de Caja y Bigotes

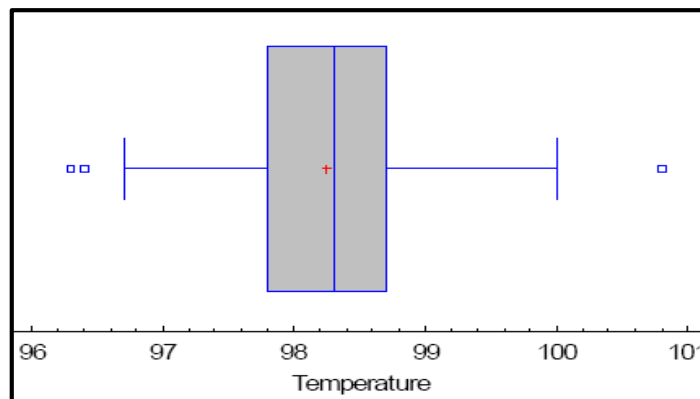


Figura 11. Gráfico de caja y bigotes.

Este gráfico se construye de la siguiente forma:

- Se dibuja una caja que se extienda desde el *cuartil inferior* de la muestra hasta el *Cuartil superior*. Este es el intervalo cubierto por el 50% central de los valores de los datos cuando se ordenan de menor a mayor.
- Se dibuja una línea vertical en la *mediana* (el valor de en medio).
- Si se solicita, un signo de más se coloca en el lugar de la media muestral.
- Los bigotes se dibujan desde los extremos de la caja hasta los valores mínimo y máximo de los datos, a menos que haya valores inusualmente muy alejados de la caja (a los cuales Tukey llama *puntos extremos*). Los puntos extremos, que son puntos a más de 1.5 veces el rango intercuartílico (ancho de la caja) por arriba o por debajo de la caja, se indican por símbolos de señalamiento. Cualesquiera puntos a más de 3 veces el rango intercuartílico por arriba o por debajo de la caja se les llama *puntos extremos lejanos*, y se indican por símbolos de señalamiento con signos de más superpuestos por arriba de ellos. Si hay presentes puntos aberrantes (extremos o extremos lejanos), los bigotes se dibujan a los valores máximo y mínimo que no sean puntos aberrantes.

El gráfico anterior para los datos de temperatura corporal es muy simétrico. El signo de más para la media se encuentra muy cerca de la línea para la mediana, mientras que los bigotes son aproximadamente de igual longitud.

2.7.1.5 TABLA DE FRECUENCIAS

Un método común de resumir datos cuantitativos es construir k intervalos que cubran el rango de los datos y luego calcular el número de observaciones que caen dentro de cada intervalo.

A continuación se presenta este tipo de tabla:

Tabla de Frecuencias para Temperature							
	Límite	Límite			Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia
Clase	Inferior	Superior	Punto Medio	Frecuencia	Relativa	Acumulada	Rel. Acum.
	menor o igual	96.0		0	0.0000	0	0.0000
1	96.0	96.25	96.125	0	0.0000	0	0.0000
2	96.25	96.5	96.375	2	0.0154	2	0.0154
3	96.5	96.75	96.625	2	0.0154	4	0.0308
4	96.75	97.0	96.875	3	0.0231	7	0.0538
5	97.0	97.25	97.125	6	0.0462	13	0.1000
6	97.25	97.5	97.375	8	0.0615	21	0.1615
7	97.5	97.75	97.625	7	0.0538	28	0.2154
8	97.75	98.0	97.875	23	0.1769	51	0.3923
9	98.0	98.25	98.125	13	0.1000	64	0.4923
10	98.25	98.5	98.375	17	0.1308	81	0.6231
11	98.5	98.75	98.625	18	0.1385	99	0.7615
12	98.75	99.0	98.875	17	0.1308	116	0.8923
13	99.0	99.25	99.125	6	0.0462	122	0.9385
14	99.25	99.5	99.375	5	0.0385	127	0.9769
15	99.5	99.75	99.625	0	0.0000	127	0.9769
16	99.75	100.0	99.875	2	0.0154	129	0.9923
17	100.0	100.25	100.125	0	0.0000	129	0.9923
18	100.25	100.5	100.375	0	0.0000	129	0.9923
19	100.5	100.75	100.625	0	0.0000	129	0.9923
20	100.75	101.0	100.875	1	0.0077	130	1.0000
21	101.0	101.25	101.125	0	0.0000	130	1.0000
22	101.25	101.5	101.375	0	0.0000	130	1.0000
23	101.5	101.75	101.625	0	0.0000	130	1.0000
24	101.75	102.0	101.875	0	0.0000	130	1.0000
	mayor de	102.0		0	0.0000	130	1.0000

Media = 98.2492 Desviación Estándar = 0.733183

Tabla 4. Ejemplo de tabla de frecuencias

Esta tabla está vinculada con el *Histograma de Frecuencias* y presenta la siguiente información para cada intervalo o “clase”:

- **Límite Inferior** – el límite inferior de la clase.
- **Límite Superior** - el límite superior de la clase
- **Punto Medio** – el punto medio de la clase (a la mitad del recorrido entre los límites superior e inferior).
- **Frecuencia** – el número de observaciones f_j que son mayores que el límite inferior de la clase y menores o iguales al límite superior.

• **Frecuencia Relativa** - la proporción de observaciones que caen en cada clase, dada por f_j/n .

• **Frecuencia Acumulada** - el número de observaciones que caen en la clase actual o en las previas:

$$\sum_{i=1}^j f_i$$

• **Frecuencia Relativa Acumulada** – la proporción de observaciones que caen en la clase actual o en las previas:

$$\frac{\sum_{i=1}^j f_i}{n}$$

La columna más a la derecha es de considerable interés, ya que corresponde a la *distribución acumulada* de las observaciones. Por ejemplo, 62.31% de los datos es menor o igual a 98.5°.

2.7.1.6 HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS

El *Histograma de Frecuencias* presenta el resultado de la tabla de frecuencias en la forma de un diagrama de barras o un gráfico de líneas.

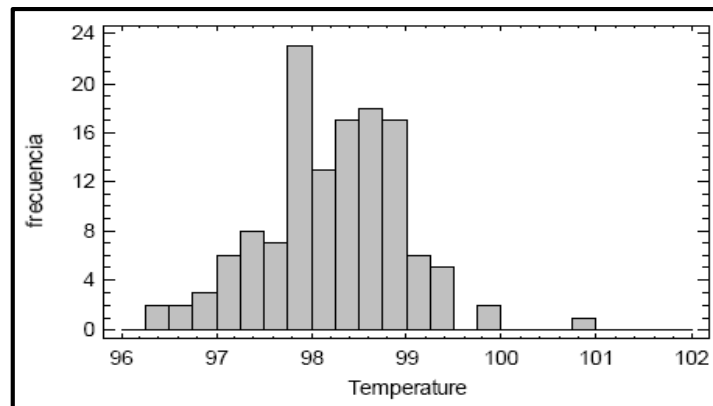


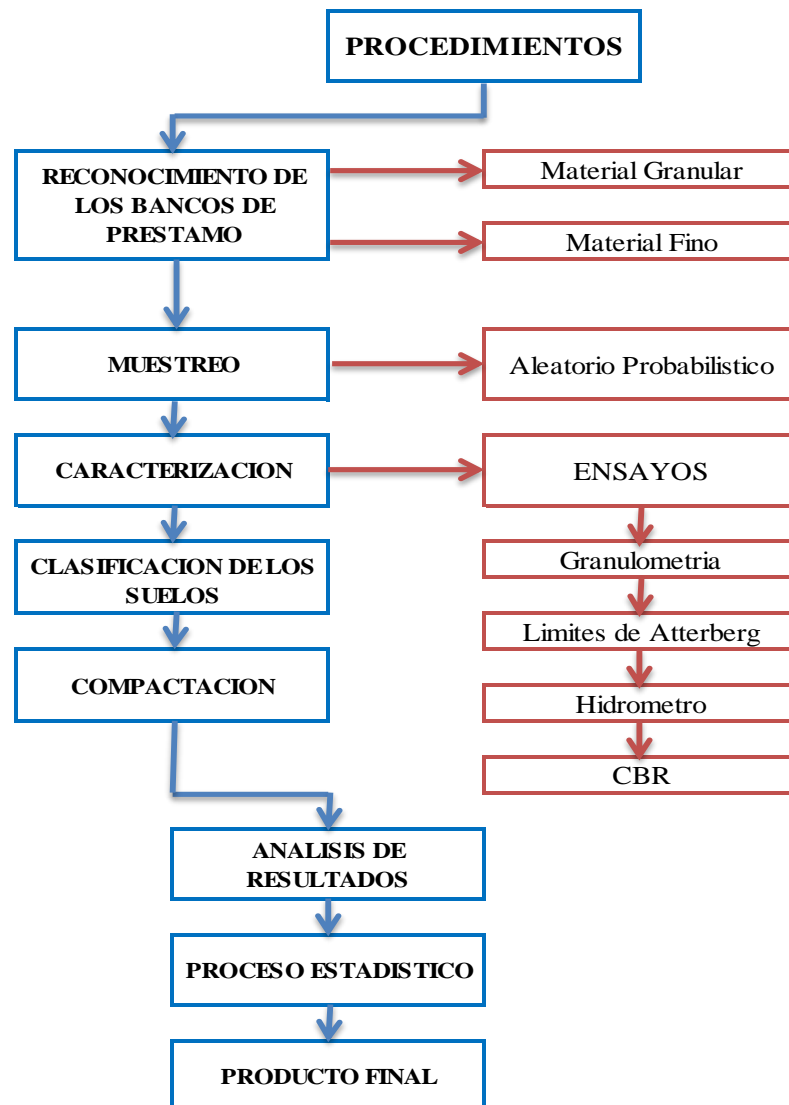
Figura 12. Histograma.

La altura de cada barra en el gráfico mencionado representa el número de observaciones en cada clase.

3. PROCEDIMIENTOS SECUENCIALES QUE SE SIGUIERON PARA LA INVESTIGACIÓN:

Lo que se pretende con el presente proyecto es determinar el comportamiento de compactación que presentan los diferentes tipos de suelo, considerando la densidad seca máxima y humedad óptima de los mismos, en base a diversos ensayos a realizar en laboratorios debidamente normalizados, para esto se describe a continuación los procesos a seguir:

ESQUEMA LÓGICO SECUENCIAL:



3.1 RECONOCIMIENTO DE LOS BANCOS DE PRÉSTAMO PARA LA EXTRACCION DE MATERIAL.

Por medio de indagaciones en los laboratorios de la alcaldía municipal de Tarija y de la universidad Juan Misael Saracho, se obtuvieron los siguientes bancos o canteras de extracción de muestras:

PARA MATERIAL GRANULAR O TAMBIÉN LLAMADOS ÁRIDOS:

Obrajes, Turumayo, Rancho Norte, San Blas, San Andrés, Bella Vista, Rincón de la Victoria, Santa Ana, La Ventolera, San Luis, Guadalquivir, tolomosa y Erquiz.



Se constató que en el rio Guadalquivir existe material granular con mezclas de material fino, también se verifico la presencia de arenas finas.

PARA MATERIAL FINO:

Pampa Galana, Quebrada el Monte, Miraflores, Ex parada del norte, Rancho.

3.2 MUESTREO: Se utilizara el muestreo aleatorio probabilístico.

3.2.1 MUESTREO ALEATORIO PROBABILÍSTICO:

Este método consiste en obtener muestras, de tal manera todas ellas tengan la misma probabilidad de ser elegidas para el proyecto, para se elige a algunas de ellas aleatoriamente.

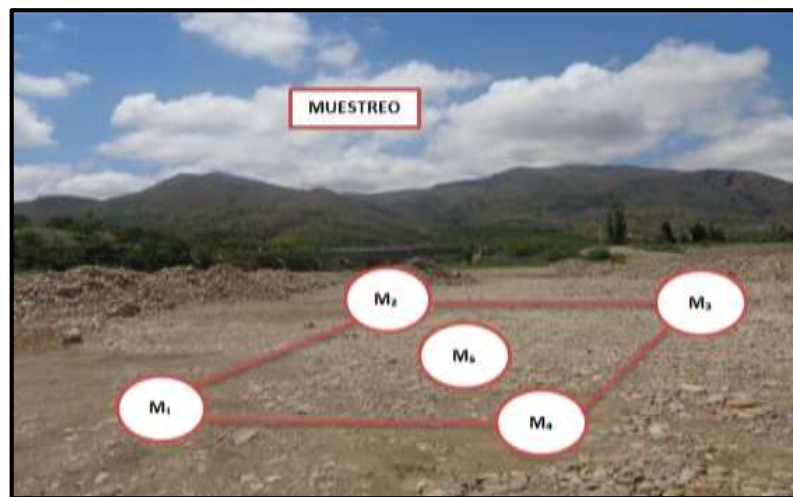


Figura 13. Selección de las muestras de forma aleatoria.

3.2.2 MUESTREO ALEATORIO CON REPOSICIÓN O REEMPLAZAMIENTO:

Esto se da cuando la muestra ya selecciona, tratada y estudiada, se la vuelve a utilizar porque sus características son útiles para ello.

3.2.3 JUSTIFICACIÓN DE LA ELECCIÓN DEL MÉTODO DE MUESTREO:

Para el proyecto se utilizara el muestreo probabilístico anteriormente descrito, puesto que al ir a traer material de los bancos de préstamo, estos materiales se encontraran alojados en un área determinada, entonces , se delimitara un área menor que contenga

el material que se adecue para el proyecto y se tomaran muestras cada cierta distancia de un punto de muestreo a otro, esto para toda el área delimitada, con la finalidad de que todas las muestras que se tomen tengan la misma probabilidad de ser elegidos para el proyecto, las distancias de un punto de muestreo a otro variaran dependiendo de la exactitud que se quiera obtener y de los tipos de suelo que tenga el banco de préstamo, puesto que tendremos que delimitar un área, la cual tenga el material que se necesita.

También se utilizará el muestreo aleatorio probabilístico con reposición o reemplazamiento, porque para el proyecto se repetirá el uso de un determinado suelo, ya que para los diferentes suelos clasificados según el sistema **AASHTO**, poco a poco se va variando las características de estos suelos de un tipo a otro, y se puede encontrar coincidencias de que las características de un mismo tipo de suelo sean las casi las mismas para otro tipo de suelo, entonces se podrá reutilizar un tipo de suelo para varios ensayos, esto dependiendo de la cantidad de material que se necesite para los diferentes ensayos.

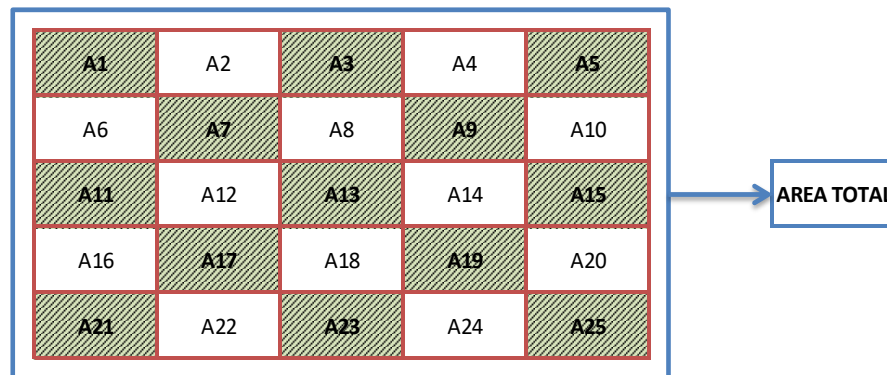


Figura 14. Esquema del muestreo a utilizar para el proyecto.

3.2.3.1 Descripción:

Primeramente se realizara la visita a un banco de préstamo para la extracción del material, posteriormente se ubicara o delimitara un área total, dicha área tendrá que tener por inspección visual el material con las características que se necesita para el

proyecto, se elegirá el área por el tamaño de las partículas que posee dicha área delimitada, luego el área total se sub dividirá en áreas muchos más pequeñas para realizarla la selección, una que el área mayor este dividido, se recogerá las muestras de forma aleatoria, es decir, las muestras que serán usadas para el proyecto serán escogidas de forma discontinua, como se muestra en el anterior gráfico, las áreas que se encuentran en color verde y rayadas serán escogidas para el proyecto y las demás no, esta selección será discontinua, de tal manera se tome una muestra y se je una sin ser elegida, a si progresivamente hasta abarcar con el total del área mayor antes delimitado.

3.3 CARACTERIZACIÓN:

Posteriormente terminando el reconocimiento a los bancos de préstamo y la recolección de los materiales se continuara con la caracterización de los materiales.

Para conocer las características o propiedades de los materiales a usar en el proyecto se realizara una caracterización con los siguientes ensayos:

3.3.1 CUARTEO DEL MATERIAL:

Antes de empezar con la caracterización se procederá al cuarteo del material elegido, con la finalidad de que la muestra a utilizar obtenga todas características con igual con las demás muestras a utilizar, para ello se depositara todo el material seleccionado a en un recipiente y se realizara en mezclado total de toda la muestra, posteriormente se dividirá dicha muestra en cuatro partes iguales, de las cuales dos partes serán utilizadas para el proyecto, tomando en cuenta la cantidad mínima de material que se necesita para cada ensayo, este procedimiento manual de cuarteo se visualiza mejor en el siguiente gráfico.

3.3.1.1 CUARTEO MANUAL: Consistió en realizar la mezcla del material seleccionado para luego dividirlo en cuatro partes y seleccionar la muestra que se necesita.

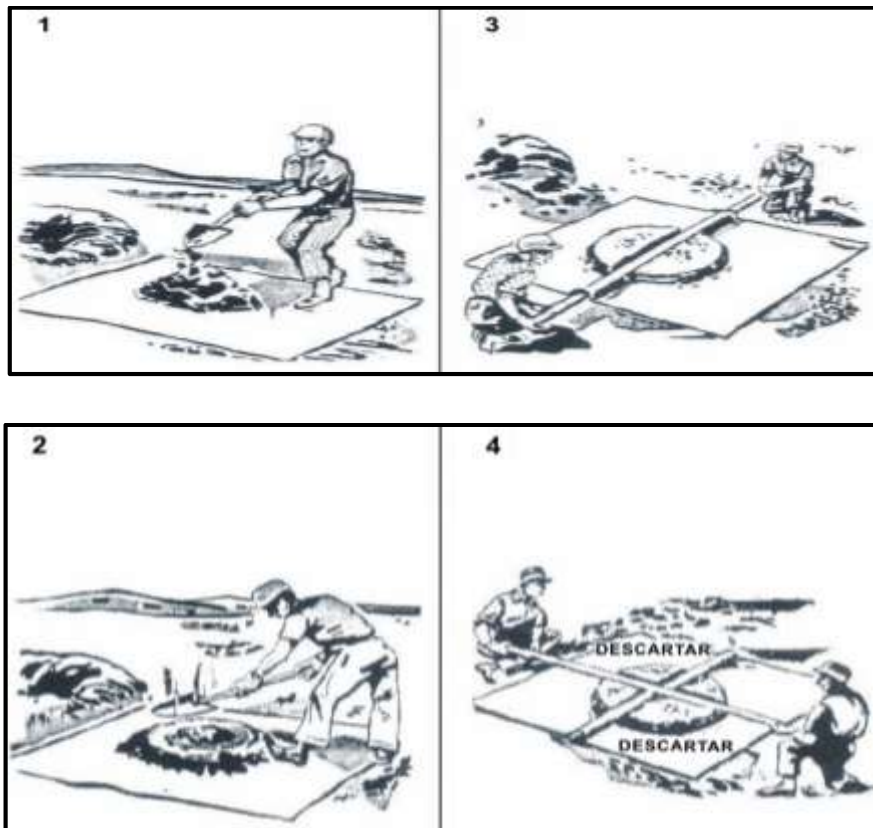


Figura 15. Procedimiento de Cuarteo.

3.3.1.2 CUARTEO MECANICO.- También se podrá realizar el cuarteo del material de forma mecánica con ayuda del siguiente equipo y recipiente.

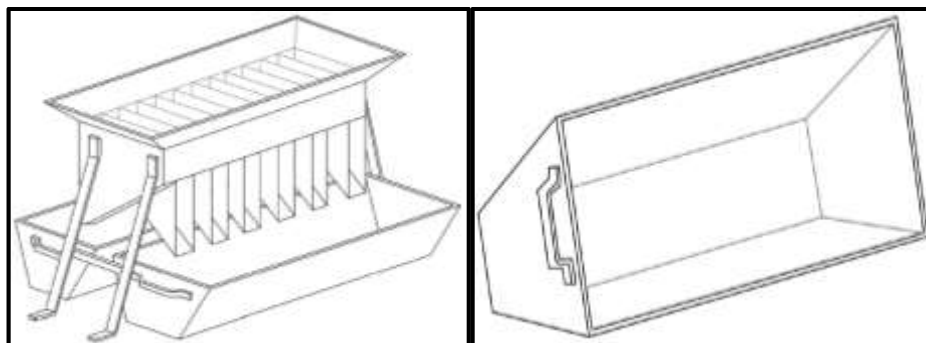


Figura 16. Materiales para el cuarteo.



Figura 17. Cuarteo del material granular.

Se coloca el material en cuarteador para que la muestra se deposite en los dos recipientes, para los ensayos del proyecto se elegirá solo el material de un recipiente.

3.4 ENSAYO DE GRANULOMETRÍA:

La obtención de la granulometría del material se logrará por medio de un análisis por cribado, que consiste en sacudir una determinada muestra de suelo a través de un conjunto de mallas o tamices que tienen aberturas progresivamente más pequeñas, es decir, van disminuyendo de tamaño.

3.4.1 TAMICES A USAR:

Todos los tamices que se usaron en este ensayo se dan en el siguiente gráfico, dependieron de la factibilidad que existió para encontrarlos todos, considerando utilizar la mayor cantidad de estos para el mejor análisis del suelo:

Tamices	Tamaño (mm)
3"	75
2 1/2"	63,5
2"	50
1 1/2"	37,5
1"	25
3/4"	19
1/2"	12,5
3/8"	9,5
Nº4	4,75
Nº10	2
Nº40	0,425
Nº200	0,075




Figura 18. Tamices utilizados para la distribución granulométrica del material.

3.4.2 NÚMERO DE ENSAYOS

Los ensayos para la granulometría fueron un mínimo de tres por muestra, hasta cinco como límite, dependiendo del tiempo requerido para realización de cada ensayo y el tiempo que se tendrá para la realización del proyecto.

3.4.3 TIEMPO DE REALIZACIÓN

Considerando que se realizó tres ensayos, y tomando en cuenta que cada ensayo toma un tiempo aproximado de dos horas, entonces se culminara la caracterización por medio de la granulometría en seis horas o un día aproximadamente, esto solo para una determinada muestra de suelo y banco de préstamo, ahora bien , si tomamos un promedio de cuatro bancos de préstamo a usar, es decir, dos para material fino y dos para material granular, también se sacara de un mismo banco el material fino y grueso si dicho banco de préstamo cuanta con estos dos tipos de material; tomando tres muestras por banco, se necesitaría un total de 36 ensayos de granulometría para toda la caracterización con este ensayo, entonces, el tiempo para todos los ensayos serían de 72 horas, es decir, 10 días hábiles o dos semanas aproximadamente, pudiendo variar los tiempos si se consideran más muestras o se presenta algún inconveniente.

3.4.5 Procedimiento: El procedimiento que se siguió para este ensayo serán en base a las normas ASTM y AASHTO.

Se seguirá como base de procedimiento la guía de laboratorio suelos y hormigones, sobre el ensayo de granulometría, de la Universidad Juan Misael Saracho.

3.5 ENSAYO DE LÍMITES:

La obtención de los límites de los suelos se lo realizo mediante la utilización del equipo de casa grande, esto para encontrar el límite líquido; y se utilizara también una base de vidrio para conocer el límite plástico.

Los ensayos de límites de Atterberg consisten en determinar al contenido de humedad de las muestras de suelo cuando estos están en los límites del campo plástico.

3.5.1 NÚMERO DE ENSAYOS.- Los ensayos para los límites fueron un mínimo de tres para cada muestra, dependiendo del tiempo requerido para realización de cada ensayo y el tiempo que se tendrá para la realización del proyecto.

3.5.2 TIEMPO DE REALIZACIÓN.- Si se considera que se realizaran tres ensayos de límites líquido y plástico, y tomando en cuenta cada ensayo toma un tiempo aproximado de una hora y media aproximadamente, tomando en cuenta que son cuatro los posibles bancos de préstamo a utilizar, entonces se necesitara realizar 36 ensayos en total para la caracterización con este ensayo, el tiempo requerido para todos los fueron de 54 horas, es decir, 7 días hábiles o una semana y media a aproximadamente, pudiendo variar los tiempos si se consideran más muestras o se presenta algún inconveniente.

3.5.3 Procedimiento:

Limite líquido: El procedimiento para la prueba del límite líquido está dado en la Prueba D-4318 de la ASTM.

Límite plástico: El procedimiento para la prueba del límite plástico se da en la prueba D-4318 de la ASTM.

Se seguirá como base de procedimiento la guía de laboratorio suelos y hormigones, sobre el ensayo de límites de Atterberg, de la Universidad Juan Misael Saracho.

3.6 ENSAYO DEL HIDRÓMETRO:

La obtención de los porcentajes de arcilla y limo de los suelos finos se lo realizo mediante la utilización de un hidrómetro normalizado.

Los ensayos de hidrómetro consisten en determinar el porcentaje de arcilla y limo de las muestras de suelo fino, cuando al realizar el proceso de granulometría mecánica, estos suelos poseen más del 50 % de material que pasa la malla N°200.

3.5.1 NÚMERO DE ENSAYOS.- Los ensayos para el hidrómetro fueron un mínimo de tres para cada muestra, dependiendo del tiempo requerido para realización de cada ensayo y el tiempo que se tendrá para la realización del proyecto.

3.5.2 TIEMPO DE REALIZACIÓN.- Si se considera que se realizaran tres ensayos de hidrómetro, y tomando en cuenta cada ensayo toma un tiempo aproximado de un día aproximadamente, tomando en cuenta que son cuatro los posibles bancos de préstamo a utilizar, entonces se necesitara realizar 12 ensayos en total para la caracterización con este ensayo, el tiempo requerido para todos los fueron de 12 días, es decir, 2 semanas aproximadamente, pudiendo variar los tiempos si se consideran más muestras o se presenta algún inconveniente.

3.5.3 Procedimiento:

El procedimiento para la prueba del hidrómetro está dado en la Prueba D-422 de la ASTM.

Se seguirá como base de procedimiento la guía de laboratorio suelos y hormigones, sobre el ensayo de hidrómetro, de la Universidad Juan Misael Saracho.

3.7 ENSAYO DE CBR:

Este ensayo tiene como finalidad conocer cuál es la relación entre la penetración que se realiza a un suelo y la capacidad de soporte del mismo, considerando como material de referencia a la piedra triturada., este ensayo realizara para un material fino y grueso.



Figura 19. Medición de la carga y expansión de la muestra.

3.7.1 NÚMERO DE ENSAYOS. Los ensayos para el CBR fueron de uno como mínimo por banco de préstamo, dependiendo del tiempo requerido para realización de cada ensayo y el tiempo que se tendrá para la realización del proyecto, esto tanto para material granular y fino.

3.7.2 TIEMPO DE REALIZACION. Si dijimos que utilizaremos cuatro bancos de préstamo, dos para material fino y dos para material grueso, entonces tardara dos días para el ensayo de CBR para el material fino, puesto que se realizaran dos ensayos; y para el material granular se tardara ocho días, puesto que se realizaran dos ensayos y cada uno toma cuatro días, en resumen, para todo el ensayo de CBR se tardara diez días

hábiles o aproximadamente dos semanas, pudiendo variar los tiempos si se consideran más muestras o se presenta algún inconveniente.

3.7.3 PROCEDIMIENTO: La prueba se describe en la norma ASTM D-1883

Se seguirá como base de procedimiento la guía de laboratorio suelos y hormigones, sobre el ensayo de CBR, de la Universidad Juan Misael Saracho.

3.8 PROCESO DE ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE SUELOS:

Una vez realizado todos los ensayos de caracterización, se procedió a realizar la comparación y depuración de dichos datos, esto se conseguirá realizando comparaciones del datos obtenidos con datos de referencia de los mismos ensayos que otras instituciones públicas o privadas, como en los laboratorios de la alcaldía municipal de Tarija o en el mismo laboratorio de la universidad Juan Misael Saracho, que hayan realizado los ensayos para tipos de suelo similares o en los mismos bancos de préstamo y realizando indagaciones al docente asignado a la materia, con la finalidad de realizar una comparación de datos.

3.9 PROCESO DE CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS A UTILIZAR:

Como es normal y se puede apreciar en los ejemplos de bancos de préstamo visualizadas en las gráficas anteriores, el material granular y fino se encuentra de manera mezclada o en algunos casos se encuentra separado el material granular del fino, por ello es importante antes de la realización del proyecto en laboratorio, realizar una clasificación de los tipos de suelo que serán parte del proyecto, dicha clasificación se realizara en base al sistema AASHTO, considerando los suelos detallados anteriormente, esto con la finalidad de tener cada tipo de suelo ya preparado, para realizar el proceso de compactación de estos suelos de manera directa.

Los suelos tendrán que tener las características descritas, según el sistema de clasificación **AASHTO**.

3.10 ENSAYO DE COMPACTACIÓN:

Se entiende por compactación de suelos a un proceso mecánico al cual se somete un determinado suelo para mejorar algunas características, como la resistencia, compresibilidad, y disminuir la deformación de dichos suelos provocados a causa de las cargas que puede llegar a soportar, esta compactación se la realiza expulsando el aire que se encuentra en el suelo y de esta manera reducir la cantidad de vacíos y lograr un acomodamiento de todas las partículas que conforman el suelo, aumentando su densidad, al realizar la compactación se elimina los vacíos del suelo y generalmente no el agua que contiene el suelo.



Figura 20. Pesaje y procedimiento de compactación

3.10.1 LABORATORIOS PARA LOS ENSAYOS:

Los laboratorios a usar para los ensayos de caracterización del material, serán laboratorios normalizados, siendo uno de los principales a usar el de la universidad Juan Misael Saracho por la facilidad o factibilidad que se tiene para usar los equipos de dicha entidad.

También se considerará utilizar laboratorios privados o de entidades públicas, como por ejemplo el de la alcaldía municipal de Tarija, dependiendo esto de la factibilidad económica que se tenga para este propósito.

3.10.2 NÚMERO DE ENSAYOS:

El número de ensayos que se toma en cuenta para la práctica es en base a las características y similitud que los suelos presentan siendo estos clasificados según el sistema AASHTO.

Los ensayos que se realizaran para cada tipo O CARACTERISTICA de suelo fueron un mínimo de treinta, dependiendo del tiempo requerido para la realización de cada ensayo y el tiempo que se tendrá para la realización del proyecto.

3.10.2.1 NÚMERO DE ENSAYOS PARA EL MATERIAL GRANULAR:

Para el grupo de los materiales granulares clasificados según el sistema AASHTO se realizaron un total de noventa ensayos, considerando que en este grupo existen tres subdivisiones, es decir, suelos tipo A-1, A-2, A-3, para cada una de estas tres subdivisiones se dividirá el número de noventa ensayos, es decir 30 ensayos para cada sub división, si existieran otras divisiones por cada sub división, se dividirá el correspondiente número de ensayos que corresponde a cada grupo de suelos de manera equitativa, en resumen, de esta manera el número de ensayos para el material granular es de noventa ensayos.

3.10.2.2 NÚMERO DE ENSAYOS PARA EL MATERIAL FINO:

Para el grupo de los materiales finos clasificados según el sistema AASHTO se realizarán un total de 60 ensayos, considerando que en este grupo existen cuatro subdivisiones, es decir, suelos tipo A-4, A-5, A-6, A-7, para cada una de estas cuatro subdivisiones se dividirá el número de sesenta ensayos, es decir treinta ensayos para los suelos A-4 y A-5 y treinta ensayos para los suelos A-6 y A-7, se realizan esta subdivisión puesto que los suelos que forman parte del mismo grupo ya siendo divididos presentan las mismas características o son muy similares entre sí.

Si existieran otras divisiones por cada sub división, se dividirá el correspondiente número de ensayos que corresponde a cada grupo de suelos de manera equitativa, en resumen, de esta manera el número de ensayos para el material fino es de sesenta ensayos.

NOTA.- Con la finalidad de cumplir con el propósito u objetivo primordial del proyecto, que es encontrar el comportamiento de la compactación, y para una mejor amplitud del trabajo se hacen estas divisiones del número de ensayos para tomar en cuenta todos los tipos de suelo en el tiempo total que se tiene para realizar todo el trabajo.

3.10.2.3 TIEMPO DE REALIZACIÓN.

Si se considera que se realizarán un total de 150 ensayos para todo el proyecto, y tomando en cuenta que cada ensayo toma un tiempo aproximado de una hora y media, entonces se culminará la obtención de la humedad óptima y densidad seca máxima de todos los tipos de suelo en 225 horas, es decir, 28 días, o aproximadamente 4 semanas, estos tiempos estarán sujetos a cambios según la disponibilidad que se tenga para usar el laboratorio principal que se tiene para realizar los ensayos, el cual es el laboratorio de suelos y hormigones de la universidad Juan Misael Saracho.

3.10.2.4 PROCEDIMIENTO:

Norma:

Los equipos o pruebas a usar se los conoce como prueba Proctor modificada (Prueba D-1557 de la ASTM y Prueba T-180 de la AASHTO) y Prueba Proctor Estándar de la prueba D-698 de la ASTM y en la prueba T-99 de la AASHTO.

El detalle del procedimiento que se seguirá para la compactación estará en base a la guía del laboratorio de suelos de la universidad Juan Misael Saracho.

3.11 PROCESO ESTADÍSTICO.

3.11.1 Probabilístico.- El análisis estadístico a realizar fue de carácter probabilístico, puesto que se utilizara los mecanismos de la estadística para describir las características de datos y resultados que obtuvieron.

Al contar con datos de diferentes datos de observación los mismos fueron analizados con una metodología de análisis estadístico con indicadores de tendencia central como son la media, moda, y medidas de dispersión como la desviación estándar, varianza y coeficiente de variación.

También se aplicaron otros mecanismos de análisis de datos mediante el programa STATGRAPHICS Centurión XVI.

3.12 PRODUCTO FINAL

El producto final es el resultado de toda la investigación sobre el comportamiento de compactación que presentan los diferentes tipos de suelo, este resultado está dado más adelante en forma de un ABACO, el cual relaciona las humedades optimas de los suelos con sus respectivas densidades, de manera que el lector tenga una referencia de control, en cuanto a la compactación de los suelos, en obras viales y en toda aquella que se realice el proceso de compactación.

3.13 DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS.

3.13.1 INSTRUMENTOS O EQUIPOS PARA LA CARACTERIZACIÓN.

3.13.1.1 ENSAYO DE GRANULOMETRÍA.

Con los siguientes materiales que se describirán se buscara conocer la granulometría que presentan los suelos, diferenciándolos por tamaño y peso, para obtener la curva granulométrica y así tener una visión de la distribución del tamaño de los gramos presentes en una masa de suelo.

3.13.1.1.1 TAMICES:

Son tejidos, de alambre y abertura cuadrada y sus tamaños nominales de abertura pertenecen a las series que se indican en la tabla siguiente, esta serie de tamaños numerales esta normada por **IBNORCA**.

Cuando no se cuente con tamices de aberturas en mm, los tamaños nominales podrán ser los que corresponden a la norma ASTM, que son los que mayormente son conocidos de esta forma en el laboratorio de suelos y hormigones de la Universidad Juan Misael Saracho.

Los marcos de los tamices deben ser metálicos y suficientemente rígidos y firmes para fijar y ajustar las telas de alambre, a fin de evitar pérdidas de material durante el tamizado y alteraciones en la abertura de las mallas. Deben ser circulares, con diámetros de 200mm y 300mm, preferentemente para los suelos gruesos.

Cada juego de tamices debe contar con un depósito que ajuste perfectamente, para la recepción del residuo más fino. Cada juego de tamices debe contar con una tapa que ajuste perfectamente para evitar pérdidas de material.

3.13.1.1.2 BALANZA:

Debe tener una capacidad superior a la masa de la muestra más el recipiente de pesaje y una precisión de 0,1 gr.

3.13.1.1.3 HORNO:

Provisto de temperatura regulable para las condiciones que el ensayo requiera.

3.13.1.1.4 HERRAMIENTAS Y ACCESORIOS:

Espátulas, brochas, recipientes para secado, recipientes para pesaje, etc.

3.13.1.2 ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG.

Con los siguientes materiales a usar se busca obtener las humedades correspondientes al límite líquido y límite plástico que presentan los suelos, esto mediante el cálculo del contenido de humedad de dichas muestras después de que a estas se las haya realizado el proceso para obtener dichos límites.

La obtención de los límites de los suelos se lo realizara mediante la utilización del equipo de casa grande, esto para encontrar el límite líquido; y se utilizara también una base de vidrio para conocer el límite plástico.

3.13.1.2.1 APARATO DE CASAGRANDE:

Es un aparato que consiste en una taza (cuchara) de bronce con una masa de 200 ± 20 grs, montada en un dispositivo de apoyo fijado a una base de caucho, madera o plástico duro y un acanalador con mango de calibre de 1 cm. para verificar la altura de caída de la cuchara, y para ajustar la altura de la caída de la taza, se gira la manivela hasta que la taza se eleve a su mayor altura. Utilizando el calibrador de 10 mm (adosado al ranurador), se verifica que la distancia entre el punto de percusión y la base sea de 10 mm exactamente.

De ser necesario, se aflojan los tornillos de fijación y se mueve el ajuste hasta obtener la altura de caída requerida. Si el ajuste es correcto se escuchará un ligero campanilleo producido por la leva al golpear el tope de la taza; si la taza se levanta por sobre el calibre o no se escucha ningún sonido debe realizarse un nuevo ajuste.

3.13.1.2.1.1 MARGEN DE ERROR DEL EQUIPO DE CASAGRANDE:

A pesar de existir una normativa, para encontrar el límite líquido por medio del equipo de Casagrande se genera un importante número de errores en la ejecución del ensayo, como por ejemplo la dificultad de realizar la ranura en ciertos suelos arenosos, la tendencia de los suelos de baja plasticidad a deslizar por la cuchara en lugar de fluir, sensibilidad de pequeñas diferencias en el aparato de Casagrande (como la forma del acanalador, dureza de la base, la forma de la leva, la rugosidad de la cuchara, etc.), la sensibilidad de la técnica del operador en realizar el ensayo. La combinación de todos estos factores hace pensar en los problemas derivados del uso de este método ya que los ensayos realizados sobre un mismo suelo pueden dar distintos resultados.

3.13.1.2.2 BASE DE VIDRIO:

Esta base de vidrio servirá para formar los rollitos de 3 mm de diámetro de un suelo plástico determinado y de esta manera conocer su contenido de humedad y por lo mismo su límite plástico.

3.13.1.2.2.1 MARGEN DE ERROR:

Por ser un ensayo relativamente sencillo de realizar, ya que es de forma manual y depende de la persona encargada en realizarlo, los errores que se producen son precisamente por parte del operador, dichos errores pueden ser visibilidad, al elegir una muestra que no presente las respectivas rajaduras necesarias a los tres milímetros de espesor, por ser una muestra pequeña, que se no mida de manera instantánea el peso de cada una de estas muestras antes de que empiecen a adquirir la humedad ambiental en un ambiente frío o húmedo y que el mismo operador de la práctica produzca la pérdida de material al realizar dicho ensayo.

3.13.1.3 COMPACTACIÓN:

Con los equipos de compactación se busca encontrar las humedades adecuadas, para que el suelo forme una curva de compactación que relacione densidades con humedades y así obtener los valores máximos.

3.13.1.3.1 T-99 de la AASHTO.

El ensayo Proctor estándar se realiza en un laboratorio de ensayo de suelos, tomando una muestra de suelo del sitio y compactándola, en un recipiente de $1/30 \text{ ft}^3$ (0.00094 m^3) de capacidad, en tres capas. Se deja caer un pisón de $5 \frac{1}{2} \text{ lb}$ (2.5 kg) de peso, con una superficie de impacto de 3.1 in^2 ($2,000 \text{ mm}^2$), desde una altura de 12 in. (300 mm), 25 veces sobre cada una de las tres capas, de igual espesor, con que se va llenando el recipiente. Luego se pesa el conjunto, se le resta el peso del recipiente, y se registra el peso como peso húmedo/ ft^3 (peso húmedo/ m^3). El material se seca en un horno durante 12 horas y se determina el contenido de agua.

3.13.1.3.2 T-180 de la AASHTO.

El ensayo Proctor modificado se hace, fundamentalmente, de la misma manera que el estándar, pero se usa un pisón de 10 lb (4.54 kg) que se deja caer, 25 veces, desde una altura de 18 in. (457 mm). El material se ensaya en un recipiente de $1/30$ de ft^3 (0.00094 m^3), llenado en cinco capas iguales.

El esfuerzo de compactación producido en el Proctor modificado es $56,000 \text{ lbf}$ ($75,926 \text{ N}$), mientras que en el Proctor estándar es $12,400 \text{ lbf}$ ($16,812 \text{ N}$). El ensayo modificado se usa, normalmente, para ensayar materiales de suelo y base, para una resistencia al corte mayor, que soporten cargas más altas como las encontradas en calles y pavimentos industriales.

3.13.1.3.3 MARGEN DE ERROR:

Los errores que presentan ambos ensayos de compactación, tanto el Proctor estándar y modificado, dependen en su mayoría del manipuleo y forma de uso del operador de la práctica, estos errores se pueden presentar en el pesaje del molde con la muestra de suelo ya compactada, esto por el mal enrasado del material a nivel más alto del molde, comúnmente también se dan errores de peso cuando después de realizar la compactación no se limpia el equipo con la muestra que será pesada, y esos pequeños finos y materiales que se pegan al equipo, producen errores pequeños pero que a medida que el número de ensayos aumente, dichos errores se vuelven considerables.

3.13.1.4 EQUIPOS PARA CBR:

Con estos equipos se busca conocer la relación entre la penetración que se realiza a un suelo y la capacidad de soporte del mismo, considerando como material de referencia a la piedra triturada, y de esta manera poder caracterizar el suelo que se trate en la ensayo.

El valor relativo de soporte se obtiene de una prueba de penetración, en la cual un vástago de 19,4 cm² de área se hace penetrar en un espécimen de suelo a razón de 0,127 cm/min. Se mide la carga aplicada para penetraciones que varíen en 0,25cm. El CBR se define como la relación expresada en porcentaje, entre la presión necesaria para penetrar los primeros 0,25cm y la presión para tener la misma penetración en un material arbitrario, adoptado como patrón, que es una piedra triturada.

3.13.1.5 LOS EQUIPOS PARA LA COMPACTACIÓN DE ESTE ENSAYO SON:

Molde cilíndrico de diámetro inferior de 6" y altura de 7" a 8", un collarín de 2" de altura, una base perforada, un disco espaciador de acero de 2,5" de altura y un pistón o martillo de 10lb y altura de caída de 18".

3.13.1.6 LOS EQUIPOS PARA EL HINCHAMIENTO SON:

Un plato y vástago con altura regulable, un trípode y extensómetro, pesas anulares o en forma de herradura dura de 5lb.

3.13.1.7 LOS EQUIPOS PARA LA PENETRACIÓN SON:

Un pistón cilíndrico de 3" cuadradas de sección, un aparato para aplicar la carga, un anillo dinamométrico con extensómetro calibrado, balanzas, hornos, tamices, papel de filtro, etc.

3.14 RESUMEN DE RESULTADOS:

3.14.1 Resumen de la caracterización de los suelos.

CLASIFICACION	GRANULOMETRIA												LIMITES		
	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200	LL	LP	IP
A-1-a (0)	100	100	100	100	100	98,84	92,81	87,56	67,90	40,55	12,95	8,25	48,18	42,21	5,96
A-1-b (0)	100	100	100	100	100	99,57	96,89	92,81	78,04	65,17	49,99	6,74	46,29	42,41	3,88
A-2-4 (0)	100	100	100	100	100	96,72	90,47	84,4	76,53	65,15	51,29	34,71	28,04	19,75	8,29
A-2-5 (0)	100	100	100	100	100	96,84	90,61	84,6	77,31	65,49	50,74	34,56	42,84	33,11	9,74
A-2-6 (1)	100	100	100	100	100	97,83	92,11	86,3	79,26	67,9	53,58	34,91	35,35	18,55	16,8
A-2-7 (1)	100	100	100	100	100	100	97,43	93	84,25	73,90	54,25	32,87	46,29	31,67	14,62
A-3 (0)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98,36	0,84	No Pres.	No Pres.	No Pres.
A-4 (2)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,83	87,22	29,33	27,25	2,08
A-5 (12)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,89	89,33	47,94	39,95	7,99
A-6 (11)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,84	88,16	34,32	21,76	12,56
A-7-5 (18)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,98	99,81	96,64	45,89	31,32	14,58
A-7-6 (19)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,98	99,85	97,30	53,81	26,03	27,87

3.14.2 Resumen de la caracterización y descripción de los suelos.

CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL SUELO	HIDROMETRO		C.B.R.			COMPACTACION	
		% de Arcilla	% de Limo	100%	95%	90%	Dmax	CHO
A-1-a (0)	Principalmente gravas con o sin particulas finas de granulometrias bien definidas	No Pres.	No Pres.	74,23	42,27	10,32	2,180	6,870
A-1-b (0)	Arena con o sin particulas finas de granulometrias bien definidas	No Pres.	No Pres.	72,24	42,39	12,54	2,090	7,500
A-2-4 (0)	Gravas y arenas, que contienen limo a arcilla en cantidades reducidas, cuya plasticidad es baja	No Pres.	No Pres.	63,30	44,29	25,28	2,050	8,370
A-2-5 (0)		No Pres.	No Pres.	39,34	24,94	10,54	2,045	8,386
A-2-6 (1)	Son suelos similares a los anteriores con la diferencia, de que la fraccion que pasa el tamiz N°40, se comporta en plasticidad igual a los grupos A-6 y A-7 respectivamente	No Pres.	No Pres.	36,90	28,13	19,36	2,000	10,719
A-2-7 (1)		No Pres.	No Pres.	38,38	26,06	13,74	1,996	10,685
A-3 (0)	Arenas finas conteniendo limos no plasticos, algunas veces pueden contener poca grava y arena gruesa	No Pres.	No Pres.	54,59	45,39	36,19	1,710	15,100
A-4 (2)	Suelos limosos, poco o nada plasticos, puede contener mas de un 75% del material que pasa el tamiz N°200	6,41	93,59	16,44	14,01	11,58	1,937	12,776
A-5 (12)	Sus limites liquidos son elevados, por lo que es una propiedad elastica rara en los suelos	11,33	88,67	14,77	12,63	10,48	1,923	13,048
A-6 (11)	Predomina la arcilla, aunque puede contener pequeños porcentajes de arena fina y limo	6,55	93,45	15,55	13,76	11,98	1,782	16,942
A-7-5 (18)	Sus indices de plasticidad no son muy altos con respecto a sus limites liquidos	10,68	89,32	10,26	9,19	8,12	1,750	18,167
A-7-6 (19)	Sus indices de plasticidad son muy elevados, presentan grandes cambios de volumen entre sus estados seco y humedo	12,26	87,74	14,53	10,98	7,42	1,707	18,485

4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESULTADOS DE COMPACTACIÓN

4.1 Análisis de Una Variable - A-1 (Densidad Seca Máxima)

Datos/Variable: A-1 (Densidad Seca Máxima) (Dmax)

30 valores con rango desde 2,074 a 2,203

El StatAdvisor

Este procedimiento está diseñado para resumir una sola muestra de datos. Calculará varios estadísticos y gráficas. También incluidos en el procedimiento están los intervalos de confianza y las pruebas de hipótesis. Use los botones de Opciones Tabulares y de Opciones Gráficas en la barra de herramientas para análisis, para acceder a estos diferentes procedimientos.

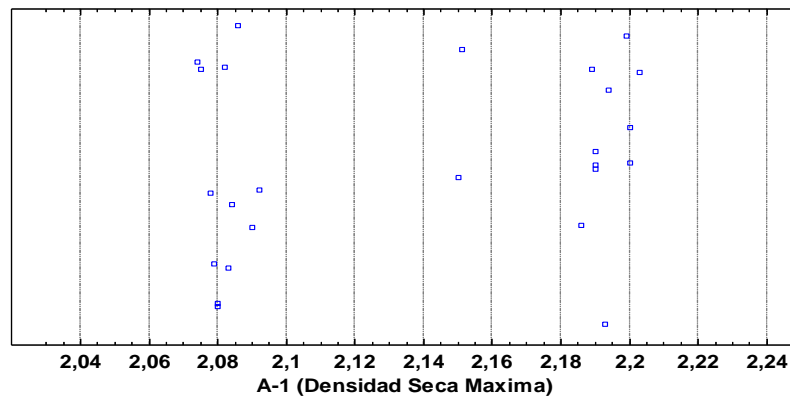


Figura 21. Gráfico de dispersión de la densidad para un suelo A-1.

Tabla 5. Resumen Estadístico para A-1 (Densidad Seca Máxima)

Recuento	30
Promedio	2,13687
Mediana	2,1465
Moda	

Media Geométrica	2,1362
Varianza	0,00295288
Desviación Estándar	0,0543404
Coefficiente de Variación	2,54%
Error Estándar	0,00992115
Mínimo	2,074
Máximo	2,203
Rango	0,129
Cuartil Inferior	2,081
Cuartil Superior	2,191

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para A-1 (Densidad Seca Máxima). Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada no se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

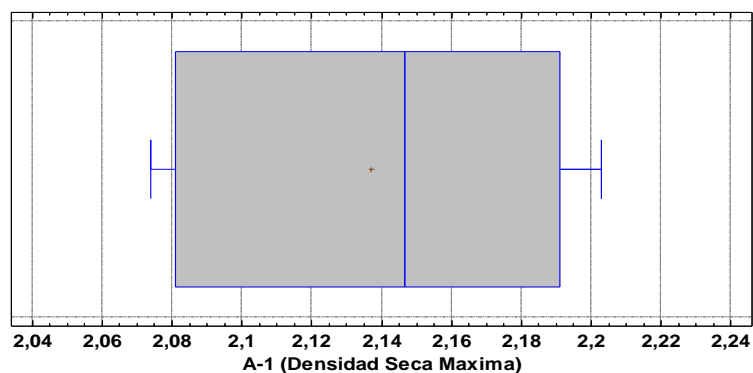


Figura 22. Gráfico de Caja y Bigotes de la Densidad para un suelo A-1.

Tabla 6. Frecuencias para A-1 (Densidad Seca Máxima)

	<i>Límite</i>	<i>Límite</i>			<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>
<i>Clase</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>	<i>Punto Medio</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Relativa</i>	<i>Acumulada</i>	<i>Rel. Acum.</i>
	menor o igual	2		0	0,0000	0	0,0000
1	2	2,016	2,008	0	0,0000	0	0,0000
2	2,016	2,032	2,024	0	0,0000	0	0,0000
3	2,032	2,048	2,04	0	0,0000	0	0,0000
4	2,048	2,064	2,056	0	0,0000	0	0,0000
5	2,064	2,08	2,072	7	0,2333	7	0,2333
6	2,08	2,096	2,088	7	0,2333	14	0,4667
7	2,096	2,112	2,104	0	0,0000	14	0,4667
8	2,112	2,128	2,12	0	0,0000	14	0,4667
9	2,128	2,144	2,136	1	0,0333	15	0,5000
10	2,144	2,16	2,152	2	0,0667	17	0,5667
11	2,16	2,176	2,168	0	0,0000	17	0,5667
12	2,176	2,192	2,184	6	0,2000	23	0,7667

13	2,192	2,208	2,2	7	0,2333	30	1,0000
14	2,208	2,224	2,216	0	0,0000	30	1,0000
15	2,224	2,24	2,232	0	0,0000	30	1,0000
	mayor de	2,24		0	0,0000	30	1,0000

Media = 2,13687 Desviación Estándar = 0,0543404

El StatAdvisor

Esta opción ejecuta una tabulación de frecuencias dividiendo el rango de A-1 (Densidad Seca Máxima) en intervalos del mismo ancho, y contando el número de datos en cada intervalo. Las frecuencias muestran el número de datos en cada intervalo, mientras que las frecuencias relativas muestran las proporciones en cada intervalo. Puede cambiarse la definición de los intervalos pulsando el botón secundario del ratón y seleccionando Opciones de Ventana. Pueden verse gráficamente los resultados de la tabulación seleccionando Histograma de Frecuencias de la lista de Opciones Gráficas.

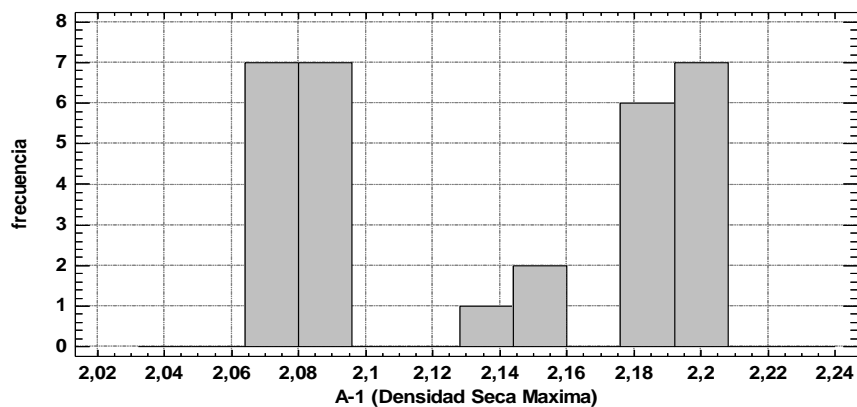


Figura 23. Histograma de Densidad para un suelo A-1.

Intervalos de Confianza para A-1 (Densidad Seca Máxima)

Intervalos de confianza del 95,0% para la media: $2,13687 \pm 0,0202911$ [2,11658; 2,15716]

Intervalos de confianza del 95,0% para la desviación estándar: [0,0432771; 0,0730506]

El StatAdvisor

Este panel muestra los intervalos de confianza del 95,0% para la media y la desviación estándar de A-1 (Densidad Seca Máxima). La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media verdadera o la desviación estándar verdadera de la población de la que fueron extraídas las muestras, el 95,0% de las veces. En términos prácticos, puede establecerse con 95,0% de confianza, que la media verdadera de A-1 (Densidad Seca Máxima) se encuentra en algún lugar entre 2,11658 y 2,15716, en tanto que la desviación estándar verdadera está en algún lugar entre 0,0432771 y 0,0730506.

Ambos intervalos asumen que la población de la cual proviene la muestra puede representarse por la distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto y no muy sensible a violaciones de este supuesto, los intervalos de confianza para la desviación estándar son muy sensibles. Si los datos no provienen de una distribución normal, el intervalo para la desviación estándar puede ser incorrecto. Para verificar si los datos provienen de una distribución normal, seleccione Resumen Estadístico de la lista de Opciones Tabulares, o escoja Gráfica de Probabilidad Normal de la lista de Opciones Gráficas.

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para A-1 (Densidad Seca Máxima)

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Distribución Normal</i>
DMAS	0,262169
DMENOS	0,250383
DN	0,262169
P-Valor	0,0323608

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de pruebas realizadas para determinar si A-1 (Densidad Seca Máxima) puede modelarse adecuadamente con una Normal. La prueba de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de A-1 (Densidad Seca Máxima) y la FDA de la Normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0,262169.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0,05, se puede rechazar la idea de que A-1 (Densidad Seca Máxima) proviene de una Normal con 95% de confianza.

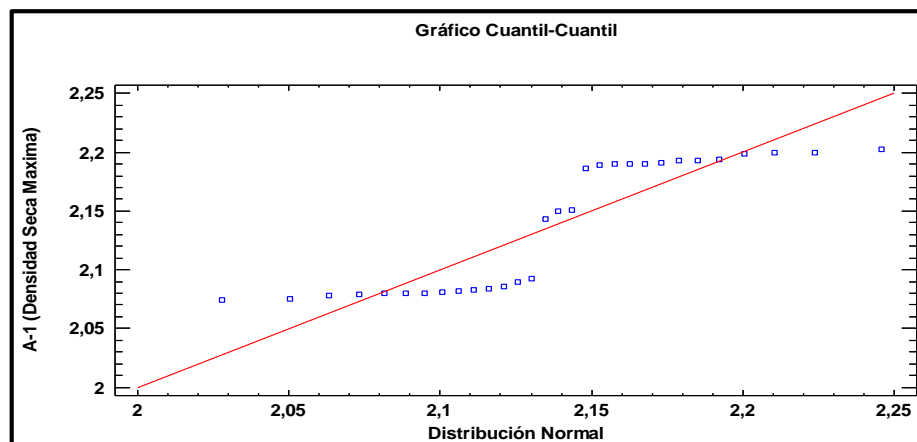


Figura 24. Prueba de Normalidad de Densidad para un suelo A-1.

Límites de Tolerancia Estadística - A-1 (Densidad Seca Máxima)

Datos/Variable: A-1 (Densidad Seca Máxima) (Dmax)

Distribución: Normal

Tamaño de muestra = 30

Media = 2,13687

desv. est. = 0,0543404

Intervalos de tolerancia del 95,0% para 99,0% de la población

Xbarra +/- 3,34971 sigma

Superior: 2,31889

Inferior: 1,95484

El StatAdvisor

Asumiendo que A-1 (Densidad Seca Máxima) proviene de una distribución normal, los límites de tolerancia establecen que se puede estar 95,0% confiados en que 99,0% de la distribución cae entre 1,95484 y 2,31889. Este intervalo se calcula tomando la media de los datos +/-3,34971 veces la desviación estándar.

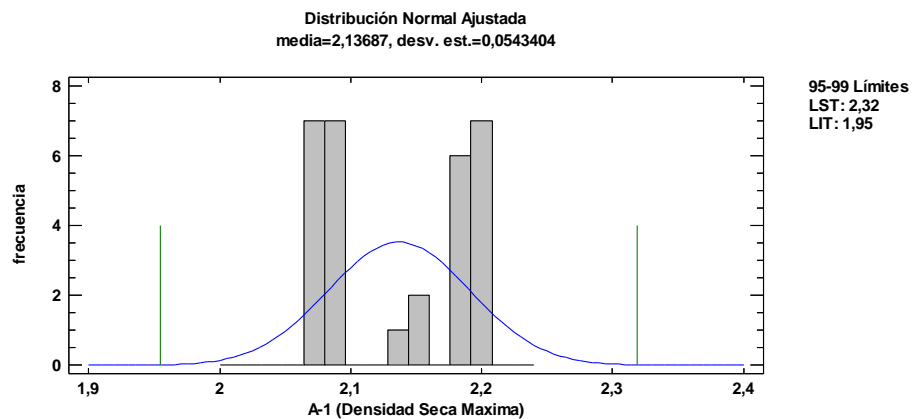


Figura 25. Límites de Tolerancia de Densidad para un suelo A-1.

4.2 Análisis de Una Variable - A-1(Humedad Óptima)

Datos/Variable: A-1(Humedad Óptima) (CHO)

30 valores con rango desde 5,589 a 7,79

El StatAdvisor

Este procedimiento está diseñado para resumir una sola muestra de datos. Calculará varios estadísticos y gráficas. También incluidos en el procedimiento están los intervalos de confianza y las pruebas de hipótesis. Use los botones de Opciones Tabulares y de Opciones Gráficas en la barra de herramientas para análisis, para acceder a estos diferentes procedimientos.

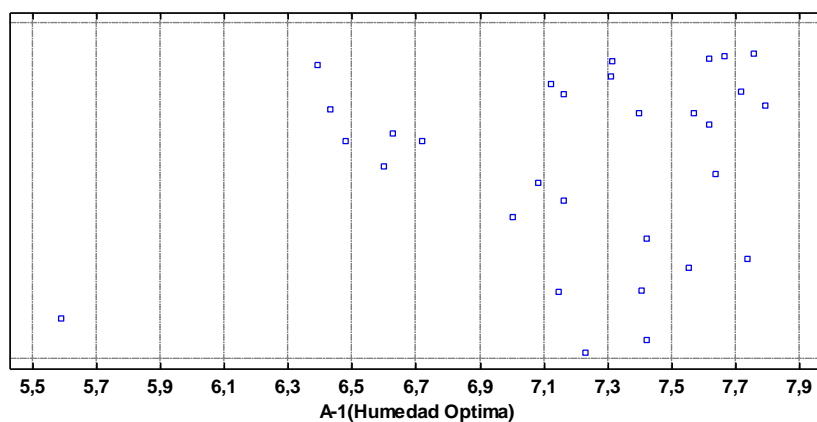


Figura 26. Gráfico de dispersión de la Humedad Óptima para un suelo A-1

Tabla 7. Resumen Estadístico para A-1(Humedad Óptima)

Recuento	30
Promedio	7,18787
Mediana	7,3115
Moda	7,42
Media Geométrica	7,16866
Varianza	0,267764
Desviación Estándar	0,51746
Coficiente de Variación	7,20%

Error Estándar	0,0944748
Mínimo	5,589
Máximo	7,79
Rango	2,201
Cuartil Inferior	7,0
Cuartil Superior	7,614

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para A-1(Humedad Optima). Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor de sesgo estandarizado no se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

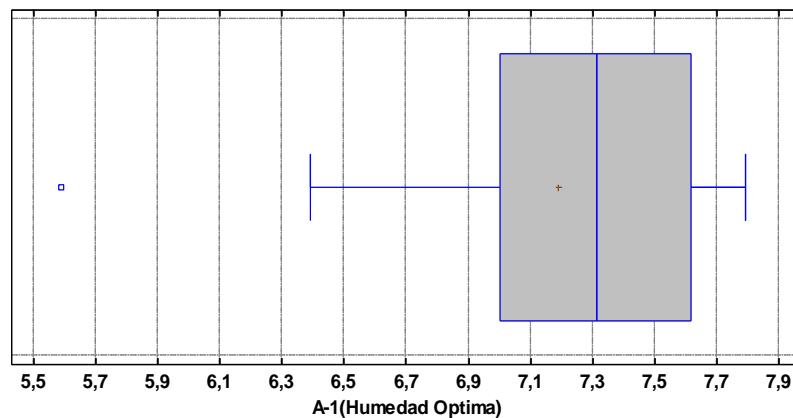


Figura 27. Gráfico de caja y bigotes de la Humedad Optima para un suelo A-1

Tabla 8. Frecuencias para A-1(Humedad Optima)

	<i>Límite</i>	<i>Límite</i>			<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>
<i>Clase</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>	<i>Punto Medio</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Relativa</i>	<i>Acumulada</i>	<i>Rel. Acum.</i>
	menor o igual	5,4		0	0,0000	0	0,0000
1	5,4	5,6	5,5	1	0,0333	1	0,0333
2	5,6	5,8	5,7	0	0,0000	1	0,0333
3	5,8	6,0	5,9	0	0,0000	1	0,0333
4	6,0	6,2	6,1	0	0,0000	1	0,0333
5	6,2	6,4	6,3	1	0,0333	2	0,0667
6	6,4	6,6	6,5	3	0,1000	5	0,1667
7	6,6	6,8	6,7	2	0,0667	7	0,2333
8	6,8	7,0	6,9	1	0,0333	8	0,2667
9	7,0	7,2	7,1	5	0,1667	13	0,4333
10	7,2	7,4	7,3	4	0,1333	17	0,5667
11	7,4	7,6	7,5	5	0,1667	22	0,7333
12	7,6	7,8	7,7	8	0,2667	30	1,0000
13	7,8	8,0	7,9	0	0,0000	30	1,0000
14	8,0	8,2	8,1	0	0,0000	30	1,0000
15	8,2	8,4	8,3	0	0,0000	30	1,0000
	mayor de	8,4		0	0,0000	30	1,0000

Media = 7,18787 Desviación Estándar = 0,51746

El StatAdvisor

Esta opción ejecuta una tabulación de frecuencias dividiendo el rango de A-1(Humedad Optima) en intervalos del mismo ancho, y contando el número de datos en cada intervalo. Las frecuencias muestran el número de datos en cada intervalo, mientras que las frecuencias relativas muestran las proporciones en cada intervalo. Puede cambiarse la definición de los intervalos pulsando el botón secundario del ratón y seleccionando Opciones de Ventana. Pueden verse gráficamente los resultados de la tabulación seleccionando Histograma de Frecuencias de la lista de Opciones Gráficas.

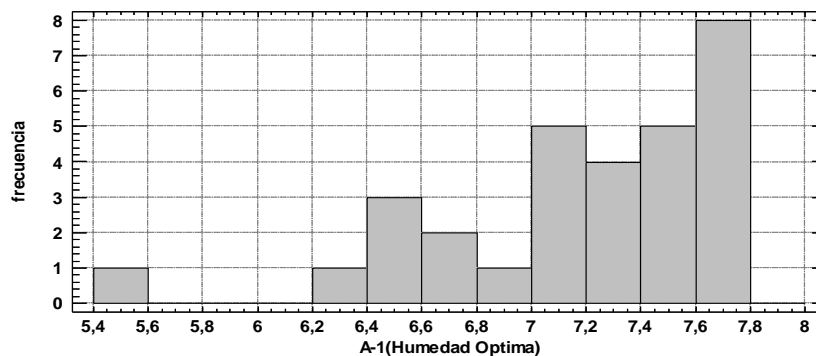


Figura 28. Histograma de la Humedad Optima para un suelo A-1

Intervalos de Confianza para A-1(Humedad Optima)

Intervalos de confianza del 95,0% para la media: $7,18787 \pm 0,193223$ [6,99464; 7,38109]

Intervalos de confianza del 95,0% para la desviación estándar: [0,412108; 0,695629]

El StatAdvisor

Este panel muestra los intervalos de confianza del 95,0% para la media y la desviación estándar de A-1(Humedad Optima). La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media verdadera o la desviación estándar verdadera de la población de la que fueron extraídas las muestras, el 95,0% de las veces. En términos prácticos, puede establecerse con 95,0% de confianza, que la media verdadera de A-1(Humedad Optima) se encuentra en algún

lugar entre 6,99464 y 7,38109, en tanto que la desviación estándar verdadera está en algún lugar entre 0,412108 y 0,695629.

Ambos intervalos asumen que la población de la cual proviene la muestra puede representarse por la distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto y no muy sensible a violaciones de este supuesto, los intervalos de confianza para la desviación estándar son muy sensibles. Si los datos no provienen de una distribución normal, el intervalo para la desviación estándar puede ser incorrecto. Para verificar si los datos provienen de una distribución normal, seleccione Resumen Estadístico de la lista de Opciones Tabulares, o escoja Gráfica de Probabilidad Normal de la lista de Opciones Gráficas.

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para A-1(Humedad Óptima)

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Distribución Normal</i>
DMAS	0,122286
DMENOS	0,150768
DN	0,150768
P-Valor	0,515611

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de pruebas realizadas para determinar si A-1(Humedad Óptima) puede modelarse adecuadamente con una Normal. La prueba de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de A-1(Humedad Óptima) y la FDA de la Normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0,150768.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que A-1(Humedad Óptima) proviene de una Normal con 95% de confianza.

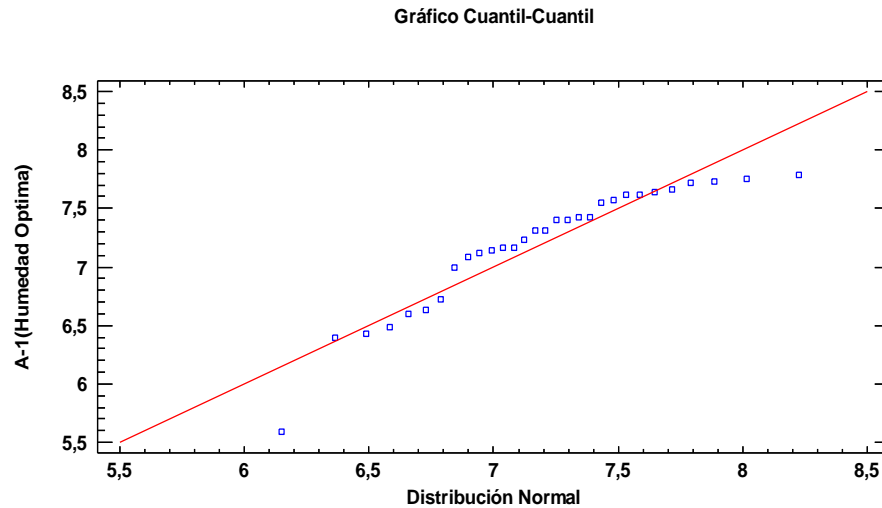


Figura 29. Ajuste de Normalidad de la Humedad Óptima para un suelo A-1

Límites de Tolerancia Estadística - A-1(Humedad Óptima)

Datos/Variable: A-1(Humedad Óptima) (CHO)

Distribución: Normal

Tamaño de muestra = 30

Media = 7,18787

desv. est. = 0,51746

Intervalos de tolerancia del 95,0% para 99,0% de la población

Xbarra +/- 3,34971 sigma

Superior: 8,92121

Inferior: 5,45453

El StatAdvisor

Asumiendo que A-1(Humedad Óptima) proviene de una distribución normal, los límites de tolerancia establecen que se puede estar 95,0% confiados en que 99,0% de

la distribución cae entre 5,45453 y 8,92121. Este intervalo se calcula tomando la media de los datos $\pm 3,34971$ veces la desviación estándar.

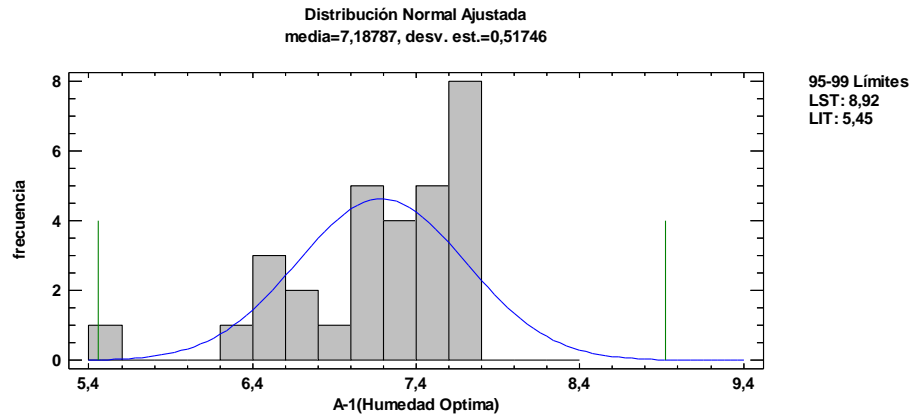


Figura 30. Límites de Tolerancia de la Humedad Optima para un suelo A-1

4.3 Análisis de Una Variable - A-2 (Densidad Seca Máxima)

Datos/Variable: A-2 (Densidad Seca Máxima) (Dmax)

30 valores con rango desde 1,991 a 2,061

El StatAdvisor

Este procedimiento está diseñado para resumir una sola muestra de datos. Calculará varios estadísticos y gráficas. También incluidos en el procedimiento están los intervalos de confianza y las pruebas de hipótesis. Use los botones de Opciones Tabulares y de Opciones Gráficas en la barra de herramientas para análisis, para acceder a estos diferentes procedimientos.

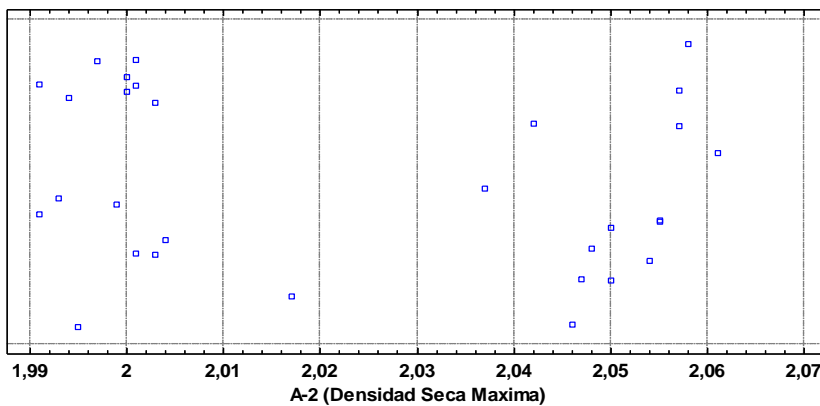


Figura 31. Gráfico de la dispersión de la densidad para un suelo A-2

Tabla 9. Resumen Estadístico para A-2 (Densidad Seca Máxima)

Recuento	30
Promedio	2,02357
Mediana	2,0105
Moda	2,001
Media Geométrica	2,02339
Varianza	0,000733013
Desviación Estándar	0,0270742
Coefficiente de Variación	1,34%
Error Estándar	0,00494305
Mínimo	1,991
Máximo	2,061
Rango	0,07
Cuartil Inferior	2,0
Cuartil Superior	2,05

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para A-2 (Densidad Seca Máxima). Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada no se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

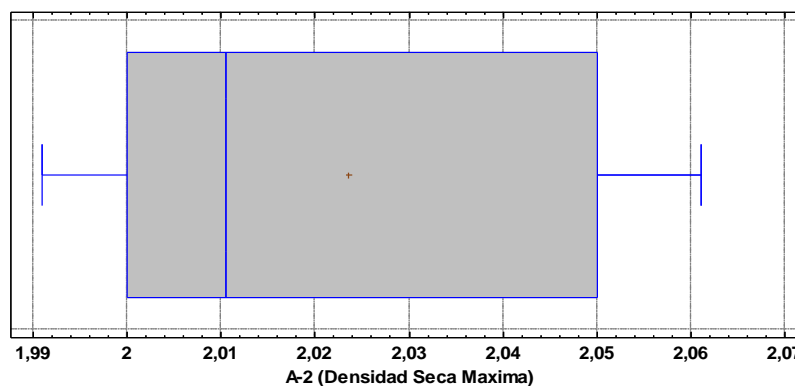


Figura 32. Gráfico de caja y bigotes de la densidad para un suelo A-2

Tabla 10. Frecuencias para A-2 (Densidad Seca Máxima)

	<i>Límite</i>	<i>Límite</i>			<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>
<i>Clase</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>	<i>Punto Medio</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Relativa</i>	<i>Acumulada</i>	<i>Rel. Acum.</i>
	menor o igual	1,98		0	0,0000	0	0,0000
1	1,98	1,98667	1,98333	0	0,0000	0	0,0000
2	1,98667	1,99333	1,99	3	0,1000	3	0,1000

3	1,99333	2,0	1,99667	6	0,2000	9	0,3000
4	2,0	2,00667	2,00333	6	0,2000	15	0,5000
5	2,00667	2,01333	2,01	0	0,0000	15	0,5000
6	2,01333	2,02	2,01667	1	0,0333	16	0,5333
7	2,02	2,02667	2,02333	0	0,0000	16	0,5333
8	2,02667	2,03333	2,03	0	0,0000	16	0,5333
9	2,03333	2,04	2,03667	1	0,0333	17	0,5667
10	2,04	2,04667	2,04333	2	0,0667	19	0,6333
11	2,04667	2,05333	2,05	4	0,1333	23	0,7667
12	2,05333	2,06	2,05667	6	0,2000	29	0,9667
13	2,06	2,06667	2,06333	1	0,0333	30	1,0000
14	2,06667	2,07333	2,07	0	0,0000	30	1,0000
15	2,07333	2,08	2,07667	0	0,0000	30	1,0000
	mayor de	2,08		0	0,0000	30	1,0000

Media = 2,02357 Desviación Estándar = 0,0270742

El StatAdvisor

Esta opción ejecuta una tabulación de frecuencias dividiendo el rango de A-2 (Densidad Seca Máxima) en intervalos del mismo ancho, y contando el número de datos en cada intervalo. Las frecuencias muestran el número de datos en cada intervalo, mientras que las frecuencias relativas muestran las proporciones en cada intervalo. Puede cambiarse la definición de los intervalos pulsando el botón secundario del ratón y seleccionando Opciones de Ventana. Pueden verse gráficamente los resultados de la tabulación seleccionando Histograma de Frecuencias de la lista de Opciones Gráficas.

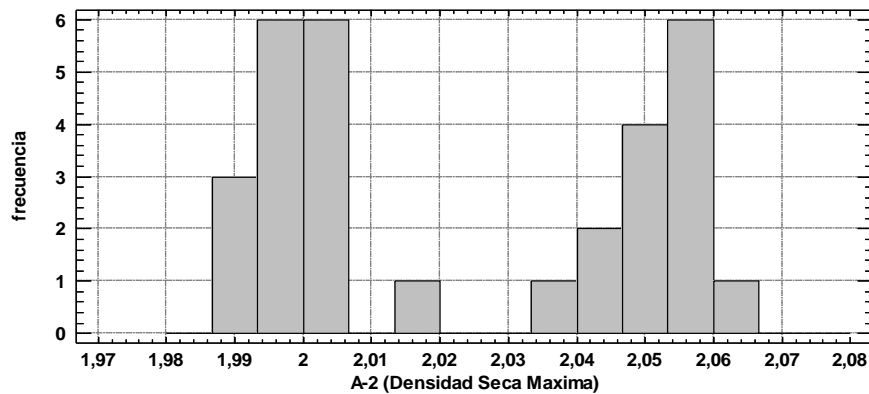


Figura 33. Histograma de la densidad para un suelo A-2

Intervalos de Confianza para A-2 (Densidad Seca Máxima)

Intervalos de confianza del 95,0% para la media: $2,02357 \pm 0,0101097$ [2,01346; 2,03368]

Intervalos de confianza del 95,0% para la desviación estándar: [0,0215621; 0,0363963]

El StatAdvisor

Este panel muestra los intervalos de confianza del 95,0% para la media y la desviación estándar de A-2 (Densidad Seca Máxima). La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media verdadera o la desviación estándar verdadera de la población de la que fueron extraídas las muestras, el 95,0% de las veces. En términos prácticos, puede establecerse con 95,0% de confianza, que la media verdadera de A-2 (Densidad Seca Máxima) se encuentra en algún lugar entre 2,01346 y 2,03368, en tanto que la desviación estándar verdadera está en algún lugar entre 0,0215621 y 0,0363963.

Ambos intervalos asumen que la población de la cual proviene la muestra puede representarse por la distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto y no muy sensible a violaciones de este supuesto, los intervalos de confianza para la desviación estándar son muy sensibles. Si los datos no

proviene de una distribución normal, el intervalo para la desviación estándar puede ser incorrecto. Para verificar si los datos provienen de una distribución normal, seleccione Resumen Estadístico de la lista de Opciones Tabulares, o escoja Gráfica de Probabilidad Normal de la lista de Opciones Gráficas.

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para A-2 (Densidad Seca Máxima)

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Distribución Normal</i>
DMAS	0,265071
DMENOS	0,196332
DN	0,265071
P-Valor	0,0295226

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de pruebas realizadas para determinar si A-2 (Densidad Seca Máxima) puede modelarse adecuadamente con una Normal. La prueba de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de A-2 (Densidad Seca Máxima) y la FDA de la Normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0,265071.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0,05, se puede rechazar la idea de que A-2 (Densidad Seca Máxima) proviene de una Normal con 95% de confianza.

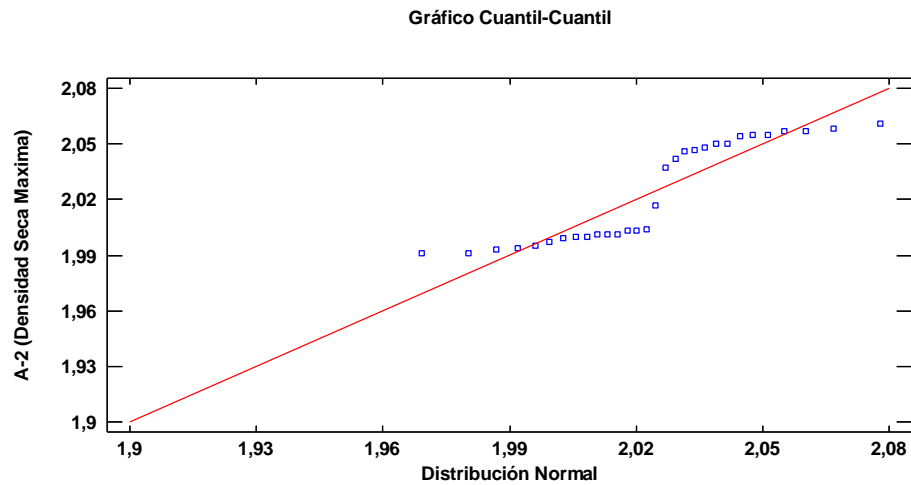


Figura 34. Ajuste de Normalidad de la densidad para un suelo A-2

Límites de Tolerancia Estadística - A-2 (Densidad Seca Máxima)

Datos/Variable: A-2 (Densidad Seca Máxima) (Dmax)

Distribución: Normal

Tamaño de muestra = 30

Media = 2,02357

desv. est. = 0,0270742

Intervalos de tolerancia del 95,0% para 99,0% de la población

Xbarra +/- 3,34971 sigma

Superior: 2,11426

Inferior: 1,93288

El StatAdvisor

Asumiendo que A-2 (Densidad Seca Máxima) proviene de una distribución normal, los límites de tolerancia establecen que se puede estar 95,0% confiados en que 99,0% de la distribución cae entre 1,93288 y 2,11426. Este intervalo se calcula tomando la media de los datos +/-3,34971 veces la desviación estándar.

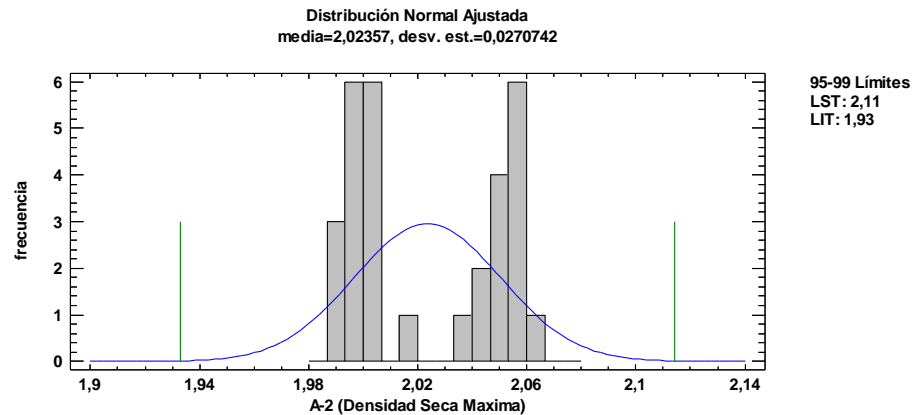


Figura 35. Límites de Tolerancia de la densidad para un suelo A-2

4.4 Análisis de Una Variable - A-2(Humedad Óptima)

Datos/Variable: A-2(Humedad Optima) (CHO)

30 valores con rango desde 8,068 a 11,014

El StatAdvisor

Este procedimiento está diseñado para resumir una sola muestra de datos. Calculará varios estadísticos y gráficas. También incluidos en el procedimiento están los intervalos de confianza y las pruebas de hipótesis. Use los botones de Opciones Tabulares y de Opciones Gráficas en la barra de herramientas para análisis, para acceder a estos diferentes procedimientos.

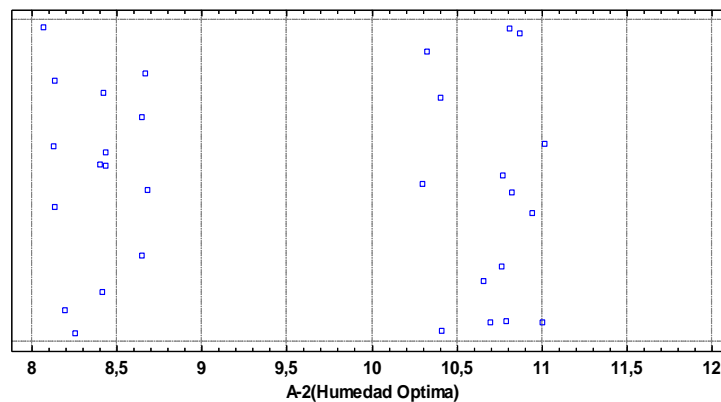


Figura 36. Gráfico de dispersión de la humedad óptima para un suelo A-2

Tabla 11. Resumen Estadístico para A-2(Humedad Optima)

Recuento	30
Promedio	9,5403
Mediana	9,489
Moda	8,433
Media Geométrica	9,46653
Varianza	1,45007
Desviación Estándar	1,20419
Coefficiente de Variación	12,6221%
Error Estándar	0,219854
Mínimo	8,068
Máximo	11,014
Rango	2,946
Cuartil Inferior	8,413
Cuartil Superior	10,77

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para A-2(Humedad Optima). Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada no se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

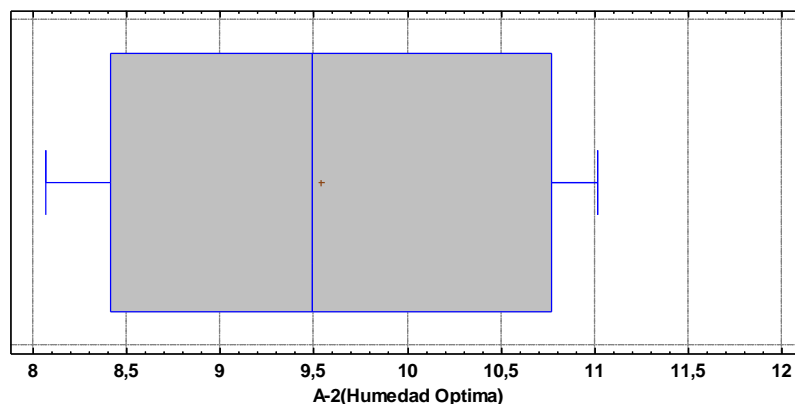


Figura 37. Gráfico de caja y bigotes de la humedad óptima para un suelo A-2

Tabla 12. Frecuencias para A-2(Humedad Optima)

	<i>Límite</i>	<i>Límite</i>			<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>
<i>Clase</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>	<i>Punto Medio</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Relativa</i>	<i>Acumulada</i>	<i>Rel. Acum.</i>
	menor o igual	7,9		0	0,0000	0	0,0000
1	7,9	8,16667	8,03333	4	0,1333	4	0,1333
2	8,16667	8,43333	8,3	7	0,2333	11	0,3667
3	8,43333	8,7	8,56667	4	0,1333	15	0,5000
4	8,7	8,96667	8,83333	0	0,0000	15	0,5000
5	8,96667	9,23333	9,1	0	0,0000	15	0,5000
6	9,23333	9,5	9,36667	0	0,0000	15	0,5000
7	9,5	9,76667	9,63333	0	0,0000	15	0,5000
8	9,76667	10,0333	9,9	0	0,0000	15	0,5000
9	10,0333	10,3	10,1667	1	0,0333	16	0,5333
10	10,3	10,5667	10,4333	3	0,1000	19	0,6333
11	10,5667	10,8333	10,7	7	0,2333	26	0,8667
12	10,8333	11,1	10,9667	4	0,1333	30	1,0000
13	11,1	11,3667	11,2333	0	0,0000	30	1,0000

14	11,3667	11,6333	11,5	0	0,0000	30	1,0000
15	11,6333	11,9	11,7667	0	0,0000	30	1,0000
	mayor de	11,9		0	0,0000	30	1,0000

Media = 9,5403 Desviación Estándar = 1,20419

El StatAdvisor

Esta opción ejecuta una tabulación de frecuencias dividiendo el rango de A-2(Humedad Optima) en intervalos del mismo ancho, y contando el número de datos en cada intervalo. Las frecuencias muestran el número de datos en cada intervalo, mientras que las frecuencias relativas muestran las proporciones en cada intervalo. Puede cambiarse la definición de los intervalos pulsando el botón secundario del ratón y seleccionando Opciones de Ventana. Pueden verse gráficamente los resultados de la tabulación seleccionando Histograma de Frecuencias de la lista de Opciones Gráficas.

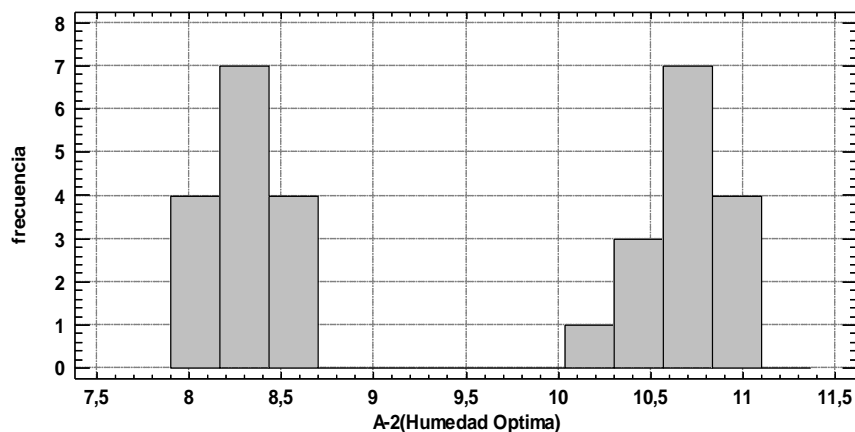


Figura 38. Histograma de la humedad óptima para un suelo A-2

Intervalos de Confianza para A-2(Humedad Optima)

Intervalos de confianza del 95,0% para la media: $9,5403 \pm 0,449652$ [9,09065; 9,98995]

Intervalos de confianza del 95,0% para la desviación estándar: [0,959024; 1,61881]

El StatAdvisor

Este panel muestra los intervalos de confianza del 95,0% para la media y la desviación estándar de A-2(Humedad Optima). La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media verdadera o la desviación estándar verdadera de la población de la que fueron extraídas las muestras, el 95,0% de las veces. En términos prácticos, puede establecerse con 95,0% de confianza, que la media verdadera de A-2(Humedad Optima) se encuentra en algún lugar entre 9,09065 y 9,98995, en tanto que la desviación estándar verdadera está en algún lugar entre 0,959024 y 1,61881.

Ambos intervalos asumen que la población de la cual proviene la muestra puede representarse por la distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto y no muy sensible a violaciones de este supuesto, los intervalos de confianza para la desviación estándar son muy sensibles. Si los datos no provienen de una distribución normal, el intervalo para la desviación estándar puede ser incorrecto. Para verificar si los datos provienen de una distribución normal, seleccione Resumen Estadístico de la lista de Opciones Tabulares, o escoja Gráfica de Probabilidad Normal de la lista de Opciones Gráficas.

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para A-2(Humedad Optima)

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Distribución Normal</i>
--	----------------------------

DMAS	0,261748
DMENOS	0,234583
DN	0,261748
P-Valor	0,0327923

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de pruebas realizadas para determinar si A-2(Humedad Óptima) puede modelarse adecuadamente con una Normal. La prueba de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de A-2(Humedad Óptima) y la FDA de la Normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0,261748.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0,05, se puede rechazar la idea de que A-2(Humedad Óptima) proviene de una Normal con 95% de confianza.

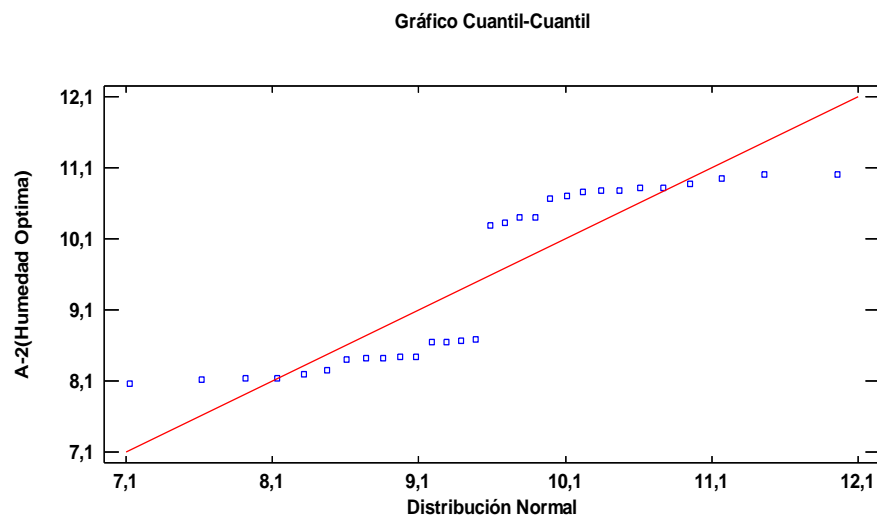


Figura 39. Ajuste de Normalidad de la humedad óptima para un suelo A-2

Límites de Tolerancia Estadística - A-2(Humedad Óptima)

Datos/Variable: A-2(Humedad Óptima) (CHO)

Distribución: Normal

Tamaño de muestra = 30

Media = 9,5403

desv. est. = 1,20419

Intervalos de tolerancia del 95,0% para 99,0% de la población

Xbarra +/- 3,34971 sigma

Superior: 13,574

Inferior: 5,50661

El StatAdvisor

Asumiendo que A-2(Humedad Óptima) proviene de una distribución normal, los límites de tolerancia establecen que se puede estar 95,0% confiados en que 99,0% de la distribución cae entre 5,50661 y 13,574. Este intervalo se calcula tomando la media de los datos +/-3,34971 veces la desviación estándar.

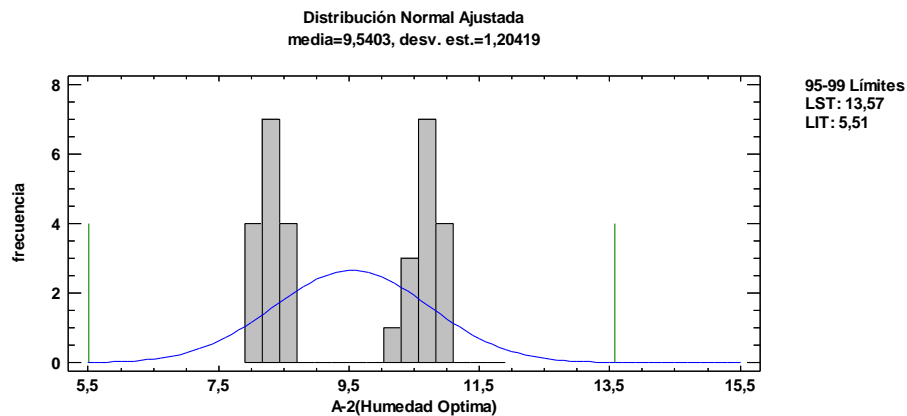


Figura 40. Límites de Tolerancia de la humedad óptima para un suelo A-2

4.5 Análisis de Una Variable - A-3 (Densidad Seca Máxima)

Datos/Variable: A-3 (Densidad Seca Máxima) (Dmax)

30 valores con rango desde 1,647 a 1,796

El StatAdvisor

Este procedimiento está diseñado para resumir una sola muestra de datos. Calculará varios estadísticos y gráficas. También incluidos en el procedimiento están los intervalos de confianza y las pruebas de hipótesis. Use los botones de Opciones Tabulares y de Opciones Gráficas en la barra de herramientas para análisis, para acceder a estos diferentes procedimientos.

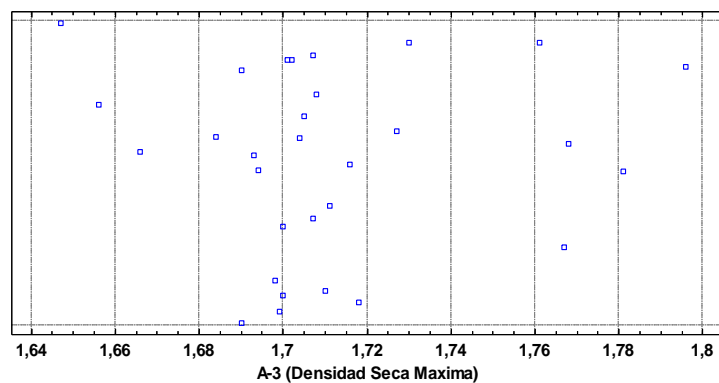


Figura 41. Gráfico de dispersión de la densidad para un suelo A-3

Tabla 13. Resumen Estadístico para A-3 (Densidad Seca Máxima)

Recuento	30
Promedio	1,7112
Mediana	1,7045
Moda	
Media Geométrica	1,71087
Varianza	0,0011701
Desviación Estándar	0,0342067
Coefficiente de Variación	1,99899%
Error Estándar	0,00624526

Mínimo	1,647
Máximo	1,796
Rango	0,149
Cuartil Inferior	1,694
Cuartil Superior	1,718

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para A-3 (Densidad Seca Máxima). Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

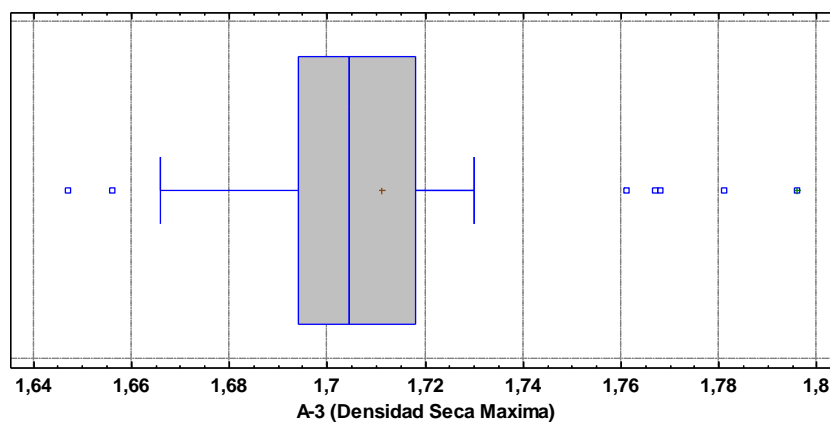


Figura 42. Gráfico de caja y bigotes de la densidad para un suelo A-3

Tabla 14. Frecuencias para A-3 (Densidad Seca Máxima)

	<i>Límite</i>	<i>Límite</i>			<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>
<i>Clase</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>	<i>Punto Medio</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Relativa</i>	<i>Acumulada</i>	<i>Rel. Acum.</i>
	menor o igual	1,6		0	0,0000	0	0,0000
1	1,6	1,616	1,608	0	0,0000	0	0,0000
2	1,616	1,632	1,624	0	0,0000	0	0,0000
3	1,632	1,648	1,64	1	0,0333	1	0,0333
4	1,648	1,664	1,656	1	0,0333	2	0,0667
5	1,664	1,68	1,672	1	0,0333	3	0,1000
6	1,68	1,696	1,688	5	0,1667	8	0,2667
7	1,696	1,712	1,704	13	0,4333	21	0,7000
8	1,712	1,728	1,72	3	0,1000	24	0,8000
9	1,728	1,744	1,736	1	0,0333	25	0,8333
10	1,744	1,76	1,752	0	0,0000	25	0,8333
11	1,76	1,776	1,768	3	0,1000	28	0,9333
12	1,776	1,792	1,784	1	0,0333	29	0,9667
13	1,792	1,808	1,8	1	0,0333	30	1,0000
14	1,808	1,824	1,816	0	0,0000	30	1,0000
15	1,824	1,84	1,832	0	0,0000	30	1,0000
	mayor de	1,84		0	0,0000	30	1,0000

Media = 1,7112 Desviación Estándar = 0,0342067

El StatAdvisor

Esta opción ejecuta una tabulación de frecuencias dividiendo el rango de A-3 (Densidad Seca Máxima) en intervalos del mismo ancho, y contando el número de datos en cada intervalo. Las frecuencias muestran el número de datos en cada intervalo, mientras que las frecuencias relativas muestran las proporciones en cada intervalo.

Puede cambiarse la definición de los intervalos pulsando el botón secundario del ratón y seleccionando Opciones de Ventana. Pueden verse gráficamente los resultados de la tabulación seleccionando Histograma de Frecuencias de la lista de Opciones Gráficas.

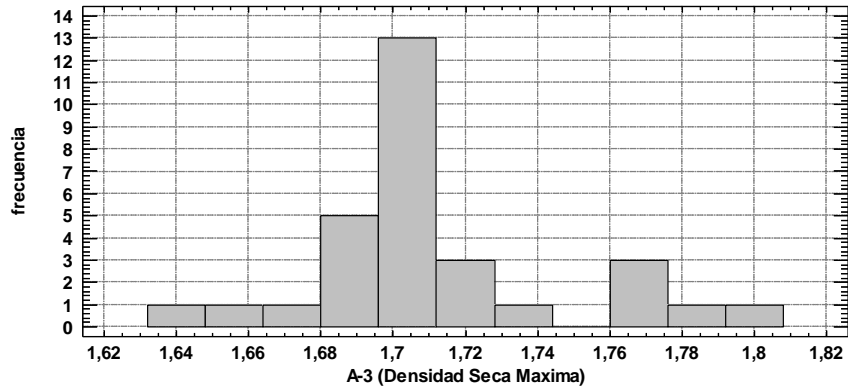


Figura 43. Histograma de la densidad para un suelo A-3

Intervalos de Confianza para A-3 (Densidad Seca Máxima)

Intervalos de confianza del 95,0% para la media: $1,7112 \pm 0,012773$ [1,69843; 1,72397]

Intervalos de confianza del 95,0% para la desviación estándar: [0,0272424; 0,0459845]

El StatAdvisor

Este panel muestra los intervalos de confianza del 95,0% para la media y la desviación estándar de A-3 (Densidad Seca Máxima). La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media verdadera o la desviación estándar verdadera de la población de la que fueron extraídas las muestras, el 95,0% de las veces. En términos prácticos, puede establecerse con 95,0% de confianza, que la media verdadera de A-3 (Densidad Seca Máxima) se encuentra en algún lugar entre 1,69843 y 1,72397, en tanto que la desviación estándar verdadera está en algún lugar entre 0,0272424 y 0,0459845.

Ambos intervalos asumen que la población de la cual proviene la muestra puede representarse por la distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para

la media es bastante robusto y no muy sensible a violaciones de este supuesto, los intervalos de confianza para la desviación estándar son muy sensibles. Si los datos no provienen de una distribución normal, el intervalo para la desviación estándar puede ser incorrecto. Para verificar si los datos provienen de una distribución normal, seleccione Resumen Estadístico de la lista de Opciones Tabulares, o escoja Gráfica de Probabilidad Normal de la lista de Opciones Gráficas.

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para A-3 (Densidad Seca Máxima)

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Distribución Normal</i>
DMAS	0,202335
DMENOS	0,134373
DN	0,202335
P-Valor	0,171544

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de pruebas realizadas para determinar si A-3 (Densidad Seca Máxima) puede modelarse adecuadamente con una Normal. La prueba de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de A-3 (Densidad Seca Máxima) y la FDA de la Normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0,202335.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que A-3 (Densidad Seca Máxima) proviene de una Normal con 95% de confianza.

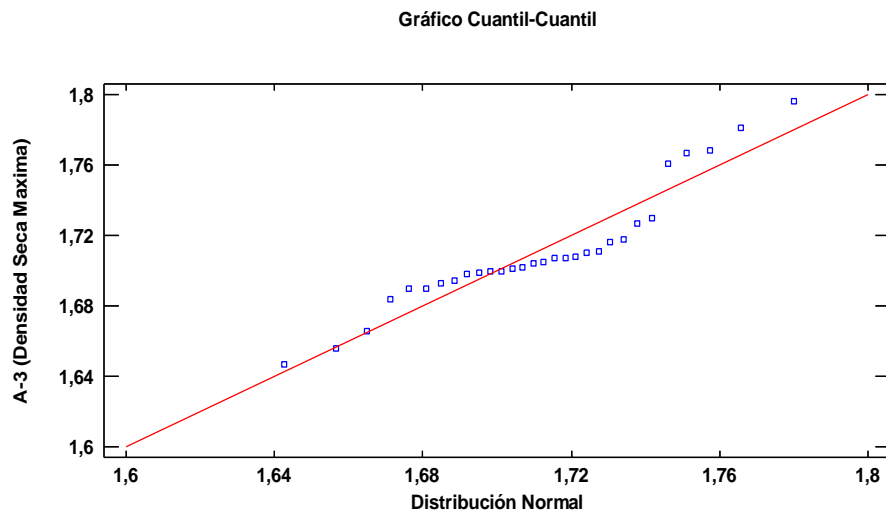


Figura 44. Ajuste de Normalidad de la densidad para un suelo A-3

Límites de Tolerancia Estadística - A-3 (Densidad Seca Máxima)

Datos/Variable: A-3 (Densidad Seca Máxima) (Dmax)

Distribución: Normal

Tamaño de muestra = 30

Media = 1,7112

desv. est. = 0,0342067

Intervalos de tolerancia del 95,0% para 99,0% de la población

Xbarra +/- 3,34971 sigma

Superior: 1,82578

Inferior: 1,59662

El StatAdvisor

Asumiendo que A-3 (Densidad Seca Máxima) proviene de una distribución normal, los límites de tolerancia establecen que se puede estar 95,0% confiados en que 99,0% de la distribución cae entre 1,59662 y 1,82578. Este intervalo se calcula tomando la media de los datos +/-3,34971 veces la desviación estándar.

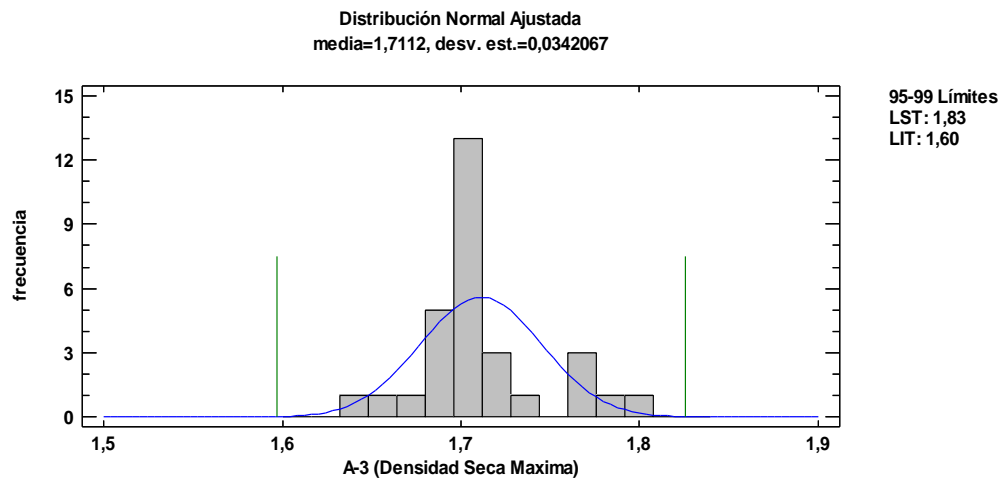


Figura 45. Límites de Tolerancia de la densidad para un suelo A-3

4.6 Análisis de Una Variable - A-3(Humedad Óptima)

Datos/Variable: A-3(Humedad Optima) (CHO)

30 valores con rango desde 14,12 a 15,591

El StatAdvisor

Este procedimiento está diseñado para resumir una sola muestra de datos. Calculará varios estadísticos y gráficas. También incluidos en el procedimiento están los intervalos de confianza y las pruebas de hipótesis. Use los botones de Opciones Tabulares y de Opciones Gráficas en la barra de herramientas para análisis, para acceder a estos diferentes procedimientos.

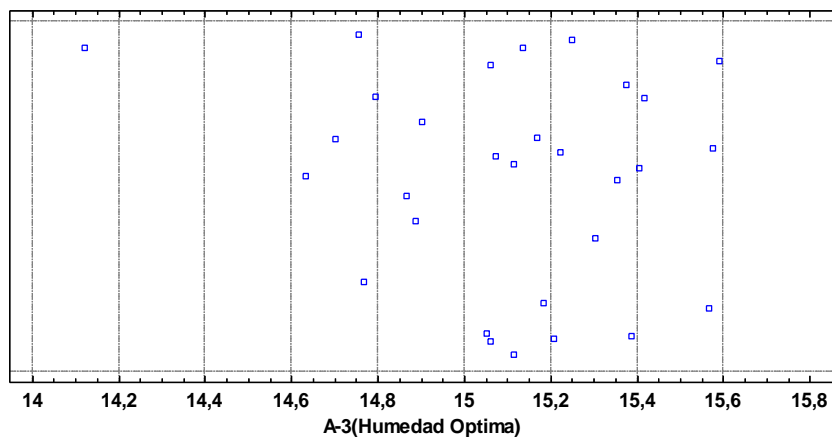


Figura 46. Gráfico de la dispersión de la Humedad Óptima para un suelo A-3**Tabla 15. Resumen Estadístico para A-3(Humedad Optima)**

Recuento	30
Promedio	15,1009
Mediana	15,125
Moda	
Media Geométrica	15,0975
Varianza	0,103759
Desviación Estándar	0,322116
Coefficiente de Variación	2,13309%
Error Estándar	0,0588101
Mínimo	14,12
Máximo	15,591
Rango	1,471
Cuartil Inferior	14,887
Cuartil Superior	15,354

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para A-3(Humedad Optima). Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución

normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

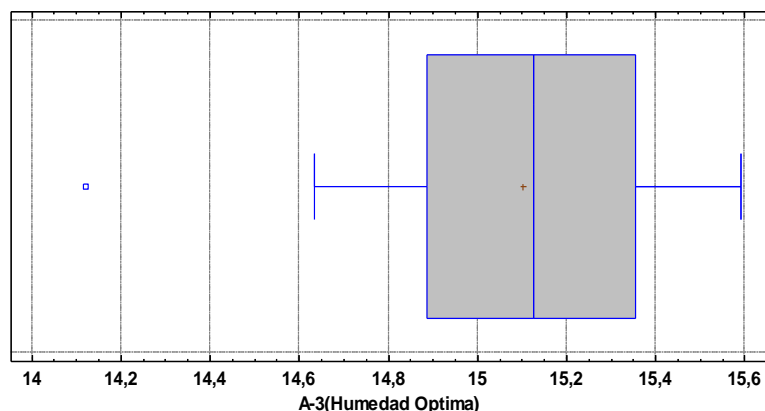


Figura 47. Gráfico de caja y bigotes de la Humedad Óptima para un suelo A-3

Tabla 16. Frecuencias para A-3(Humedad Óptima)

	<i>Límite</i>	<i>Límite</i>			<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>
<i>Clase</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>	<i>Punto Medio</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Relativa</i>	<i>Acumulada</i>	<i>Rel. Acum.</i>
	menor o igual	14,00		0	0,0000	0	0,0000
1	14,00	14,12	14,06	1	0,0333	1	0,0333
2	14,12	14,24	14,18	0	0,0000	1	0,0333
3	14,24	14,36	14,3	0	0,0000	1	0,0333
4	14,36	14,48	14,42	0	0,0000	1	0,0333
5	14,48	14,6	14,54	0	0,0000	1	0,0333
6	14,6	14,72	14,66	2	0,0667	3	0,1000
7	14,72	14,84	14,78	3	0,1000	6	0,2000
8	14,84	14,96	14,9	3	0,1000	9	0,3000
9	14,96	15,08	15,02	4	0,1333	13	0,4333
10	15,08	15,2	15,14	5	0,1667	18	0,6000
11	15,2	15,32	15,26	4	0,1333	22	0,7333

12	15,32	15,44	15,38	5	0,1667	27	0,9000
13	15,44	15,56	15,5	0	0,0000	27	0,9000
14	15,56	15,68	15,62	3	0,1000	30	1,0000
15	15,68	15,8	15,74	0	0,0000	30	1,0000
	mayor de	15,8		0	0,0000	30	1,0000

Media = 15,1009 Desviación Estándar = 0,322116

El StatAdvisor

Esta opción ejecuta una tabulación de frecuencias dividiendo el rango de A-3(Humedad Optima) en intervalos del mismo ancho, y contando el número de datos en cada intervalo. Las frecuencias muestran el número de datos en cada intervalo, mientras que las frecuencias relativas muestran las proporciones en cada intervalo. Puede cambiarse la definición de los intervalos pulsando el botón secundario del ratón y seleccionando Opciones de Ventana. Pueden verse gráficamente los resultados de la tabulación seleccionando Histograma de Frecuencias de la lista de Opciones Gráficas.

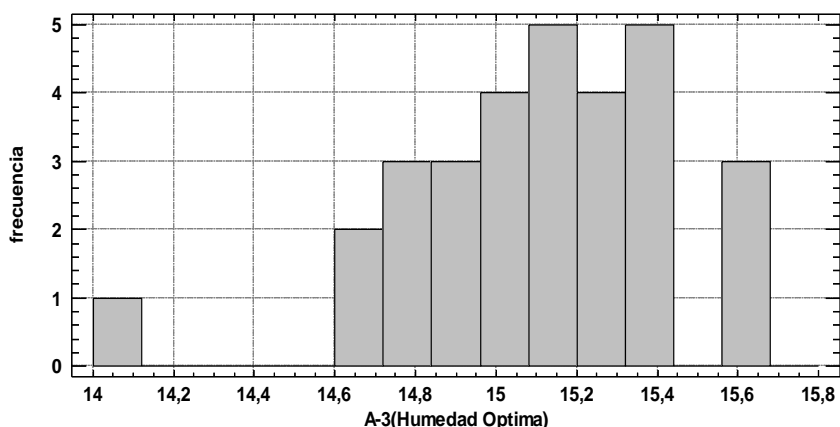


Figura 48. Histograma de la Humedad Óptima para un suelo A-3

Intervalos de Confianza para A-3(Humedad Optima)

Intervalos de confianza del 95,0% para la media: 15,1009 +/- 0,12028 [14,9806; 15,2212]

Intervalos de confianza del 95,0% para la desviación estándar: [0,256535; 0,433025]

El StatAdvisor

Este panel muestra los intervalos de confianza del 95,0% para la media y la desviación estándar de A-3(Humedad Optima). La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media verdadera o la desviación estándar verdadera de la población de la que fueron extraídas las muestras, el 95,0% de las veces. En términos prácticos, puede establecerse con 95,0% de confianza, que la media verdadera de A-3(Humedad Optima) se encuentra en algún lugar entre 14,9806 y 15,2212, en tanto que la desviación estándar verdadera está en algún lugar entre 0,256535 y 0,433025.

Ambos intervalos asumen que la población de la cual proviene la muestra puede representarse por la distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto y no muy sensible a violaciones de este supuesto, los intervalos de confianza para la desviación estándar son muy sensibles. Si los datos no provienen de una distribución normal, el intervalo para la desviación estándar puede ser incorrecto. Para verificar si los datos provienen de una distribución normal, seleccione Resumen Estadístico de la lista de Opciones Tabulares, o escoja Gráfica de Probabilidad Normal de la lista de Opciones Gráficas.

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para A-3(Humedad Optima)

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Distribución Normal</i>
DMAS	0,0640668
DMENOS	0,138442

DN	0,138442
P-Valor	0,613246

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de pruebas realizadas para determinar si A-3(Humedad Optima) puede modelarse adecuadamente con una Normal. La prueba de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de A-3(Humedad Optima) y la FDA de la Normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0,138442.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que A-3(Humedad Optima) proviene de una Normal con 95% de confianza.

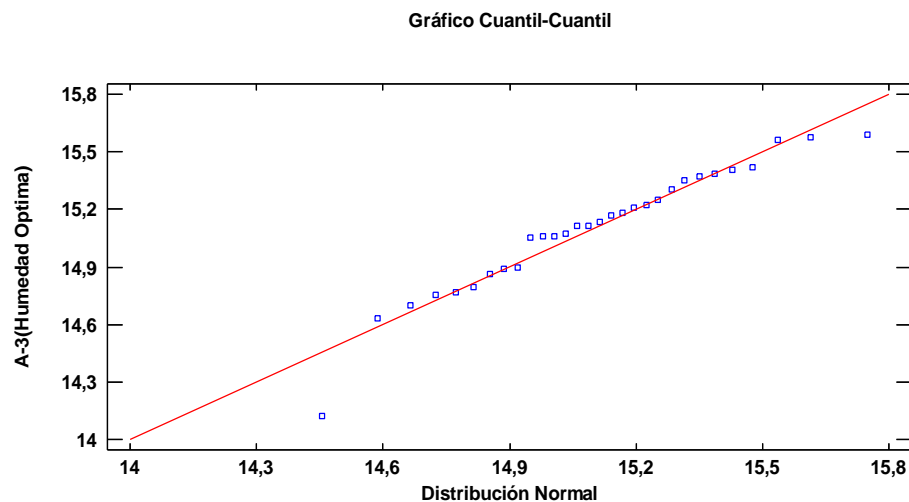


Figura 49. Ajuste de Normalidad de la Humedad Óptima para un suelo A-3

Límites de Tolerancia Estadística - A-3(Humedad Óptima)

Datos/Variable: A-3(Humedad Optima) (CHO)

Distribución: Normal

Tamaño de muestra = 30

Media = 15,1009

desv. est. = 0,322116

Intervalos de tolerancia del 95,0% para 99,0% de la población

Xbarra +/- 3,34971 sigma

Superior: 16,1799

Inferior: 14,0219

El StatAdvisor

Asumiendo que A-3(Humedad Óptima) proviene de una distribución normal, los límites de tolerancia establecen que se puede estar 95,0% confiados en que 99,0% de la distribución cae entre 14,0219 y 16,1799. Este intervalo se calcula tomando la media de los datos +/-3,34971 veces la desviación estándar.

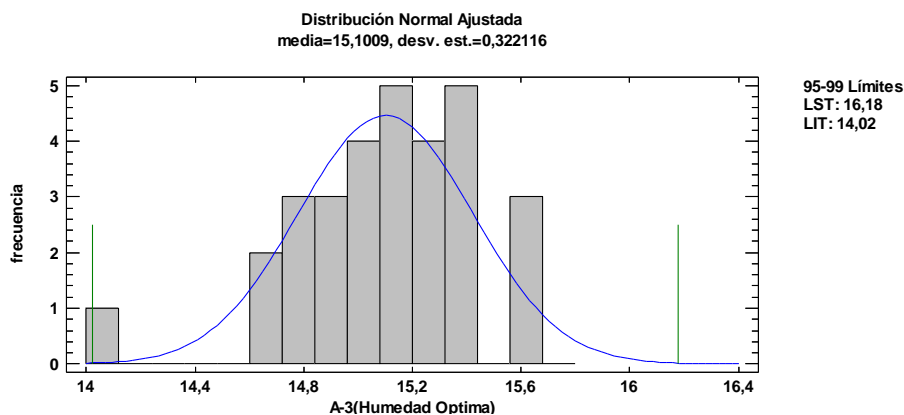


Figura 50. Límites de Tolerancia de la Humedad Óptima para un suelo A-3

4.7 Análisis de Una Variable - A-4 y A-5 (Densidad Seca Máxima)

Datos/Variable: A-4 y A-5 (Densidad Seca Máxima) (Dmax)

30 valores con rango desde 1,907 a 1,968

El StatAdvisor

Este procedimiento está diseñado para resumir una sola muestra de datos. Calculará varios estadísticos y gráficas. También incluidos en el procedimiento están los

intervalos de confianza y las pruebas de hipótesis. Use los botones de Opciones Tabulares y de Opciones Gráficas en la barra de herramientas para análisis, para acceder a estos diferentes procedimientos.

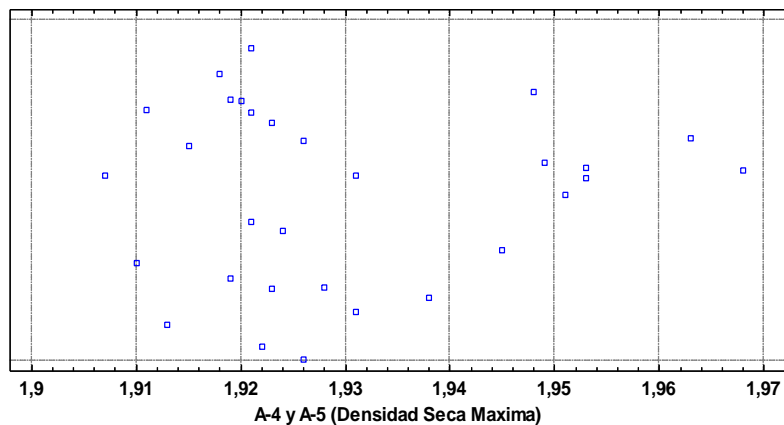


Figura 51. Gráfico de dispersión de la densidad para un suelo A-4 y A-5

Tabla 17. Resumen Estadístico para A-4 y A-5 (Densidad Seca Máxima)

Recuento	30
Promedio	1,9299
Mediana	1,9235
Moda	1,921
Media Geométrica	1,92983
Varianza	0,000268093
Desviación Estándar	0,0163735
Coefficiente de Variación	0,848414%
Error Estándar	0,00298939
Mínimo	1,907
Máximo	1,968
Rango	0,061
Cuartil Inferior	1,919

Cuartil Superior	1,945
-------------------------	-------

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para A-4 y A-5 (Densidad Seca Máxima). Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

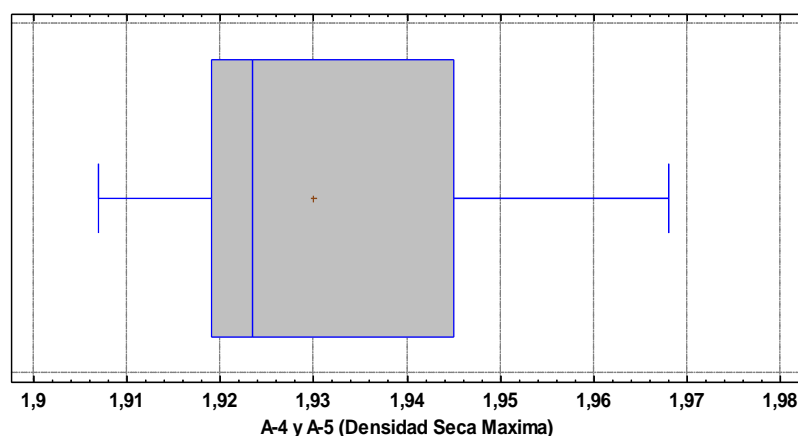


Figura 52. Gráfico de caja y bigotes de la densidad para un suelo A-4 y A-5

Tabla 18. Frecuencias para A-4 y A-5 (Densidad Seca Máxima)

	<i>Límite</i>	<i>Límite</i>			<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>
<i>Clase</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>	<i>Punto Medio</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Relativa</i>	<i>Acumulada</i>	<i>Rel. Acum.</i>

	menor o igual	1,9		0	0,0000	0	0,0000
1	1,9	1,90533	1,90267	0	0,0000	0	0,0000
2	1,90533	1,91067	1,908	2	0,0667	2	0,0667
3	1,91067	1,916	1,91333	3	0,1000	5	0,1667
4	1,916	1,92133	1,91867	7	0,2333	12	0,4000
5	1,92133	1,92667	1,924	6	0,2000	18	0,6000
6	1,92667	1,932	1,92933	3	0,1000	21	0,7000
7	1,932	1,93733	1,93467	0	0,0000	21	0,7000
8	1,93733	1,94267	1,94	1	0,0333	22	0,7333
9	1,94267	1,948	1,94533	2	0,0667	24	0,8000
10	1,948	1,95333	1,95067	4	0,1333	28	0,9333
11	1,95333	1,95867	1,956	0	0,0000	28	0,9333
12	1,95867	1,964	1,96133	1	0,0333	29	0,9667
13	1,964	1,96933	1,96667	1	0,0333	30	1,0000
14	1,96933	1,97467	1,972	0	0,0000	30	1,0000
15	1,97467	1,98	1,97733	0	0,0000	30	1,0000
	mayor de	1,98		0	0,0000	30	1,0000

Media = 1,9299 Desviación Estándar = 0,0163735

El StatAdvisor

Esta opción ejecuta una tabulación de frecuencias dividiendo el rango de A-4 y A-5 (Densidad Seca Máxima) en intervalos del mismo ancho, y contando el número de datos en cada intervalo. Las frecuencias muestran el número de datos en cada intervalo, mientras que las frecuencias relativas muestran las proporciones en cada intervalo. Puede cambiarse la definición de los intervalos pulsando el botón secundario del ratón

y seleccionando Opciones de Ventana. Pueden verse gráficamente los resultados de la tabulación seleccionando Histograma de Frecuencias de la lista de Opciones Gráficas.

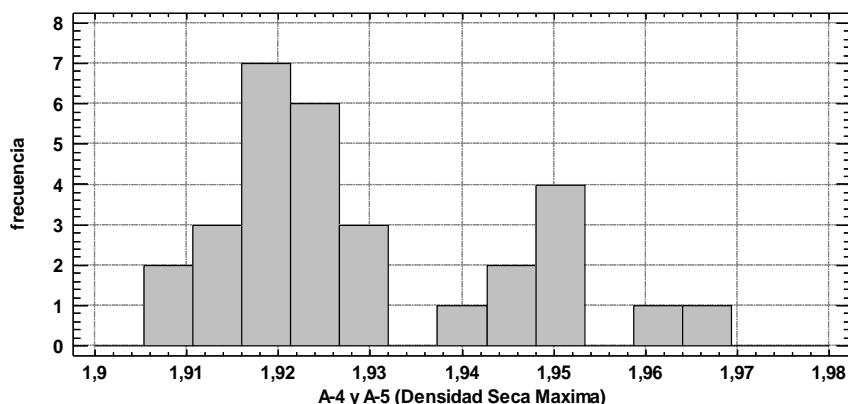


Figura 53. Histograma de la densidad para un suelo A-4 y A-5

Intervalos de Confianza para A-4 y A-5 (Densidad Seca Máxima)

Intervalos de confianza del 95,0% para la media: $1,9299 \pm 0,006114$ [1,92379; 1,93601]

Intervalos de confianza del 95,0% para la desviación estándar: [0,01304; 0,0220112]

El StatAdvisor

Este panel muestra los intervalos de confianza del 95,0% para la media y la desviación estándar de A-4 y A-5 (Densidad Seca Máxima). La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media verdadera o la desviación estándar verdadera de la población de la que fueron extraídas las muestras, el 95,0% de las veces. En términos prácticos, puede establecerse con 95,0% de confianza, que la media verdadera de A-4 y A-5 (Densidad Seca Máxima) se encuentra en algún lugar entre 1,92379 y 1,93601, en tanto que la desviación estándar verdadera está en algún lugar entre 0,01304 y 0,0220112.

Ambos intervalos asumen que la población de la cual proviene la muestra puede representarse por la distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto y no muy sensible a violaciones de este supuesto, los intervalos de confianza para la desviación estándar son muy sensibles. Si los datos no provienen de una distribución normal, el intervalo para la desviación estándar puede ser incorrecto. Para verificar si los datos provienen de una distribución normal, seleccione Resumen Estadístico de la lista de Opciones Tabulares, o escoja Gráfica de Probabilidad Normal de la lista de Opciones Gráficas.

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para A-4 y A-5 (Densidad Seca Máxima)

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Distribución Normal</i>
DMAS	0,194135
DMENOS	0,0988497
DN	0,194135
P-Valor	0,208547

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de pruebas realizadas para determinar si A-4 y A-5 (Densidad Seca Máxima) puede modelarse adecuadamente con una Normal. La prueba de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de A-4 y A-5 (Densidad Seca Máxima) y la FDA de la Normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0,194135.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que A-4 y A-5 (Densidad Seca Máxima) proviene de una Normal con 95% de confianza.

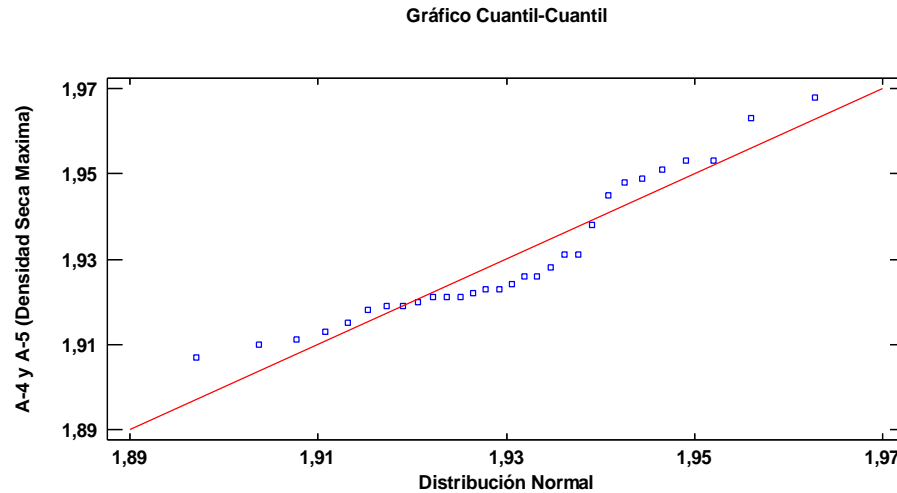


Figura 54. Ajuste de Normalidad de la densidad para un suelo A-4 y A-5

Límites de Tolerancia Estadística - A-4 y A-5 (Densidad Seca Máxima)

Datos/Variable: A-4 y A-5 (Densidad Seca Máxima) (Dmax)

Distribución: Normal

Tamaño de muestra = 30

Media = 1,9299

desv. est. = 0,0163735

Intervalos de tolerancia del 95,0% para 99,0% de la población

Xbarra +/- 3,34971 sigma

Superior: 1,98475

Inferior: 1,87505

El StatAdvisor

Asumiendo que A-4 y A-5 (Densidad Seca Máxima) proviene de una distribución normal, los límites de tolerancia establecen que se puede estar 95,0% confiados en que

99,0% de la distribución cae entre 1,87505 y 1,98475. Este intervalo se calcula tomando la media de los datos $\pm 3,34971$ veces la desviación estándar.

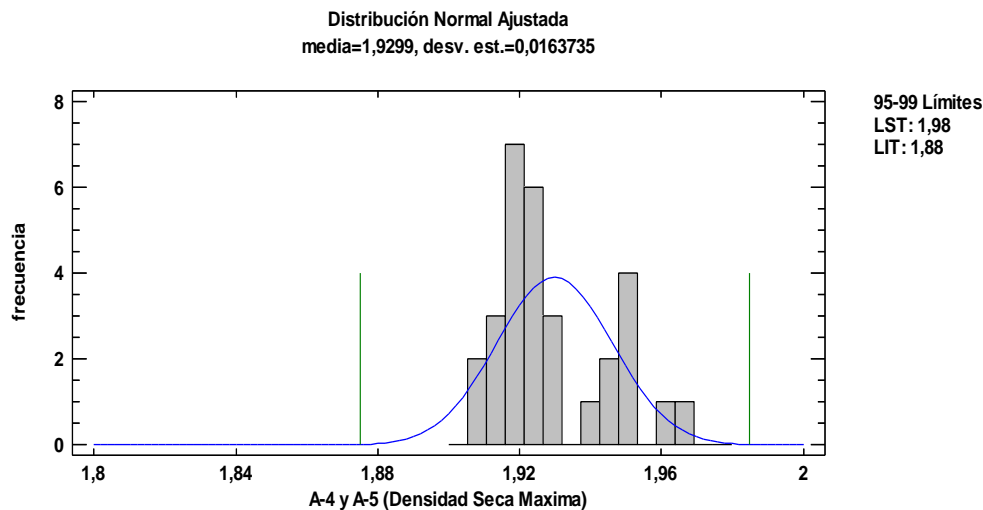


Figura 55. Límites de Tolerancia de la densidad para un suelo A-4 y A-5

4.8 Análisis de Una Variable - A-4 y A-5 (Humedad Óptima)

Datos/Variable: A-4 y A-5 (Humedad Optima) (CHO)

30 valores con rango desde 12,051 a 14,25

El StatAdvisor

Este procedimiento está diseñado para resumir una sola muestra de datos. Calculará varios estadísticos y gráficas. También incluidos en el procedimiento están los intervalos de confianza y las pruebas de hipótesis. Use los botones de Opciones Tabulares y de Opciones Gráficas en la barra de herramientas para análisis, para acceder a estos diferentes procedimientos.

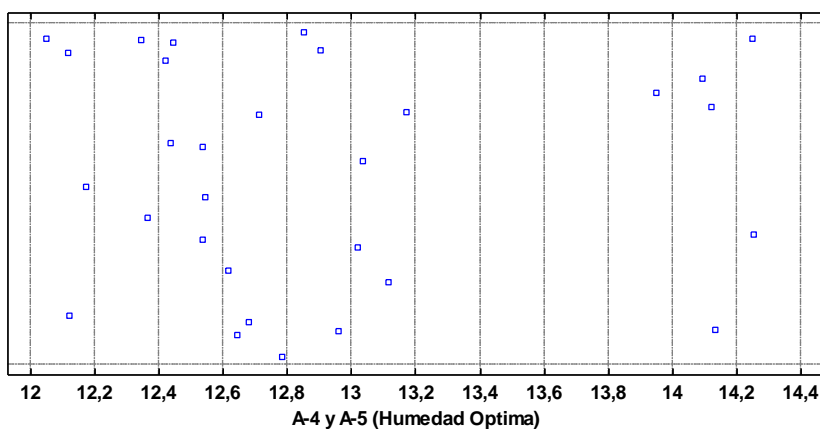


Figura 56. Gráfico de dispersión de la humedad óptima para un suelo A-4 y A-5

Tabla 19. Resumen Estadístico para A-4 y A-5 (Humedad Óptima)

Recuento	30
Promedio	12,9121
Mediana	12,696
Moda	12,536
Media Geométrica	12,8949
Varianza	0,471406
Desviación Estándar	0,68659
Coefficiente de Variación	5,31743%
Error Estándar	0,125354
Mínimo	12,051
Máximo	14,25
Rango	2,199
Cuartil Inferior	12,438
Cuartil Superior	13,115

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para A-4 y A-5 (Humedad Óptima). Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De

particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor de sesgo estandarizado no se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

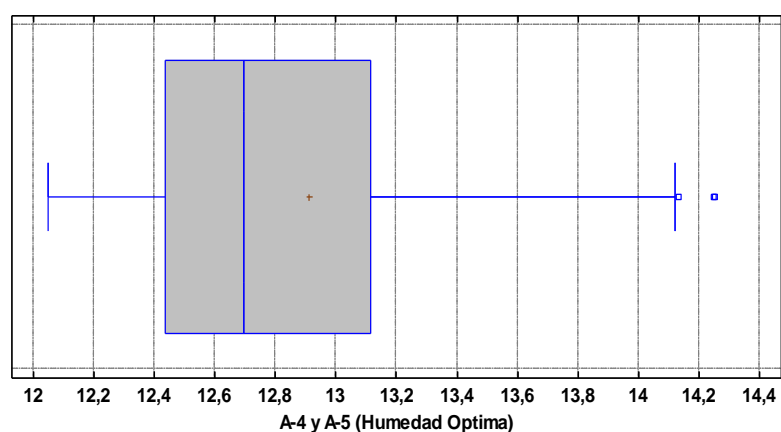


Figura 57. Gráfico de caja y bigotes de la humedad óptima para un suelo A-4 y A-5

Tabla 20. Frecuencias para A-4 y A-5 (Humedad Óptima)

	<i>Límite</i>	<i>Límite</i>			<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>
<i>Clase</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>	<i>Punto Medio</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Relativa</i>	<i>Acumulada</i>	<i>Rel. Acum.</i>
	menor o igual	11,0		0	0,0000	0	0,0000
1	11,0	11,2667	11,1333	0	0,0000	0	0,0000
2	11,2667	11,5333	11,4	0	0,0000	0	0,0000
3	11,5333	11,8	11,6667	0	0,0000	0	0,0000

4	11,8	12,0667	11,9333	1	0,0333	1	0,0333
5	12,0667	12,3333	12,2	3	0,1000	4	0,1333
6	12,3333	12,6	12,4667	8	0,2667	12	0,4000
7	12,6	12,8667	12,7333	6	0,2000	18	0,6000
8	12,8667	13,1333	13	5	0,1667	23	0,7667
9	13,1333	13,4	13,2667	1	0,0333	24	0,8000
10	13,4	13,6667	13,5333	0	0,0000	24	0,8000
11	13,6667	13,9333	13,8	0	0,0000	24	0,8000
12	13,9333	14,2	14,0667	4	0,1333	28	0,9333
13	14,2	14,4667	14,3333	2	0,0667	30	1,0000
14	14,4667	14,7333	14,6	0	0,0000	30	1,0000
15	14,7333	15	14,8667	0	0,0000	30	1,0000
	mayor de	15		0	0,0000	30	1,0000

Media = 12,9121 Desviación Estándar = 0,68659

El StatAdvisor

Esta opción ejecuta una tabulación de frecuencias dividiendo el rango de A-4 y A-5 (Humedad Optima) en intervalos del mismo ancho, y contando el número de datos en cada intervalo. Las frecuencias muestran el número de datos en cada intervalo, mientras que las frecuencias relativas muestran las proporciones en cada intervalo. Puede cambiarse la definición de los intervalos pulsando el botón secundario del ratón y seleccionando Opciones de Ventana. Pueden verse gráficamente los resultados de la tabulación seleccionando Histograma de Frecuencias de la lista de Opciones Gráficas.

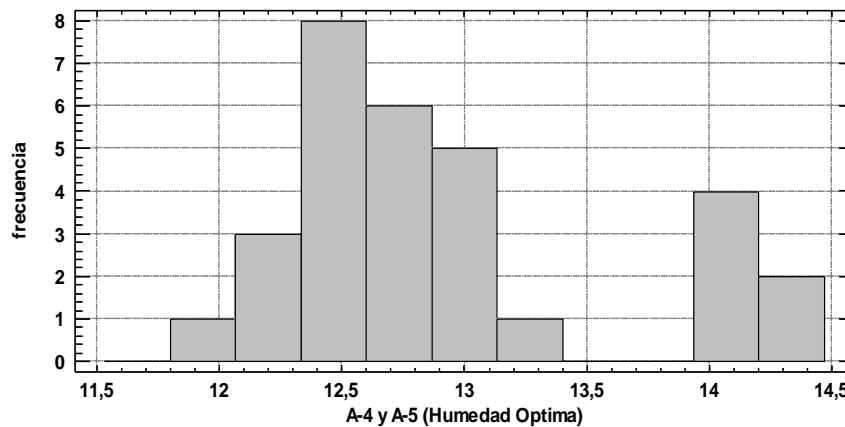


Figura 58. Histograma de la humedad óptima para un suelo A-4 y A-5

Intervalos de Confianza para A-4 y A-5 (Humedad Óptima)

Intervalos de confianza del 95,0% para la media: $12,9121 \pm 0,256378$ [12,6557; 13,1684]

Intervalos de confianza del 95,0% para la desviación estándar: [0,546805; 0,922993]

El StatAdvisor

Este panel muestra los intervalos de confianza del 95,0% para la media y la desviación estándar de A-4 y A-5 (Humedad Óptima). La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media verdadera o la desviación estándar verdadera de la población de la que fueron extraídas las muestras, el 95,0% de las veces. En términos prácticos, puede establecerse con 95,0% de confianza, que la media verdadera de A-4 y A-5 (Humedad Óptima) se encuentra en algún lugar entre 12,6557 y 13,1684, en tanto que la desviación estándar verdadera está en algún lugar entre 0,546805 y 0,922993.

Ambos intervalos asumen que la población de la cual proviene la muestra puede representarse por la distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto y no muy sensible a violaciones de este supuesto, los intervalos de confianza para la desviación estándar son muy sensibles. Si los datos no

proviene de una distribución normal, el intervalo para la desviación estándar puede ser incorrecto. Para verificar si los datos provienen de una distribución normal, seleccione Resumen Estadístico de la lista de Opciones Tabulares, o escoja Gráfica de Probabilidad Normal de la lista de Opciones Gráficas.

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para A-4 y A-5 (Humedad Optima)

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Distribución Normal</i>
DMAS	0,161709
DMENOS	0,133953
DN	0,161709
P-Valor	0,418393

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de pruebas realizadas para determinar si A-4 y A-5 (Humedad Optima) puede modelarse adecuadamente con una Normal. La prueba de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de A-4 y A-5 (Humedad Optima) y la FDA de la Normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0,161709.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que A-4 y A-5 (Humedad Optima) proviene de una Normal con 95% de confianza.

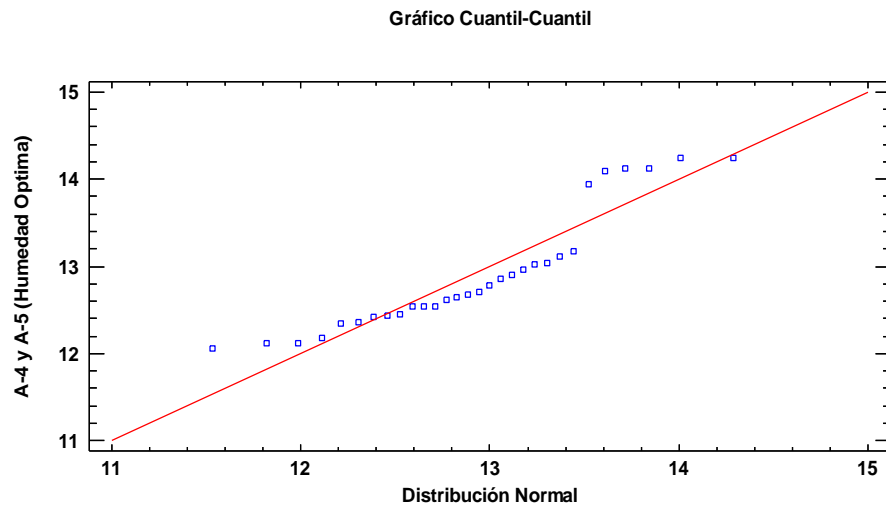


Figura 59. Ajuste de Normalidad de la humedad óptima para un suelo A-4 y A-5

Límites de Tolerancia Estadística - A-4 y A-5 (Humedad Óptima)

Datos/Variable: A-4 y A-5 (Humedad Óptima) (CHO)

Distribución: Normal

Tamaño de muestra = 30

Media = 12,9121

desv. est. = 0,68659

Intervalos de tolerancia del 95,0% para 99,0% de la población

Xbarra +/- 3,34971 sigma

Superior: 15,2119

Inferior: 10,6122

El StatAdvisor

Asumiendo que A-4 y A-5 (Humedad Óptima) proviene de una distribución normal, los límites de tolerancia establecen que se puede estar 95,0% confiados en que 99,0% de la distribución cae entre 10,6122 y 15,2119. Este intervalo se calcula tomando la media de los datos +/-3,34971 veces la desviación estándar.

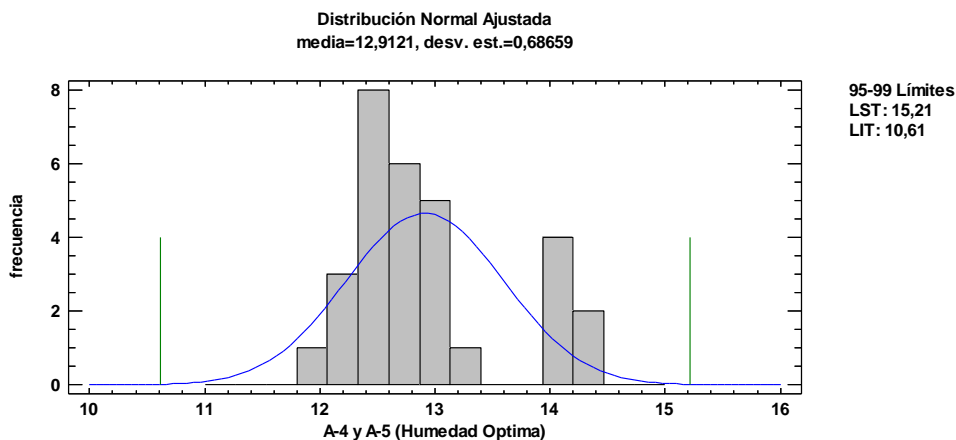


Figura 60. Límites de Tolerancia de la humedad óptima para un suelo A-4 y A-5

4.9 Análisis de Una Variable - A-6 y A-7 (Densidad Seca Máxima)

Datos/Variable: A-6 y A-7 (Densidad Seca Máxima) (Dmax)

30 valores con rango desde 1,614 a 1,83

El StatAdvisor

Este procedimiento está diseñado para resumir una sola muestra de datos. Calculará varios estadísticos y gráficas. También incluidos en el procedimiento están los intervalos de confianza y las pruebas de hipótesis. Use los botones de Opciones Tabulares y de Opciones Gráficas en la barra de herramientas para análisis, para acceder a estos diferentes procedimientos.

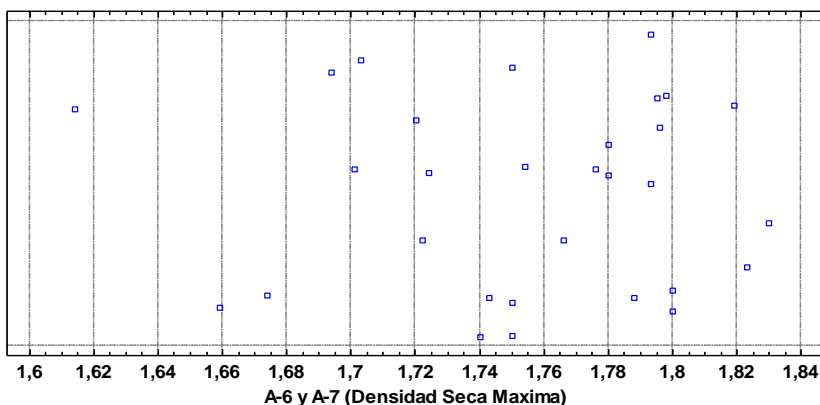


Figura 61. Gráfico de dispersión para la densidad de un suelo A-6 y A-7

Tabla 21. Resumen Estadístico para A-6 y A-7 (Densidad Seca Máxima)

Recuento	30
Promedio	1,7545
Mediana	1,76
Moda	1,75
Media Geométrica	1,75375
Varianza	0,00269053
Desviación Estándar	0,0518704
Coefficiente de Variación	2,95642%
Error Estándar	0,00947019
Mínimo	1,614
Máximo	1,83
Rango	0,216
Cuartil Inferior	1,722
Cuartil Superior	1,795

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para A-6 y A-7 (Densidad Seca Máxima). Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución

normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

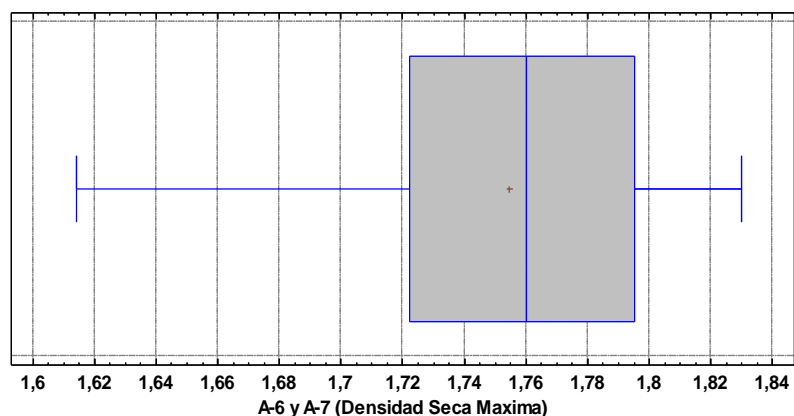


Figura 62. Gráfico de caja y bigotes para la densidad de un suelo A-6 y A-7

Tabla 22. Frecuencias para A-6 y A-7 (Densidad Seca Máxima)

	<i>Límite</i>	<i>Límite</i>			<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>
<i>Clase</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>	<i>Punto Medio</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Relativa</i>	<i>Acumulada</i>	<i>Rel. Acum.</i>
	menor o igual	1,6		0	0,0000	0	0,0000
1	1,6	1,61667	1,60833	1	0,0333	1	0,0333
2	1,61667	1,63333	1,625	0	0,0000	1	0,0333
3	1,63333	1,65	1,64167	0	0,0000	1	0,0333
4	1,65	1,66667	1,65833	1	0,0333	2	0,0667
5	1,66667	1,68333	1,675	1	0,0333	3	0,1000
6	1,68333	1,7	1,69167	1	0,0333	4	0,1333
7	1,7	1,71667	1,70833	2	0,0667	6	0,2000
8	1,71667	1,73333	1,725	3	0,1000	9	0,3000
9	1,73333	1,75	1,74167	5	0,1667	14	0,4667
10	1,75	1,76667	1,75833	2	0,0667	16	0,5333

11	1,76667	1,78333	1,775	3	0,1000	19	0,6333
12	1,78333	1,8	1,79167	8	0,2667	27	0,9000
13	1,8	1,81667	1,80833	0	0,0000	27	0,9000
14	1,81667	1,83333	1,825	3	0,1000	30	1,0000
15	1,83333	1,85	1,84167	0	0,0000	30	1,0000
	mayor de	1,85		0	0,0000	30	1,0000

Media = 1,7545 Desviación Estándar = 0,0518704

El StatAdvisor

Esta opción ejecuta una tabulación de frecuencias dividiendo el rango de A-6 y A-7 (Densidad Seca Máxima) en intervalos del mismo ancho, y contando el número de datos en cada intervalo. Las frecuencias muestran el número de datos en cada intervalo, mientras que las frecuencias relativas muestran las proporciones en cada intervalo. Puede cambiarse la definición de los intervalos pulsando el botón secundario del ratón y seleccionando Opciones de Ventana. Pueden verse gráficamente los resultados de la tabulación seleccionando Histograma de Frecuencias de la lista de Opciones Gráficas.

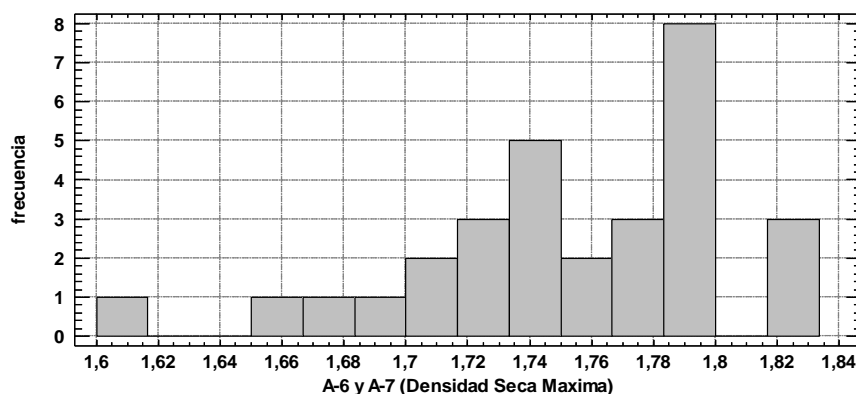


Figura 63. Histograma para la densidad de un suelo A-6 y A-7

Intervalos de Confianza para A-6 y A-7 (Densidad Seca Máxima)

Intervalos de confianza del 95,0% para la media: 1,7545 +/- 0,0193688 [1,73513; 1,77387]

Intervalos de confianza del 95,0% para la desviación estándar: [0,0413099; 0,0697301]

El StatAdvisor

Este panel muestra los intervalos de confianza del 95,0% para la media y la desviación estándar de A-6 y A-7 (Densidad Seca Máxima). La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media verdadera o la desviación estándar verdadera de la población de la que fueron extraídas las muestras, el 95,0% de las veces. En términos prácticos, puede establecerse con 95,0% de confianza, que la media verdadera de A-6 y A-7 (Densidad Seca Máxima) se encuentra en algún lugar entre 1,73513 y 1,77387, en tanto que la desviación estándar verdadera está en algún lugar entre 0,0413099 y 0,0697301.

Ambos intervalos asumen que la población de la cual proviene la muestra puede representarse por la distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto y no muy sensible a violaciones de este supuesto, los intervalos de confianza para la desviación estándar son muy sensibles. Si los datos no provienen de una distribución normal, el intervalo para la desviación estándar puede ser incorrecto. Para verificar si los datos provienen de una distribución normal, seleccione Resumen Estadístico de la lista de Opciones Tabulares, o escoja Gráfica de Probabilidad Normal de la lista de Opciones Gráficas.

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para A-6 y A-7 (Densidad Seca Máxima)

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Distribución Normal</i>
DMAS	0,0901917

DMENO	0,127413
S	
DN	0,127413
P-Valor	0,714783

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de pruebas realizadas para determinar si A-6 y A-7 (Densidad Seca Máxima) puede modelarse adecuadamente con una Normal. La prueba de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de A-6 y A-7 (Densidad Seca Máxima) y la FDA de la Normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0,127413.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que A-6 y A-7 (Densidad Seca Máxima) proviene de una Normal con 95% de confianza.

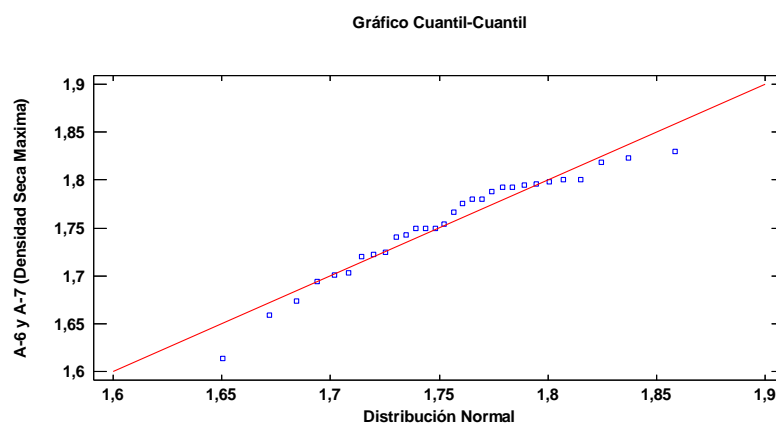


Figura 64. Ajuste de Normalidad para la densidad de un suelo A-6 y A-7

Límites de Tolerancia Estadística - A-6 y A-7 (Densidad Seca Máxima)

Datos/Variable: A-6 y A-7 (Densidad Seca Máxima) (Dmax)

Distribución: Normal

Tamaño de muestra = 30

Media = 1,7545

desv. est. = 0,0518704

Intervalos de tolerancia del 95,0% para 99,0% de la población

Xbarra +/- 3,34971 sigma

Superior: 1,92825

Inferior: 1,58075

El StatAdvisor

Asumiendo que A-6 y A-7 (Densidad Seca Máxima) proviene de una distribución normal, los límites de tolerancia establecen que se puede estar 95,0% confiados en que 99,0% de la distribución cae entre 1,58075 y 1,92825. Este intervalo se calcula tomando la media de los datos +/-3,34971 veces la desviación estándar.

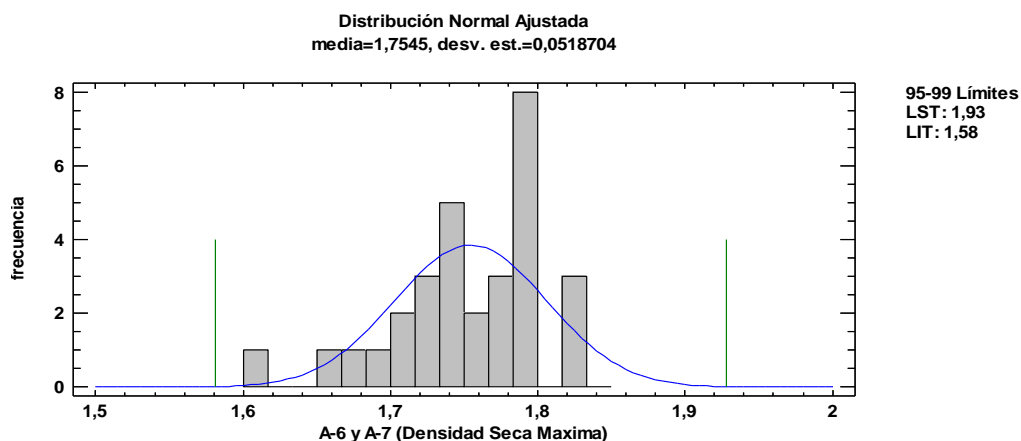


Figura 65. Límites de Tolerancia para la densidad de un suelo A-6 y A-7

4.10 Análisis de Una Variable - A-6 y A-7 (Humedad Óptima)

Datos/Variable: A-6 y A-7 (Humedad Optima) (CHO)

30 valores con rango desde 15,29 a 20,632

El StatAdvisor

Este procedimiento está diseñado para resumir una sola muestra de datos. Calculará varios estadísticos y gráficas. También incluidos en el procedimiento están los intervalos de confianza y las pruebas de hipótesis. Use los botones de Opciones Tabulares y de Opciones Gráficas en la barra de herramientas para análisis, para acceder a estos diferentes procedimientos.

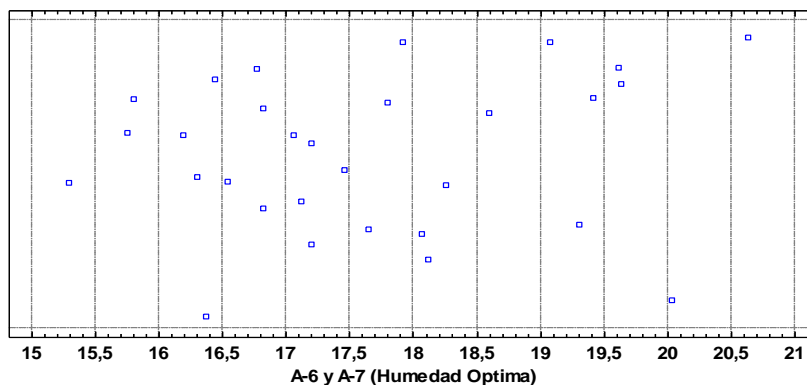


Figura 66. Gráfico de dispersión de la humedad óptima de un suelo A-6 y A-7

Tabla 23. Resumen Estadístico para A-6 y A-7 (Humedad Óptima)

Recuento	30
Promedio	17,6396
Mediana	17,326
Moda	
Media Geométrica	17,5876
Varianza	1,93226
Desviación Estándar	1,39006
Coefficiente de Variación	7,8803%
Error Estándar	0,253788
Mínimo	15,29
Máximo	20,632
Rango	5,342

	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>	<i>Punto Medio</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Relativa</i>	<i>Acumulada</i>	<i>Rel. Acum.</i>
	menor o igual	15,0		0	0,0000	0	0,0000
1	15,0	15,4	15,2	1	0,0333	1	0,0333
2	15,4	15,8	15,6	1	0,0333	2	0,0667
3	15,8	16,2	16,0	2	0,0667	4	0,1333
4	16,2	16,6	16,4	4	0,1333	8	0,2667
5	16,6	17,0	16,8	3	0,1000	11	0,3667
6	17,0	17,4	17,2	4	0,1333	15	0,5000
7	17,4	17,8	17,6	3	0,1000	18	0,6000
8	17,8	18,2	18,0	3	0,1000	21	0,7000
9	18,2	18,6	18,4	2	0,0667	23	0,7667
10	18,6	19,0	18,8	0	0,0000	23	0,7667
11	19,0	19,4	19,2	2	0,0667	25	0,8333
12	19,4	19,8	19,6	3	0,1000	28	0,9333
13	19,8	20,2	20,0	1	0,0333	29	0,9667
14	20,2	20,6	20,4	0	0,0000	29	0,9667
15	20,6	21,0	20,8	1	0,0333	30	1,0000
	mayor de	21,0		0	0,0000	30	1,0000

Media = 17,6396 Desviación Estándar = 1,39006

El StatAdvisor

Esta opción ejecuta una tabulación de frecuencias dividiendo el rango de A-6 y A-7 (Humedad Óptima) en intervalos del mismo ancho, y contando el número de datos en cada intervalo. Las frecuencias muestran el número de datos en cada intervalo,

mientras que las frecuencias relativas muestran las proporciones en cada intervalo. Puede cambiarse la definición de los intervalos pulsando el botón secundario del ratón y seleccionando Opciones de Ventana. Pueden verse gráficamente los resultados de la tabulación seleccionando Histograma de Frecuencias de la lista de Opciones Gráficas.

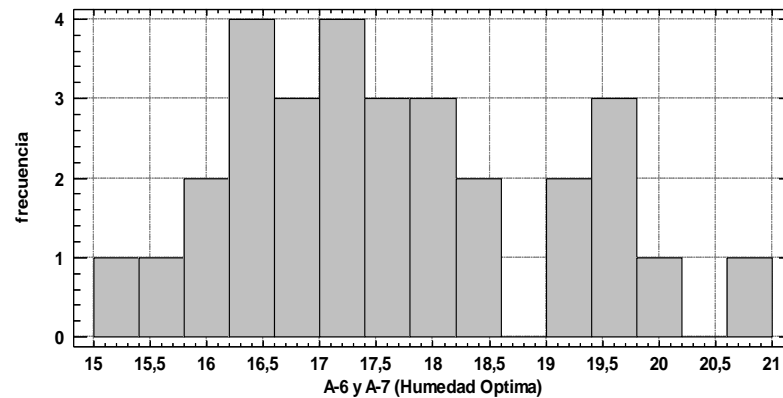


Figura 68. Histograma de la humedad óptima de un suelo A-6 y A-7

Intervalos de Confianza para A-6 y A-7 (Humedad Óptima)

Intervalos de confianza del 95,0% para la media: $17,6396 \pm 0,519057$ [17,1206; 18,1587]

Intervalos de confianza del 95,0% para la desviación estándar: [1,10705; 1,86867]

El StatAdvisor

Este panel muestra los intervalos de confianza del 95,0% para la media y la desviación estándar de A-6 y A-7 (Humedad Óptima). La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media verdadera o la desviación estándar verdadera de la población de la que fueron extraídas las muestras, el 95,0% de las veces. En términos prácticos, puede establecerse con 95,0% de confianza, que la media verdadera de A-6 y A-7 (Humedad Óptima) se encuentra en algún lugar entre 17,1206 y 18,1587, en tanto que la desviación estándar verdadera está en algún lugar entre 1,10705 y 1,86867.

Ambos intervalos asumen que la población de la cual proviene la muestra puede representarse por la distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto y no muy sensible a violaciones de este supuesto, los intervalos de confianza para la desviación estándar son muy sensibles. Si los datos no provienen de una distribución normal, el intervalo para la desviación estándar puede ser incorrecto. Para verificar si los datos provienen de una distribución normal, seleccione Resumen Estadístico de la lista de Opciones Tabulares, o escoja Gráfica de Probabilidad Normal de la lista de Opciones Gráficas.

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para A-6 y A-7 (Humedad Optima)

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Distribución Normal</i>
DMAS	0,124922
DMENOS	0,0842727
DN	0,124922
P-Valor	0,73731

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de pruebas realizadas para determinar si A-6 y A-7 (Humedad Optima) puede modelarse adecuadamente con una Normal. La prueba de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de A-6 y A-7 (Humedad Optima) y la FDA de la Normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0,124922.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que A-6 y A-7 (Humedad Optima) proviene de una Normal con 95% de confianza.

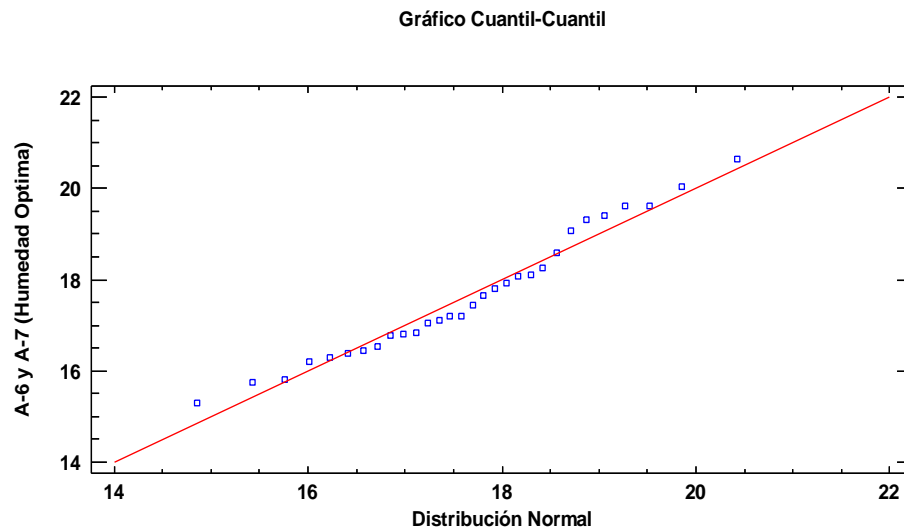


Figura 69. Ajuste de Normalidad de la humedad óptima de un suelo A-6 y A-7

Límites de Tolerancia Estadística - A-6 y A-7 (Humedad Óptima)

Datos/Variable: A-6 y A-7 (Humedad Óptima) (CHO)

Distribución: Normal

Tamaño de muestra = 30

Media = 17,6396

desv. est. = 1,39006

Intervalos de tolerancia del 95,0% para 99,0% de la población

Xbarra +/- 3,34971 sigma

Superior: 22,2959

Inferior: 12,9833

El StatAdvisor

Asumiendo que A-6 y A-7 (Humedad Óptima) proviene de una distribución normal, los límites de tolerancia establecen que se puede estar 95,0% confiados en que 99,0%

de la distribución cae entre 12,9833 y 22,2959. Este intervalo se calcula tomando la media de los datos $\pm 3,34971$ veces la desviación estándar.

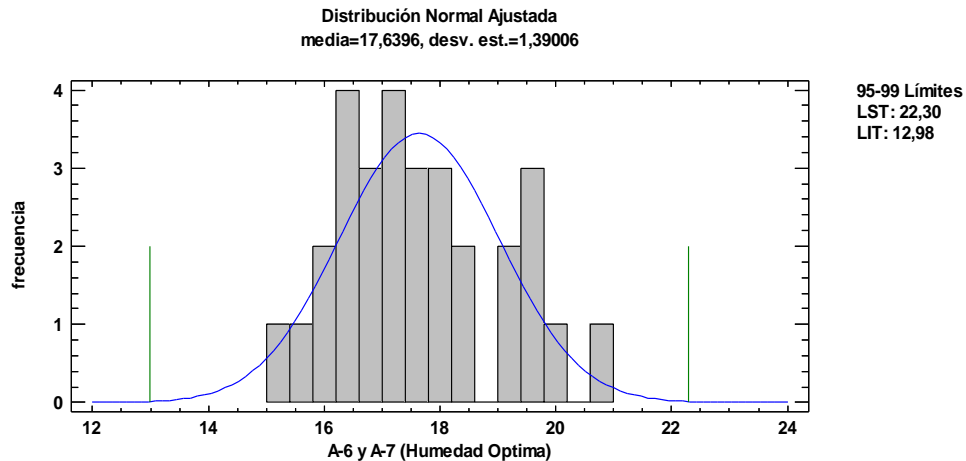


Figura 70. Límites de Tolerancia de la humedad óptima de un suelo A-6 y A-7

4.10.1 ANÁLISIS PROPIO DE CADA UNA DE LAS VARIABLES

4.10.1.1 Análisis propio de valores de “Densidad Seca Máxima” para los suelos A-1.

Una vez realizado el tratamiento estadístico para esta variable, se observó que los resultados de densidad de seca máxima de los suelos A-1, varían de 2,074gr/cm³ a 2,203 gr/cm³, siendo el rango de variación de estos datos de 0,129 entre los valores mínimo y máximo obtenidos mediante en laboratorio, mediante el grafico de dispersión se puede observar que los valores tienden a ser de 2,08 gr/cm³ y de 2,19 gr/cm³, mediante el grafico de caja y bigotes se puede apreciar claramente que los valores encontrados son muy cercanos unos de otros, puesto que los valores extremos de los treinta ensayos realizados se encuentran concentrados en la “caja” y los bigotes de dicha caja, los cuales representan los valores extremos o más lejanos de los treinta valores obtenidos, estos se presentan muy próximos o casi pegados a los valores centrales, por lo que se demuestra que los resultados no tienen mucha desviación entre ellos.

Mediante el análisis de frecuencia se observa que los resultados que en su mayoría se repiten son los rangos de valores de entre 2,072 gr/cm³ hasta 2,088 gr/cm³, dichos valores se reiteran en catorce ocasiones, tomando en cuenta que el total de datos son de treinta, este valor es muy alto, casi la mitad, también existe otro grupo de valores de densidad seca máxima de frecuencias muy elevadas, estos están entre los rangos de 2,184 gr/cm³ hasta 2,200 gr/cm³, la frecuencia de dichos valores es de trece, tomando en cuenta que el total de ensayos es de treinta, entonces este valor es muy alto, dicho análisis de frecuencias explicado anteriormente se puede observar gráficamente en el histograma de frecuencias.

4.10.1.2 Análisis propio de valores de “Humedad Optima” para los suelos A-1.

Realizado el tratamiento estadístico para esta variable, se observó que los resultados de Humedad Optima de los suelos A-1, varían 5,589% a 7,79%, siendo el rango de variación de estos datos de 2,201% entre los valores mínimo y máximo obtenidos mediante en laboratorio, mediante el grafico de dispersión se puede observar que los valores tienden a ser de 7,100% hasta 7,7%, en su mayoría, habiendo valores alejados de estos, pero los cuales son en su minoría, mediante el grafico de caja y bigotes se puede apreciar claramente que los valores encontrados son un poco distantes unos de otros, puesto que no todos los valores de los treinta ensayos realizados se encuentran concentrados en la “caja” y los bigotes de dicha caja, los cuales representan los valores extremos o más lejanos de los treinta valores obtenidos, estos se presentan un poco lejanos a los valores centrales, por lo que se demuestra que los resultados tienen una desviación moderada entre ellos.

Mediante el análisis de frecuencia se observa que los resultados que en su mayoría se repiten son los rangos de valores de entre 7,600% hasta 7,800%, dichos valores se reiteran en ocho ocasiones, tomando en cuenta que el total de datos son de treinta, este valor es moderado, también existe otro grupo de valores de humedad optima de frecuencias algo elevadas, estos están entre los rangos de 7,00% hasta 7,600%, la frecuencia de dichos valores es de catorce, tomando en cuenta que el total de ensayos

es de treinta, entonces este valor es muy alto, dicho análisis de frecuencias explicado anteriormente se puede observar gráficamente en el histograma de frecuencias para la humedad optima de los suelos para un suelo A-1.

4.10.1.3 Análisis propio de valores de “Densidad Seca Máxima” para los suelos A-2.

Una vez realizado el tratamiento estadístico para esta variable, se observó que los resultados de densidad de seca máxima de los suelos A-2, varían de 1,991gr/cm³ a 2,061 gr/cm³, siendo el rango de variación de estos datos de 0,070 entre los valores mínimo y máximo obtenidos mediante en laboratorio, mediante el grafico de dispersión se puede observar que los valores tienden a dividirse en dos grupos , un grupo tiene los valores de 1,99 gr/cm³ hasta de 2,005 gr/cm³, y el otro grupo varía entre los valores de 2,045 gr/cm³ hasta de 2,060 gr/cm³, mediante el grafico de caja y bigotes se puede apreciar claramente que los valores encontrados son muy cercanos unos de otros, puesto que los valores extremos de los treinta ensayos realizados se encuentran concentrados en la “caja” y los bigotes de dicha caja, los cuales representan los valores extremos o más lejanos de los treinta valores obtenidos, estos se presentan muy próximos o casi pegados a los valores centrales, por lo que se demuestra que los resultados no tienen mucha desviación entre ellos.

Mediante el análisis de frecuencia se observa que los resultados que en su mayoría se repiten son los rangos de valores de entre 2,04667 gr/cm³ hasta 2,060 gr/cm³, dichos valores se reiteran en diez ocasiones, tomando en cuenta que el total de datos son de treinta, este valor el muy alto, exactamente un tercio del total, también existe otro grupo de valores de densidad seca máxima de frecuencias muy elevadas, estos están entre los rangos de 1,99333 gr/cm³ hasta 2,00667 gr/cm³, la frecuencia de dichos valores es de doce, tomando en cuenta que el total de ensayos es de treinta, entonces este valor es muy alto, dicho análisis de frecuencias explicado anteriormente se puede observar gráficamente en el histograma de frecuencias.

4.10.1.4 Análisis propio de valores de “Humedad Optima” para los suelos A-2.

Realizado el tratamiento estadístico para esta variable, se observó que los resultados de Humedad Óptima de los suelos A-2, varían 8,068% a 11,014%, siendo el rango de variación de estos datos de 2,946% entre los valores mínimo y máximo obtenidos mediante en laboratorio, mediante el gráfico de dispersión se puede observar que los valores se dividen en dos grupos de concentraciones, claramente visibles en dicho gráfico, un grupo tiende a ser de 8,100% hasta 8,750%, el otro grupo tiene los valores de 10,300% hasta 11,000% , no existiendo valores alejados de estos dos grupos, mediante el gráfico de caja y bigotes se puede apreciar claramente que los valores encontrados son un poco distantes unos de otros pero concentrados a la vez en un rango de valores, puesto que no todos los valores de los treinta ensayos realizados se encuentran concentrados en la “caja” y los bigotes de dicha caja, los cuales representan los valores extremos o más lejanos de los treinta valores obtenidos, estos se presentan solo poco lejanos a los valores centrales, por lo que se demuestra que los resultados tienen una desviación muy baja entre ellos.

Mediante el análisis de frecuencia se observa que los resultados que en su mayoría se repiten son los rangos de valores de entre 7,900% hasta 8,700%, dichos valores se reiteran en quince ocasiones, tomando en cuenta que el total de datos son de treinta, este valor es muy elevado, exactamente la mitad , también existe otro grupo de valores de humedad óptima de frecuencias algo elevadas, estos están entre los rangos de 10,300% hasta 11,100%, la frecuencia de dichos valores es de catorce, tomando en cuenta que el total de ensayos es de treinta, entonces este valor también es muy alto, dicho análisis de frecuencias explicado anteriormente se puede observar gráficamente en el histograma de frecuencias para la humedad óptima de los suelos para un suelo A-2.

4.10.1.5 Análisis propio de valores de “Densidad Seca Máxima” para los suelos A-3.

Una vez realizado el tratamiento estadístico para esta variable, se observó que los resultados de densidad de seca máxima de los suelos A-3, varían de 1,647gr/cm³ a

1,796 gr/cm³, siendo el rango de variación de estos datos de 0,149 entre los valores mínimo y máximo obtenidos mediante en laboratorio, mediante el grafico de dispersión se puede observar que los valores tienden ser un poco alejados y distantes entre todos ellos, pero existe un pequeño grupo concentrado, los cuales tienen los valores desde 1,685 gr/cm³ hasta 1,720 gr/cm³, mediante el grafico de caja y bigotes se puede apreciar claramente que los valores encontrados son muy alejados los unos de otros, puesto que los valores extremos de los treinta ensayos realizados se encuentran totalmente alejados de la “caja” y los bigotes de dicha caja, los cuales representan los valores extremos o más lejanos de los treinta valores obtenidos, estos se presentan muy distantes también, por lo que se demuestra que los resultados tienen mucha desviación entre ellos, también se verifica visualmente que existen valores muy alejados o extremos, los cuales están todavía aún más alejados de los extremos de la “caja de bigotes”.

Mediante el análisis de frecuencia se observa que los resultados que en su mayoría se repiten son los rangos de valores de entre 1,696 gr/cm³ hasta 1,712 gr/cm³, dichos valores se reiteran en trece ocasiones, tomando en cuenta que el total de datos son de treinta, este valor es muy alto, casi la mitad, dicho análisis de frecuencias explicado anteriormente se puede observar gráficamente en el histograma de frecuencias.

4.10.1.6 Análisis propio de valores de “Humedad Optima” para los suelos A-3.

Realizado el tratamiento estadístico para esta variable, se observó que los resultados de Humedad Optima de los suelos A-3, varían 14,120% a 15,591%, siendo el rango de variación de estos datos de 1,471% entre los valores mínimo y máximo obtenidos mediante en laboratorio, mediante el grafico de dispersión se puede observar que los valores tienden a ser distanciados unos de otros, lo cual hace muy difícil identificar un grupo de valores concentrados que resalten o se distingan de los otros, se analiza que los valores son distanciados y que hay un solo valor que se aleja de los otros treinta restantes, mediante el grafico de caja y bigotes se puede apreciar claramente que los valores encontrados son un poco distantes unos de otros, puesto que no todos los

valores de los treinta ensayos realizados se encuentran concentrados en la “caja” y los bigotes de dicha caja, los cuales representan los valores extremos o más lejanos de los treinta valores obtenidos, estos se presentan un poco lejanos a los valores centrales, por lo que se demuestra que los resultados tienen una desviación moderada entre ellos, también existe un valor extremo alejado totalmente de los demás, el cual se visualiza también claramente en el anterior gráfico de dispersión.

Mediante el análisis de frecuencia se observa que los resultados, en su mayoría tienen valores de frecuencia muy idénticos o poco distantes, siendo estas frecuencias de cuatro o cinco en su mayoría, los valores para estas frecuencias son los rangos de valores de entre 14,960% hasta 15,440%, dichos valores se reiteran en dieciocho ocasiones, tomando en cuenta que el total de datos son de treinta, este valor es muy elevado, dicho análisis de frecuencias explicado anteriormente se puede observar gráficamente en el histograma de frecuencias para la humedad óptima de los suelos para un suelo A-3.

4.10.1.7 Análisis propio de valores de “Densidad Seca Máxima” para suelos A-4 y A-5.

Una vez realizado el tratamiento estadístico para esta variable, se observó que los resultados de densidad de seca máxima de los suelos A-4 y A-5, varían de 1,907 gr/cm³ a 1,968 gr/cm³, siendo el rango de variación de estos datos de 0,061 entre los valores mínimo y máximo obtenidos mediante en laboratorio, mediante el gráfico de dispersión se puede observar que los valores están un poco distantes entre todos, pero se puede apreciar un grupo que sobre sale levemente del resto, este grupo viene los valores de 1,91 gr/cm³ hasta de 1,93 gr/cm³, mediante el gráfico de caja y bigotes se puede apreciar claramente que los valores encontrados no son muy cercanos unos de otros, puesto que los valores extremos de los treinta ensayos realizados se encuentran distantes de la “caja” y los bigotes de dicha caja, los cuales representan los valores extremos o más lejanos de los treinta valores obtenidos, estos se presentan un poco alejados a los valores centrales, por lo que se demuestra que los resultados presentan alguna desviación entre ellos.

Mediante el análisis de frecuencia se observa que los resultados que en su mayoría se repiten son los rangos de valores de entre 1,916 gr/cm³ hasta 1,92667 gr/cm³, dichos valores se reiteran en trece ocasiones, tomando en cuenta que el total de datos son de treinta, este valor es muy alto, casi la mitad, dicho análisis de frecuencias explicado anteriormente se puede observar gráficamente en el histograma de frecuencias.

4.10.1.8 Análisis propio de valores de “Humedad Optima” para los suelos A-4 y A-5.

Realizado el tratamiento estadístico para esta variable, se observó que los resultados de Humedad Optima de los suelos A-4 y A-5, varían 12,051% a 14,250%, siendo el rango de variación de estos datos de 2,199% entre los valores mínimo y máximo obtenidos mediante en laboratorio, mediante el grafico de dispersión se puede observar que los valores tienden a ser de 12,4% hasta 13,1%, en su mayoría, habiendo valores alejados de estos, pero los cuales son en su minoría, mediante el grafico de caja y bigotes se puede apreciar claramente que los valores encontrados son un poco distantes unos de otros, puesto que no todos los valores de los treinta ensayos realizados se encuentran concentrados en la “caja” y los bigotes de dicha caja, los cuales representan los valores extremos o más lejanos de los treinta valores obtenidos, estos se presentan un poco lejanos a los valores centrales, por lo que se demuestra que los resultados tienen una desviación moderada entre ellos, en esta grafica se nota que existe un grupo predominante de valores que se encuentran concentrados pero también existen valores muy distantes, aunque estos representan la minoría.

Mediante el análisis de frecuencia se observa que los resultados que en su mayoría se repiten son los rangos de valores de entre 12,3333% hasta 12,8667%, dichos valores se reiteran en catorce ocasiones, tomando en cuenta que el total de datos son de treinta, este valor es muy alto, tomando en cuenta que el total de ensayos es de treinta, entonces este valor es muy alto, dicho análisis de frecuencias explicado anteriormente se puede observar gráficamente en el histograma de frecuencias para la humedad optima de los suelos para un suelo A-4 y A-5.

4.10.1.9 Análisis propio de valores de “Densidad Seca Máxima” para suelos A-6 y A-7.

Una vez realizado el tratamiento estadístico para esta variable, se observó que los resultados de densidad de seca máxima de los suelos A-6 y A-7, varían de 1,614gr/cm³ a 1,83 gr/cm³, siendo el rango de variación de estos datos de 0,216 entre los valores mínimo y máximo obtenidos mediante en laboratorio, mediante el grafico de dispersión se puede observar que los valores tienden a ser de 1,72 gr/cm³ hasta de 1,82 gr/cm³, mediante el grafico de caja y bigotes se puede apreciar claramente que los valores encontrados son muy cercanos unos de otros, esto para un grupo determinado, donde los valores van desde 1,725 gr/cm³ hasta 1,795 gr/cm³, también se aprecia que existen valores extremos de los treinta ensayos realizados, los cuales no se encuentran concentrados en la “caja”, y los bigotes de dicha caja los representan, por lo que se demuestra que los resultados tienen una desviación entre ellos.

Mediante el análisis de frecuencia se observa que los resultados que en su mayoría se repiten son los rangos de valores de entre 1,78333 gr/cm³ hasta 1,800 gr/cm³, dichos valores se reiteran en ocho ocasiones, tomando en cuenta que el total de datos son de treinta, este valor es algo bajo, también existe otro grupo de valores de densidad seca máxima de frecuencias levemente elevadas, estos están entre los rangos de 1,7333 gr/cm³ hasta 1,750 gr/cm³, la frecuencia de dichos valores es de cinco, tomando en cuenta que el total de ensayos es de treinta, entonces este valor es muy bajo, dicho análisis de frecuencias explicado anteriormente se puede observar gráficamente en el histograma de frecuencias.

4.10.1.10 Análisis propio de valores de “Humedad Optima” para los suelos A-6 y A-7.

Realizado el tratamiento estadístico para esta variable, se observó que los resultados de Humedad Optima de los suelos A-6 y A-7, varían 15,290% hasta 20,632%, siendo el rango de variación de estos datos de 5,342% entre los valores mínimo y máximo obtenidos mediante en laboratorio, mediante el grafico de dispersión se puede observar que los valores tienden a ser de 16,200% hasta 19,700%, en su

mayoría, habiendo valores alejados de estos, pero los cuales son en su minoría, mediante el grafico de caja y bigotes se puede apreciar claramente que los valores encontrados son un poco distantes unos de otros, puesto que no todos los valores de los treinta ensayos realizados se encuentran concentrados en la “caja” y los bigotes de dicha caja, los cuales representan los valores extremos o más lejanos de los treinta valores obtenidos, estos se presentan un poco lejanos a los valores centrales, por lo que se demuestra que los resultados tienen una desviación moderada entre ellos, dichos valores concentrados en la “caja” varían de 16,520% hasta 18,600%.

Mediante el análisis de frecuencia se observa que los resultados que en su mayoría se repiten son los rangos de valores de entre 16,200% hasta 18,200%, dichos valores se reiteran en diecisiete ocasiones, tomando en cuenta que el total de datos son de treinta, este valor es muy alto , pero estos datos varían su frecuencia entre tres o cuatro veces como máximo, y estas frecuencias son muy bajas, dicho análisis de frecuencias explicado anteriormente se puede observar gráficamente en el histograma de frecuencias para la humedad optima de los suelos A-6 y A-7.

4.11 MODELOS DE AJUSTE CON EL PROGRAMA: STATGRAPHICS

Centurión XVI.- Se realizó un análisis de todos los modelos de regresión posibles, los cuales se puedan ajustar de mejor manera a los valores de humedad óptima y densidades, los cuales se obtuvieron por medio de promedios, se presentan a continuación:

Tabla 25. Valores promedios de humedad y densidad de los diferentes suelos

A-1	Fragmentos de Piedra, Grava y Arena	Contenido de humedad (%)	2,108	3,866	7,044	9,318	11,126
		Densidad de suelo seco (gr/cm ³)	1,989	2,059	2,129	2,104	2,032
A-2	Grava y Arena Limosa o Arcillosa	Contenido de humedad (%)	6,344	7,685	9,524	11,259	12,502
		Densidad de suelo seco (gr/cm ³)	1,875	1,971	2,013	1,980	1,904
A-3	Arena Finas	Contenido de humedad (%)	7,701	10,297	14,219	17,568	20,543

		Densidad de suelo seco (gr/cm ³)	1,555	1,636	1,709	1,688	1,617
A-4 y A-5	Suelos Limosos	Contenido de humedad (%)	9,285	10,849	12,824	14,865	16,438
		Densidad de suelo seco (gr/cm ³)	1,824	1,890	1,925	1,902	1,839
A-6 y A-7	Suelos Arcillosos	Contenido de humedad (%)	12,889	15,071	17,590	21,252	23,968
		Densidad de suelo seco (gr/cm ³)	1,665	1,722	1,741	1,677	1,598

4.11.1 COMPARACIÓN DE MODELOS ALTERNOS PARA LA CURVA DE COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS A-1.

Tabla 26. Comparación de Modelos Alternos: Mediante el programa STATGRAPHICS Centurión XVI

<i>Modelo</i>	<i>Correlación</i>	<i>R-Cuadrada</i>
Doble Inverso	0,7026	49,36%
Curva S	-0,6981	48,73%
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	-0,6958	48,42%
Inversa de X	-0,6936	48,10%
Cuadrado-Y Inversa de X	-0,6890	47,48%
Inversa-Y Log-X	-0,5868	34,43%
Multiplicativa	0,5828	33,97%
Raíz Cuadrada-Y Log-X	0,5808	33,74%
Logaritmo de X	0,5788	33,50%
Cuadrado-Y Log-X	0,5748	33,04%
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	-0,5068	25,68%

Logarítmico-Y Cuadrada-X	Raíz	0,5030	25,30%
Raíz Cuadrada Doble		0,5010	25,10%
Raíz Cuadrada de X		0,4991	24,91%
Cuadrado-Y Cuadrada-X	Raíz	0,4953	24,53%
Inversa de Y		-0,4200	17,64%
Exponencial		0,4163	17,33%
Raíz Cuadrada de Y		0,4144	17,17%
Lineal		0,4125	17,01%
Cuadrado de Y		0,4087	16,70%
Inversa-Y Cuadrado-X		-0,2521	6,35%
Log-Y Cuadrado-X		0,2482	6,16%
Raíz Cuadrado-X	Cuadrada-X	0,2462	6,06%
Cuadrado de X		0,2443	5,97%
Cuadrado Doble		0,2404	5,78%
Logístico		<sin ajuste>	
Log probit		<sin ajuste>	

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los resultados de ajustar varios modelos curvilíneos a los datos. De los modelos ajustados, el modelo doble inverso es el que arroja el valor más alto de R-Cuadrada con 49,3628%. Este es 49,3628% mayor que el modelo Y-cuadrada seleccionado. Para cambiar los modelos, seleccione el cuadro de diálogo de las Opciones de Análisis.

ANÁLISIS: Como se puede apreciar el modelo de “Doble inverso” es el que mejor se ajusta a los datos de compactación, aunque su correlación de ajuste es muy bajo (0,7026), es el mayor ajuste logrado con este programa.

4.11.2 COMPARACIÓN DE MODELOS ALTERNOS PARA LA CURVA DE COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS A-2.

Tabla 27. Comparación de Modelos Alternos: Mediante el programa STATGRAPHICS Centurión XVI

<i>Modelo</i>	<i>Correlació n</i>	<i>R- Cuadrada</i>
Doble Inverso	0,3805	14,48%
Curva S	-0,3769	14,21%
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	-0,3751	14,07%
Inversa de X	-0,3733	13,94%
Cuadrado-Y Inversa de X	-0,3698	13,67%
Inversa-Y Log-X	-0,2955	8,73%
Multiplicativa	0,2918	8,51%
Raíz Cuadrada-Y Log-X	0,2900	8,41%
Logaritmo de X	0,2881	8,30%
Cuadrado-Y Log-X	0,2845	8,10%
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	-0,2512	6,31%
Logarítmico-Y Cuadrada-X	Raíz 0,2475	6,12%

Raíz Cuadrada Doble	0,2456	6,03%
Raíz Cuadrada de X	0,2438	5,94%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	0,2402	5,77%
Inversa de Y	-0,2066	4,27%
Exponencial	0,2029	4,12%
Raíz Cuadrada de Y	0,2010	4,04%
Lineal	0,1991	3,97%
Cuadrado de Y	0,1955	3,82%
Inversa-Y Cuadrado-X	-0,1190	1,42%
Log-Y Cuadrado-X	0,1152	1,33%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	0,1133	1,28%
Cuadrado de X	0,1114	1,24%
Cuadrado Doble	0,1077	1,16%
Logístico	<sin ajuste>	
Log probit	<sin ajuste>	

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los resultados de ajustar varios modelos curvilíneos a los datos. De los modelos ajustados, el modelo doble inverso es el que arroja el valor más alto de R-Cuadrada con 14,4805%. Este es 14,4805% mayor que el modelo Y-cuadrada seleccionado. Para cambiar los modelos, seleccione el cuadro de diálogo de las Opciones de Análisis.

ANÁLISIS: Como se puede apreciar el modelo de “Doble inverso” es el que mejor se ajusta a los datos de compactación, aunque su correlación de ajuste es muy bajo (0,3805), es el mayor ajuste logrado con este programa.

4.11.3 COMPARACIÓN DE MODELOS ALTERNOS PARA LA CURVA DE COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS A-3.

Tabla 28. Comparación de Modelos Alternos: Mediante el programa STATGRAPHICS Centurión XVI

<i>Modelo</i>	<i>Correlación</i>	<i>R-Cuadrada</i>
Doble Inverso	0,6775	45,90%
Curva S	-0,6714	45,08%
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	-0,6683	44,66%
Inversa de X	-0,6652	44,25%
Cuadrado-Y Inversa de X	-0,6590	43,42%
Inversa-Y Log-X	-0,5837	34,07%
Multipliativa	0,5777	33,37%
Raíz Cuadrada-Y Log-X	0,5746	33,02%
Logaritmo de X	0,5716	32,67%
Cuadrado-Y Log-X	0,5654	31,97%
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	-0,5298	28,07%
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	0,5237	27,43%
Raíz Cuadrada Doble	0,5206	27,11%
Raíz Cuadrada de X	0,5176	26,79%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	0,5113	26,15%
Inversa de Y	-0,4732	22,40%
Exponencial	0,4671	21,81%
Raíz Cuadrada de Y	0,4639	21,52%

Lineal	0,4608	21,24%
Cuadrado de Y	0,4546	20,66%
Inversa-Y Cuadrado-X	-0,3592	12,90%
Log-Y Cuadrado-X	0,3528	12,44%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	0,3495	12,22%
Cuadrado de X	0,3463	11,99%
Cuadrado Doble	0,3398	11,55%
Logístico	<sin ajuste>	
Log probit	<sin ajuste>	

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los resultados de ajustar varios modelos curvilíneos a los datos. De los modelos ajustados, el modelo doble inverso es el que arroja el valor más alto de R-Cuadrada con 45,895%. Este es 45,895% mayor que el modelo Y-cuadrada seleccionado. Para cambiar los modelos, seleccione el cuadro de diálogo de las Opciones de Análisis.

ANÁLISIS: Como se puede apreciar el modelo de “Doble inverso” es el que mejor se ajusta a los datos de compactación, aunque su correlación de ajuste es medio (0,6775), es el mayor ajuste logrado con este programa.

4.11.4 COMPARACIÓN DE MODELOS ALTERNOS PARA LA CURVA DE COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS A-4 y A-5.

Tabla 29. Comparación de Modelos Alternos: Mediante el programa STATGRAPHICS Centurión XVI

<i>Modelo</i>	<i>Correlación</i>	<i>R-Cuadrada</i>
	<i>n</i>	
Doble Inverso	0,3081	9,49%
Curva S	-0,3063	9,38%
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	-0,3053	9,32%
Inversa de X	-0,3045	9,27%
Cuadrado-Y Inversa de X	-0,3027	9,16%
Inversa-Y Log-X	-0,2333	5,44%
Multiplicativa	0,2314	5,36%
Raíz Cuadrada-Y Log-X	0,2305	5,32%
Logaritmo de X	0,2297	5,27%
Cuadrado-Y Log-X	0,2279	5,19%
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	-0,1947	3,79%
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	0,1929	3,72%
Raíz Cuadrada Doble	0,1920	3,69%
Raíz Cuadrada de X	0,1911	3,65%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	0,1893	3,58%
Inversa de Y	-0,1559	2,43%
Exponencial	0,1541	2,37%
Raíz Cuadrada de Y	0,1532	2,35%
Lineal	0,1523	2,32%
Cuadrado de Y	0,1505	2,27%
Inversa-Y Cuadrado-X	-0,0793	0,63%
Log-Y Cuadrado-X	0,0775	0,60%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	0,0766	0,59%
Cuadrado de X	0,0757	0,57%
Cuadrado Doble	0,0739	0,55%
Logístico	<sin ajuste>	

Log probit	<sin ajuste>	
------------	--------------	--

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los resultados de ajustar varios modelos curvilíneos a los datos. De los modelos ajustados, el modelo doble inverso es el que arroja el valor más alto de R-Cuadrada con 9,49056%. Este es 9,49056% mayor que el modelo Y-cuadrada seleccionado. Para cambiar los modelos, seleccione el cuadro de diálogo de las Opciones de Análisis.

ANÁLISIS: Como se puede apreciar el modelo de “Doble inverso” es el que mejor se ajusta a los datos de compactación, aunque su correlación de ajuste es muy bajo (0,3081), es el mayor ajuste logrado con este programa.

4.11.5 COMPARACIÓN DE MODELOS ALTERNOS PARA LA CURVA DE COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS A-6 y A-7.

Tabla 30. Comparación de Modelos Alternos: Mediante el programa STATGRAPHICS Centurión XVI

<i>Modelo</i>	<i>Correlació n</i>	<i>R-Cuadrada</i>
Inversa-Y Cuadrado-X	0,6443	41,52%
Log-Y Cuadrado-X	-0,6392	40,86%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	-0,6366	40,52%
Cuadrado de X	-0,6339	40,19%
Cuadrado Doble	-0,6286	39,51%
Inversa de Y	0,5798	33,61%
Exponencial	-0,5744	33,00%
Raíz Cuadrada de Y	-0,5717	32,68%
Lineal	-0,5690	32,37%

Cuadrado de Y	-0,5634	31,74%
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	0,5445	29,65%
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	-0,5390	29,05%
Raíz Cuadrada Doble	-0,5362	28,76%
Raíz Cuadrada de X	-0,5334	28,46%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	-0,5278	27,86%
Inversa-Y Log-X	0,5077	25,78%
Multiplicativa	-0,5021	25,21%
Raíz Cuadrada-Y Log-X	-0,4992	24,92%
Logaritmo de X	-0,4964	24,64%
Cuadrado-Y Log-X	-0,4906	24,07%
Doble Inverso	-0,4312	18,59%
Curva S	0,4252	18,08%
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	0,4222	17,83%
Inversa de X	0,4192	17,58%
Cuadrado-Y Inversa de X	0,4131	17,07%
Logístico	<sin ajuste>	
Log probit	<sin ajuste>	

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los resultados de ajustar varios modelos curvilíneos a los datos. De los modelos ajustados, el modelo Y-inversa X-cuadrada es el que arroja el valor más alto de R-Cuadrada con 41,517%. Este es 41,517% mayor que el modelo Y-cuadrada seleccionado. Para cambiar los modelos, seleccione el cuadro de diálogo de las Opciones de Análisis.

ANÁLISIS: Como se puede apreciar el modelo de “Y-inversa X-cuadrada” es el que mejor se ajusta a los datos de compactación, aunque su correlación de ajuste es media (0,6443), es el mayor ajuste logrado con este programa.

4.12 MODELOS DE AJUSTE CON EL PROGRAMA MICROSOFT EXCEL

4.12.1 COMPARACIÓN DE MODELOS ALTERNOS PARA LA CURVA DE COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS A-1.

**Tabla 31. Comparación de Modelos Alternos: Mediante el programa
MICROSOFT Excel**

Modelo	Correlación
Exponencial	0,1725
Lineal	0,1693
Logarítmica	0,3339
Poli nómica	0,9899
Potencial	0,3385

ANÁLISIS: Como se puede apreciar el modelo de “Poli nómica” es el que mejor se ajusta a los datos de compactación, y su correlación de ajuste es alto (0,9899), es el mayor ajuste logrado con este programa.

4.12.2 COMPARACIÓN DE MODELOS ALTERNOS PARA LA CURVA DE COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS A-2.

**Tabla 32. Comparación de Modelos Alternos: Mediante el programa
MICROSOFT Excel**

Modelo	Correlación
Exponencial	0,0398
Lineal	0,0384
Logarítmica	0,0812
Poli nómica	0,9984
Potencial	0,0833

ANÁLISIS: Como se puede apreciar el modelo de “Poli nómica” es el que mejor se ajusta a los datos de compactación, y su correlación de ajuste es alto (0,9984), es el mayor ajuste logrado con este programa.

4.12.3 COMPARACIÓN DE MODELOS ALTERNOS PARA LA CURVA DE COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS A-3.

**Tabla 33. Comparación de Modelos Alternos: Mediante el programa
MICROSOFT Exel**

Modelo	Correlación
Exponencial	0,2146
Lineal	0,2089
Logarítmica	0,3228
Poli nómica	0,9959
Potencial	0,3298

ANÁLISIS: Como se puede apreciar el modelo de “Poli nómica” es el que mejor se ajusta a los datos de compactación, y su correlación de ajuste es alto (0,9959), es el mayor ajuste logrado con este programa.

4.12.4 COMPARACIÓN DE MODELOS ALTERNOS PARA LA CURVA DE COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS A-4 y A-5.

Tabla 34. Comparación de Modelos Alternos: Mediante el programa

MICROSOFT Exel

Modelo	Correlación
Exponencial	0,0246
Lineal	0,024
Logarítmica	0,0539
Poli nómica	0,9995
Potencial	0,0548

ANÁLISIS: Como se puede apreciar el modelo de “Poli nómica” es el que mejor se ajusta a los datos de compactación, y su correlación de ajuste es alto (0,9995), es el mayor ajuste logrado con este programa.

4.12.5 COMPARACIÓN DE MODELOS ALTERNOS PARA LA CURVA DE COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS A-6 y A-7.

Tabla 35. Comparación de Modelos Alternos: Mediante el programa

MICROSOFT Exel

Modelo	Correlación
Exponencial	0,3276
Lineal	0,3214
Logarítmica	0,2443
Poli nómica	0,986
Potencial	0,2499

ANÁLISIS: Como se puede apreciar el modelo de “Poli nómica” es el que mejor se ajusta a los datos de compactación, y su correlación de ajuste es alto (0,986), es el mayor ajuste logrado con este programa.

4.13 COMPARACIÓN DE MODELOS DE AJUSTE.

4.13.1 PROGRAMA STATGRAPHICS CENTURIÓN XVI

TIPO DE SUELO	MODELO DE MEJOR AJUSTE	CORRELACIÓN
A-1	Doble Inverso	0,7026
A-2	Doble Inverso	0,3805
A-3	Doble Inverso	0,6775
A-4 , A-5	Doble Inverso	0,3081
A-6 , A-7	Inversa-Y Cuadrado-X	0,6443

4.14 GRAFICAS DE CURVAS DE SUELOS Y VALORES OBSERVADOS VS PREDICHOS.

4.14.1 GRAFICA PARA LA CURVA DE SUELOS A-1, MEDIANTE EL PROGRAMA STATGRAPHICS

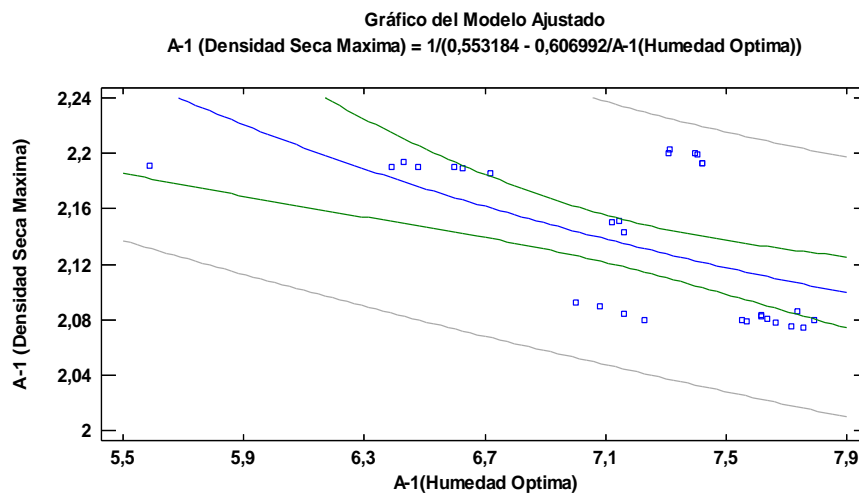


Figura 71. Gráfico de ajuste de un suelo A-1.

4.14.2 GRAFICA DE VALORES OBSERVADOS VS PREDICHOS DE SUELOS A-1

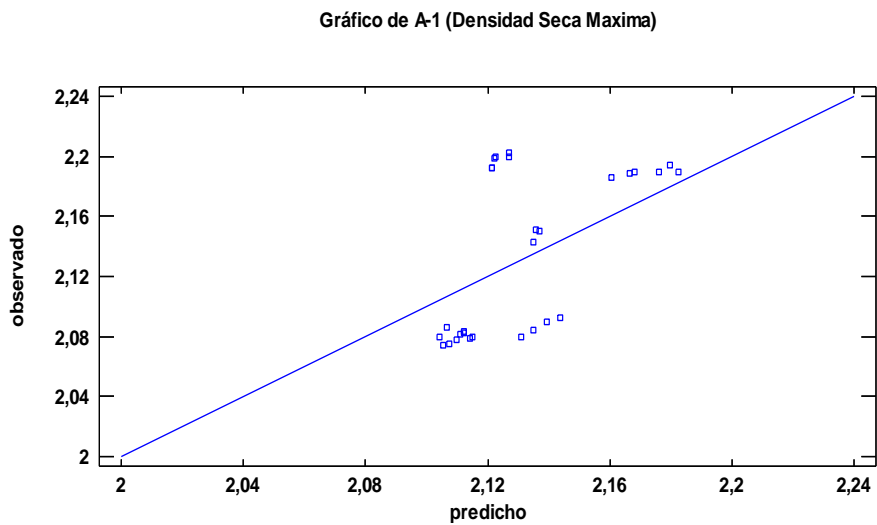


Figura 72. Valores observados vs predichos para un suelo A-1.

4.14.3 GRAFICA PARA LA CURVA DE SUELOS A-2, MEDIANTE EL PROGRAMA STATGRAPHICS

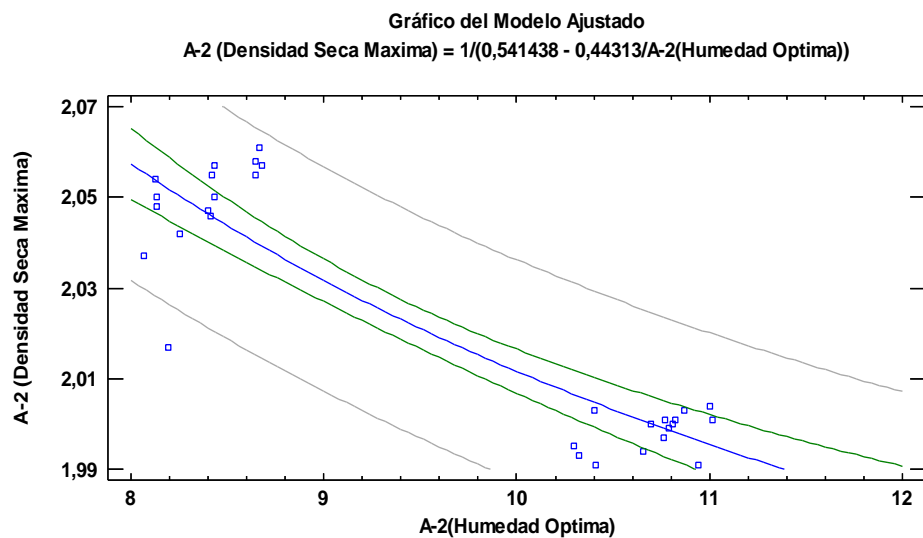


Figura 73. Gráfico de ajuste de un suelo A-2.

4.14.4 GRAFICA DE VALORES OBSERVADOS VS PREDICHOS DE SUELOS A-2

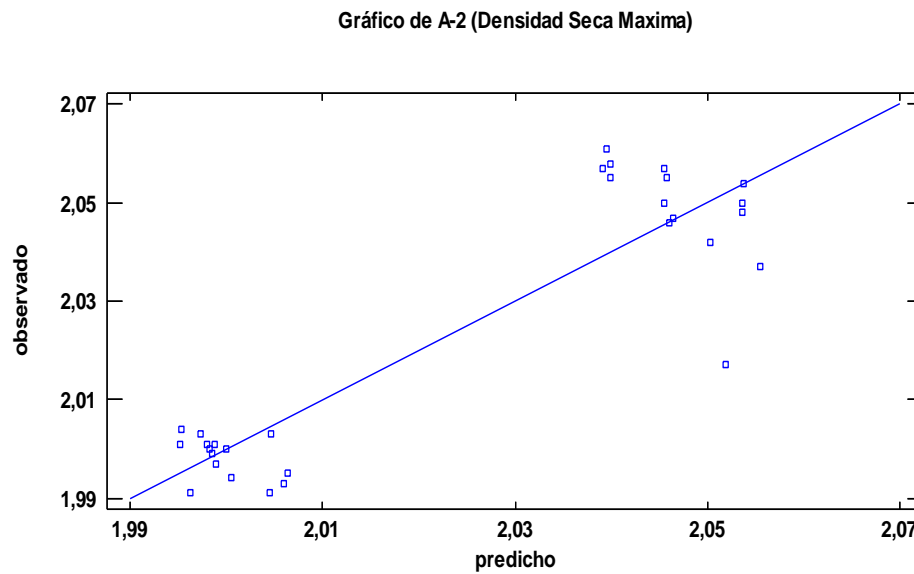


Figura 74. Valores observados vs predichos para un suelo A-2.

4.14.5 GRAFICA PARA LA CURVA DE SUELOS A-3, MEDIANTE EL PROGRAMA STATGRAPHICS

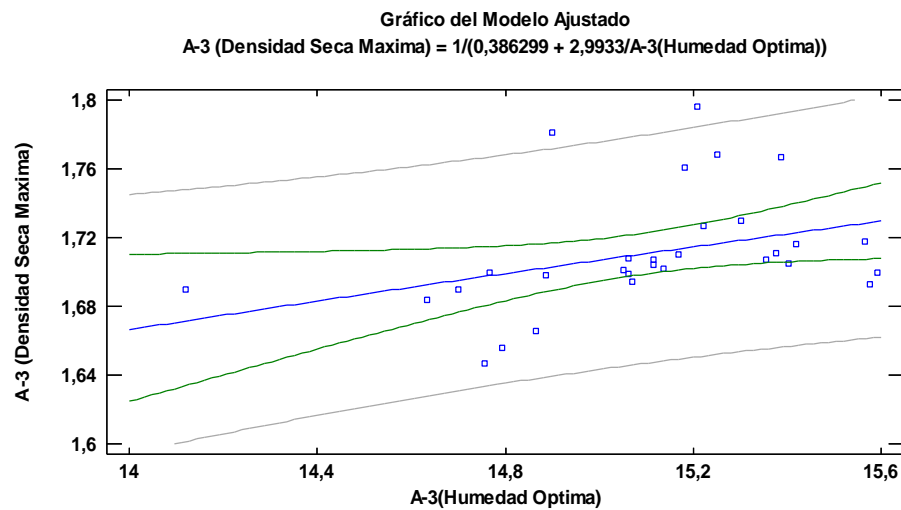


Figura 75. Gráfico de ajuste de un suelo A-3.

4.14.6 GRAFICA DE VALORES OBSERVADOS VS PREDICHOS DE SUELOS A-3

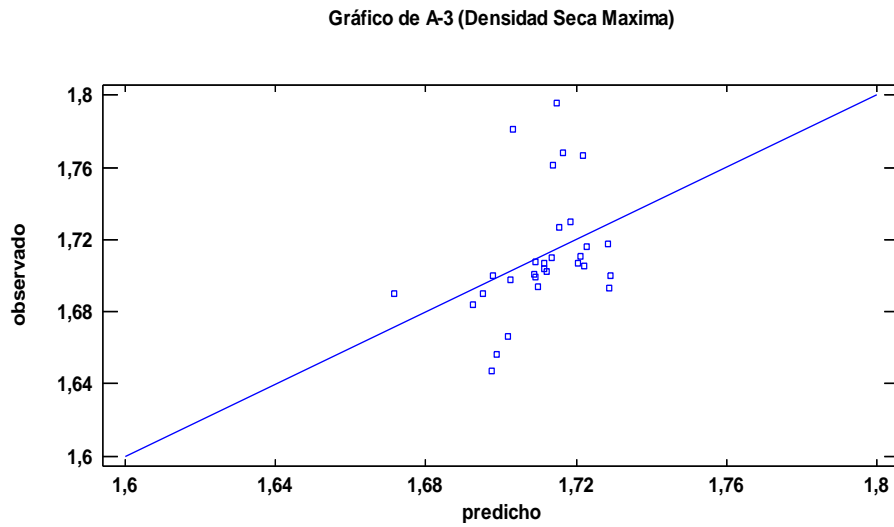


Figura 76. Valores observados vs predichos para un suelo A-3.

4.14.7 GRAFICA PARA LA CURVA DE SUELOS A-4 y A-5, MEDIANTE EL PROGRAMA STATGRAPHICS

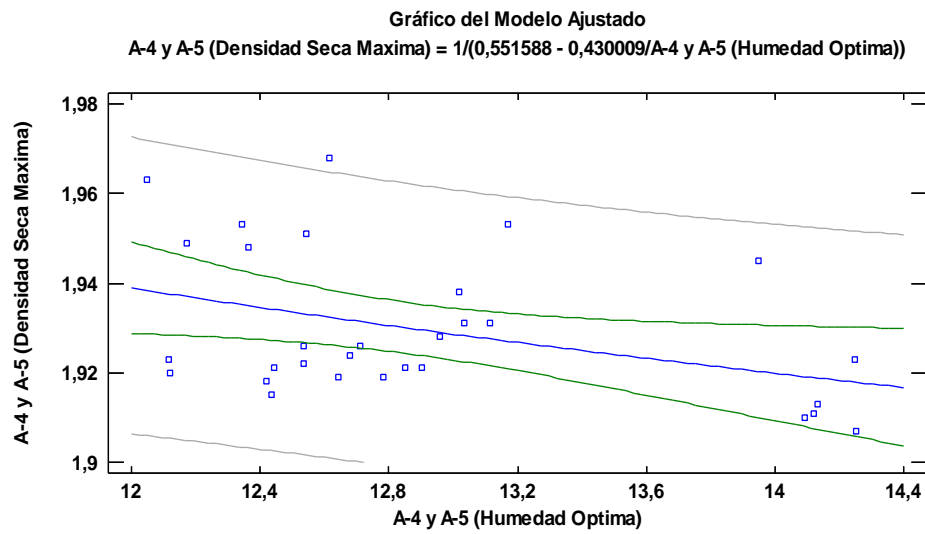


Figura 77. Gráfico de ajuste de un suelo A-4 y A-5.

4.14.8 GRAFICA DE VALORES OBSERVADOS VS PREDICHOS DE SUELOS A-4 y A-5

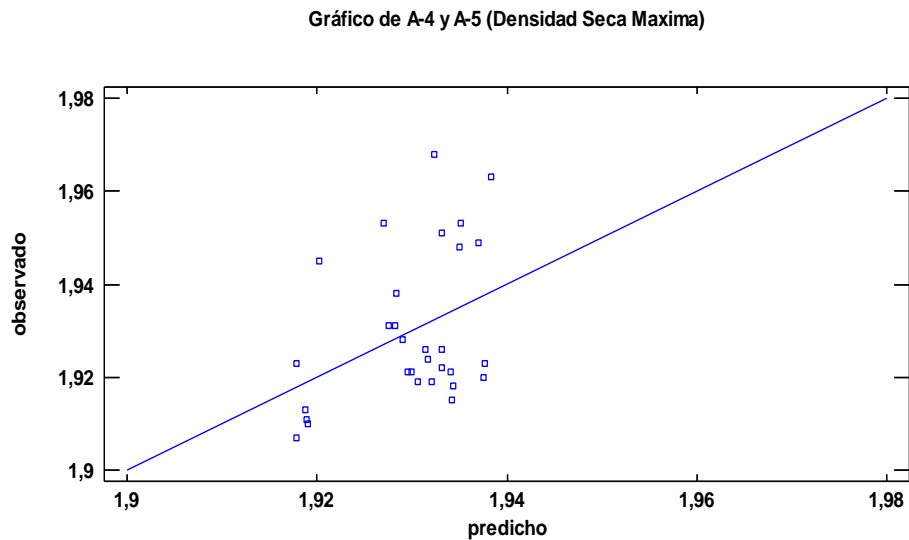


Figura 78. Valores observados vs predichos para un suelo A-4 y A-5.

4.14.9 GRAFICA PARA LA CURVA DE SUELOS A-6 y A-7, MEDIANTE EL PROGRAMA STATGRAPHICS

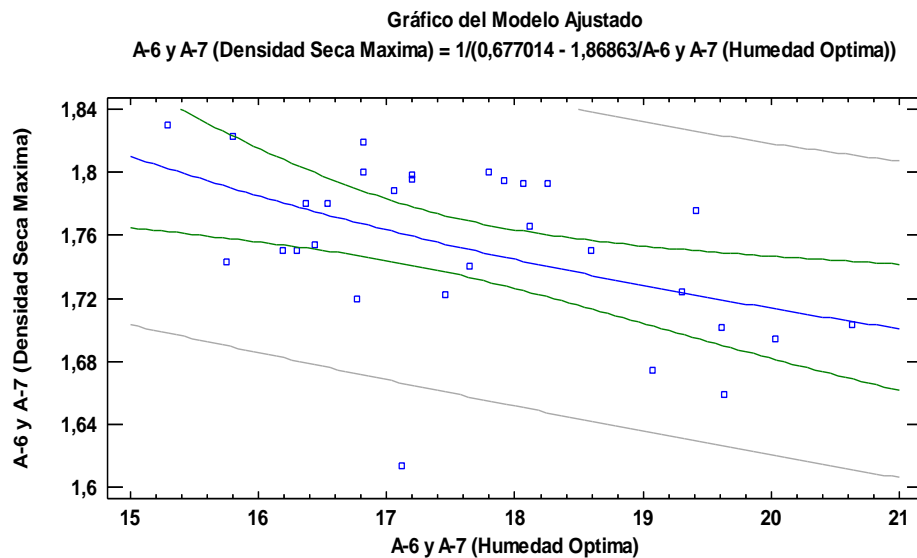


Figura 79. Gráfico de ajuste de un suelo A-6 y A-7.

4.14.10 GRAFICA DE VALORES OBSERVADOS VS PREDICHOS DE SUELOS A-6 y A-7

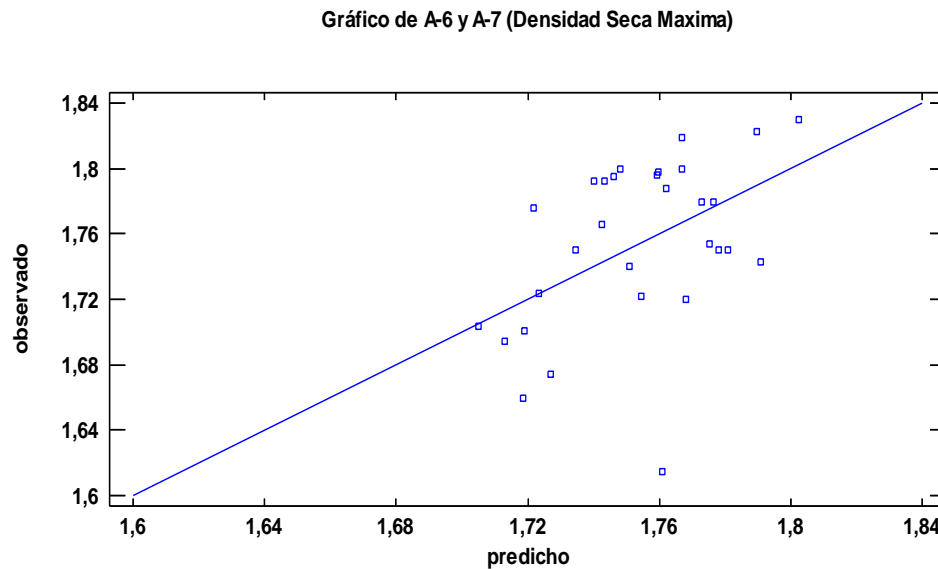


Figura 80. Valores observados vs predichos para un suelo A-6 y A-7.

4.15 PROGRAMA MICROSOFT Excel

TIPO DE SUELO	MODELO DE MEJOR AJUSTE	CORRELACION
A-1	Polinómica	0,9899
A-2	Polinómica	0,9984
A-3	Polinómica	0,9959
A-4 , A-5	Polinómica	0,9995
A-6 , A-7	Polinómica	0,9860

4.16 ELECCIÓN DEL MODELO DE REGRESIÓN.- Realizando la comparación de los métodos de ajuste, tanto con el programa STATGRAPHICS y con el MICROSOFT, se verifica que el mejor modelo de ajuste es una regresión tipo Polinómica, puesta que sus respectivas coeficientes de correlación para cada ecuación según el tipo de suelo, son muy elevados y por lo tanto de ajuste muy exacto, por lo

tanto se realizó el ábaco del comportamiento de la compactación de los suelos con dichas ecuaciones, las cuales se presentan a continuación:

Tabla 36. Ecuaciones de las curvas de compactación de los modelos de regresión seleccionados:

CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	ECUACIÓN	CORRELACIÓN
A-1	Fragmentos de Piedra, Grava y Arena	$y = -0,0057 * x^2 + 0,0807 * x + 1,8396$	0,9899
A-2	Grava y Arena Limosa o Arcillosa	$y = -0,0132x^2 + 0,2524 * x + 0,8025$	0,9984
A-3	Arena Finas	$y = -0,0029 * x^2 + 0,087 * x + 1,054$	0,9959
A-4 y A-5	Suelos Limosos	$y = -0,0073 * x^2 + 0,1907 + 0,6841$	0,9995
A-6 y A-7	Suelos Arcillosos	$y = -0,0033 * x^2 + 0,1156 + 0,7305$	0,9860

4.17 ECUACIONES LLEVADAS A VARIABLES:

Variable Dependiente: Densidad de los diferentes tipos de suelo

Variable Independiente: Humedad optima de los suelos

❖ MODELO PARA LA CURVA DE COMPACTACIÓN DE LOS SUELO

A-1:

$$\text{Densidad} \left(\frac{gr}{cm^3} \right)$$

$$= -0,0057 * (\text{Humedad } \%)^2 + 0,0807 * (\text{Humedad } \%) + 1,8396$$

Correlación: $r^2 = 0,9899$

❖ **MODELO PARA LA CURVA DE COMPACTACIÓN DE LOS SUELO
A-2:**

$$\begin{aligned} \text{Densidad } \left(\frac{gr}{cm^3} \right) \\ = -0,0132 * (\text{Humedad } \%)^2 + 0,2524 * (\text{Humedad } \%) + 0,8052 \end{aligned}$$

Correlación: $r^2 = 0,9984$

❖ **MODELO PARA LA CURVA DE COMPACTACIÓN DE LOS SUELO
A-3:**

$$\begin{aligned} \text{Densidad } \left(\frac{gr}{cm^3} \right) \\ = -0,0029 * (\text{Humedad } \%)^2 + 0,087 * (\text{Humedad } \%) + 1,054 \end{aligned}$$

Correlación: $r^2 = 0,9959$

❖ **MODELO PARA LA CURVA DE COMPACTACIÓN DE LOS SUELO
A-4 y A-5:**

$$\begin{aligned} \text{Densidad } \left(\frac{gr}{cm^3} \right) \\ = -0,0073 * (\text{Humedad } \%)^2 + 0,1907 * (\text{Humedad } \%) + 0,6841 \end{aligned}$$

Correlación: $r^2 = 0,9995$

❖ **MODELO PARA LA CURVA DE COMPACTACION DE LOS SUELO
A-6 y A-7:**

$$\begin{aligned} \text{Densidad } \left(\frac{gr}{cm^3} \right) \\ = -0,0033 * (\text{Humedad } \%)^2 + 0,1156 * (\text{Humedad } \%) + 0,7305 \end{aligned}$$

Correlación: $r^2 = 0,986$

**4.18 ALCANCE Y DELIMITACIONES PARA EL USO DEL ABACO
PARA SUELOS A-1, FRAGMENTOS DE PIEDRA, GRAVA Y ARENA.**

4.18.1 ALCANCE DE GRANULOMETRÍA:

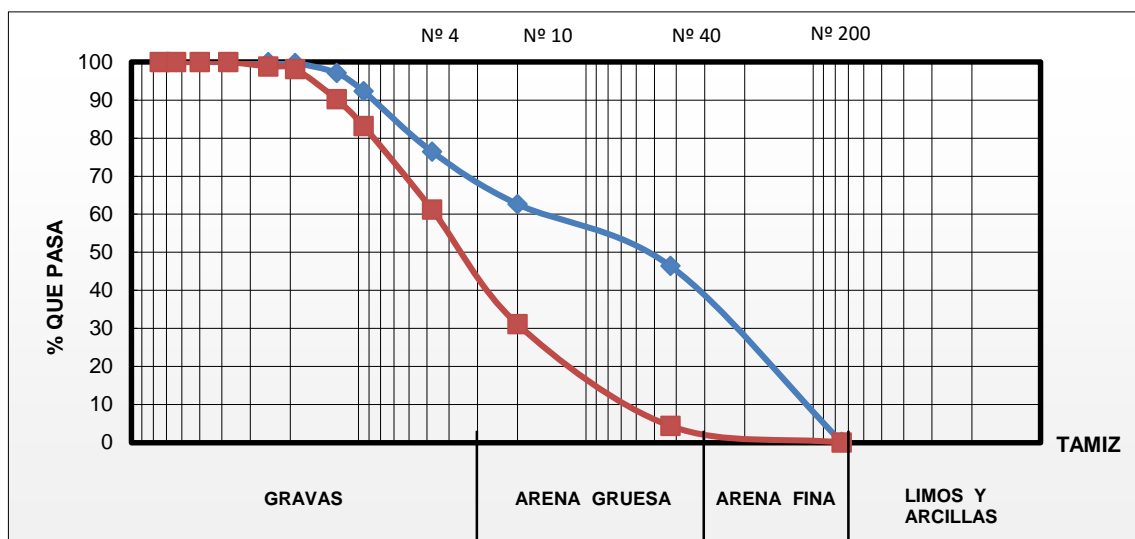


Figura 81. Alcance de Granulometría, suelo A-1.

Para el uso del Abaco, los suelos a tratar deberán cumplir con la banda granulométrica de la Figura anterior, siendo esta banda granulométrica requisito a cumplir para que los resultados de los parámetros de compactación se presenten de manera exacta y precisa posible, es decir, las granulometrías de los suelos A-1, de los cuales se requiera conocer las humedades y densidades respectivas deberán estar dentro de las limitaciones de curvas granulométricas que se presentan.

4.18.2 ALCANCE DE PLASTICIDAD: Para el uso del Abaco, los suelos a tratar deberán cumplir con las plasticidades de la siguiente Tabla, siendo estas plasticidades requisito a cumplir para que los resultados de los parámetros de compactación se presenten de manera exacta y precisa posible, es decir, las plasticidades de los suelos A-1, de los cuales se requiera conocer las humedades y densidades respectivas deberán estar dentro de las limitaciones de plasticidad que se presentan.

PARAMETRO	Limite Líquido	Limite Plástico	Índice de Plasticidad
MAXIMO	48,18	42,41	5,96
MINIMO	46,29	42,21	3,88
PROMEDIO	47,235	42,31	4,92
RANGO	1,89	0,2	2,08

Requisito: Plasticidad	Rango de (3,88 - 5,96) %
---	------------------------------------

Tabla 37. Alcance de plasticidad, suelos A-1.

PARA SUELOS A-2, GRAVA Y ARENA LIMOSA O ARCILLOSA.

4.18.3 ALCANCE DE GRANULOMETRÍA:

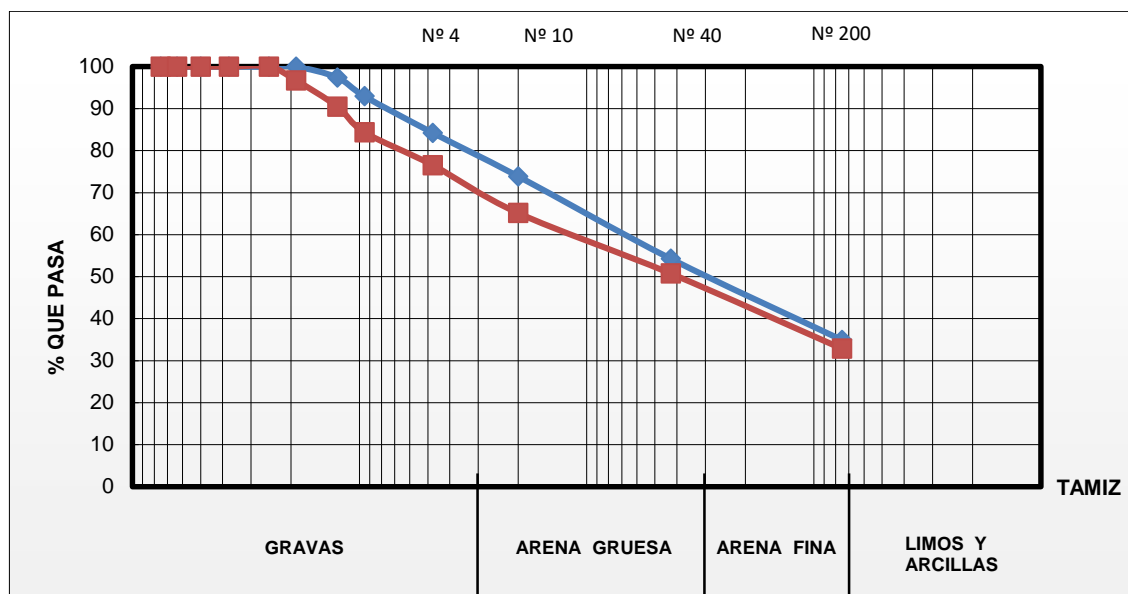


Figura 82. Alcance de Granulometría, suelo A-2.

Para el uso del Abaco, los suelos a tratar deberán cumplir con la banda granulométrica de la Figura anterior, siendo esta banda granulométrica requisito a cumplir para que los resultados de los parámetros de compactación se presenten de manera exacta y precisa posible, es decir, las granulometrías de los suelos A-2, de los cuales se requiera conocer las humedades y densidades respectivas deberán estar dentro de las limitaciones de curvas granulométricas que se presentan.

4.18.4 ALCANCE DE PLASTICIDAD:

Para el uso del Abaco, los suelos a tratar deberán cumplir con las plasticidades de la Tabla siguiente, siendo estas plasticidades requisito a cumplir para que los resultados de los parámetros de compactación se presenten de manera exacta y precisa posible, es

decir, las plasticidades de los suelos A-1, de los cuales se requiera conocer las humedades y densidades respectivas deberán estar dentro de las limitaciones de plasticidad que se presentan.

PARAMETRO	Limite Liquido	Limite Plástico	Índice de Plasticidad
MAXIMO	46,29	33,11	16,80
MINIMO	28,04	18,55	8,29
PROMEDIO	37,17	25,83	12,55
RANGO	18,25	14,56	8,51

Requisito: Rango de Plasticidad	(8,29 - 16,80) %
--	------------------

Tabla 38. Alcance de plasticidad, suelos A-2.

PARA SUELOS A-3, ARENAS FINAS.

4.18.5 ALCANCE DE GRANULOMETRÍA:

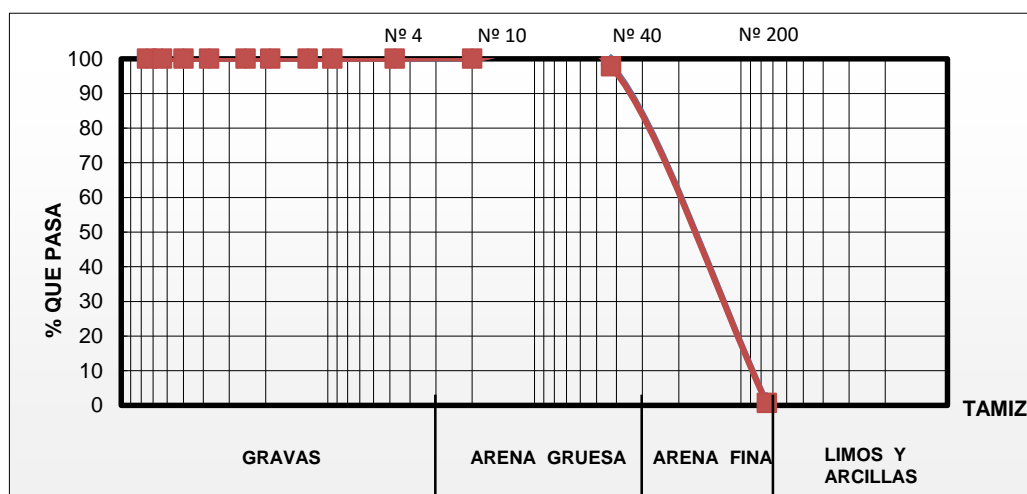


Figura 83. Alcance de Granulometría, suelo A-3.

Para el uso del Abaco, los suelos a tratar deberán cumplir con la banda granulométrica de la Figura anterior, siendo esta banda granulométrica requisito a cumplir para que los resultados de los parámetros de compactación se presenten de manera exacta y precisa posible, es decir, las granulometrías de los suelos A-3, de los cuales se requiera conocer

las humedades y densidades respectivas deberán estar dentro de las limitaciones de curvas granulométricas que se presentan.

4.18.6 ALCANCE DE PLASTICIDAD:

Para los suelos A-3, los cuales son arenas, no existen delimitaciones de plasticidad, puesto que los suelos arenosos usados para crear las de compactación no presentaban plasticidad alguna.

PARA SUELOS A-4; A-5, SUELOS LIMOSOS.

4.18.7 ALCANCE DE PLASTICIDAD:

Para el uso del Abaco, los suelos a tratar deberán cumplir con las plasticidades de la Tabla siguiente, siendo estas plasticidades requisito a cumplir para que los resultados de los parámetros de compactación se presenten de manera exacta y precisa posible, es decir, las plasticidades de los suelos A-4 y A-5, de los cuales se requiera conocer las humedades y densidades respectivas deberán estar dentro de las limitaciones de plasticidad que se presentan.

PARAMETRO	Limite Líquido	Limite Plástico	Índice de Plasticidad
MAXIMO	47,94	39,95	7,99
MINIMO	29,33	27,25	2,08
PROMEDIO	38,64	33,60	5,04
RANGO	18,61	12,70	5,91

Requisito: Rango de Plasticidad	(2,08 - 7,99) %
--	-----------------

Tabla 39. Alcance de plasticidad, suelos A-4 y A-5.

PARA SUELOS A-6; A-7, SUELOS ARCILLOSOS.

4.18.8 ALCANCE DE PLASTICIDAD:

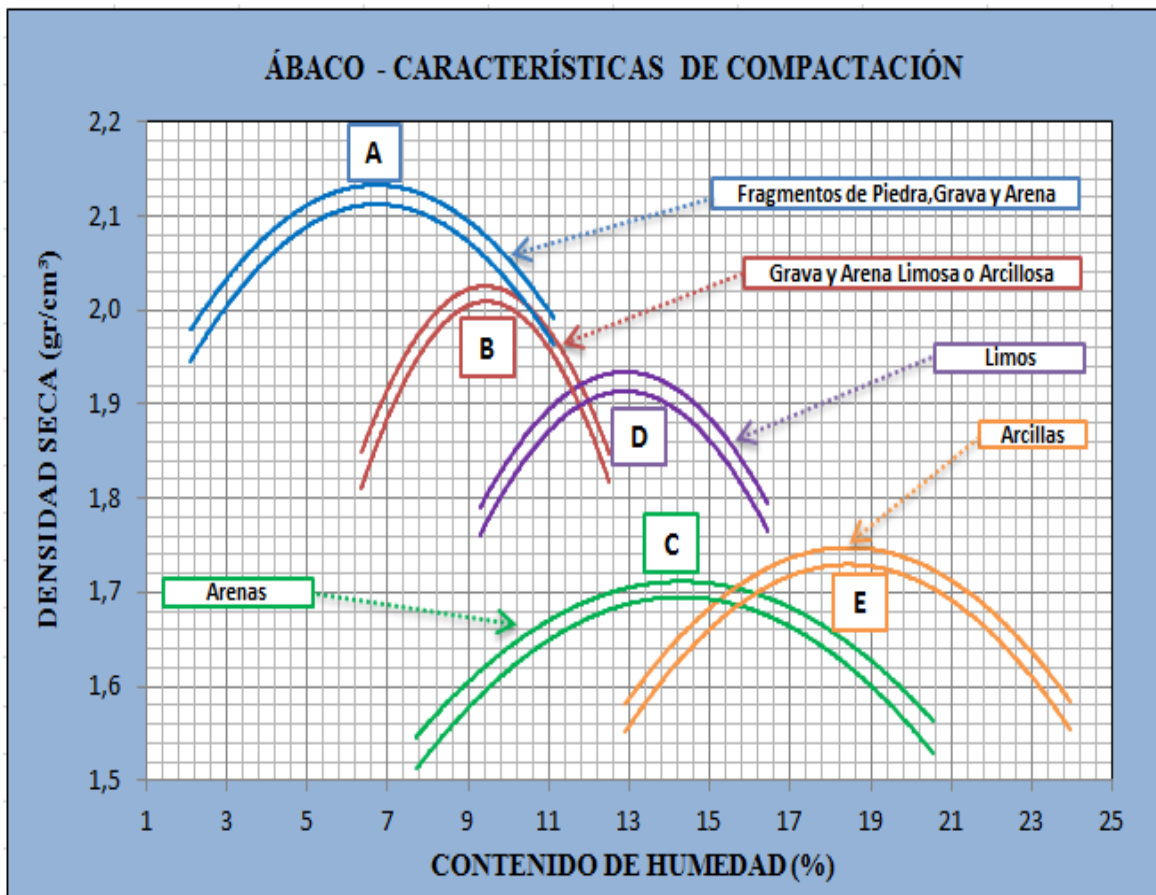
Para el uso del Abaco, los suelos a tratar deberán cumplir con las plasticidades de la Tabla siguiente, siendo estas plasticidades requisito a cumplir para que los resultados de los parámetros de compactación se presenten de manera exacta y precisa posible, es decir, las plasticidades de los suelos A-6 y A-7, de los cuales se requiera conocer las humedades y densidades respectivas deberán estar dentro de las limitaciones de plasticidad que se presentan.

PARAMETRO	Limite Liquido	Limite Plástico	Índice de Plasticidad
MAXIMO	45,89	31,32	16,63
MINIMO	34,32	21,76	12,56
PROMEDIO	40,95	26,37	14,59
RANGO	11,57	9,56	4,07

Requisito: Rango de Plasticidad	(12,56 - 16,63) %
--	-------------------

Tabla 40. Alcance de plasticidad, suelos A-6 y A-7.

4.19 PRODUCTO FINAL.- Características de compactación de los diferentes tipos de suelo.

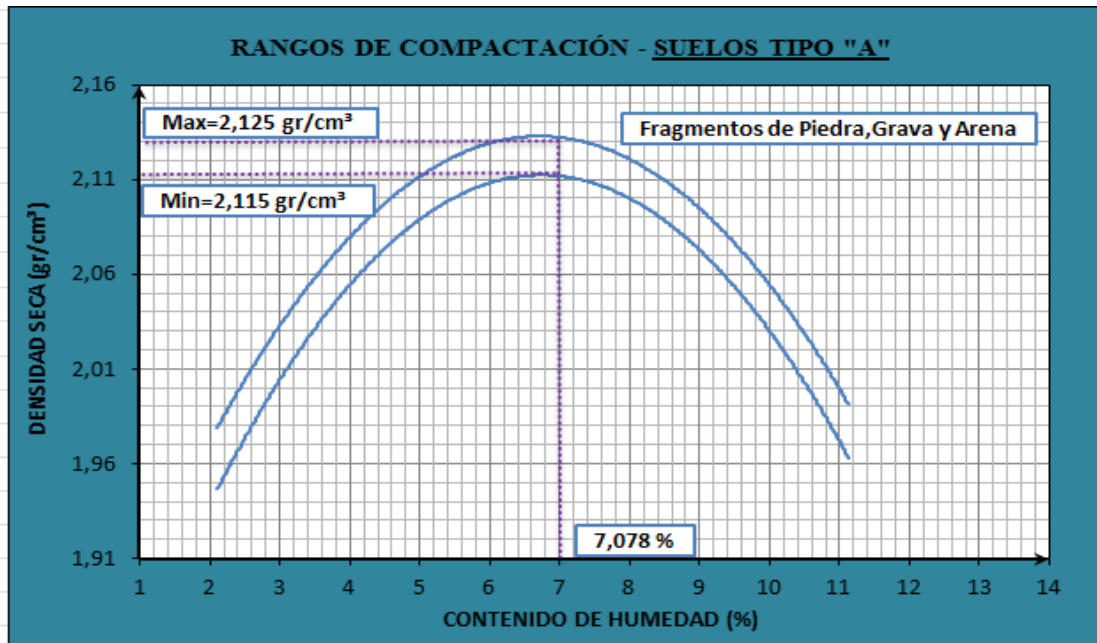


Nota.- Conociendo el tipo de suelo y el alcance del Abaco, tomar visual y directamente los valores de humedad y densidad referenciales, considerando que las densidades están dentro del rango señaladas gráficamente.

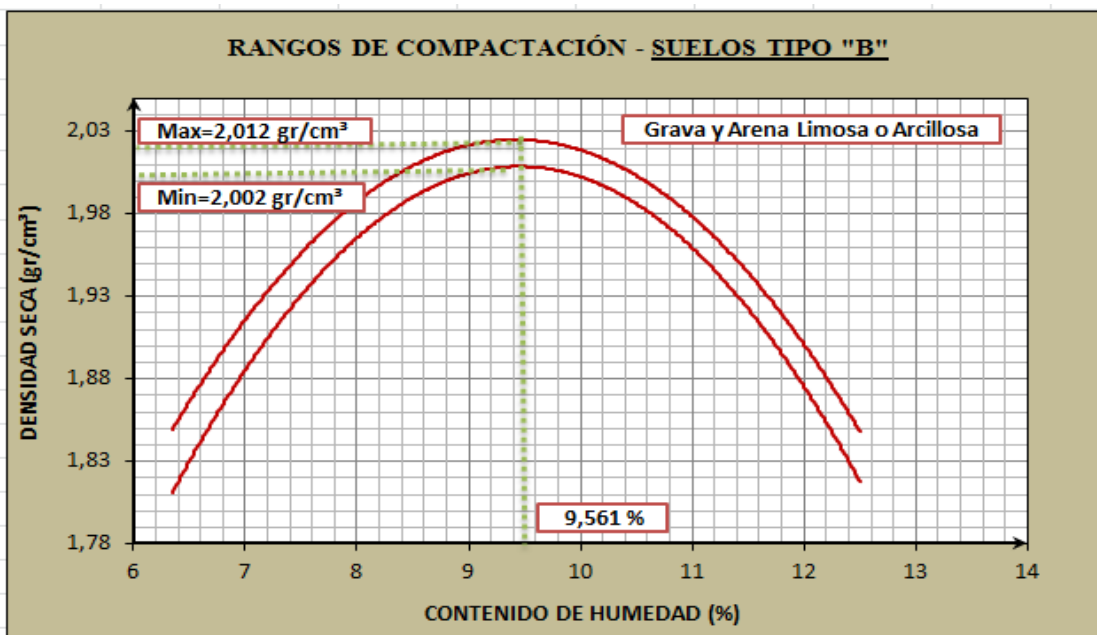
4.19.1 PRESENTACION DEL ABACO:

Para un mejor detalle de las curvas de compactacion se obtuvo los graficos de cada tipo de suelo y uno general para una mejor visualizacion

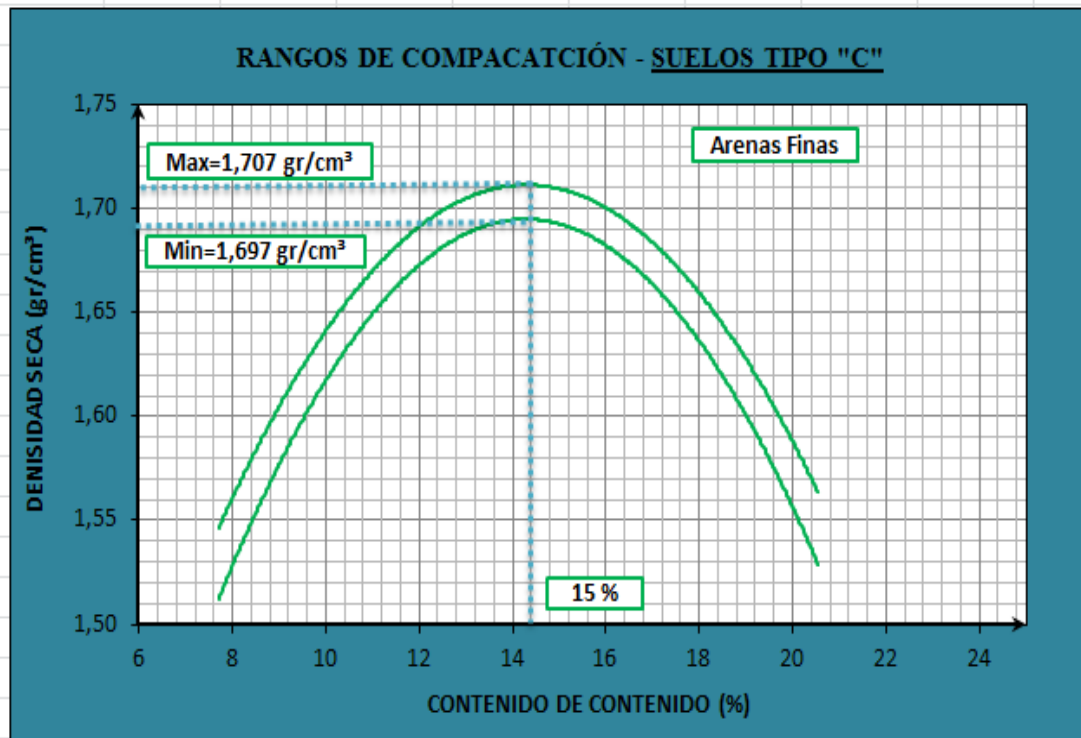
Rangos de compactacion para los suelos A-1:



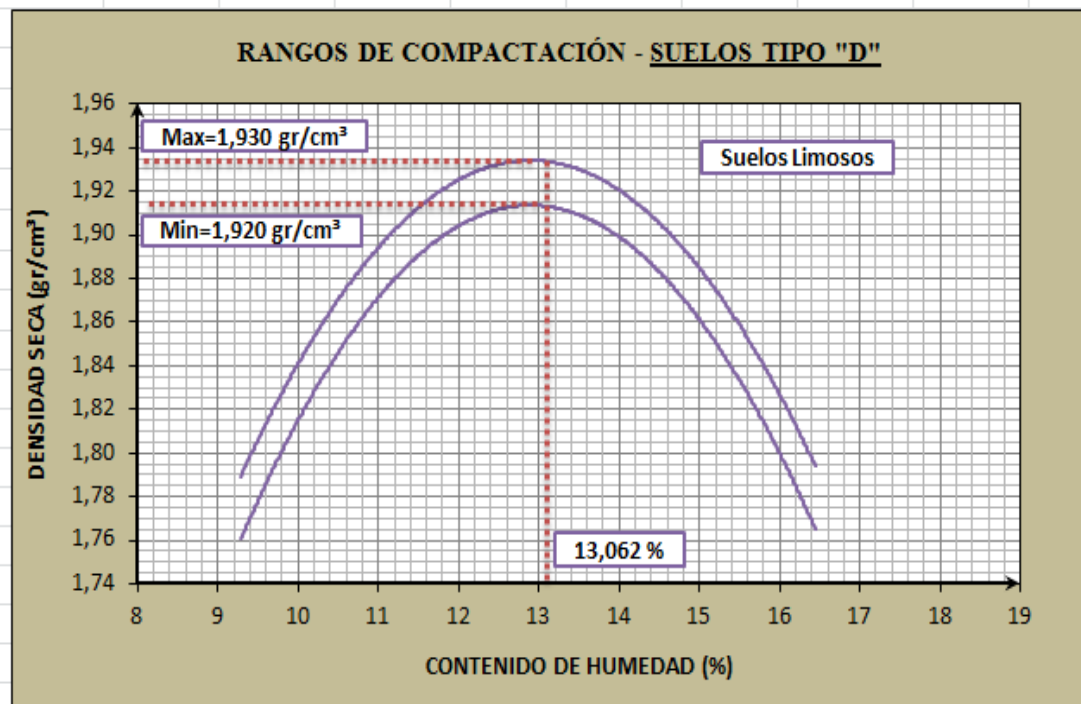
Rangos de compactacion para los suelos A-2:

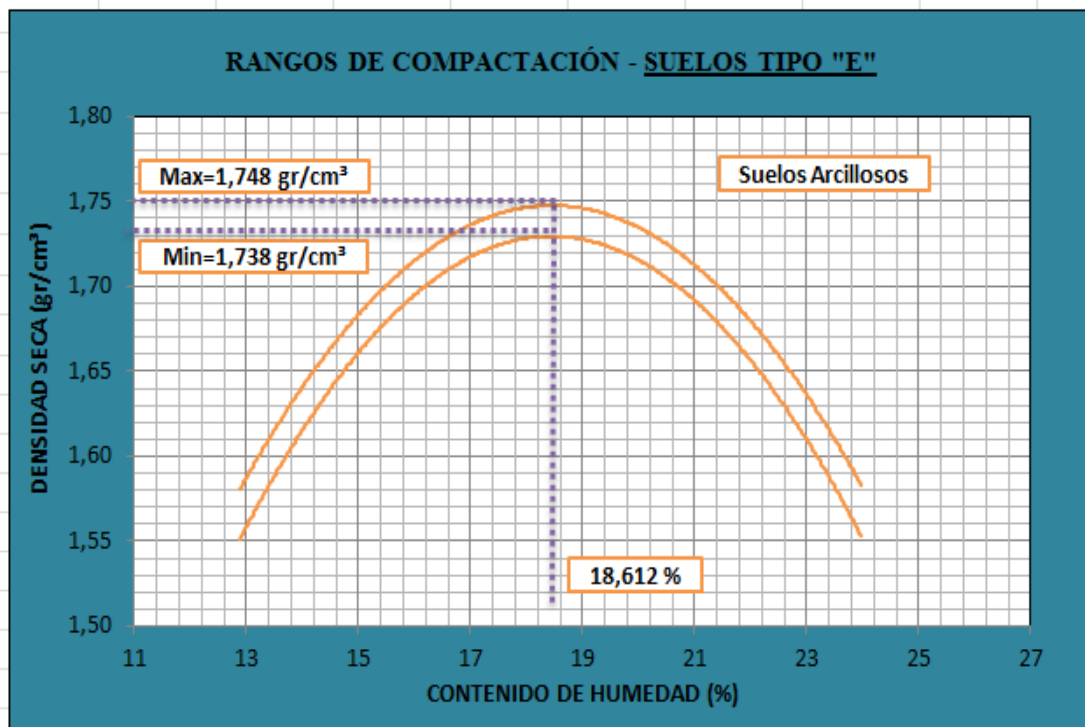


Rangos de compactacion para los suelos A-3:



Rangos de compactacion para los suelos A-4 ; A-5:



Rangos de compactación para los suelos A-6 ; A-7:

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Terminada la investigación se indica que si se pudo lograr con el cumplimiento del objetivo general, esto en un 100%, puesto que se pudo conocer los valores de densidad seca máxima y humedad óptima de los diferentes tipos de suelo, tomando en cuenta los suelos granulares y también finos, a en base a ello se planteó un Abaco final, el cual nos muestra las diferentes curvas de compactación que presentan los diferentes suelos y en base a ello podremos utilizar dichos valores planteados en controles y verificaciones en las especificaciones de obras donde se necesita el proceso de compactación, como ser en ripiados y en las diferentes capas de una carretera, base, sub base y sub rasante.
- Se podrán utilizar los valores de densidad y humedad en la base, sub base y subrasante de una carretera, cuando la especificación de una obra así lo requiera, es decir, tomar los valores de densidad referenciales por medio del Abaco ofrecido por el proyecto, de tal manera se pueda humedecer la capa a compactar con la humedad obtenida del Abaco, para de esta manera se pueda obtener la densidad seca máxima para dicha humedad óptima.
- También en trabajos de ripiados, donde los suelos a utilizar este dentro de los suelos planteados por el Abaco, para de esta manera tener una mayor precisión en los resultados a obtener de densidad y humedad del suelo seleccionado para el trabajo de ripiado.
- Se obtuvieron valores de densidad y humedad de los suelos por medio de un relevamiento histórico, que se realizaron en trabajos actuales donde se precisó

el proceso de compactación, de tal manera se compararon dichos resultados con los valores o resultados obtenidos en laboratorio, para conocer la precisión de los resultados obtenidos en laboratorio y también se realizó correcciones por medio de dicha comparación de datos.

- Se pudo constatar que la variación de la densidad y humedad de los diferentes tipos de suelo es debido a los diferentes tamaños de partículas que presenta una muestra de en comparación de otra, es decir, una muestra de material granular presentara una densidad más elevada pero su humedad será menor en comparación a una muestra de material fino, como por ejemplo las arcillas, donde la densidad de dicho suelo es menor a comparación de un suelo granular y su humedad es mayor a la de un suelo granular.
- Los factores que afectan a la humedad y densidad de los suelos, son la composición de una muestra de suelo, como por ejemplo las humedades de los suelos granulares son relativamente bajas para encontrar su humedad optima, esto a comparación de los suelos finos, porque un material granular es menos propenso a absolver humedad a comparación de las arcillas o suelos finos, y los suelos finos presentan normalmente una humedad natural elevada a comparación de los suelos gruesos, por que dichos suelos finos tienden a absolver la humedad de manera más propensa que a comparación de un material grueso.
- De acuerdo con lo señalado anteriormente se podrá utilizar los valores de humedad y densidad de los diferentes tipos de suelo, considerando la función que cumplirá cada suelo, puesto que al concluir el proyecto se aporta valores referenciales de compactación, como lo son la humedad optima y densidad seca máxima, de tal manera se tenga un aporte de la variación y comportamiento en general de la compactación de suelos, donde se puede visualizar en general

como aumenta y disminuye las diferentes densidades y humedades de los suelos, de tal manera se utilicen dichos datos de manera referencial, y así tener valores referenciales de compactación de forma directa, dando como resultado un trabajo más fluido donde se requiera la compactación y de esta manera se cuente con un documento de consulta directa.

- De acuerdo con los diferentes ensayos realizados se logró cumplir con el objetivo principal, el cual fue de conocer el comportamiento de compactación de los diferentes tipos de suelo, se analizó dicho comportamiento para suelos como los están comprendidos de piedra, grava y arena; los suelos compuestos por grava y arena mezclados con limos o arcillas; los suelos comprendidos solo por arenas; los suelos comprendidos solo por limos y los suelos solo compuestos por arcilla, todos los suelos mencionados fueron clasificados según el sistema AASHTO.

- Se pudo resolver la hipótesis planteada, puesto que si es posible conocer el comportamiento de compactación mediante diversos ensayos a realizar, puesto que los mismos nos dan la curva de compactación, las cuales nos dan la tendencia que siguen los diversos suelos, esta tendencia nos muestra que para los suelos granulares, la densidad que pueden adquirir al compactarse es mayor a las densidades que pueden adquirir los suelos finos, también estos al ser compactados; en cuanto a la humedad optima que necesitan estos suelos para su compactación, ocurre que para un suelo de grano grueso, se necesita un menor cantidad de agua para llegar dichos a su compactación máxima, mientras que para los suelos finos se necesitara una mayor cantidad de agua para poder lograr su máxima densidad.

- También se pudo establecer y realizar una comparación de los diversos modelos de ajuste para una curva de compactación de los diferentes tipos de suelo, en base a esta comparación se estableció que la mejor ecuación de ajuste es la de una curva de regresión de ajuste de tipo “parabólica”, puesto que con la misma se puede llegar a alcanzar un coeficiente de correlación muy cercano a la unidad, lo cual significa que dicho ajuste se ajuste de una manera óptima y muy exacta a los puntos que se pueden obtener para crear las diferentes curvas de compactación de los diferentes tipos de suelo.
- Se pudo establecer que la variación de la compactación de los diferentes tipos de suelo, es por causa de su constitución que tienen los mismos, es decir, mientras un determinada muestra de suelo contiene en su estructura en un mayor porcentaje de material granular, la humedad óptima para llegar a su máxima compactación es menor, a comparación de un suelo fino y logra una densidad mayor que un suelo fino, en cambio, la humedad optima de un suelo fino para llegar a su máxima compactación es mayor, a comparación de un suelo granular, pero su densidad que puede alcanzar dicho suelo es menor, a comparación de un suelo granular, se resume, que para una muestra de suelo cualquiera, mientras tenga en mayor porcentaje de arcilla o limo, que son suelos finos, la humedad para llegar a su densidad máxima será mayor o se incrementara.
- Al comparar los diferentes modelos de regresión para una curva de compactación para los diferentes tipos de suelo, se encontraron que las siguientes ecuaciones son las ajustadas y de mejor correlación:

❖ **MODELO PARA LA CURVA DE COMPACTACIÓN DE LOS SUELO A-1:**

$$\text{Densidad} \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right) = -0,0057 * (\text{Humedad } \%)^2 + 0,0807 * (\text{Humedad } \%) + 1,8396$$

Correlación: $r^2 = 0,9899$

❖ **MODELO PARA LA CURVA DE COMPACTACIÓN DE LOS SUELO A-2:**

$$\text{Densidad} \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right) = -0,0132 * (\text{Humedad } \%)^2 + 0,2524 * (\text{Humedad } \%) + 0,8052$$

Correlación: $r^2 = 0,9984$

❖ **MODELO PARA LA CURVA DE COMPACTACIÓN DE LOS SUELO A-3:**

$$\text{Densidad} \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right) = -0,0029 * (\text{Humedad } \%)^2 + 0,087 * (\text{Humedad } \%) + 1,054$$

Correlación: $r^2 = 0,9959$

❖ **MODELO PARA LA CURVA DE COMPACTACIÓN DE LOS SUELO A-4 y A-5:**

$$\text{Densidad} \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right) = -0,0073 * (\text{Humedad } \%)^2 + 0,1907 * (\text{Humedad } \%) + 0,6841$$

Correlación: $r^2 = 0,9995$

❖ **MODELO PARA LA CURVA DE COMPACTACIÓN DE LOS SUELO A-6 y A-7:**

$$\text{Densidad} \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right) = -0,0033 * (\text{Humedad } \%)^2 + 0,1156 * (\text{Humedad } \%) + 0,7305$$

Correlación: $r^2 = 0,9860$

- El resultado del proyecto también ofrece valores de densidad, que se presentan cuando el suelo no se encuentra en su humedad óptima, es decir, cuando el suelo se presenta con una humedad menor a la óptima y superior a la misma, esto se visualiza directamente en la curva de compactación, por lo tanto, se puede

utilizar dichos valores en otros trabajos donde no se requiera precisamente la densidad máxima, sino también menor a ella, como por ejemplo en control de la erosión, densificando una muestra hasta la densidad requerida, para problema dicho, es decir la erosión.

- Finalmente al realizar la prueba de precisión y exactitud del ábaco final planteado, se pudo verificar que la precisión al obtener la humedad optima mediante el ábaco se alcanza una precisión aceptable media, que expresada esta entre un 75% - 80%; mientras que la precisión para obtener la densidad máxima mediante el ábaco planteado es mucho mayor, que en porcentajes están entre un 90 %, esta variación se da puesto que para obtener la densidad máxima de un suelo, la humedad puede tener cierto grado de desviación, pero que al utilizar ese valor de humedad, no se traducirá al encontrar el valor de la densidad máxima, esto es debido que para rangos de valores de humedad alejados, la densidad no presenta rangos de valores muy alejados.

5.2 RECOMENDACIONES

- Para poder utilizar el Abaco planteado como producto final de la compactación, se necesita anticipadamente conocer la clasificación de los suelos por el sistema de clasificación AASHTO y de esta manera conocer si un material granular, específicamente un suelo A-1, A-2 o A-3; o si por lo contrario se trata de un material fino, como los suelos limosos comprendidos entre los A-4 y A-5 o si se trata de suelos limosos, es decir suelos clasificados como A-6 y A-7. Conociendo la clasificación se puede visualizar y realizar la elección en el ábaco planteado del modelo o curva de regresión plantada para dicho suelo, el cual nos da las posibles densidades que pueden presentar los diferentes tipos de suelo a sus respectivas humedades, de esta manera se podrá lograr la densidad de cualquier tipo de suelo compactándolo a su respectiva humedad planteada por dicho ábaco.

- Se recomienda usar el ábaco planteado para obras en donde se requiera conocer la compactación de los suelos, dicho ábaco como una herramienta o mecanismo de consulta para dichas obras, y de la misma forma se limiten a conocer primeramente las limitaciones que presenta y su grado de precisión.
- Se recomienda revisar y conocer las características de los materiales que se usaron para el proyecto, las cuales se verifican y observan en los diferentes ensayos realizados por medio de la caracterización, de tal manera los valores encontrados puedan ser de precisión y exactitud para la función determinada que se le pueda dar.
- Al realizar la clasificación de las diferentes muestras de suelo, se precisa que los ensayos se realizan según la norma AASTHO, puesto que dicha norma fue tomada para la elaboración del Abaco.
- Tener precisión y exactitud en los ensayos de plasticidad de los suelos para su clasificación, mas puntualmente en el ensayo de limite plástico de los suelos, puesto que dicho ensayo depende fundamentalmente de la precisión del encargado de realizar dicho ensayo, y los resultados de este procedimiento, se constataron que son muy sensibles a errores, por lo que este procedimiento influye de manera notoria en la clasificación, y para el uso del producto final del proyecto, se precisa que la clasificación de la muestra de suelo se presente de forma exacta y precisa, de manera que los valores de densidad y humedad obtenidos de este Abaco también se presenten de forma exacta y precisa.
- La granulometría con los que se realizaron las diferentes muestras para la elaboración del producto final, que es el Abaco de compactación, de los diferentes tipos de suelo que se requiera para la compactación, deberán ser comparadas con las granulometrías de las muestras de las que se quiera conocer

el comportamiento de compactación de forma directa, utilizando el Abaco, es decir, que la muestra de suelo a clasificar para utilizar el Abaco, deberá presentar una granulometría restringida y similar a la granulometría presentada por los suelos utilizados para elaborar el Abaco, para de esta manera los resultados de densidad y humedad tomados de forma directa del Abaco, estén precisos y exactos.

- De forma similar, la plasticidad que presenten las diferentes muestras de suelo, para obtener la humedad y densidad de los suelos, de forma directa, por medio del Abaco, deben presentar plasticidades similares a las plasticidades de los suelos tomados para elaborar el Abaco, de manera de obtener valores exactos y precisos de humedad y densidad por medio del Abaco.

- Por último para poder utilizar el Abaco planteado como producto final de la investigación, se recomienda conocer todo el tratamiento estadístico, de tal manera se pueda utilizar el Abaco, conociendo todo los rangos de los valores de humedad y densidad que se obtuvieron de los diferentes ensayos, si presentan una desviación, la misma en qué grado, y sobre todo cual es la frecuencia que los resultados presentan, porque de la frecuencia de estos valores, están los valores que más precisos y exactos presenta al Abaco como producto final de toda la investigación.