

APUNTE DE EDAFOLOGÍA

**CURSO EDAFOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIA Y FORESTALES
U.N.L.P.**

TEMA 4: “CONSISTENCIA”

AÑO 2018

CONSISTENCIA DEL SUELO

Objetivo

Relacionar las propiedades organolépticas de la consistencia con los componentes granulométricos de los suelos.

Introducción

En 1928 Russel enunció el concepto de consistencia como "las manifestaciones de las fuerzas físicas de cohesión y adherencia que obran dentro del suelo a diferentes constantes de humedad". La consistencia expresa el grado y clase de cohesión y adhesión del suelo o su resistencia a la deformación y ruptura. Estas manifestaciones son:

1. Comportamiento ante la gravedad, la presión, el empuje y la tracción.
2. La tendencia de la masa del suelo para adherirse a cuerpos extraños.
3. Las sensaciones del tacto en los dedos del observador.

Según esta definición, el concepto de consistencia del suelo describe la respuesta del suelo a fuerzas externas tendientes a deformarlos (arado, pisoteo animal, etc.); incluye la resistencia a la compresión, resistencia al esfuerzo de corte, friabilidad, plasticidad y propiedades que se comportan en forma distinta según varíen la **cohesión** y la **adhesión**.

Otra definición dice que "la consistencia comprende los atributos del suelo que se expresan por el grado de cohesión y adhesión, o por la resistencia a la deformación o ruptura" (Soil Taxonomy, 1975)

La consistencia estudia las variaciones de respuesta que ofrece el suelo a una fuerza externa, a medida que va cambiando el contenido de humedad del mismo. Cuando el suelo está seco, la resistencia es ofrecida por la atracción molecular entre las partículas sólidas. Si se ejerce una fuerza sobre muestra de suelo seco, resiste la deformación y está lo suficientemente firme como para resistir grandes esfuerzos. Cuando se supera esa resistencia, el suelo sufre ruptura.

A medida que el suelo se va humedeciendo, se va reduciendo la atracción molecular y aparecen fenómenos de tensión superficial, definiendo entre ambos la consistencia. Cuando el contenido de humedad es suficiente, el suelo adquiere plasticidad, esto quiere decir que ofrece resistencia a la deformación sin que se produzca ruptura. A medida que se aumenta el nivel de humedad, va cambiando la plasticidad del suelo, que alcanza un máximo a un determinado nivel de humedad. Luego la plasticidad comienza a decrecer. Al acercarnos al estado de saturación se pueden deformar fácilmente por fuerzas externas y aún por su propio peso, presentándose el suelo blando y adhesivo. Finalmente, si se sigue aumentando el contenido de humedad, el suelo deja de

comportarse como un sólido, adquiriendo las propiedades de un fluido por el exceso de agua

Con bajo contenido de humedad, el suelo es duro y muy coherente por el efecto cementante entre las partículas secas. El suelo queda "grueso" ó formando terrones si es arado en esa condición. A medida que aumenta el contenido de humedad, disminuye la cohesión y aumenta la friabilidad de la masa del suelo (friabilidad: facilidad a desmenuzarse que presentan los agregados)

Las arcillas comparten con otras sustancias coloidales la propiedad de perder resistencia por ablandamiento cuando son amasadas a un contenido inalterado de humedad, debido a la orientación de sus láminas.

Después de que un suelo cohesivo fue amasado, su consistencia puede ser variada a voluntad, aumentando ó disminuyendo su contenido de humedad. Por ejemplo si se reduce lentamente la humedad de un material arcilloso líquido, la arcilla pasa gradualmente del estado líquido al plástico y finalmente al estado sólido

El contenido de humedad para pasar de un estado al otro, es distinto para las diferentes fracciones granulométricas y aún para los distintos tipos de arcillas entre sí. La transición de un estado al otro no ocurre en una forma brusca tan pronto se alcanza un contenido de humedad crítico, sino que es en forma gradual.

Dos son las fuerzas principales que causan la consistencia del suelo:

- Cohesión
- Adhesión

a) **Cohesión**

Es la unión entre las partículas debida a las fuerzas de atracción mutua que surgen de mecanismos físico-químicos. Los mismos pueden ser:

1. Fuerzas de Van de Waals: son inversamente proporcionales al cubo de la distancia entre las partículas y se originan por la polarización de las nubes electrónicas
2. Atracción electrostática entre superficies de arcilla cargadas negativamente y bordes de las mismas cargados positivamente.
3. Unión de las partículas entre sí mediante puentes catiónicos.
4. Efecto cementante de la materia orgánica, óxidos, carbonatos de Fe y Al, entre otras sustancias
5. Tensión superficial de los meniscos en la interface aire-agua. La fase líquida funciona como una película entre partículas adyacentes, cuando el contenido de agua es intermedio. La cohesión es la suma de las fuerzas peliculares individuales en la unidad de área. Dichas fuerzas son directamente proporcionales a la tensión superficial e inversamente proporcionales al radio de la partícula, de ahí la

importancia de la granulometría del suelo en las características de la cohesión. La validez de esta expresión cesa cuando el agua ocupa más de la cuarta parte de los poros, por la coalescencia de las películas.

Según una experiencia de Nichols con diferentes proporciones de arena y arcilla, se obtuvieron los siguientes resultados, quedando en evidencia lo dicho:

Proporciones	Humedad (%)	Cohesión (g / pulg ²)
Arena 2/3	10,90	17,25
Arcilla 1/3	12,90	15,00
Arena 1/3	12,73	26,40
Arcilla 2/3	13,10	22,50
Arcilla pura	13,55	56,00
	17,50	49,00

b) Adhesión

Con adhesión hacemos alusión a la mayor o menor capacidad del suelo de adherirse o pegarse a cuerpos extraños

Esta propiedad se pone de manifiesto a valores de humedad mayores a los correspondientes a la cohesión máxima. (Figura N° 1)

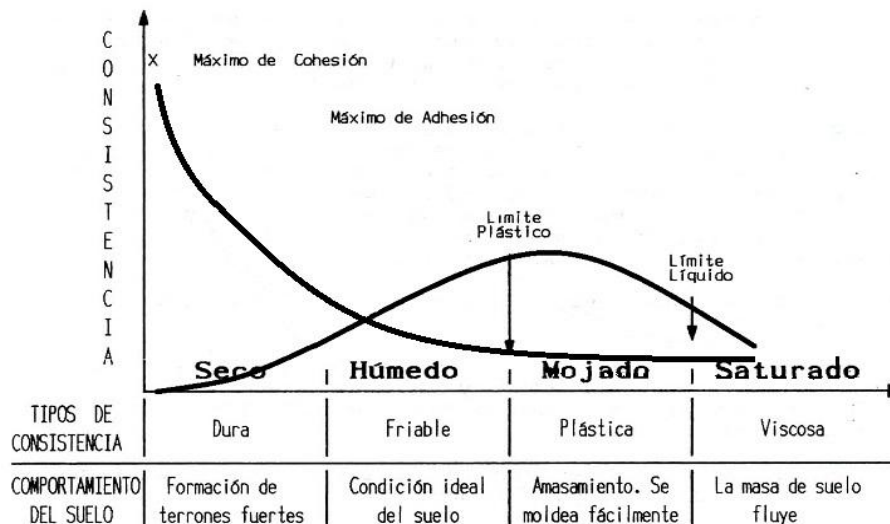


Figura N°1: Variación de la cohesión y la adhesión con el nivel de humedad en un suelo tamizado de textura fina

Con esta mayor humedad el agua es retenida menos fuertemente por la partícula y es atraída hacia la superficie del cuerpo para formar películas de unión entre éste y el suelo. La fuerza de atracción entre el suelo y un metal, por ejemplo, es una función lineal del contenido de coloides, el cual determina el número de películas y la cantidad de agua que regula el espesor de éstas.

Como la consistencia es el resultado de la combinación de la cohesión y la adhesión, presenta en el suelo tamizado dos máximos y dos mínimos. Los valores máximos se dan con suelo seco, por el alto valor de cohesión y en suelo húmedo, debido a la adhesión. Los mínimos se dan con suelos ligeramente a medianamente húmedos y en suelos saturados, para texturas medias. Para diferentes clases texturales las curvas pueden ser distintas.

Plasticidad

Las partículas coloidales de un suelo con poca humedad están dispuestas al azar. A medida que aumenta la cantidad de agua absorbida y se aplica una presión al suelo, las partículas se orientan. La razón de esta orientación es en parte debida a la forma platiforme de las arcillas. En esta situación las películas de agua absorbidas sobre las arcillas orientadas mantienen unidas las partículas adyacentes. Si se aumenta la presión por encima de la tensión de las películas, las partículas se deslizan, unas sobre otras, y una vez que cesa la presión, las partículas no regresan a sus posiciones originales y quedan retenidas en sus nuevos sitios por la tensión de las películas de humedad. A esta propiedad se la denomina plasticidad.

La plasticidad aumenta con la cantidad de arcilla y se manifiesta en un rango de contenidos de humedad determinados. Con un contenido intermedio de agua, las capas de moléculas de agua, dipolo eléctrico, se orientan sobre las arcillas con fuertes enlaces de H^+ manteniendo la estructura generada. A medida que aumenta el espesor de la capa de agua, disminuye la orientación de las moléculas, y con ella la unión de las capas adyacentes, perdiéndose el efecto de plasticidad.

Límites de Atterberg

Fue A. Atterberg (1911) el que determinó los límites que separan los distintos estados de consistencia a cierto grado de humedad. Estos límites miden la variación de humedad dentro de la cual un suelo puede ser plástico (plasticidad: capacidad del suelo para ser moldeado). La plasticidad implica un cambio de forma del suelo sin ruptura cuando el suelo se somete a una fuerza deformante. La arcilla húmeda es el único material plástico del suelo, por ello suelos con menos de 14 % de arcilla no presentan plasticidad. Los límites son:

1. El límite líquido o límite superior del estado plástico: es el contenido de humedad en el cual dos porciones de una pasta de suelo alcanzan apenas a tocarse sin fusionarse cuando la masa que la contiene es sometida al impacto de un número fijo de golpes verticales, aplicados con una cierta energía. El mencionado contenido de humedad, se expresa en porcentaje de suelo seco

Hay aparatos normalizados para esta determinación, como el aparato de Casagrande.

2. El límite plástico o límite inferior del estado plástico: Es el contenido de humedad en el cual el suelo comienza a fracturarse cuando es amasado en pequeños cilindros haciendo rodar la masa del suelo entre la

mano y una superficie lisa.

3. Límite de adherencia: Es el mínimo tenor de humedad al cual el suelo comienza a pegarse a las herramientas metálicas. Se determina reduciendo gradualmente la humedad de una pasta de arcilla, hasta que resulta posible limpiar una espátula niquelada cuando se la pasa sobre la superficie de la pasta.

4. Límite de contracción o límite inferior de cambio de volumen: Es el contenido de humedad por debajo del cual una pérdida de ella por evaporación trae aparejada una reducción de volumen. Normalmente, cuando el contenido de humedad baja de ese límite, el suelo se torna más claro.

Los contenidos de humedad comprendidos entre los límites líquidos y plásticos, se llaman contenido de humedad de la zona plástica. La diferencia entre los valores de humedad entre el límite líquido y plástico da el índice de plasticidad, este índice permite apreciar la cantidad de agua que puede ser absorbida por el suelo en el estado plástico, sin perder dicho estado. El índice es mayor en arcilla que en arena. A mayor índice plástico la deformación en forma de cilindro de pequeño diámetro (spaguetti) es de mayor longitud sin que se produzcan separaciones en el material. Un valor alto del índice plástico nos indica que el suelo acepta una gran cantidad de agua sin cambiar sus cualidades mecánicas.

Resumiendo: La consistencia se refiere al grado de adherencia entre las partículas del suelo y la resistencia ofrecida por el suelo a las fuerzas que tiendan a deformar o romper sus agregados. Cuando más se aproxima a las características de las arcillas, tanto mayor es la variedad de estados de consistencia que el mismo puede presentar.

Factores que afectan los Límites de Atterberg

Contenido y tipo de arcilla

Como la plasticidad es una función de las fracciones más finas, distintos suelos poseen distintos grados de plasticidad según el contenido de arcilla que contienen. El aumento en el porcentaje de arcilla desplaza el límite plástico en la escala de humedad hacia arriba a la vez que aumenta el índice.

Diversas investigaciones demostraron que solo aquellos minerales que tienen una estructura en placas o láminas manifiestan plasticidad. A pesar de haber algunos minerales primarios con estas características, fundamentalmente son las arcillas las responsables de esta propiedad. Sin embargo, el grado de plasticidad varía con el tipo de arcilla.

El grado de imbibición sigue el siguiente orden: vermiculita > montmorillonita > beidellita > illita > caolinita

La razón de este fenómeno radica en el tipo de sustituciones isomórficas y la estructura del mineral, lo cual incide en la capacidad de absorber y orientar las moléculas de agua.

Naturaleza de los cationes intercambiables

El tipo de catión intercambiable influye considerablemente la plasticidad del suelo. Por ejemplo los suelos saturados con Na presentan el límite plástico a menor contenido de humedad y mayor índice de plasticidad. Los saturados con K tienen un límite plástico bajo pero menor índice de plasticidad.

Por el contrario los suelos saturados con Ca y Mg presentan mayores

límites de plasticidad y menores índices de plasticidad.

Contenido de materia orgánica

El contenido de materia orgánica aumenta el límite plástico. Esto se pone de manifiesto en la comparación de horizontes superficiales respecto de los más profundos, y queda evidenciado en el gráfico tras la oxidación de la misma con agua oxigenada.

La materia orgánica tiene alta capacidad de absorción de agua. Dicha hidratación retarda la disponibilidad de agua para la formación de las películas alrededor de las partículas minerales, responsable de la plasticidad.

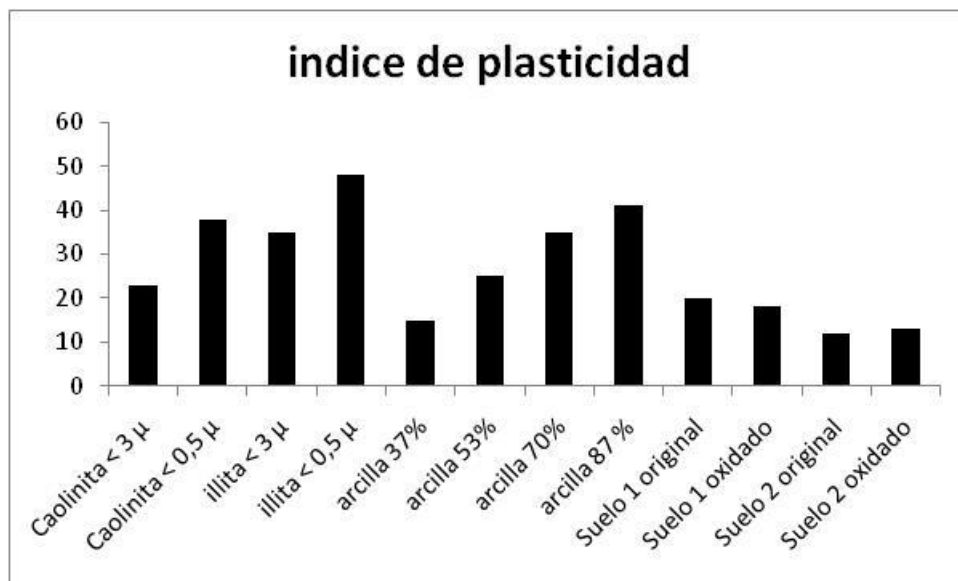
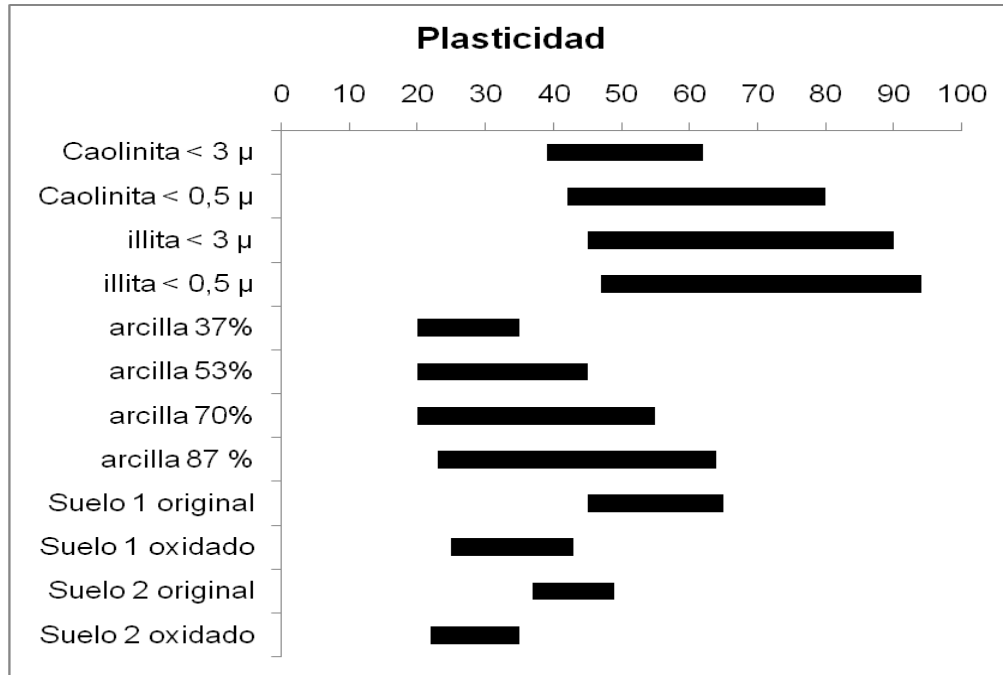


Figura 2: efecto del tipo y contenido de arcilla, y el contenido de materia orgánica, sobre los límites de Atterberg y el índice de plasticidad.

Determinación de la consistencia

La consistencia, a los fines de descripción, se toma en tres contenidos de humedad: mojado, húmedo y seco.

1. Consistencia en mojado:

Se determina un nivel de humedad similar o superior a la capacidad de campo (dependiendo de la textura).

Comprende:

- Adherencia
- Plasticidad

Adherencia:

En el campo se determina por el grado de adherencia que se manifiesta al comprimir una muestra entre el pulgar y el índice.

Se la clasifica de la siguiente manera:

- **No adhesivo:** al soltar la presión el material, prácticamente no se adhiere al pulgar ni al índice.
- **Ligeramente adhesivo:** después de la presión el material se adhiere al pulgar y al índice, pero al separar los dedos quedan limpios.
- **Adhesivo:** después de la presión el material se adhiere a ambos dedos y tiende a estirarse algo y romperse en dos porciones más que a despegarse de algún dedo.
- **Muy adhesivo:** después de la presión el material se adhiere fuertemente a ambos dedos y cuando se los separa se estira decididamente.

Plasticidad:

A campo se determina por formar o no bastoncillos y la resistencia que presenten los mismos a la rotura.

Se clasifica en:

- **No plástico:** no se puede formar hilos.
- **Ligeramente plástico:** se puede formar hilos, pero la masa es fácilmente deformable
- **Plástico:** se puede formar hilos y se requiere moderada presión para deformarlo.
- **Muy plástico:** se puede formar hilo y requiere mucha presión para deformar la masa del suelo.

2. Consistencia en Húmedo

La muestra se encuentra con humedad entre capacidad de campo y seco al aire. El material en estas condiciones se caracteriza por: a) romper en pequeñas masas y no en polvo, b) ausencia de fragilidad, c) capacidad del material de hacerse nuevamente al ser comprimido. Se toma una muestra ligeramente húmeda y se trata de romperla entre el índice y el pulgar. Según su mayor o menor resistencia a la rotura se clasifica en:

- **Suelto:** no coherente
- **Muy friable:** el material se rompe fácilmente bajo débil presión entre pulgar e índice y recupera cohesión al ser comprimido
- **Friable:** el material se rompe fácilmente bajo débil a moderada presión y

recupera cohesión al ser comprimido.

- **Firme:** el material se rompe bajo moderada presión entre pulgar e índice, pero la resistencia es notoriamente evidente.
- **Muy firme:** el material se rompe bajo fuerte presión.
- **Extremadamente firme:** el material solo se rompe bajo muy fuerte presión, no así entre pulgar e índice y se debe partir poco a poco.

3. Consistencia en Seco

La muestra debe estar seca al aire. Se toma la muestra en campo y se intenta romperla entre el dedo pulgar e índice. Según la resistencia que oponga se clasifica en:

- **Suelto:** no coherente.
- **Blando:** la masa del suelo es muy débilmente coherente y frágil, se muele o desmenuza en forma de polvo o granos individuales bajo muy débil presión.
- **Ligeramente duro:** débilmente resistente a la presión, fácilmente rompible entre pulgar e índice
- **Duro:** moderadamente resistente a la presión, puede romperse con las manos sin dificultad, pero apenas puede partirse entre pulgar e índice.
- **Muy duro:** muy resistente a la presión, solo con dificultad se consigue romperlo con las manos, irrompible entre los dedos.
- **Extremadamente duro:** resistente en extremo a la presión, no se puede romper con las manos

Importancia Agronómica

Los límites de Atterberg y los estados de consistencia se utilizan para establecer el contenido de humedad óptimo de laboreo. Según el suelo, el contenido de humedad en cada límite será diferente y consecuentemente, diferente será el rango de humedad en el cual su comportamiento mecánico resulta adecuado a fin de evitar su degradación física.

Así, cuanto más pronto un suelo alcance su estado plástico menor será el tiempo disponible para realizar el laboreo. Dicho de otra manera, en suelos en que el límite líquido y límite plástico son próximos, es más reducido el rango de humedad para trabajar en condiciones óptimas. Debe procurarse trabajar antes del límite plástico, cuando los agregados disminuyen su tamaño en forma natural, sin ser amasados y consecuentemente sin que se destruya o degrade la estructura presente en el suelo.

Como se comentó, la consistencia es función del tipo de material mineral, el tipo de cationes saturantes y el contenido de materia orgánica. Esto define la estructura del suelo y, consecuentemente, la difusión del agua - gases, la erodabilidad del suelo, la facilidad para la penetración de raíces, entre otras. Así, la consistencia permite inferir otras propiedades asociadas. Desde un punto de vista práctico, puede afirmarse que cuando el suelo se encuentra con una consistencia **friable** es el momento óptimo para realizar las labores. Este punto se alcanza antes de llegar al límite plástico.

Cuestionario guía

1. Defina consistencia, cuales son las fuerzas que la determinan.
2. Defina los siguientes términos:
 - ✓ Cohesión
 - ✓ Adherencia
 - ✓ Plasticidad
 - ✓ Friabilidad
3. La consistencia se determina en tres estados de humedad. ¿Puede explicar cuál es la razón? Indique cual es su importancia agronómica.
4. Los limites líquido, plástico y el índice de plasticidad varían con alguna característica del suelo. ¿Puede mencionarlas?, ¿Esto tiene implicancia agronómica?
5. Identifique en el perfil la consistencia de cada horizonte y relaciónela con otras propiedades del suelo.