

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÁNICAS DE LAS ARCILLAS CUATERNARIAS DE LA  
PROVINCIA DE ORIENTE

Por: Ian Kunzico  
M. Solís

Los sedimentos cuaternarios tienen gran importancia en la economía nacional, pues generalmente constituyen los cimientos de muchas obras, así como, aún en mayor grado, se utilizan como materiales de construcción. Sin embargo, a pesar de la utilidad múltiple de estos depósitos, no han sido suficientemente estudiados.

Hasta ahora, no existe una correlación estratigráfica y genética de las rocas cuaternarias; ni se han realizado trabajos de generalización de sus propiedades ingeniero-geológicas.

Este artículo tiene como finalidad, generalizar por vez primera las propiedades físico-mecánicas de las arcillas cuaternarias marinas desarrolladas en el Valle del Cauto, provincia de Oriente (Fig. 1), tomando como base los estudios realizados por los autores en Gran Canal, Embalse 24, así como los trabajos que se citan al final de este artículo.

Entre los suelos de diversa génesis desarrollados en la región, las arcillas marinas (vea nota al final del artículo) ocupan uno de los primeros lugares por su amplia difusión. Han sido determinadas por medio de numerosas calas y calicatas en el norte, oeste y este de la región. Según nuestra opinión estas arcillas componen unas terrazas marinas de acumulación y denudación en las cotas absolutas 2 - 55 m.

El perfil de las arcillas marinas es el siguiente:

Capa No. 1: (m QIV) Arcillas pesadas, de color marrón, con terrones y un espesor de hasta 15 m.

Capa No. 2: (m QIII) Arcillas pesadas, de color verde-grisáceo y marrón, con muchas concreciones ferruginosas y espesor de hasta 15 m.

Capa No. 3: (m QIII) Arcillas algo arenosas, de color marrón y espesor de hasta 10 m.

La capa No. 1 vace desde la superficie, y siempre se observa en cotas mayores de 18 m. El espesor de la capa en el parteaguás de los ríos Cayojo, Naranja y Rioja alcanza 15 m. En las terrazas I, II, y III que tienen una cota absoluta inferior a 18 m., esta capa está ausente en el corte.

Las capas Nos. 2 y 3 están representadas en todos los lugares. Entre las cotas 2 y 18 m ellas están directamente en la superficie, pero por encima de la cota 18, aparecen debajo de la capa No. 1.

La capa No. 2 tiene más espesor y se extiende por su rumbo.

La capa No. 1, representada por arcillas pesadas, tiene una composición granulométrica media como se muestra a continuación, según los datos de 147 determinaciones:

<u>Diámetro de la partícula</u>	<u>Contenido en %</u>
10-5	0,25
5-2	0,65
2-1	0,75
1-0,5	1,00
0,25-0,10	1,65
0,10-0,05	6,10
0,05-0,005	13,55
0,005	75,00

El contenido de partículas de grava varía de 0 a 3% (promedio 0,90 %); de partículas arenosas entre 6 y 18% (promedio 10,55%); de partículas de limo entre 8 y 26 % (promedio 13,55%) y partículas de arcilla entre 56 y 84% (promedio 75%).

Para estas arcillas de la capa No. 1, son características los valores muy altos de sus límites e índice de plasticidad.

Según los datos de 127 ensayos, el límite líquido (LL) varía entre 70 y 95% (promedio 80%), el límite plástico entre 26 y 37% (promedio 29%) y el índice de plasticidad entre 43 y 62% (promedio 53%). Estos valores tan altos pueden explicarse, por la composición montmerillonítica de las arcillas, por el contenido elevado de partículas arcillosas (especialmente coloidales), y por su juventud. Otro factor no menos importante es la fuerte saturación de los coloides por los ácidos húmicos como resultado de los procesos intensos que se producen en el suelo y la presencia de sodio en el complejo absorbido. Nosotros hemos realizado los experimentos a fin de determinar el índice de plasticidad del suelo antes y después de tratarlo con  $\text{Ca SO}_4$  para sustituir el ión de sodio por el de calcio en el complejo absorbido. Como resultado de este experimento se obtuvo que el índice de plasticidad se redujo hasta 30% después del tratamiento del suelo con  $\text{Ca SO}_4$ .

Es necesario señalar que el coeficiente de variación de HP de las arcillas de la capa No. 1 es igual a 10%, lo cual la caracteriza como homogénea, según las normas del Instituto Hidroproyecto, Moscú.

En las condiciones naturales, estas arcillas se encuentran semiduras y sólo en dos casos de 109 el índice de consistencia (B) fue mayor de 0,25. Los valores de las propiedades físico-mecánicas de estas arcillas se dan en la tabla No. 1.

El peso específico de la arcilla varía en un diapason bastante amplio y el coeficiente de variación del mismo está muy limitado (2%). Esta variación relativa del peso específico, en medio de la gran homogeneidad de los otros índices, incluyendo la granulometría y los valores de plasticidad, se explica por la existencia de zonas ferruginosas. Estas zonas se formaron por lo visto, como resultado de la redistribución de elementos químicos en el proceso de diagénesis, y son formaciones singenéticas. Estas zonas ferrosas se detectan a simple vista.

TABLA NO. 1

PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LA CAPA NO. 1

Propiedades	Peso espe- cifi- co Gs g/cm <sup>3</sup>	Peso volu- mé- tri- co Gv g/cm <sup>3</sup>	Hume- dad natu- ral Wn %	Coefi- ciente de sa- tura- ción	Coefi- ciente de po- rosi- dad E	Angulo de fric- ción inter- na Q°	Cohesión C K/cm <sup>2</sup>	Hin- cha- mien- to H K/cm <sup>2</sup>	Hin- cha- mien- to li- bre %	Modulo de de- forma- ción E K/cm <sup>3</sup>
Indices										
Mínimo	2,71	1,60	33	0,70	1,10	4	0,30	0,2	0,5	50
Máximo	2,84	1,85	51	1,0	1,56	11	0,75	14	25	220
Promedio	2,74	1,73	41	0,87	1,21	7	0,51	1,50	6	92
Desviación promedio cuadrática	0,057	0,072	5,2	-	0,143	-	-	-	-	-
Coeficiente de varia- ción	2%	4%	13%	-	12%	-	-	-	-	-
Cantidad de ensayos	125	127	134	122	125	97	97	57	32	39

Estas arcillas, no son muy compactas y su coeficiente de porosidad varía entre 1,10 a 1,60. Esto nos habla de la juventud de los sedimentos, así como la presencia de sulfato de sodio, el cual cristaliza con moléculas de agua desmoronando mecánicamente la roca.

La fuerza de hinchamiento de estos suelos alcanzan unos 14 kg/cm<sup>2</sup> (promedio 1,5 kg/cm<sup>2</sup>). El hinchamiento libre varía entre 0,5 y 0,25 % (promedio 4%). Al quebrar la estructura de las arcillas, el hinchamiento aumenta al máximo. La fuerza de hinchamiento toma como promedio un valor de 5 kg/cm<sup>2</sup> y el hinchamiento libre llega al 60% (promedio 37%). Los altos valores del hinchamiento se explican por la composición montmorillonítica de las arcillas, su elevada porosidad, y existencia del ión sodio en los complejos absorbidos.

La determinación del ángulo de fricción interna y la cohesión, se realizó mediante el corte rápido previa saturación de la muestra, bajo las cargas de 1, 2, 3 kg/cm<sup>2</sup>. Se llevaron a cabo 90 ensayos de acuerdo a los cuales se obtuvieron un ángulo de fricción interna entre 40° y 110° (promedio 70°). La cohesión varía de 0,3 a 0,75 (promedio 0,51). El módulo de deformación se determinó en el intervalo de cargas 0,5 - 6 kg/cm<sup>2</sup> y se obtuvo como promedio igual a 90 kg/cm<sup>2</sup>.

La capa No. 2 está también representada por arcillas pesadas. Su composición granulométrica promedio es la siguiente, según los resultados de 163 determinaciones:

<u>Diámetro de las partículas</u>	<u>Contenido en %</u>
10-5	0,1
5-2	1,3
2-1	1,4
1-0,5	1,3
0,5-0,25	1,3
0,25-0,1	1,6
0,1-0,05	13,0
0,05-0,005	22,0
0,005	58,0

El contenido de partículas de grava es como promedio 1,4% de arena 18,4%, de limo 22% y de arcilla entre 40 a 74% (promedio 58%). En comparación con la capa No. 1, el contenido de partículas de arcilla de la capa No. 2 es menor en un 17%.

El valor promedio de los límites de plasticidad de la capa No. 2 son los siguientes: Límite líquido 66%; límite plástico 24%. En comparación con la capa No. 1, el límite líquido es 14% menor, y el plástico 5% menor.

A continuación pasamos a relacionar las propiedades físico-mecánicas de los suelos de la capa No. 2 (Tabla 2).

En estado natural, las arcillas de la capa No. 2 se encuentran semi duras y poco plásticas. En comparación con la capa No. 1 son más compactas y tienen una cohesión y ángulo de fricción interna más elevadas. El ensayo de cortante para todas las capas se realizó con la misma metodología.



TABLA NO. 2

PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LA CAPA NO. 2

Propiedades	Peso espe- cifi- co	Peso volu- me- tri- co	Hume- dad natu- ral	Coefi- ciente de sa- tura- ción	Coefi- ciente de po- rosi- dad	Angu- lo de fric- ción inter- na	Cóhe- sión	Hin- cha- mien- to	Hin- cha- mien- to li- bre	Modulo de de- forma- ción
Indices										
Mínimo	2,70	1,74	25	0,75	0,74	7	0,50	0,1	0,2	93
Máximo	2,78	1,96	36	1,0	1,0	15	0,90	7,0	17	328
Promedio	2,74	1,88	28	0,93	0,85	11	0,60	1,4	4	155
Desviación promedio cuadrática	0,023	0,061	2,9	-	0,071	-	-	-	-	-
Coeficiente de variación	0,84%	3,2%	10%	-	8,4%	-	-	-	-	-
Cantidad de ensayos	148	153	185	141	148	78	78	79	31	47

El gran hinchamiento de estas arcillas, al igual que el de la capa No. 1 se explica por su composición montmorillonítica, y por la presencia del ión sodio en los complejos absorbidos. Sin embargo, su hinchamiento es menor que el de la capa No. 1. La fuerza de hinchamiento de las arcillas de la capa No. 2 varía entre 2 y 0,1 kg/cm<sup>2</sup> (promedio 1,4 kg/cm<sup>2</sup>) y el hinchamiento libre entre 17 y 0,2% (promedio 4%). Con estructura alterada, estas arcillas alcanzan un hinchamiento libre entre 15 y 42% (promedio 26%).

Las arcillas de la capa No. 3 son algo arenosas. Su granulometría promedio según 137 determinaciones es la siguiente:

<u>Diámetro de las partículas</u>	<u>Contenido en %</u>
5-2	0,30
2-1	0,20
1-0,5	1,70
0,5-0,25	3,50
0,25-0,10	24,40
0,10-0,05	23,00
0,05-0,01	10,40
0,01-0,005	4,50
0,005	32,00

El contenido promedio de partículas de grava es de 0,30%, de arena 52,8%, de limo 14,90% y de arcilla 32%.

El límite líquido de las arcillas de esta capa varía entre 29 y 43% (promedio 37%), el límite plástico fluctúa entre 14 y 19% (promedio 17%) y el índice plástico varía entre 18 y 34% (promedio 23%). El valor elevado del índice de plasticidad a pesar del contenido relativamente bajo de arcilla, se explica por la composición montmorillonítica del agregado arcilloso y por la presencia del ión sodio en los complejos absorbidos.

Las propiedades físico-mecánicas de las arcillas de la capa No. 3 se muestran a continuación en la tabla No. 3.

En los yacimientos naturales las arcillas de la capa No. 3 se encuentran en estado semi-sólido y poco plástico. El índice de consistencia (I<sub>c</sub>) varía de 0,2 a 0,31 (promedio 0,13). El peso volumétrico de estas arcillas es considerablemente mayor que el de las dos primeras capas, a causa de sus mejores cualidades de entrega de agua.

El coeficiente de porosidad varía entre 0,45 y 0,70 (promedio 0,67)

El ángulo de fricción interna, su cohesión e hinchamiento testimonian la alta solidez de estas arcillas en comparación con las capas 1 y 2.

### Conclusiones

Basándose en el análisis efectuado anteriormente, podemos obtener las siguientes conclusiones:

- 1.- Las arcillas cuaternarias marinas por su granulometría, plasticidad y demás propiedades físicas son muy homogéneas.

- 2.- Las arcillas de las capas Nos. 1, 2 y 3 tienen el índice y límites de plasticidad muy altos, lo que se explica por el alto contenido de partículas coloidales (más del 50%), por la juventud de los coloides, composición montmorillonítica del agregado arcilloso, y por la existencia del ión sodio en los complejos absorbidos (70% de todas las bases absorbidas).
- 3.- El contenido del ión sodio y la composición montmorillonítica condicionan el elevado hinchamiento de las arcillas estudiadas. Al construir las obras sobre estas arcillas en condiciones de inundación de las mismas, hay que poner atención al hinchamiento en general, y en particular a su hinchamiento no uniforme. Las causas del hinchamiento no uniforme en cortas distancias son, por lo visto, el resultado de la alteración de la solidez estructural del suelo. Según los ensayos experimentales, la alteración al estado natural del suelo provoca un incremento en su hinchamiento libre y fuerza de hinchamiento en un 15-35%. Al construir las obras hay que observar rigurosamente la no alteración del estado natural de las arcillas.
- 4.- Las arcillas de la capa No. 3 son más compactas y por ello sus índices de dureza son relativamente altos; y su hinchamiento es menor que el de las capas 1 y 2. Siempre que sea posible deben asentarse las obras en las arcillas de la capa No. 3. Asimismo, ellas constituyen materiales de construcción relativamente buenos.
- 5.- Para elevar la resistencia y reducir el hinchamiento de estas arcillas se pueden utilizar los métodos de estabilización salina y elaboración electroquímica del suelo. En caso de aplicar estos métodos es necesario estudiar minuciosamente la composición química y mineralógica, así como las propiedades físico-mecánicas de las arcillas en cada caso concreto.

#### Nota de los Redactores

Según Kuuziec y Solís, estos depósitos son cuaternarios marinos, pero en los mapas geológicos existentes se han clasificado como cuaternarios aluviales. Los resultados del análisis paleontológico de las capas Nos. 2 y 3 muestran que estos sedimentos carecen de fauna autóctona, y sólo presentan foraminíferos planotónicos redepositados del Paleógeno. El contenido arenoso de las muestras se compone de cuarzo y granos carbonatados principalmente, los cuales muestran poco rodamiento predominando los granos subangulares. Los granos están algo cementados. Todo esto, unido a los datos aportados por Kuuziec y Solís, permite suponer un origen aluvial-marino o lacustre-marino para estas capas. Respecto a su edad, según el estudio de los foraminíferos planotónicos de la capa No. 4 que yace debajo de las capas Nos. 1, 2 y 3 (que presenta una fauna compuesta de Globotallia cassiformis, Globigerinita cf. incrusta, Globigerina bulboides y otras formas probablemente redepositadas) puede considerarse Mioceno Superior a Reciente. Los redactores estimamos que dada la poca cantidad de muestras estudiadas desde el punto de vista paleontológico (5 muestras provenientes del Embalse 24), no es posible llegar a conclusiones definitivas en cuanto a la edad de estos sedimentos, y si amplían las dudas en cuanto a una posible mayor antigüedad de los mismos.

TABLA NO. 3

PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS ARCILLAS DE LA CAPA NO. 3

Propiedades	Peso espe- cifi- co	Peso volu- mé- tri- co	Hume- dad natu- ral	Coefi- ciente de sa- tura- ción	Coefi- ciente de po- rosi- dad	Angulo de fric- ción inter- na	Cohe- sión	Hin- cha- mien- to	Hin- cha- mien- to	Módulo de de- forma- ción
Indices										
Mínimo	2,70	1,86	16	0,63	0,45	11	0,30	0,1	0,2	60
Máximo	2,76	2,10	25	0,94	0,70	18	0,70	5,0	7	195
Promedio	2,72	1,96	20	0,81	0,67	15	0,45	0,80	2	120
Desviación promedio cuadrática	0,054	0,093	3,43	-	0,096	-	-	-	-	-
Coeficiente de variación	2%	47%	17,2	-	14%	-	-	-	-	-
Cantidad de ensayos	112	127	143	112	112	53	53	51	27	71



Literatura consultada:

- Chang, A., 1969 - Informe sobre las investigaciones ingeniero-geológicas del 2º tramo del Gran Canal No. 1 y sobre las variantes III y IV del Gran Canal No. 2. (Manuscrito)
- Cherniev, M., 1969 - Condiciones ingeniero-geológicas de la presa Sobabo (Manuscrito)
- Chervanash, V., 1968 - Condiciones hidrogeológicas del abasto de agua a la ciudad de Sobabo (Manuscrito)
- Molsky, E., 1968 - Condiciones ingeniero-geológicas de la presa Pedregales. (Manuscrito)
- Niculin, L., 1968 - Conclusiones sobre las condiciones ingeniero geológicas de los trazados de los canales: Principal, Gran Canal No. 1 y No. 2. (Manuscrito)
- Vorobiova, E., 1969 - Conclusiones preliminares sobre las condiciones ingeniero-geológicas del Embalse 24. (Manuscrito)
- Zabartkin, N., 1965 - Condiciones ingeniero-geológicas de la presa Guirabo en el río Matamoros. (Manuscrito)