

CAPITULO IV DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS

La caracterización de las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas del suelo es de suma importancia en la determinación de la capacidad de soporte del mismo, de su potencial para el desarrollo de obras de infraestructura, así como para la definición de medidas de regulación y restricción a estas obras. Esta caracterización es esencial en un plan de desarrollo integral o plan regulador de un cantón.

La caracterización geotécnica del cantón de Grecia se realizó mediante el análisis de las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas obtenidas con la aplicación de ensayos de campo y diferentes pruebas de laboratorio en 24 muestras de suelo, tomadas en diferentes puntos del cantón como se observa en la figura 4.1. El propósito de esta caracterización fue determinar cómo intervienen los factores de litología, granulometría y el contenido de humedad, en el comportamiento del suelo y cómo esto, a su vez, podría afectar al medio.

La determinación de las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas se realizó principalmente en suelos de la Unidad Tacaes, ya que es la unidad que genera la cobertura y desarrollo de suelos con mayor distribución y extensión en la zona de estudio. Esta unidad está compuesta por tobas, cenizas y lapilli con distintos estados de meteorización. Sólo las muestras MTN-10A y MTN-10B fueron tomadas en la Unidad San Pedro y corresponden con lavas que se encuentran muy meteorizadas y que se encontraban aflorando a la orilla del camino.

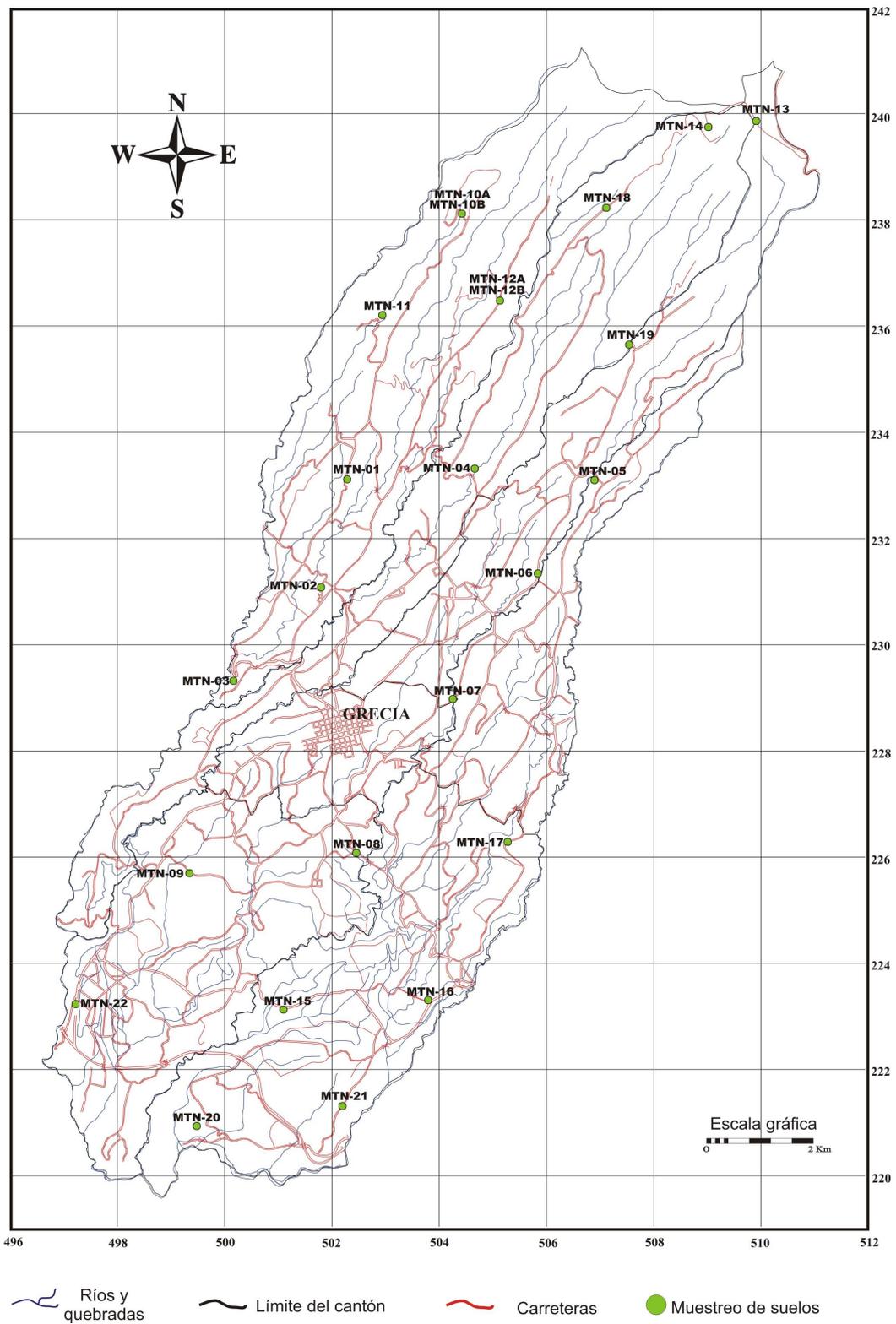


Figura 4.1 Localización de las muestras de suelo

4.1 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS

El análisis se centró en la relación que existe entre las características de los diferentes tipos de suelos y la capacidad de infiltración del agua.

En el análisis de las propiedades físicas se incluye la determinación de los siguientes parámetros:

- Gravedad específica
- Peso unitario (húmedo, seco y saturado)
- Contenido de humedad
- Relación de vacíos
- Porosidad
- Grado de saturación.

Estas propiedades físicas se determinaron en 23 muestras de las 24 que fueron recolectadas. Todas son muestras de los niveles de tobas, sólo una de ellas (MTN-12B) se trataba de una muestra de lapilli grueso, por lo que no se pudo determinar todas las propiedades debido a que este material se caracteriza por ser muy poroso y por lo tanto muy liviano, por lo que no se logra sumergir dentro de la parafina y por esta misma razón no se pueden determinar los valores de pesos unitarios ni de las otras propiedades físicas relacionadas.

4.1.1. Propiedades físicas de los suelos en el área de estudio

En el *anexo capítulo 4* se observan los resultados obtenidos las propiedades físicas seleccionadas para cada una de las muestras, además; se incluye la clasificación granulométrica para una mejor comprensión de los datos.

A continuación se explica y analiza cada una de las propiedades físicas determinadas

4.1.2.1 Gravedad específica

Como se observa en el *anexo capítulo 4*, la mayoría de los resultados obtenidos sobre la gravedad específica para cada muestra, en relación a su litología, coinciden con los intervalos propuestos por Bowles (1982), sin embargo; existen 9 muestras (MTN-05, MTN-06, MTN-09, MTN-11, MTN, 13, MTN-15, MTN-17 y MTN-20) que presentan valores de gravedad específica muy bajos y que no se encuentran dentro de los rangos establecidos. Posiblemente, esto se deba a que los minerales constituyentes de ese suelo tienen pesos específicos también muy bajos y no se encuentran registros de valores de esa magnitud en la literatura para su correlación.

4.1.2.2 Peso unitario del suelo (seco, húmedo, saturado)

Como se muestra en la figura 4.2 los pesos unitarios saturados se encuentran en un rango de 13,07 kN/m (MTN-13) y 18,39 kN/m (MTN-03), los pesos unitarios húmedos de las muestras de suelo analizadas varían entre 10,55 kN/m (MTN-17) y 16,88 kN/m (MTN-03) y los pesos unitarios secos oscilan entre 5,83 kN/m (MTN-13) y 13,79 kN/m (MTN-03). Como es de esperar, los pesos unitarios saturados deben ser mayores que los pesos unitarios húmedos y éstos mayores que los pesos unitarios secos, como se observa en la figura 4.2. Sólo en la muestra MTN-07 no se cumple esta característica y se observa

como el resultado de peso unitario húmedo es mayor que el peso unitario saturado, por lo que se interpreta como un error de medición. La muestra MTN-03 presenta los valores más altos para el peso unitario húmedo, el peso unitario seco y el peso unitario saturado y coincide con la muestra que presenta los valores de relación de vacíos y porosidad más bajos, es decir, que es una muestra muy densa y que más fácilmente llega al punto en el cual todos sus poros están llenos de agua. Por el contrario, la muestra que tiene el peso unitario húmedo más bajo (MTN-17), no coincide con la muestra que tiene los pesos unitarios seco y saturado más bajos (MTN-13); sin embargo éstos últimos valores corresponden a la muestra con uno de los índices de relación de vacíos y porosidad más altos, lo que indica que esa alta porosidad de la muestra MTN-13 la hace más liviana y hace que sea más difícil que llegue al punto en que todos sus poros se llenen de agua.

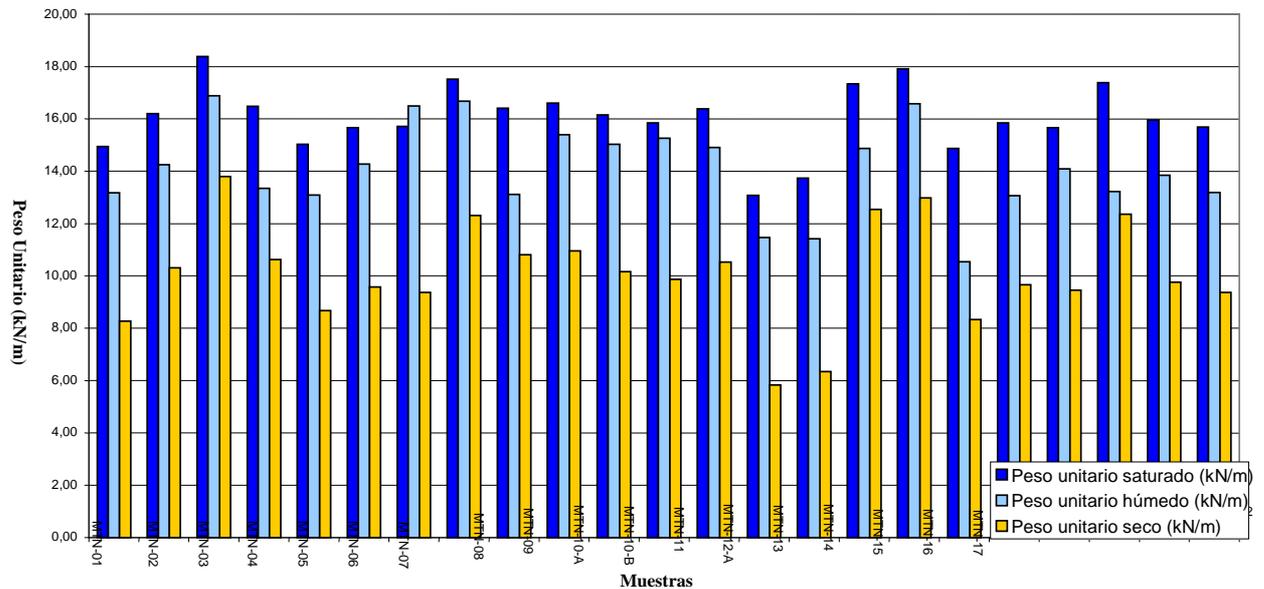


Figura 4.2 Pesos Unitarios: Húmedos, Secos y Saturados del suelo

4.1.2.3 Contenido de humedad

De acuerdo con la figura 4.3, los valores del contenido de humedad en las muestras analizadas son muy variados, hay valores muy bajos como 6,96% hasta porcentajes tan altos como 96,62% de humedad, sin embargo; como se mencionó en la definición, este valor dependerá de la ubicación de la muestra, la profundidad en el terreno y las condiciones climáticas. Con respecto a este último aspecto, es importante mencionar que las muestras fueron recolectadas en el mes de febrero, que constituye un período de poca precipitación.

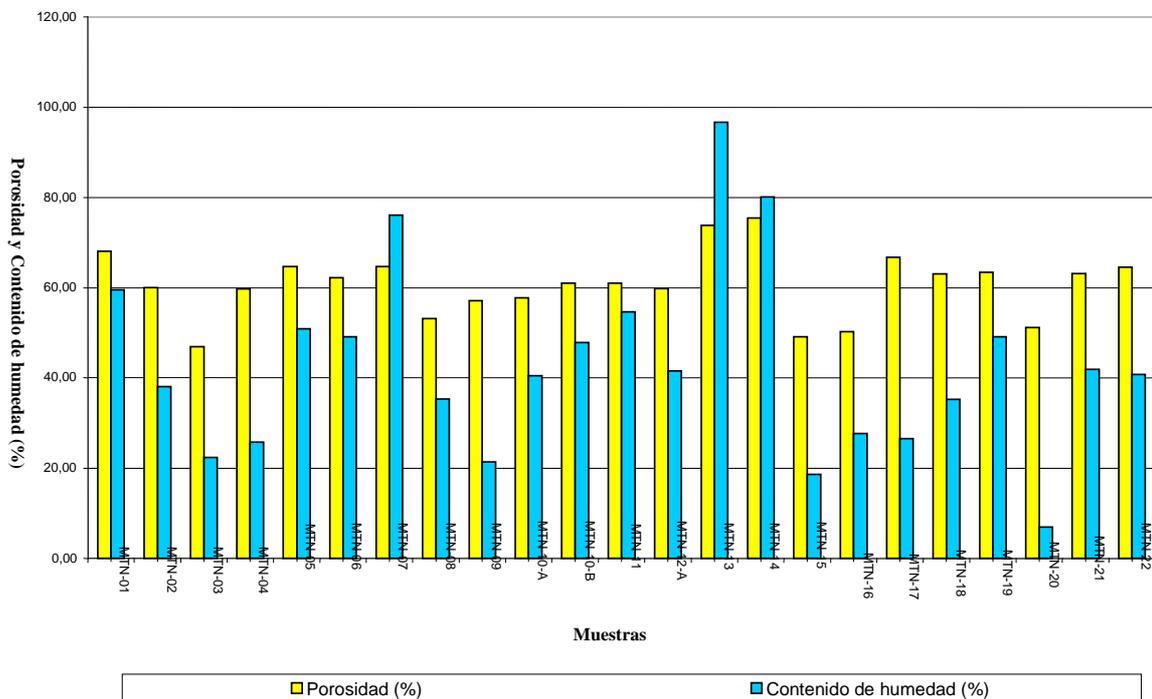


Figura 4.3 Porosidad y Contenido de Humedad del suelo.

Como se puede observar en la figura 4.3, la muestra que presenta el contenido de humedad más alto (MTN-13) tiene los valores de peso unitario seco y saturado más bajos, esto debido a que es una de las muestras con el porcentaje de porosidad más alto lo que hace que su peso unitario seco sea bajo y que sea más difícil llenar los poros de agua, sin embargo, su alta porosidad permite absorber más cantidad de agua lo que explica el contenido de humedad más alto. A pesar de esto, no es la muestra con el grado de saturación más alto. La muestra con el contenido de humedad más bajo (MTN-20) tiene uno de los valores de porosidad más bajos por lo que no es capaz de admitir mucha agua. Esta muestra no tiene el peso unitario seco y saturado más alto, pero sus valores son de los más altos que se obtuvieron, presentando además el grado de saturación más bajo.

4.1.2.4 Relación de vacíos

Con base en la información del *anexo capítulo 4*, la muestra con el valor más alto de relación de vacíos (MTN-14) tiene el porcentaje más alto de porosidad, en concordancia con la definición de esta propiedad, por esta razón, tiene uno de los pesos unitarios secos más bajos y además un alto contenido de humedad, es decir, que constituye un suelo muy blando que puede presentar una alta deformabilidad. Igualmente, la muestra con el valor más bajo de relación de vacíos (MTN-03), representa un suelo con menos cantidad de poros, alto peso unitario seco y por lo tanto, con una menor deformabilidad.

4.1.2.5 Porosidad

En la figura 4.3 se observa que en general, las muestras presentan altos porcentajes de porosidad que varían entre 46,93% y 75,41% lo que se puede relacionar con los resultados de las granulometrías, en donde se observa que la mayoría de las muestras presentan algún porcentaje de partículas tamaño arena, que por lo general son materiales muy porosos. Esto concuerda también con los altos valores de porosidades para materiales volcánicos, obtenidos por Mora (1998).

Como se analizará más adelante, a pesar de que estos valores de porosidad son bastante altos, la permeabilidad de los suelos es clasificada entre moderadamente permeable a poco permeable, lo que nos indica que aunque los suelos presenten gran cantidad de vacíos, la conductividad del agua a través de ellos no es tan buena, producto posiblemente, del desarrollo de minerales arcillosos en esos intersticios o por que los poros no se encuentran interconectados entre sí.

4.1.2.6 Grado de saturación

De acuerdo con los valores que se registran en la figura 4.4, el grado de saturación promedio es de 66,84 %, sin embargo, se presentan valores de grado de saturación desde 17,14% que indican poca cantidad de agua en el terreno y hasta de 100 % que indican que el suelo está completamente saturado. Los valores tan altos en el grado de saturación nos indican que existe una gran cantidad de agua que está siendo retenida en los suelos, es decir el suelo está permitiendo la absorción del agua pero no su fácil transmisión. Esto, probablemente, se debe a que: se trata de materiales con gran cantidad de finos que no permiten que el agua pase con facilidad, a la presencia de minerales arcillosos secundarios entre los poros (que se forman producto de la meteorización de los materiales originales), o bien, porque esos vacíos no se encuentren interconectados.

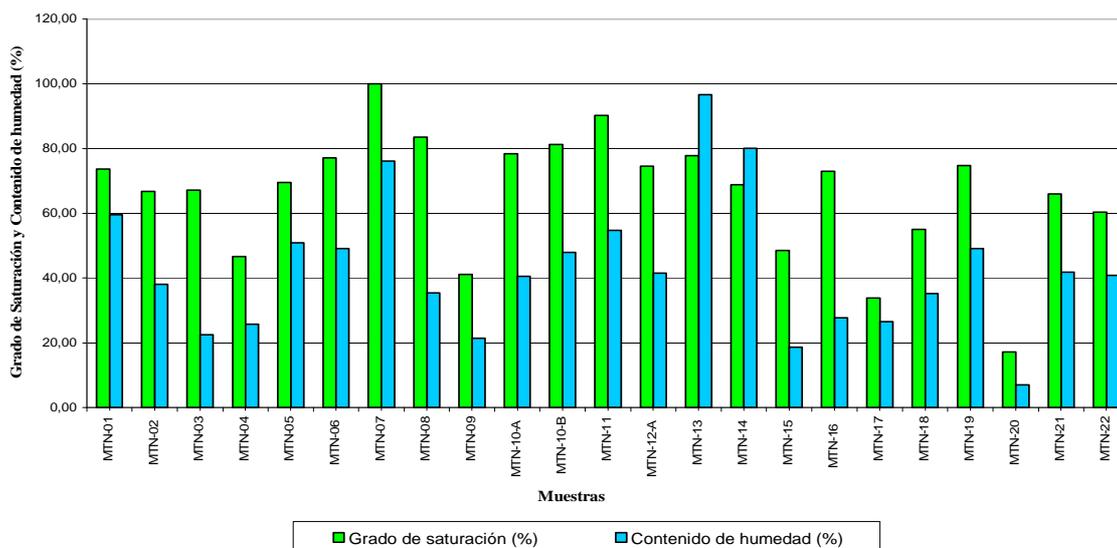


Figura 4.4 Grado de Saturación y Contenido de Humedad del suelo

4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

Esta clasificación se realiza según las normas del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) de la ASTM (1993) para la cual se toman en cuenta los parámetros obtenidos de los ensayos de Límites de Atterberg (o de consistencia) y Granulometría.

4.2.1 Límites de consistencia y granulometría en el área de estudio

En el *anexo capítulo 4* se presentan los valores obtenidos en cada muestra de los límites de consistencia y el análisis granulométrico (porcentajes de finos, de arenas y de gravas) así como su clasificación según el SUCS.

4.2.1.1 Ensayo de Límites de Atterberg o de consistencia

El ensayo de los límites de consistencia se efectúa sólo para suelos cohesivos y generalmente de granulometría fina, por lo que sólo se realizó para las muestras de suelo MTN-02, MTN-03, MTN-04, MTN-06, MTN-07, MTN-08, MTN-11, MTN-12A, MTN-15, MTN-16, MTN-19, MTN-21 y MTN-22. El resto de las muestras, por sus características de granulometría gruesa o poca cohesión, no presentan límites de consistencia.

Como se observa en la figura 4.5, de las 13 muestras que tienen límites de consistencia, cuatro presentan límites de consistencia que se clasifican, según el British Standard Institution (BSI), dentro de la categoría de Limos de Plasticidad Muy Alta (MV), ocho de las muestras se encuentran dentro de la clasificación de Limos de Plasticidad Alta (MH) y sólo una muestra es un Limo de Plasticidad Intermedia (MI). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Mora (1998) en suelos que son producto de la meteorización de materiales volcánicos y que, a su criterio, se deben al estado avanzado de meteorización que presentan.

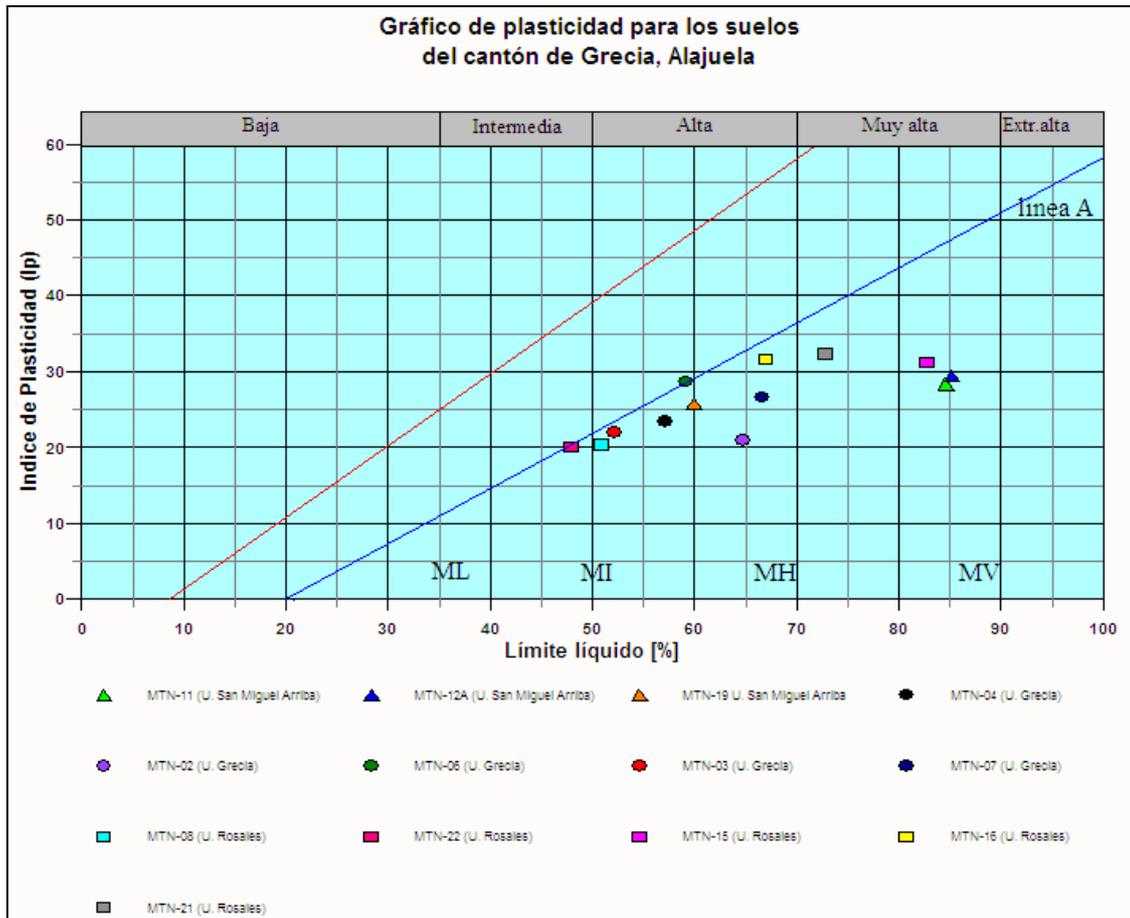


Figura 4.5. Clasificación de Plasticidad del suelo.

Los límites líquidos de las muestras analizadas, tienen valores entre 48,0% y 85,2%, los suelos que se encuentran dentro de este rango, se clasifican como de Plasticidad Intermedia, Alta y Muy Alta, lo que indica que son materiales capaces de admitir cantidades considerables de agua, antes de saturarse y por lo tanto, experimentar deformaciones plásticas considerables, ya que el agua origina una menor interacción entre las partículas. En cuanto a los porcentajes de límites plásticos, los valores varían entre 27,9% y 56,2% lo que indica que se requieren sólo contenidos moderados de agua para que los suelos se comporten plásticamente. Con respecto a los índices de plasticidad todas las muestras presentan valores muy similares que se encuentran dentro del rango de 20,0 y 32,3. Es importante destacar que la muestra MTN-16 presenta los valores de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad más bajos por lo que se clasifica como de Plasticidad Intermedia.

En la figura 4.6 se puede observar la relación de los valores de los límites Líquido y Plástico con el Contenido de humedad para cada muestra, sólo en las muestras MTN-07 y MTN-11 se observa que el contenido de humedad está por encima del límite líquido lo que indicaría que son muestras que deberían comportarse como fluidos, sin embargo la muestra MTN-07 da resultados anómalos en otras propiedades físicas por lo que se considera que presenta un error, mientras que en la muestra MTN-11, el contenido de humedad es sólo ligeramente mayor al límite líquido por lo que podría considerarse que

apenas empieza a comportarse como un líquido viscoso y por lo tanto representa un suelo con muy poca resistencia.

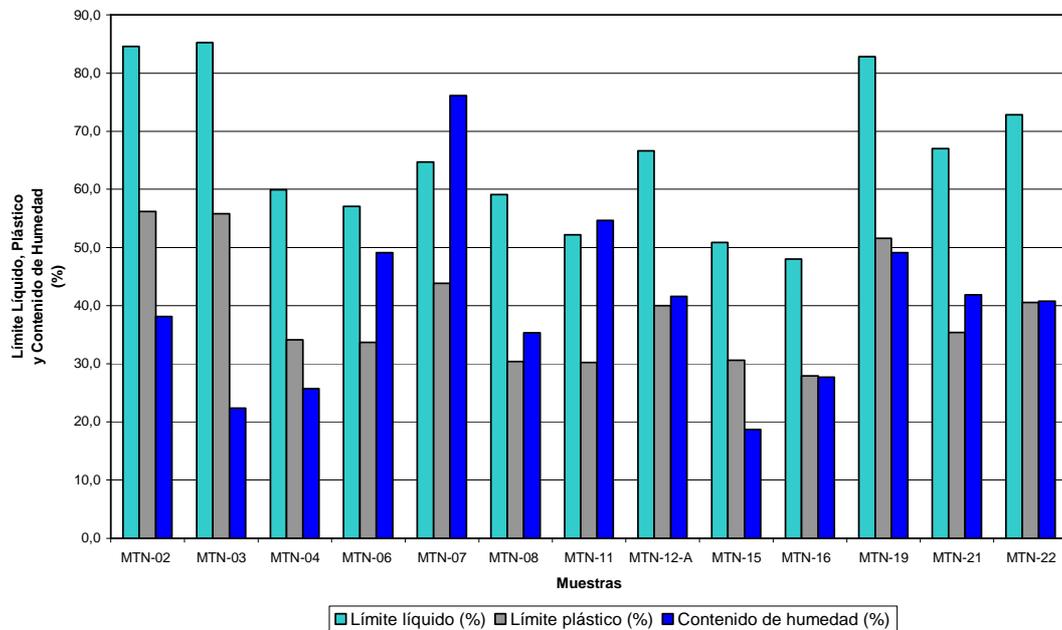


Figura 4.6 Límites Líquido y Plástico, así como Contenido de Humedad del suelo.

4.2.1.2 Ensayo de granulometría (Análisis granulométrico)

El ensayo granulométrico se aplicó a las 24 muestras de suelo recolectadas. En el caso de las muestras que tienen límites de consistencia, la clasificación granulométrica se realiza tomando en cuenta el grado de plasticidad; para las muestras que no presentan límites y por lo tanto no tienen plasticidad, el nombre se les asigna con base en los porcentajes de grava, arena y finos que fueron obtenidos en los ensayos granulométricos.

Como se observa en el *anexo capítulo 4*, la mayoría de las muestras presentan altos porcentajes de partículas de tamaño fino, relacionadas con las cenizas finas expulsadas, posiblemente, por el volcán Poás. Las muestras con un porcentaje aproximadamente, mayor a 40% de finos, son clasificadas como Limos, mientras que las muestras con porcentajes menores al 40% en la cantidad de finos, se clasifican como Arenas. Existe una predominancia de muestras clasificadas como Limos, 19 de las muestras ensayadas son Limos y sólo 5 son Arenas, de las cuales, dos corresponden a litologías de lavas meteorizadas; sin embargo, como se mencionó anteriormente, todas las muestras presentan, algún porcentaje de partículas tamaño arena y algunas hasta contienen partículas de grava que se relacionan con depósitos de ceniza media y gruesa. Los porcentajes en que las arenas y las gravas se encuentren en una muestra se toman en cuenta para asignar el nombre completo del tipo de suelo.

Es importante aclarar que la muestra MTN-12B por ser material de tamaño lapilli tiene los porcentajes más altos de grava (25,3%) y que, debido a que las muestras MTN-10A y MTN-10B están constituidas por dos niveles de lavas meteorizadas, no pueden relacionarse con el resto de las muestras que corresponden con niveles de tobas.

4.2.2 Mapa de clasificación de suelos

Debido a que los suelos del área de estudio están formados por material volcánico de caída, una misma muestra de suelo puede presentar tamaños granulométricos variados y los porcentajes de cada tamaño, en una muestra, están en función de la distancia, donde se localiza la muestra, con respecto a la fuente de emisión.

Tomando en cuenta lo anterior, para la realización del mapa de clasificación de suelos se analizó la ubicación de cada muestra (como se observa en la figura 4.7), con su respectiva clasificación granulométrica, de esta clasificación se tomó en cuenta únicamente, si las muestras de suelo contenían o no partículas tamaño arena, no se consideró el porcentaje de ellas ni su plasticidad ya que esto generaba hasta 12 diferentes tipos de suelos.

Con este análisis, se dividió el área de estudio en tres unidades: Unidad San Miguel Arriba (zona localizada en el sector norte del cantón), Unidad Grecia (correspondiente a la parte central) y Unidad Rosales (ubicada hacia el sur del cantón)

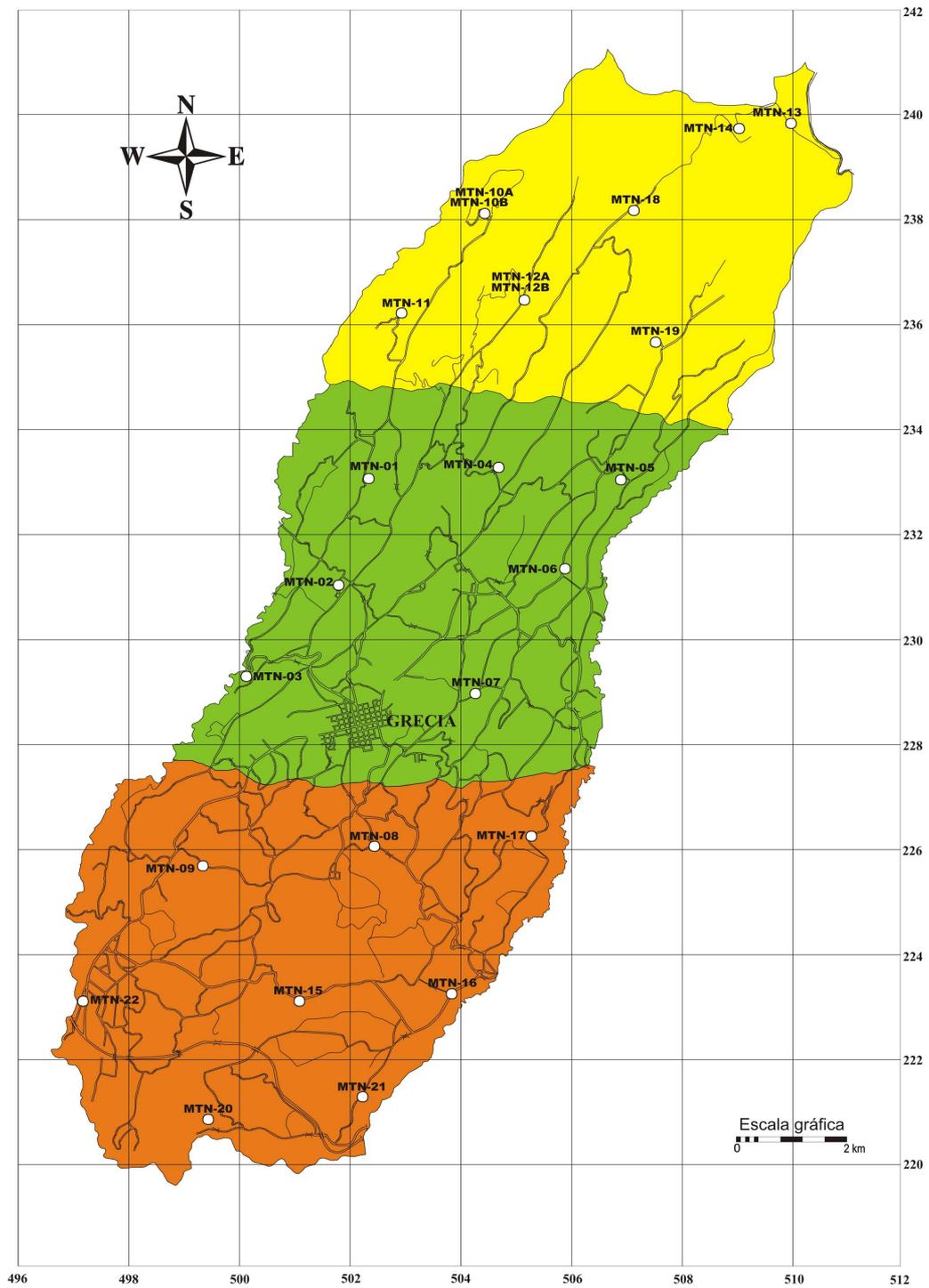


Figura 4.7 Mapa de unidades de suelo.

4.2.2.1 Unidad San Miguel Arriba

Como se observa en las figuras 4.7 y 4.8 y en el cuadro 4.1, las muestras de suelo obtenidas al Norte del cantón, en la Unidad San Miguel Arriba (MTN-13, MTN-14, MTN-18, MTN-11, MTN-12A, MTN-12B y MTN-19) y por lo tanto, localizadas más cerca de la fuente, considerándola en el volcán Póas, representan suelos en los que predominan las granulometrías más gruesas como arenas y gravas, por esta razón, tres de ellas (MTN-14, MTN-18 y MTN-12B) son clasificadas como arenas limosas y arenas con grava sin plasticidad, el resto (MTN-13, MTN-11, MTN-12A y MTN-19) son Limos elásticos con arena y arenosos de plasticidades alta (MH) y muy alta (MV).

Cuadro 4.1 Muestras de suelo del sector norte del cantón, Unidad San Miguel Arriba

Código de la muestra	Granulometría
MTN-13	Limo Arenoso (NP)
MTN-14	Arena Limosa (NP)
MTN-18	Arena Limosa (NP)
MTN-11	Limo elástico arenoso de plasticidad alta (MH)
MTN-12A	Limo elástico con arena de plasticidad alta (MH)
MTN-12-B	Arena pobremente gradada con grava (NP)
MTN-19	Limo elástico con arena de plasticidad muy alta (MV)

4.2.22 Unidad Grecia

Las muestras de suelo de la Unidad Grecia (MTN-01, MTN-04, MTN-05, MTN-02, MTN-06, MTN-03 y MTN-07) (Cuadro 4.2) son todas Limos, es decir, que el suelo está principalmente formado por partículas de tamaño fino, sin embargo cuatro de estas muestras contienen algún porcentaje de arenas (figuras 4.7 y 4.8), pero es un porcentaje menor del 50% por lo que se consideran en su nombre final pero no varía la clasificación general, las tres restantes son solamente Limos. La mayoría presenta plasticidades Alta (MH) y Muy Alta (MV).

Cuadro 4.2 Muestras de suelo del sector central del cantón, Unidad Grecia

Código de la muestra	Granulometría
MTN-01	Limo (NP)
MTN-04	Limo elástico con arena de plasticidad alta (MH)
MTN-05	Limo Arenoso (NP)
MTN-02	Limo elástico de plasticidad muy alta (MV)
MTN-06	Limo elástico con arena de plasticidad alta (MH)
MTN-03	Limo elástico de plasticidad muy alta (MV)
MTN-07	Limo elástico con arena de plasticidad alta (MH)

4.2.2.3 Unidad Rosales

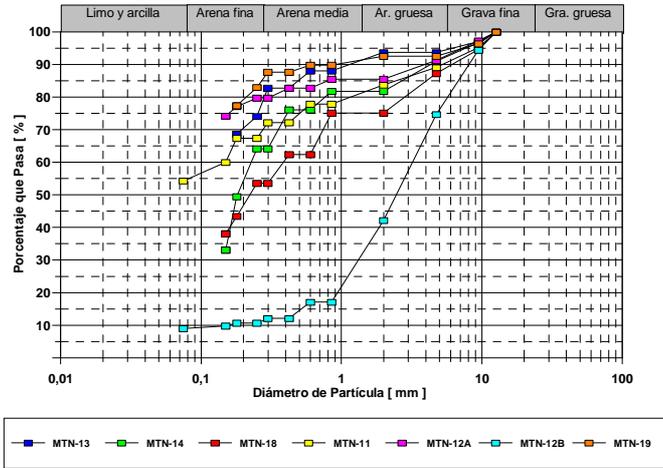
Finalmente, como se observa en la figura 4.8 y en la Cuadro 4.3, en las muestras de la Unidad Rosales, ubicadas en el sector sur del cantón (MTN-09, MTN-08, MTN-17, MTN-22, MTN-15, MTN-16, MTN-20 y MTN-21) (figura 4.7) predominan las partículas de tamaño limo o material de grano fino por lo que todas son clasificadas de forma general como Limos y solo dos de ellas presentan algún porcentaje de partículas gruesas que se consideran para definir su clasificación. Las plasticidades varían entre Alta (MH), Muy alta (MV) e Intermedia (MI).

Cuadro 4.3 Muestras de suelo del sector sur del cantón, Unidad Rosales

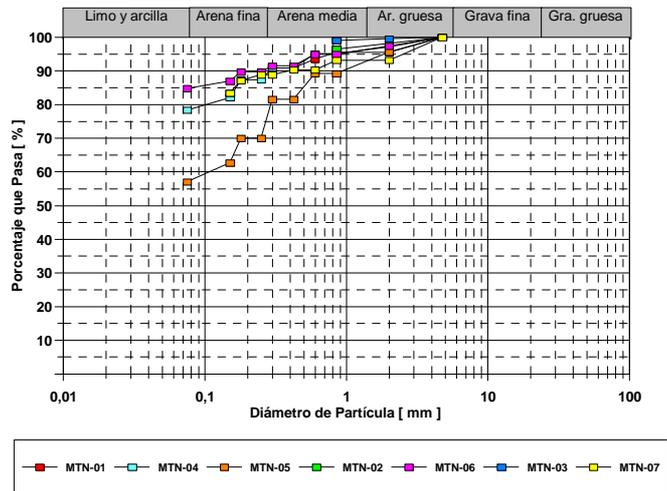
Código de la muestra	Granulometría
MTN-09	Limo con arena (NP)
MTN-08	Limo elástico de plasticidad alta (MH)
MTN-17	Limo (NP)
MTN-22	Limo elástico de plasticidad muy alta (MV)
MTN-15	Limo elástico con arena de plasticidad alta (MH)
MTN-16	Limo de plasticidad intermedia (MI)
MTN-20	Limo (NP)
MTN-21	Limo elástico de plasticidad alta (MH)

Esta zonificación según la caracterización granulométrica se explica por la mayor o menor distancia que existe desde la fuente de emisión de los materiales piroclásticos al sitio de muestreo de suelos. Como las cenizas son las partículas más pequeñas, éstas son transportadas por el viento a distancias mayores, mientras que fracciones más gruesas se depositarán más cerca de la fuente. Por esta razón, hacia el norte del cantón (cerca del cráter del volcán Poás), se encuentran suelos con granulometrías más gruesas, como las arenas, mientras que hacia el sur, en los lugares más alejados de la fuente de emisión, se encuentran suelos compuestos por granulometrías más finas como los limos.

Clasificación granulométrica de los suelos de la Unidad San Miguel
Arriba (sector norte) del cantón de Grecia, Alajuela



Clasificación granulométrica de los suelos de la Unidad Grecia (sector central).
Cantón de Grecia, Alajuela



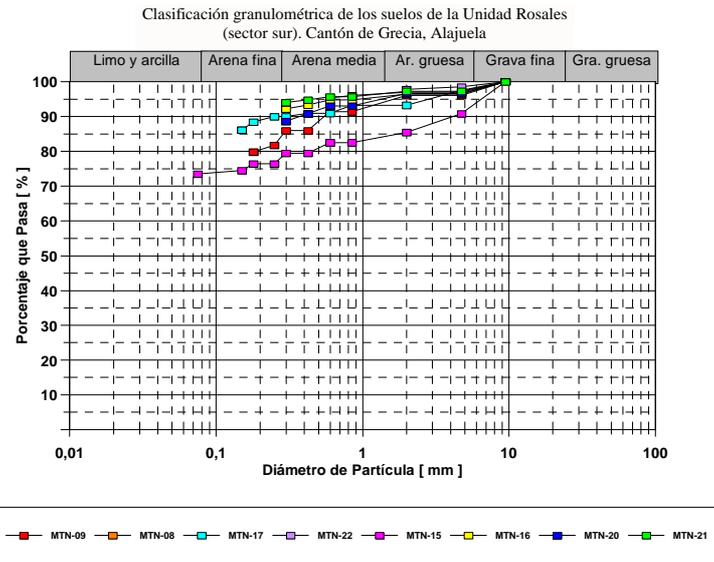


Figura 4.8. Comparación de las Curvas Granulométricas de las unidades de suelo: San Miguel Arriba, Grecia y Rosales.

4.3 PROPIEDADES MECÁNICAS

El análisis de estas propiedades permite la evaluación de los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante y capacidad de carga admisible de los suelos. Estas propiedades se midieron mediante el ensayo de corte directo.

4.3.1 Corte directo consolidado-drenado (CD)

El ensayo de corte directo se aplicó sólo a 5 muestras (MTN-02, MTN-03, MTN-04, MTN-06 y MTN-09) ya que implica la recolección en el campo de un cubo de suelo inalterado que debe ser envuelto en papel parafinado y bolsas plásticas para evitar la pérdida de humedad, por lo que no en todos los suelos es posible obtener una muestra adecuada para la aplicación del ensayo. Para cada una de las muestras se realizan tres cortes directos con valores de peso crecientes, las muestras deben ensayarse en condiciones de saturación y sin alterar. Además, previo a la aplicación del ensayo, la muestra fue pre-consolidada, este tipo de ensayo se denomina consolidado-drenado (CD).

Los resultados se observan en el cuadro 4.4, los datos y gráficos se encuentran en el anexo capítulo 4.

Cuadro 4.4 Parámetros de Resistencia al Corte para las muestras de suelo

Código de muestra	Granulometría	Cohesión (kPa)	Angulo de fricción
MTN-02	Limo elástico de plasticidad muy alta (MV)	22	18°
MTN-03	Limo elástico de plasticidad muy alta (MV)	15	22°
MTN-04	Limo elástico con arena de plasticidad	4	32°

	alta (MH)		
MTN-06	Limo elástico con arena de plasticidad alta (MH)	5	34°
MTN-09	Limo con arena (NP)	10	29°

De acuerdo con Mora (1998) en general los productos de meteorización de los materiales volcánicos cuentan con cohesiones efectivas muy bajas y ángulos de fricción efectivos altos. Se espera que los suelos compuestos por partículas de tamaño limo, desarrollen una resistencia por fricción (valores altos de ángulos de fricción) ya que en los limos las partículas son muy finas por lo que existe un contacto directo entre ellas.

Como se puede observar en la tabla 4.6, este mismo comportamiento se obtiene para las muestras MTN-04, MTN-06 y MTN 09 lo que significa que son suelos en los que la resistencia proviene, principalmente, de la fricción interna de las partículas y no de la cohesión de los materiales, en lo que influye, además, la presencia de porcentajes mayores al 15 % de arenas en las tres muestras.

Para las muestras de suelo MTN-02 y MTN-03, que también son limos pero sin arena, los valores de cohesión son mayores, por lo que la resistencia proviene principalmente de la cohesión, en lo que se debe de tomar en cuenta, además, que son suelos en los que el porcentaje de partículas tamaño arena es menor de 4% por lo que la granulometría fina de éstos los hace tener una mayor facilidad de cohesión. Según Mora (1998), esta resistencia cohesiva se origina por el desarrollo de minerales secundarios (como las arcillas) y por óxidos de hierro, por lo que se incrementa al avanzar el estado de la meteorización, reduciendo, al mismo tiempo, la resistencia friccionante. Posiblemente, esta misma razón sea la que origine el alto valor de cohesión de la muestra MTN-02 el cual podría ser producto de la fuerte meteorización del suelo en esa zona.

4.4. PROPIEDADES HIDRÁULICAS

Según Bowless (1982) las propiedades hidráulicas se refieren al estudio de los efectos del agua en las propiedades del suelo y el comportamiento del flujo de agua a través de él.

4.4.1. Conductividad Hidráulica

La conductividad hidráulica de los suelos del cantón de Grecia se determinó mediante mediciones en 22 ensayos realizados directamente en el campo y distribuidos a lo largo de todo el cantón. Todos los ensayos fueron efectuados con el método del Permeámetro de Guelph y en condiciones saturadas del terreno (para esto, se deja que el suelo absorba agua por unos 5 minutos antes de empezar a hacer las lecturas del desplazamiento del agua). Todas las pruebas se realizaron en niveles de tobas, además, en cada sitio de ensayo se recolectó una muestra del nivel de suelo en el que se realizó el ensayo, estas muestras de suelo son las analizadas anteriormente.

Los resultados de los ensayos se presentan en la figura 4.9, los datos de campo, hojas electrónicas y gráficos se encuentran en el *anexo capítulo 4*.

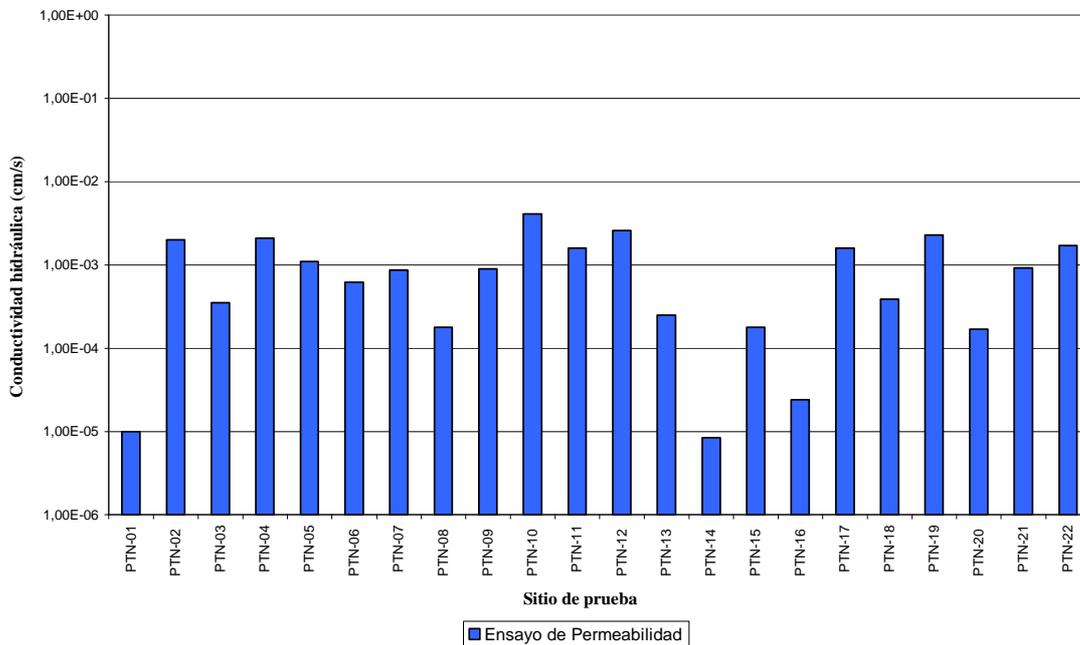


Figura 4.9 Valores de permeabilidad del suelo.

De acuerdo con los resultados obtenidos, la mayoría de los ensayos muestran valores de conductividad hidráulica que se encuentran dentro de las categorías de Moderadamente Permeable y Poco Permeable, con valores de conductividad hidráulica que oscilan entre $1,10E-03$ (cm/s) y $2,40E-05$ (cm/s) y en general; con características de Drenaje Bueno.

Solo uno de los ensayos (PTN-14) presenta una clasificación de Muy Poco Permeable, con un valor de conductividad de $8,40E-06$ (cm/s) y con características de Drenaje Pobre.

Estos resultados coinciden con la clasificación del suelo obtenida en cada sitio en el que se realizó la permeabilidad ya que la mayoría de muestras contienen altos porcentajes de materiales muy finos, como los limos, que por lo general, presentan menos facilidad para transmitir el agua.

Como se observa en los cuadros 4.5, 4.6 y 4.7, en las muestras clasificadas como Arenas y en los Limos que presentan algún porcentaje de arenas, no se observa un aumento en la capacidad de infiltración (en comparación con las muestras que solo se clasifican como Limos), como sería de esperar para materiales porosos, por lo que la clasificación de Moderados a Poco Permeables en esos suelos indica que podría haber presencia de vacíos muy pequeños, minerales arcillosos que impiden el paso del agua, o poros que no se encuentran interconectados entre sí.

Cuadro 4.5. Características de conductividad hidráulica para los suelos de la Unidad San Miguel Arriba (sector norte del cantón)

Código de la muestra	Granulometría	Conductividad Hidráulica (cm/s)	Permeabilidad
MTN-13	Limo Arenoso (NP)	2,50E-04	POCO PERMEABLE
MTN-14	Arena Limosa (NP)	8,40E-06	MUY POCO PERMEABLE
MTN-10-A	Arena con limo (NP)	4,10E-03	MODERADAMENTE PERMEABLE
MTN-10-B	Arena Limosa (NP)	-	-
MTN-18	Arena Limosa (NP)	3,90E-04	POCO PERMEABLE
MTN-11	Limo elástico arenoso de plasticidad alta (MH)	1,60E-03	MODERADAMENTE PERMEABLE
MTN-12-A	Limo elástico con arena de plasticidad alta (MH)	2,60E-03	MODERADAMENTE PERMEABLE
MTN-12-B	Arena pobremente gradada con grava (NP)	-	-
MTN-19	Limo elástico con arena de plasticidad muy alta (MV)	2,30E-03	MODERADAMENTE PERMEABLE

Cuadro 4.6. Características de conductividad hidráulica para los suelos de la Unidad Grecia (sector central del cantón)

Código de la muestra	Granulometría	Conductividad Hidráulica (cm/s)	Permeabilidad
MTN-01	Limo (NP)	1,00E-05	POCO PERMEABLE
MTN-04	Limo elástico con arena de plasticidad alta (MH)	2,10E-03	MODERADAMENTE PERMEABLE
MTN-05	Limo Arenoso (NP)	1,10E-03	MODERADAMENTE PERMEABLE
MTN-02	Limo elástico de plasticidad muy alta (MV)	2,00E-03	MODERADAMENTE PERMEABLE
MTN-06	Limo elástico con arena de plasticidad alta (MH)	6,20E-04	POCO PERMEABLE
MTN-03	Limo elástico de plasticidad muy alta (MV)	3,50E-04	POCO PERMEABLE
MTN-07	Limo elástico con arena de plasticidad alta (MH)	8,60E-04	POCO PERMEABLE

Cuadro 4.7. Características de conductividad hidráulica para los suelos de la Unidad Rosales (sector sur del cantón)

Código de la muestra	Granulometría	Conductividad Hidráulica (cm/s)	Permeabilidad
MTN-09	Limo con arena (NP)	9,00E-04	POCO PERMEABLE
MTN-08	Limo elástico de plasticidad alta (MH)	1,80E-04	POCO PERMEABLE
MTN-17	Limo (NP)	1,60E-03	MODERADAMENTE PERMEABLE
MTN-22	Limo elástico de plasticidad muy alta (MV)	1,70E-03	MODERADAMENTE PERMEABLE
MTN-15	Limo elástico con arena de plasticidad alta (MH)	1,80E-04	POCO PERMEABLE
MTN-16	Limo de plasticidad intermedia (MI)	2,40E-05	POCO PERMEABLE
MTN-20	Limo (NP)	1,70E-04	POCO PERMEABLE
MTN-21	Limo elástico de plasticidad alta (MH)	9,20E-04	POCO PERMEABLE

Sin embargo, como se puede observar en las figuras 4.9 y 4.10, sí se evidencia una predominancia de ensayos con resultados de conductividad hidráulica clasificadas como Moderadamente Permeables hacia el sector norte y parte del sector central del cantón, en los suelos de las unidades San Miguel Arriba (que presenta un rango de 8,40E-06 cm/s a 4,10E-03 cm/s) y Grecia (en donde el intervalo es de 1,00E-05 cm/s a 2,1E-03 cm/s), que son suelos que contienen un mayor porcentaje de granulometrías gruesas, mientras que hacia el sur del cantón, en los suelos de granulometrías más finas (Unidad Rosales), se presentan las conductividades hidráulicas más bajas, clasificadas, como Poco Permeables.

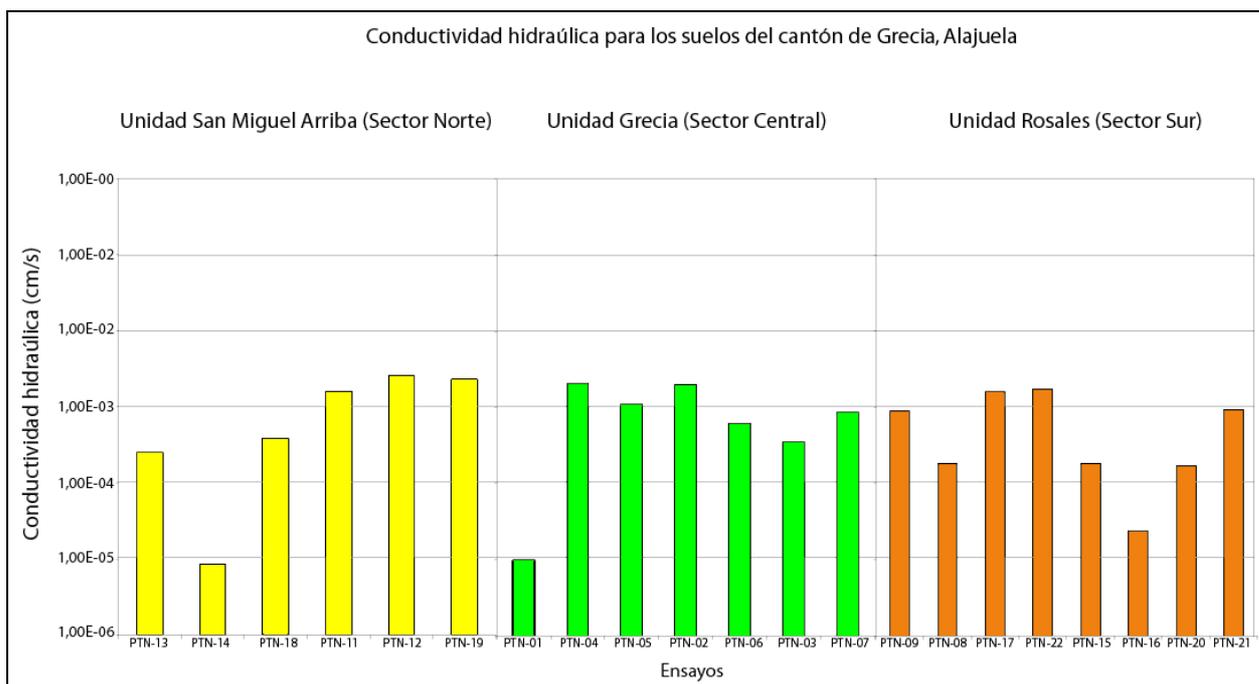


Figura 4.10 Valores de permeabilidad para los diferentes tipos de suelo.

Los resultados de conductividad hidráulica para productos de meteorización de materiales volcánicos, obtenidos por Mora (1998), muestran un rango de variación de $1,0E-02$ a $1,0E-05$ cm/s. La mayoría de las pruebas realizadas en el cantón de Grecia dieron resultados que se encuentran dentro de ese rango, sólo en dos ensayos (PTN-14 y PTN-16) los resultados son menores.