FACULTAD DE INGENIERÍA

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Maestría en Ingeniería Geotécnica - MIG
(Carrera Binacional Argentina - Alemania)

Asignatura ACMIG03:

Comportamiento Mecánico de Suelos

Suelos arcillosos expansivos

RESUMEN

Un suelo expansivo es aquel que aumenta sustancialmente de volumen en presencia de agua, en las siguientes páginas desarrollaremos lo referido a **suelos arcillosos expansivos**, conociendo sus orígenes y composición molecular, los **grupos** que pertenece este tipo de arcilla, como puede identificarlas directa e indirectamente, que ensayos son aplicables para determinar el grado de expansividad, donde podemos encontrarlas en Argentina, las problemática que traen en la ingeniería civil y que medidas podemos tomar para trabajar sobre este tipo suelo.

ING. GABRIEL DE MULA

gdemula@gmail.com

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN PÁG. 2

2. DEFINICIÓN PÁG. 2

2.1. ARCILLA PÁG. 2

2.2. EXPANSIVIDAD PÁG. 2

2.3. RETRACCIÓN PÁG. 3

3. ESTRUCTURA DE LA ARCILLA PÁG. 3

4. GRUPOS PÁG. 5

4.1. ESMECTITAS PÁG. 5

4.1.1. MONTMORILLONITA PÁG. 5

4.1.2. VERMICULITA PÁG. 6

5. ORIGEN PÁG. 6

6. IDENTIFICACIÓN PÁG. 6

6.1. TÉCNICAS INDIRECTAS DE DETERMINAR LA EXPANSIVIDAD PÁG. 6

6.1.1. LÍMITES DE ATTERBERG PÁG. 7

6.1.2. CLASIFICACIÓN DE SUELOS PÁG. 7

6.1.3. DIFRACCIÓN POR RAYOS X PÁG. 7

6.2. TÉCNICAS DIRECTAS DE DETERMINAR LA EXPANSIVIDAD PÁG. 7

6.2.1. ENSAYO DE LAMBE PÁG. 7

6.2.2. ENSAYO DE HINCHAMIENTO LIBRE EN EDÓMETRO PÁG. 8

6.2.3. ENSAYO DE PRESIÓN DE HINCHAMIENTO EN EDÓMETRO PÁG. 8

6.3. INDICES PARA MEDIR EXPANSIVIDAD PÁG. 8

6.4. TABULACIÓN PÁG. 8

6.5. GRÁFICO PÁG. 9

7. UBICACIÓN GEOGRÁFICA PÁG. 9

8. PATOLOGÍAS EN SUELOS EXPANSIVOS PÁG. 10

9. SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS EN SUELOS EXPANSIVOS PÁG. 11

10. CONCLUSIONES PÁG. 11

11. BIBLIOGRAFRÍA PÁG. 12

1. INTRODUCCION

Se denomina suelo o tierra a la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que proviene de la desintegración o alteración física o química de las rocas y de los residuos de las actividades de seres vivos que se asientan sobre él.

Existen diversos tipos de suelo, cada uno fruto de procesos distintos de formación, fruto de la sedimentación, la deposición eólica, la meteorización y los residuos orgánicos.

La necesidad de agrupar, entender y para poder generar un lenguaje universal para poder expresar de forma concisa las características de éste se generó la clasificación de suelos como un medio para resolver dichos inconvenientes.

En éste se puede dividir en dos grandes grupos, los suelos gruesos y los suelos finos.

Nos centraremos en los suelos finos que son aquellos suelos en los que el tamaño predominante (más del 50%) es igual o inferior a 0,075 mm (pasan por el tamiz 200 ASTM).

Haremos hincapié en las **arcillas**, principalmente en las de tipo **expansivas**.

2. DEFINICIÓN

2.1. Arcilla

El término arcilla se puede interpretar de distintas formas según el punto de vista que se estudie:

Desde un punto de vista petrográfico: como un tipo de roca en sí misma de naturaleza terrosa.

Desde un punto de vista mineralógico: como el conjunto de minerales de tipo filosilicato que presentan características comunes (plasticidad cuando se mezclan con una cierta proporción de agua, propiedades coloidales, propiedades adsorbentes, capacidad de cambio catiónico, etc.), derivadas de su tamaño de partícula, de su estructura cristalina, y de su composición química caracterizada por la presencia de Si, Al, grupos hidroxilo y H2O junto a cantidades variables de Mg, Mn, Fe, Ca, Na y K principalmente.

Desde el punto granulométrico: Las arcillas son cualquier sedimento o depósito mineral formado por partículas muy pequeñas cuyo tamaño es inferior a los **0,002mm**, y que se componen principalmente de silicatos de aluminio hidratados. Se caracterizan por ser plásticas cuando se las humedecen.



Figura N°1: Muestra de distintos tipos de arcillas.

2.2. Expansividad

El término de expansividad puede definirse como la capacidad de un suelo de experimentar cambios volumétricos al modificarse las condiciones de humedad. En general el fenómeno de la expansividad está asociado a algunos tipos de arcillas, especialmente las montmorillonitas, que modifican su estructura al adsorber agua. Del mismo modo, también puede producirse la retracción del suelo expansivo al desecarse o liberarse el agua contenida en él.

La expansividad sucede cuando las moléculas de agua quedan atrapadas en la red cristalina, entre las cadenas de silicatos de las arcillas que se encuentran unidos por enlaces débiles, pasando a ocupar mayor volumen inicial sin que ocurra reacciones químicas.

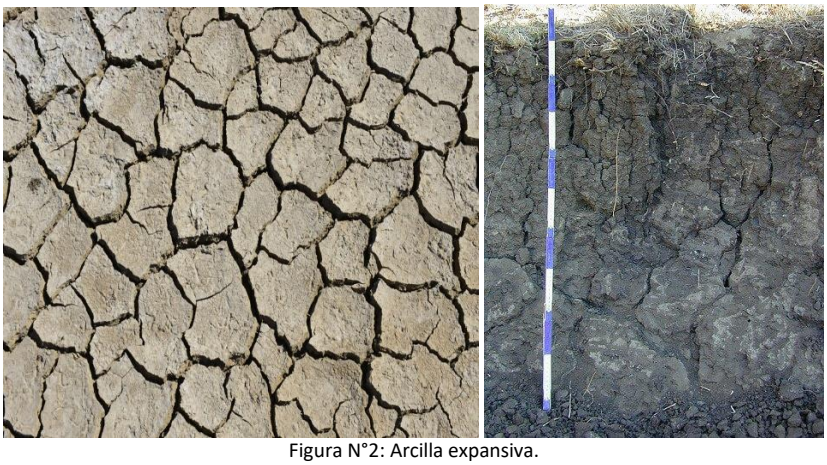


Figura N°2: Arcilla expansiva.

2.3. Retracción

La retracción del suelo corresponde a la disminución del volumen que ocupa el material que conforma el suelo arcilloso, causado por la expulsión de agua.
La retracción del suelo se da por la disminución de la humedad, esto puede ocurrir por la evaporación del agua en el suelo o por drenaje lento y continuo de agua (por las raíces de las plantas, o por infiltración del agua hacia otras capas más profundas del suelo).

3. Estructura de la arcilla

Las arcillas pertenecen a una clase particular de minerales denominados silicatos estos están formados por cristales regulares y, si vamos a una escala más pequeña, veríamos que estos cristales tienen a su vez una unidad básica: el tetraedro el cual está compuesto por un átomo central de silicio (Si) y cuatro átomos de oxígeno en las esquinas (O).

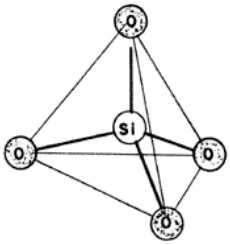


Figura N°3: Tetraedro elemental.

La unión de varios tetraedros nos genera hojas que se extienden a lo largo y a lo ancho, dando origen a las estructuras laminares al unir los vértices de varios tetraedros se forma un plano, de igual manera ocurre con los átomos de silicio situados en el centro de los tetraedros y con los de oxígeno situados en las bases. La articulación de esos tres planos nos conduce a la formación de una hoja tetraédrica (tipo T)

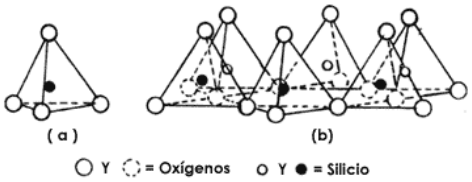


Figura N°4: Hoja tetraédrica.

Siguiendo esta secuencia, podemos ahora unir dos hojas para formar una lámina tetraédrica. En ésta se observa que las dos hojas se encuentran invertidas, una con respecto a la otra, compartiendo uno de los vértices.

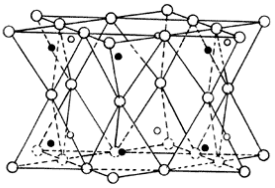


Figura N°5: Lámina tetraédrica.

Similarmente, existen otros cuerpos poligonales que podemos unir entre sí para formar cadenas, tal y como ocurre con el octaedro

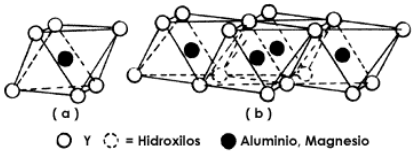


Figura N°6: Hoja octaédrica.

La unión de una hoja del tipo T, con otra del tipo O, genera una lámina T- O, o lámina 1:1

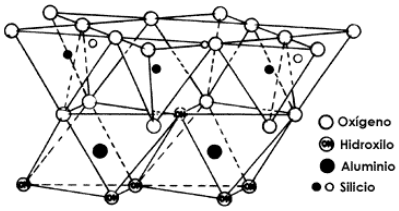


Figura N°7: Lámina T-O.

Si agregamos una tercera hoja tipo T a la lámina T-O mencionada arriba y el resultado muestra la lámina T- O - T, o lámina 2:1

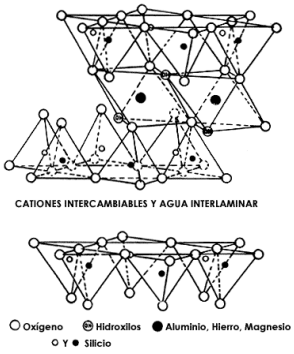


Figura N°8: Lámina T-O-T.

Es más completa y no acepta una nueva adición, debido a la saturación de los enlaces.

4. Grupos

Se pueden encontrar diferentes minerales o diferentes grupos de arcillas que van a tener diferentes formas (cilíndrica prismática, filamentos, etc.). Estas diferentes formas se deben a diferentes procesos químicos por lo tanto tienen diferentes establecimientos de estructuras.

GRUPO	ESTRUCTURA	INTERCAMBIO CATIÓNICO	Superficie específica
CAOLINITA	1:1 o T:O	Bajo: 1 a 10 cmol(+)/kg	10-20
ILITA (Mica Meteorizada)	2:1 o T:O:T	Medio: 40 cmol(+)/kg	65-100
ESMECTITAS	2:1 o T:O:T	Alto: 80 a 150 cmol(+)/kg	600-840

Tabla N°1: Grupo de arcillas.

GRUPO	ESTRUCTURA	INTERCAMBIO CATIÓNICO	Superficie específica
Vermiculitas	2:1 o T:O:T	80 a 130 cmol(+)/kg	600 - 500
Mortmorillonita	2:1 o T:O:T	120 a 150 cmol(+)/kg	700 - 840

Tabla N°2: Grupo de esmectitas.

Los materiales arcillosos que son susceptibles de sufrir hinchamiento, permitiendo una gran incorporación de agua. Esto se debe al tipo de enlace débil presente entre las láminas de su estructura. Además, cuando el catión interlaminar es el Na, las esmectitas tienen gran capacidad de expansión, pudiendo llegar a producirse la completa disociación o separación de las láminas, teniendo un máximo desarrollo de propiedades coloidales, dando lugar a propiedades especiales (lodos estabilizadores tixotrópicos o bentonitas). Si por el contrario, tienen Ca o Mg como cationes de cambio su capacidad de hinchamiento será mucho más reducida.

4.1. Esmectita

4.1.1. Montmorillonita

Un subgrupo de la esmectita, están constituidas por dos capas de tetraedros que encierran una de octaedros.
Los cristales individuales de montmorillonita no están fuertemente unidos, de ahí que el agua ingresa fácilmente en éstos, haciendo que se hinchen o expandan en el sentido perpendicular a la capa. Esta expansión puede ser muy grande

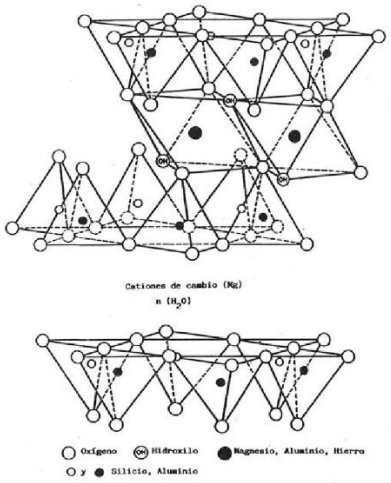


Figura N°9: Estructura molecular de la montmorillonita.

La partícula de montmorillonita considerada como estructura indefinida tendría sus enlaces satisfechos si el centro de todos los tetraedros estuviese ocupado por silicio y el de los octaedros por aluminio. Sin embargo, hay siempre una cierta proporción de átomos de silicio, tetravalente, sustituidos por aluminio, trivalente en los tetraedros, y otra cantidad de átomos de aluminio, trivalente, sustituidos por magnesio, hierro, etc. Debido a ello, existe una deficiencia de cargas positivas en la estructura.
Esta deficiencia es compensada por medio de cationes que se sitúan entre las unidades fundamentales y alrededor de los bordes. Estos cationes pueden ser sustituidos con facilidad por otros, por lo cual reciben el nombre de cationes de cambio.

4.1.2. Vermiculita

La vermiculita es un mineral semejante a la montmorillonita. El tamaño de las partículas de vermiculita en el sentido de la capa es mucho mayor que el de la montmorillonita. Esta se forma cuando la ilita pierde mucho potasio [K] y se produce un enriquecimiento de Magnesio. A diferencia de la montmorillonita esta es menos común ya que su estructura es muy inestable.

5. Origen

El origen de las patologías por arcillas expansivas, depende directamente de factores que pueden interaccionar entre sí, y que son:

a) Mineralogía.
b) La naturaleza geológica y geotécnica del suelo, en concreto, su contenido en finos.
c) El grado de expansividad del suelo.
d) Los cambios de humedad. Debido a la estación en la que nos encontremos o por otros factores externos tales como rotura de tuberías de abastecimiento de agua, de saneamiento, zonas de riego abundante, existencia de árboles de crecimiento rápido y hoja caduca próximos al edificio, etc., se produce la hidratación y deshidratación del terreno.
e) Química del agua subterránea.
f) Plasticidad.
g) Estructura del suelo.
h) Clima

6. Identificación

Los terrenos expansivos presentan unas características peculiares que permiten reconocerlos en campo. Los principales indicios que permiten reconocer o identificar este tipo de terreno:

a) Suelos de colores verdosos, azulados o grisáceos y textura satinada en corte fresco.
b) Si la arcilla está húmeda se moldea con facilidad (pueden hacerse con la mano rollitos muy finos sin que se cuartee la arcilla).
c) Arcillas muy resistentes al tacto en condiciones secas.
d) En verano, el suelo presenta numerosas grietas poligonales muy abiertas y profundas.
e) El suelo humedecido es muy plástico, pegajoso y moldeable. También es resbaladizo y se adhiere fuertemente al calzado y a las ruedas de los vehículos. Las huellas dejadas en él quedan muy marcadas y son duraderas.

6.1. Técnicas indirectas de determinar la expansividad

Si no tenemos indicios visibles habrá que recurrir a ensayos, preferiblemente empezando por ensayos sencillos, ya que la expansividad de los suelos es muy heterogénea (puede verse afectada por vetas de terreno o diferencias de humedad).

A priori, un solo ensayo no garantiza identificar o no un suelo expansivo, sólo la coincidencia de resultados de varios ensayos supone cierta fiabilidad. Entre los ensayos más básicos que nos permiten deducir el peligro de expansividad de una arcilla están los límites de Atterberg.

6.1.1. Límites de Atterberg.

Desde el punto de vista geotécnico, los suelos plásticos o arcillosos, son aquellos capaces de deformarse sin agrietarse, cambiando su consistencia al variar el contenido de agua. En función de los cambios de contenido de humedad se dan diferentes estados físicos, siendo los límites para cada estado de consistencia los conocidos como límites de Atterberg: límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP), que son el punto de partida para la estimación de la expansividad de un suelo.

Índice de Plasticidad	Potencial de hinchamiento
<15	bajo
10 - 35	medio
20 - 35	alto
>55	muy alto

Tabla N°3: Relación (IP)-Potencial de hinchamiento (Holtz y Gibbs 1950).

6.1.2. Clasificación de Suelos

Igualmente, el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos y la clasificación AASHTO permiten una primera aproximación puesto que los suelos expansivos suelen clasificarse como CH en la primera clasificación y como los A-6 y A.7 en la segunda.

6.1.3. Difracción por rayos X

Otro método, aunque menos común, debido a su coste y dificultad de realización es la difracción de rayos X que permite la determinación de los distintos minerales con los que está compuesto el terreno. Así de este modo podemos distinguir claramente los distintos tipos de arcillas expansivas.

6.2. Técnicas directas determinación expansividad

Son ensayos que están basado en la medición del hinchamiento del suelo expansivo o la presión necesaria para impedir este hinchamiento. Cabe comentar tres ensayos principales.

6.2.1. Ensayo Lambe

Mide el cambio potencial de volumen y el índice de hinchamiento. Se realiza sobre muestras remodeladas que han pasado por el tamiz ASTM nº10. Por tanto, solo toma la fracción fina, éste consiste en valorar la expansividad que experimenta una probeta de suelo compactado en unas condiciones de humedad establecidas. El cambio de volumen potencial de un suelo queda comprendido en uno de los siguientes grupos: no crítico, marginal, crítico y muy crítico. Esta asignación se realiza a partir de un valor denominado índice de hinchamiento, que se define como la presión necesaria para reducir el hinchamiento de la muestra a un valor muy pequeño en las condiciones fijadas. Se trata de un ensayo relativamente barato y rápido, que se puede realizar con muestras alteradas.



Figura N°10: Representación esquemática del aparato de Lambe (Lambre, 1960)

6.2.2. Ensayo de hinchamiento libre en edómetro

El ensayo mide el hinchamiento vertical que se produce en el edómetro bajo una presión de 1 t/m^2 y acceso libre de agua. Al contrario que en el ensayo Lambe, se realiza sobre una muestra inalterada por lo que los resultados suelen ser más fiables. Es ampliamente utilizado en la clasificación de terrenos para la construcción de terraplenes.

6.2.3. Ensayo de presión de hinchamiento en edómetro

Similar al anterior, pero en lugar de medir el cambio de volumen experimentado por la pastilla del edómetro, se mide la presión necesaria para impedir este aumento de volumen. Se utiliza frecuentemente en la determinación de la expansividad en estudios geotécnicos de cimentaciones.

6.3. Índices para medir expansividad

a) Actividad coloidal del suelo: A = IP / (%<2μ)
   Si la actividad coloidal A > 1.25, implica que son suelos altamente expansivos.
   Si la actividad coloidal A = 0.6, implica que son suelos bastante expansivos.
b) Si w/LL < 0.25, se trata de suelos con potencial expansivo muy alto.
c) Si el índice de desecación: w/LP < 0.6, se trata de suelos muy peligrosos.
d) Según Sowers, las arcillas de alta plasticidad no entumecen si su contenido inicial de humedad corresponde a un índice de fluidez: (w-LP) / IP ≥ 0.2

6.4. Tabulación.

En general y de forma orientativa, el grado de expansividad se puede determinar en función de las propiedades geotécnicas de los suelos según las siguientes Tablas:

Expansividad	Límite de retracción	IP	WL	%#200	% <0,001 mm	Potencial de hinchamiento	% hinchamiento probable
Baja	>15	<18	<30	<30	<15	0-1,5	<1
Media	12-16	15-28	30-40	30-60	13-23	1,5-5	1-5
Alta	8-12	25-40	40-60	60-95	20-30	5-25	3-10
Muy alta	<10	>35	>60	>95	>30	>25	>10

Tabla N°4: Criterio de expansividad (R. Ortiz, 1975).

Parámetro	Nula	Marginal	Crítica	Muy Crítica
Límite líquido LL	<30	30-40	40-60	>60
Índice de Plasticidad IP	0 - 15	10-35>	20-55	>45
%<1 µm	<15	13-23	23-30	>28
%<0,074 µm	<30	30-60	60-95	>90
Índice PVC de Lambe	<2	2-4	4-6	>6
Índice de desecación ID	>1	0,8-1	0,6-0,8	<0,6

Tabla N°5: Criterio de peligrosidad (Jiménez Salas).

% Pasa por Tamiz 200	Límite líquido	S.P.T.	Expansión Probable %	Presión de Hinchamiento	Grado de expansión
>95	>60	>30	>10	>10	muy alto
60-95	40-60	20-30	3-10	2,5-10	alto
30-60	30-40	oct-20	1-5	1,5-2,5	medio
<30	<30	<10	<1	<0,5	bajo

Tabla N°6: Criterio de expansión (Chen).

6.5. Gráfico.

Otra manera de determinar el grado de expansividad sería mediante el gráfico de VIJAYVERGIYA Y GHAZZALHY:

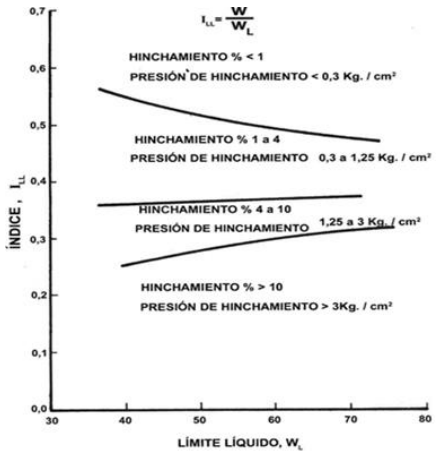


Figura N°11: Relación entre humedad natural y LL en arcillas expansivas (Vijayvergiya y Ghazzaly, 1973)

7. Ubicación geográfica.

La gran variabilidad eco-ambiental de la Argentina se materializa en un complejo mosaico de paisajes y por ende de suelos. Haremos hincapié en suelos donde encontraremos arcillas expansivas y estos son los vertisoles que son suelos que se caracterizan por poseer una serie de propiedades derivadas del alto contenido de arcillas expansibles que tienen. Los suelos tienen caras de deslizamiento entre los agregados, micro relieve gilgai y grietas (en profundidad y en superficie) debidas a la acción de contracción y expansión de las arcillas según estén secas o húmedas.
En general muestran perfiles simples y coloraciones oscuras (Figura 12), si bien son potentes. Los más comunes en la Argentina son los Hapludertes, los que revelan escaso desarrollo, son profundos, con grietas, polígonos de desecación, microrelieve gilgai (superficie suavemente ondulada) y caras de deslizamiento.
Aparecen principalmente en la zona litoral bonaerense y en sectores de Entre Ríos (Figura 13). En esta provincia se asocian estrechamente con Molisoles (Argiudoles), formando integrados que a nivel Subgrupo se pueden clasificar con Argiudoles vérticos, si bien también pueden ser identificados como Hapludertes, Pelludertes y Cromodurtes. Se generan en estrecha relación con

materiales loessoides con altos contenidos, ya sea por neoformación o heredados, de arcillas esmectíticas (expansivas), vegetación de tipo estepa herbácea, en ambientes fluviales o litorales. Generalmente tienen evidencias de drenaje deficiente, como moteados en profundidad.



Figura N°12: Perfil de suelo tipo vertisoles.

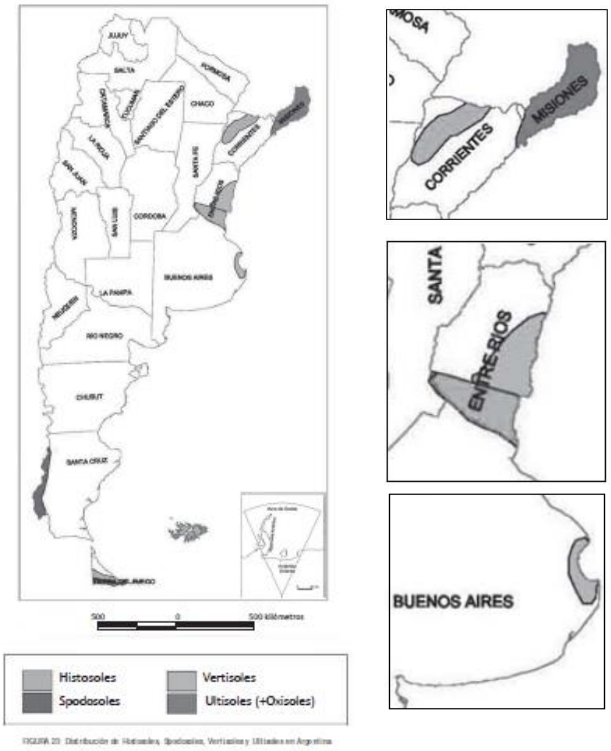


Figura N°13: Ubicación geográfica de arcilla expansible en territorio argentino

.

8. Patologías en suelos expansivos.

En las áreas donde se localizan arcillas expansivas y el clima presenta variaciones estacionales importantes con periodos lluviosos que se alternan con periodos secos se puede producir el fenómeno de la expansividad. En la estación húmeda el agua penetra en la estructura de las arcillas incrementándose el volumen aparente, por el contrario, en la estación seca, el agua sale de la estructura debido a la desecación de éstas y como consiguiente se produce una reducción en el volumen del suelo. Además de por los cambios estacionales, el fenómeno de la expansividad también se puede originar por la subida del nivel freático, rotura de saneamientos, desecación debida a altas temperaturas (hornos), etc.

Este cambio de volumen (contracción y expansión) de los suelos arcillosos puede provocar numerosas patologías entre las que cabe destacar:

a) Distorsiones en estructuras y por tanto agrietamiento y rotura de las mismas.
b) Degradación e inestabilidad de taludes y laderas naturales.
c) Roturas de saneamientos y conducciones enterradas.
d) Agrietamiento y roturas en muros y pantallas.
e) Inestabilidades, agrietamiento y abombamiento de terraplenes

9. Soluciones constructivas en arcillas expansivas

Existen varias formas de resolver obras de ingeniería en suelos expansivos. Pudiendo ser estas:

a) Tratamiento de estabilización del suelo: Remplazo de todo el suelo expansivo por un suelo expansivo, pero esta es válida cuando el suelo expansivo es de volúmenes reducidos.
b) Generar una estructura que genere una presión mayor a la presión de hinchamiento.
c) Evitar que el suelo varie su humedad, para esto, se puede colocar barreras de control de humedad (veredas).
d) Tratamientos químicos: realizar mezclas con cal o cemento previos estudios especiales de comportamiento de los terraplenes.
e) Aislar la estructura: Las cimentaciones de estructuras en arcillas expansivas se suelen solventar con pozos de hormigón ciclópeo cimentados por debajo de la capa activa del terreno expansivo**,** mediante pilotes y micropilotes aislados del terreno expansivo en estructuras tipo palafito, o cimentación con losa armadas previa sustitución del terreno infrayacente con terreno granular.

10. Conclusiones

a) Las arcillas expansibles pueden identificarse a simple vista.
b) Se puede determinar el grado de expansividad mediante parámetros de laboratorio.
c) Experimentan variación de volumen, en directa relación con la variación de humedad.
d) El cambio de volumen en las arcillas expansivas, no es uniforme y no es constante, además responden a las condiciones físicas, ambientas y esfuerzos que muchas veces no se puede predecir.
e) Existen distintos métodos para poder mitigar los daños que estas causan.
f) La existencia de arcillas expansivas, provocan cambios volumétricos en los suelos, los cuales influyen en los elementos estructurales.

11. Bibliografía

a) Geotecnia y Cimientos I – Propiedades de los suelos y de las rocas (J.A. Jiménez Salas, J.L. de Justo Apañes).

b) Suelos de la Argentina – Geografía de suelos, factores y procesos formadores (Fernando X. Pereyra).

c) Paisajes Arcillosos (WRB, 1998) – (Juan José Ibáñez y Francisco Javier Manríquez Cosio).

d) Arcillas expansivas: su estudio y patología – Actas del Congreso sobre Patología y Control en la Construcción" (Sevilla, 1992).

e) Evaluación de las propiedades catalíticas de montmorillonitas – Trabajo de fin de Master (Ester Ugarte Manzanares)

f) Factores físicos químicos y mineralógicos que intervienen en el hinchamiento de las arcillas (Jesús Sáez Auñon)

g) Ficha de trabajo de campo (Escuela de formación GF)