

P-361

SEMINARIO ECUATORIANO  
DE SUELOS  
TROPICO-ANDINOS

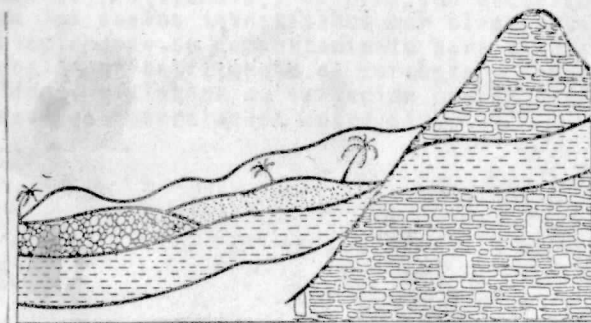
Guayaquil, Julio 1977

INCENMET  
BIENES CULTURALES  
54.810 05020  
INVENTARIO 1996



COMPORTAMIENTO DE SUELOS TROPICALES  
DE LAS RIBERAS DEL RIO AMAZONAS

ARNALDO CARRILLO GIL, I.C., M.enI.  
Ingeniero Consultor  
Profesor Principal de la  
Universidad Nacional de  
Ingeniería, Lima, Perú.



(1)

# COMPORTAMIENTO DE SUELOS TROPICALES DE LAS RIBERAS DEL RIO AMAZONAS.

ARNALDO CARRILLO GIL., I.C., M.I.

Ingeniero Consultor  
Profesor Principal de la  
Universidad Nacional de  
Ingeniería.- Lima, Perú.

## R E S U M E N

Se hace una evaluación del probable perfil de meteorización de los suelos tropicales de las riberas del Rio Amazonas ubicadas en las cercanías a los lugares críticos donde han ocurrido importantes deslizamientos debidos al tipo de suelos afectado por un incontrolado flujo de agua y el desarrollo de subpresiones de poro originados por los cambios de nivel del río y al efecto de las lluvias torrenciales de la zona.

Se dan rangos de variación de las características de resistencia y deformación encontrados en los suelos investigados por el autor, estableciéndose su comportamiento para valores reales de resistencia al cortante y compresibilidad, evaluando su variación con la profundidad y su correlación entre sí.

## INTRODUCCION

Debido a los continuos deslizamientos que han ocurrido en las orillas del Rio Amazonas, junto a la ciudad de Iquitos, Perú, se llevaron a cabo minuciosas investigaciones acerca del comportamiento físico-mecánico de los suelos que conforman el perfil de meteorización cercano a los lugares críticos, practicandose sondeos profundos con extracción de muestras inalteradas para su posterior ensaye en el laboratorio, ejecutandose además numerosos ensayos de campo que han permitido establecer ciertas conclusiones importantes acerca del comportamiento de estos suelos tropicales.

## PERFIL DE METEORIZACION

El perfil de meteorización en un suelo residual es la secuencia de materiales con diferentes propiedades físicas formada en el sitio en donde se encuentra y el cual yace sobre la roca meteorizada. Este perfil puede formarse debido a meteorización mecánica, o sea desintegración de la estructura original de la masa rocosa, o debido a meteorización química, es decir, a la descomposición de los materiales originales de dicha masa, considerandose que esta última es la que predomina en la zona investigada. Los perfiles de meteorización pueden cambiar considerablemente de un lugar a otro, debido a variaciones locales en el tipo y estructura de la roca madre, la topografía, la velocidad de erosión y las condiciones de agua subterránea además de las variaciones climáticas regionales, particularmente la pluviosidad (DEERE, 1971). El perfil de meteorización probable para la zona estudiada se indica en la Tabla I y ha sido obtenido en base a una adecuada correlación de los resultados de los sondeos practicados y algunas de las muchas clasificaciones de suelos residuales que se han publicado. (LITTLE, 1969)(RUXTON, 1957)

## DESPLAZAMIENTOS EN SUELOS RESIDUALES

El tipo de deslizamiento que se ha detectado en las riberas coincide con el mecanismo de falla establecido que indica que los continuos derrumbes se deben a la inestabilidad de los taludes de arena-limosa debido a flujo incontrolado de agua y a sobrepresiones intersticiales que se generan por la variación brusca del nivel del Rio Amazonas, por lo que se hace necesario un efectivo control de las filtraciones de agua que discurren a través del estrato permeable superior apoyado por una adecuada reducción de las presiones de poro a lo largo de las superficies de ruptura potenciales que se prevén en el talud, a fin de incrementar la resistencia al cortante y minimizar los problemas de su inestabilidad. Se ha determinado que el tipo de deslizamiento que normalmente se produce en estos suelos puede atribuirse a un movimiento somero que ocurre en el estrato superior, generalmente de tipo granular, sobre las arcillas subyacentes a las zonas IA y IB del perfil de meteorización probable, materiales que se deslizan por efecto de las filtraciones de agua que generan un aumento en las presiones neutras debido al discurrimiento del agua subterránea y a las grandes precipitaciones pluviales de la región selvática (CARRILLO, 1970)

De acuerdo con el origen geológico de las arcillas estudiadas (MARTINEZ, 1967) se considera que éstos suelos conformados por lutitas o limolitas calcáreas presentan frecuentemente una meteorización - de pequeño espesor, transición de roca a suelo muy gradual y un fisuramiento grande, mayor que en cualquier otro tipo de roca. Bjerrum (1966) establece que es común en arcillas residuales o lutitas plásticas la presencia de sistemas irregulares e intensos de pequeñas - fracturas debido a que el mecanismo de ruptura progresiva facilita la producción de grietas o fisuras que generalmente se disponen más o menos paralelas a la superficie del talud. Terzaghi y Peck (1967) indican que la abertura de fisuras y diaclasas en suelos tropicales se debe a la relajación de esfuerzos por meteorización mecánica.

En los casos investigados las capas de suelo yacen más o menos paralelas a la superficie del terreno, por lo que es probable que la reducción de esfuerzos verticales debido a descarga han originado la formación de diaclasas y fisuramientos en los que la meteorización puede progresar rápidamente a lo largo de ellos, lo que ha creado - venas o lentes de materiales orgánicos, arenas o limos que pueden - ser cauces aptos para filtraciones profundas de agua a través de la masa arcillosa o crearse con el tiempo una superficie de falla potencial o una superficie de ruptura continua en posición sensible - mente horizontal.

El desarrollo de un perfil de meteorización similar al estudiado y a la observación de los derrumbes ocurridos en las riberas así como los deslizamientos recientes indican que las rupturas típicas involucran el horizonte del perfil superior como un deslizamiento pequeño y de poca profundidad, sin embargo, cabe la posibilidad de que - puedan ocurrir deslizamientos profundos en los materiales arcillosos inferiores, ya que debido a las consideraciones anteriormente indicadas y a la presencia de estratos de turba y arena limosa intercalados en la masa arcillosa que se ha encontrado, la resistencia al corte disminuye considerablemente además que la discontinuidad de los lentes o capas permeables longitudinalmente al talud pueden en algunos casos restringir el movimiento del agua subterránea y conducir al desarrollo de sobrepresiones de poro que afectarían aún más la estabilidad o crearían una condición potencial de ruptura profunda en estos materiales, por lo que debe tomarse en cuenta que una - de las mayores incógnitas en la mayoría de estudios de estabilidad de taludes en arcillas residuales similares a este caso es la distribución de presiones de poro en la ladera, ya que se pueden presentar situaciones hidrogeológicas tales que favorezcan el desarrollo de sobrepresiones de poro, más aún debido al efecto de vaciado rápido que sufren estos suelos por los cambios del nivel de agua del río de la época de avenidas a la de estiaje. Estudios de Skempton y De Lory (1957) demuestran que para suelos saturados o donde los niveles de agua sean altos, si se ignora la componente cohesión - la resistencia al corte, los taludes en suelos residuales estarán - en el límite de estabilidad si su pendiente varía dentro de los límites de aproximadamente la mitad del ángulo de fricción interna - del suelo para resistencia al corte efectiva y la mitad del ángulo de resistencia al corte residual (generalmente drenado) sin embargo

pueden encontrarse amplias variaciones de estos parámetros debido a una distribución no-hidrostática de presiones de poro.

### COMPORTAMIENTO DEL SUELO

Después de interpretar y analizar los resultados de los ensayos de campo y laboratorio efectuados se establece que la formación geológica y la estratigrafía de la zona investigada indican una secuencia uniforme de capas de suelo a lo largo de toda la profundidad de exploración, distinguiéndose además una distribución de presiones efectivas y límites prácticamente lineal hasta los 50.00 metros de profundidad (Figura 1)

Las propiedades físicas del suelo también presentan uniformidad, estableciéndose que el suelo arcilloso tiene características de consistencia promedio comprendidas entre 50 % a 60 % para el límite líquido, 20 % a 30 % para el límite plástico, 12 % y 38 % para el límite de contracción y una media de humedad natural no mayor de 20 %.

Los resultados de los ensayos de resistencia al cortante efectuados en estos suelos indican valores muy dispersos, sin embargo, puede decirse que en la prueba de veleta practicada en suelos arcillosos de tipo residual y que generalmente se encuentran fisurados (ESCARIO, 1970) la medida de la resistencia al corte sin drenaje arroja siempre valores mucho más reales que los ensayos de laboratorio, debido en muchos casos a que los especímenes obtenidos para ensayarse en el laboratorio suelen estar más libres de fisuras que la masa total del suelo en estudio, además de tomar en cuenta también la tendencia del operador del laboratorio a escoger las partes más sanas de una muestra de suelo para efectuar sus ensayos, adicionándose a esto también los inconvenientes que pueden presentarse en la obtención de las muestras y su posterior manejo en el laboratorio. La resistencia al corte "in situ" por el ensayo de veleta arroja valores mucho más altos en casi todos los casos que la resistencia obtenida en el laboratorio, siendo el límite más bajo los resultados de los ensayos triaxiales y los más próximos, los resultados de los ensayos de Compresión-No-Confinada, hechos que concuerdan con la experiencia que se tiene en suelos parecidos (SKEMPTON, 1948) debido a la decompresión que sufren los suelos al ser obtenidos en profundidad y a la alteración de los especímenes a pesar del empleo de los métodos más cuidadosos en la toma de muestras.

Los resultados de los ensayos de veleta ejecutados a lo largo de todos los sondeos presentan uniformidad sin grandes variaciones dentro de la profundidad de exploración, encontrándose que en general estos valores están comprendidos entre 40 Tn/m<sup>2</sup>. y 70 Tn/m<sup>2</sup>. de resistencia al corte sin drenaje.

Los ensayos de Compresión Simple para las muestras inalteradas presentan valores muy dispersos con respecto a la profundidad (Figura 2)

Los ensayos Triaxiales presentan valores comprendidos entre 10 Tn/m<sup>2</sup> y 35 Tn/m<sup>2</sup> encontrándose un gradual aumento de resistencia con la profundidad.

Los ensayos de Penetración Normal también presentan valores similares y un gradual aumento del número N con la profundidad, estableciéndose un rango de variación entre 40 golpes/pié a 60 golpes/pié para los suelos superiores y de 90 golpes/pié a 140 golpes/pié para los suelos inferiores compactos.

Los suelos en general, no muestran un aumento considerable de resistencia al cortante "in situ" con la profundidad lo que parecería indicar la probabilidad de un cierto grado de preconsolidación, lo que supone que estos suelos estuvieron sometidos a una carga superior a la que existe actualmente, a pesar de que los valores calculados por los métodos convencionales de la carga de preconsolidación no lo demuestran así (magnitudes variables entre 1.50 kg/cm<sup>2</sup>. a 1,90 kg/cm<sup>2</sup>.)

En la parte superior de todos los sondeos aparecen materiales arenolimosos como una costra que han sido propensos a desecación y meteorización. La desecación crea presiones de poro negativas que aumentan las presiones entre las partículas de suelo y sobreconsolidan la arcilla. La desecación también favorece la alteración química, lo que provoca en el suelo una sobreconsolidación aparente, sin embargo, podríamos decir al igual que lo ocurrido en Brasil (VARGAS, 1953) que las arcillas residuales de la Selva Amazónica Peruana muestran indicios de sobreconsolidación en sus estratos superiores y consolidación normal en los inferiores, sin embargo no es aconsejable utilizar los términos "sobreconsolidado" y "normalmente consolidado" en el caso de estos suelos residuales.

El tiempo, variaciones de presión y condiciones de clima desde el instante de la formación del suelo pueden dar lugar a que un suelo tenga mayor resistencia en estado inalterado que en estado remoldeado (LAMBE, 1969). El término sensibilidad se emplea para describir esta diferencia de resistencia, la cual viene determinada por la relación entre la resistencias correspondientes al estado inalterado y amasado en el caso de la arcilla estudiada y en la mayor parte de los perfiles encontrados los suelos resultan poco sensibles a moderadamente sensibles con relaciones que no superan a 3 (tres) como grado de sensibilidad (Figura 3).

Sin embargo, se ha determinado que en algunos casos la resistencia remoldeada es mayor que la inalterada, hecho que podría deberse al estado de fisuramiento interno de las muestras y/o a la alteración que pueden sufrir con el manipuleo de laboratorio.

6

## CONCLUSIONES

1. De acuerdo a lo establecido para los valores reales de resistencia al cortante de estos suelos tropicales del Perú, se han tomado todos los resultados de cada sondeo para obtener una línea de variación ajustada por el método de los mínimos cuadrados que representa una probable variación de la resistencia con la profundidad (Figura 4). Se establece que existe cierta uniformidad en las ecuaciones correspondientes a la mayor parte de los sondeos, no así con las ecuaciones de los restantes en los que la dispersión de puntos originan resultados distintos, de lo que deducimos finalmente que es posible adoptar valores de resistencia al corte para el suelo comprendidos entre 3.00 kg/cm<sup>2</sup>. y 7.00 kg/cm<sup>2</sup>. de acuerdo a la profundidad y a las presiones efectivas a imponerse al suelo (CARRILLO, 1973).
2. Igualmente con respecto a la compresibilidad del suelo se han determinado algunos parámetros en estas arcillas para rangos de presiones comprendidas entre 1.00 kg/cm<sup>2</sup>. y 3.00 kg/cm<sup>2</sup>. encontrándose que el coeficiente de compresibilidad varía entre :  $a_v = 0.0093 \text{ cm}^2/\text{kg}$  a  $a_v = 0.0166 \text{ cm}^2/\text{kg}$ . y coeficiente de variación volumétrica entre  $m_v = 0.00612 \text{ cm}^2/\text{kg}$ . a  $m_v = 0.01740 \text{ cm}^2/\text{kg}$ .
3. De acuerdo con los trabajos de Skempton (1951) se establece que la compresibilidad de un estrato particular de arcilla varía inversamente con la resistencia, desarrollándose una forma de obtener una relación para la variación de la compresibilidad con la profundidad que puede ser expresada como una ecuación. Para los suelos arcillosos estudiados y en base a los pocos ensayos realizados se ha deducido la relación aproximada :  
$$\frac{1}{m_v} = 26.2c$$
 que puede resultar útil para verificar los resultados de laboratorio y el ploteo de los cambios de compresibilidad con la profundidad.
4. Finalmente se ha establecido cierta correlación entre la compresibilidad y la resistencia al cortante (SKEMPTON, 1957) para los resultados de los especímenes ensayados en el edómetro y en la cámara triaxial (Figura 5).

REFERENCIAS :

- BJERRUM, L., 1966 "Mechanism of Progression failure in slopes of over-consolidated plastic clay and clay shales" 3<sup>o</sup> Terzaghi Lecture-ASCE Journal Soil Mech., Vol 93, SM5, pp 3-49, U.S.A.
- CARRILLO, A.G., 1970 "Contribución al Estudio de las Causas que Originan los derrumbes en la ciudad de Iquitos y su Solución Inmediata" Revista "Estructuras y Construcción" U.N.I. Vol. 6 - N<sup>o</sup>21, pp.11-15, Lima-Perú.
- CARRILLO, A.G., 1973 "Asesoramiento y Exploración de Mecánica de Suelos para las Obras de Defensa Ribereña-Iquitos- Informe Técnico Arnaldo Carrillo + Asociados, Ingenieros Consultores, Lima, Perú.
- DEERE, D.U., PATTON, F.D., 1971 "Estabilidad de Taludes en Suelos Residuales" Procc. 4to. Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones-Puerto Rico, Vol 1 -pp.185, Puerto Rico.
- ESCARIO, V., JUSTO, A., 1970 " Resistencia al Esfuerzo Cortante de los Suelos" Editorial Donat S.A. - España.
- LAMBE, T.W., WHITMAN, R.V., 1969 "Soil Mechanics" Editorial John Willey and Sons Inc. -New York, U.S.A.
- LITTLE, A.L., 1969 "The Engineering Clasification of Residual Tropical Soil" Procc. Specialty Sess: Engineering Properties of Lateritic Soils - Seven International Conference on Soil Mechanic and Foundation Eng.- México.
- MARTINEZ, A.V., 1967 "Estudio de los Sedimentos de Iquitos y sus consideraciones en los Derrumbes de la Ribera del Amazonas" Edic. UNIFIC, Lab. G.G.A.- Lima, Perú.
- RUXTON, B.F., and BERRY, L., 1957 "Weathering of Granite and Associated erosional Features in Hong Kong" Bull. Geol. Soc. Amer., Vol 68-pp. 1263-1292 - U.S.A.
- SKEMPTON, A.W., 1948 "Vane Test in the Aluvial Plain of the River Forth near Grangemouth" Geotechnique - pp. 111-124.-London.
- SKEMPTON, A.W., 1951 "The Bearing Capacity of Clays" Bldg Res. Congress Papers-Div, 1 pp. 180-89, London.
- SKEMPTON, A.W., DE'LORY, F.A., 1957 "Stability of Natural Slopes in London Clay" Procc. 4th. Int. Conf. Soil Mech. and Found. Eng.-Vol II, pp 378-381., London.



SKEMPTON, A.W., 1957 "Test on London Clay from Deep Boring at Paddington, Victoria and South Bank" - Procc Fourth Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. - Vol. I - pp 10-106, London.

TERZAGHI, K., PECK, R.B., 1967 "Soil Mechanics in Engineering Practice" 2nd. Ed. John Wiley and Sons Inc. - U.S.A.

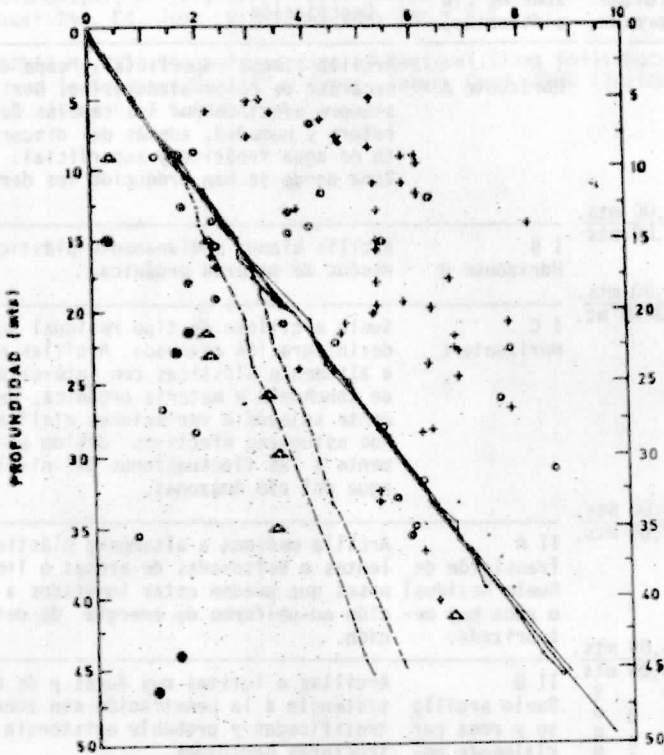
VARGAS, M., 1953 "Some Properties of Residual Clays Soils Occurring in Southern Brazil" - Procc. Inter. Conf. SMFE (Zurich) Vol. 1, pp 67 - Sufza.

T A B L A I

PROBABLE PERFIL DE METEORIZACION

Profund. Aproxim.	Zona de Clasificación.	Descripción .
	I A Horizonte A	Arcilla limosa superficial y capa de arena sacarosa de color blanquesino, Horizonte siempre afectado por los cambios de temperatura y humedad, además del discurrimiento de agua freática y superficial. Zona donde se han producido los derrumbes.
6.00 mts. a 9.00 mts.	I B Horizonte B	Arcilla blanda medianamente plástica con restos de materia orgánica.
7.00 mts. a 13.00 mt.	I C Horizonte C	Suelo arcilloso de tipo residual joven con desintegración avanzada. Arcillas mediana a altamente plásticas con intercalaciones de conchuela y materia orgánica, generalmente sujetos a variaciones cíclicas en los esfuerzos efectivos debido probablemente a las fluctuaciones del nivel de agua del río Amazonas.
18.00 mts. a 21.00 mts.	II A Transición de Suelo Residual o roca muy meteorizada.	Arcilla mediana a altamente plástica con lentes o bolsonadas de arenas o limos arenosos que pueden estar sometidos a liberación no-uniforme de energía de deformación.
35.00 mts. a 38.00 mts. F i d e n p e d a l l	II B Suelo arcilloso y roca parcialmente meteorizada	Arcillas o lutitas muy duras y de alta resistencia a la penetración con zonas estratificadas y probable existencia de estructuras heredadas.
40.00 mt. a 50.00 mt.	III Roca no-meteorizada (roca madre)	Se supone que más allá de la profundidad de sondeo se encuentran materiales arcillosos (probablemente lutitas y limolitas cálcareas) como roca madre del suelo residual.

PRESIONES TOTALES Y EFECTIVAS



LEYENDA:  
 — PRESIONES TOTALES      - - - - PRESIONES EFECTIVAS  
 ○ RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE  
 △ RESISTENCIA A LA COMPRESION TRIAXIAL  
 + RESISTENCIA AL CORTANTE "IN SITU"  
 ◻ CARGA DE PRECONSOLIDACION

FIG. 1 - RESISTENCIA AL CORTANTE Y VARIACION TIPICA DE PRESIONES EFECTIVAS EN LOS SUELOS TROPICALES.

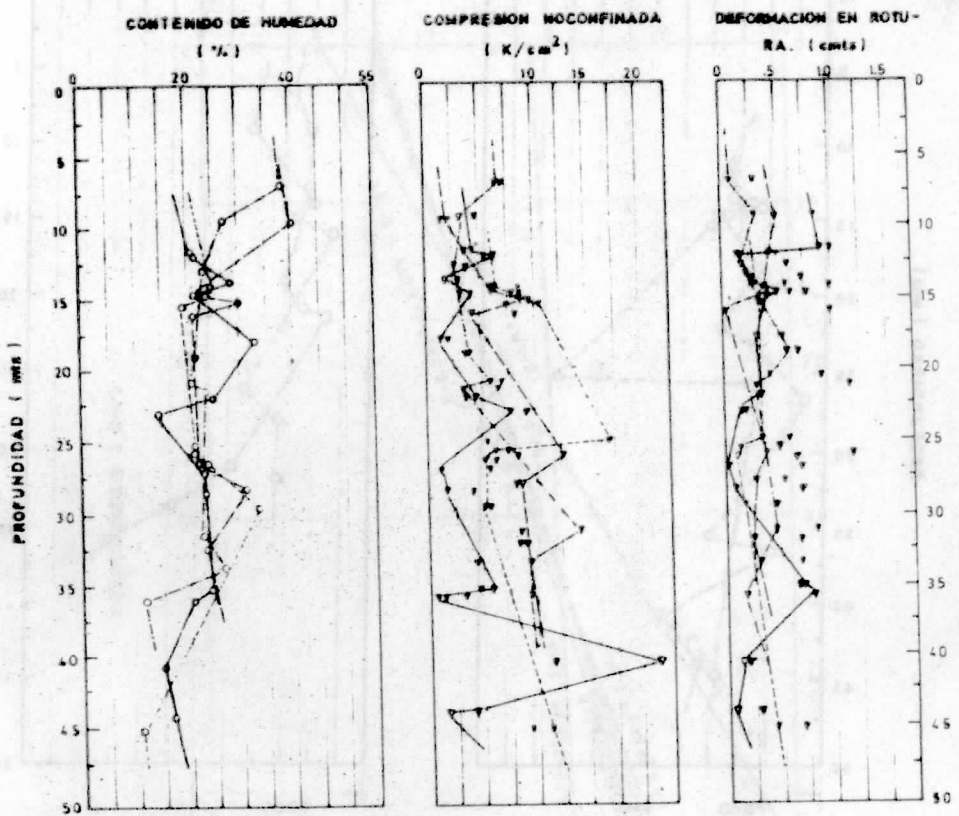


FIG. 2 — CONTENIDO DE HUMEDAD Y RESISTENCIA ULTIMA EN EL SUELO TROPICAL-IQUITOS.

GRADO DE SENSIBILIDAD

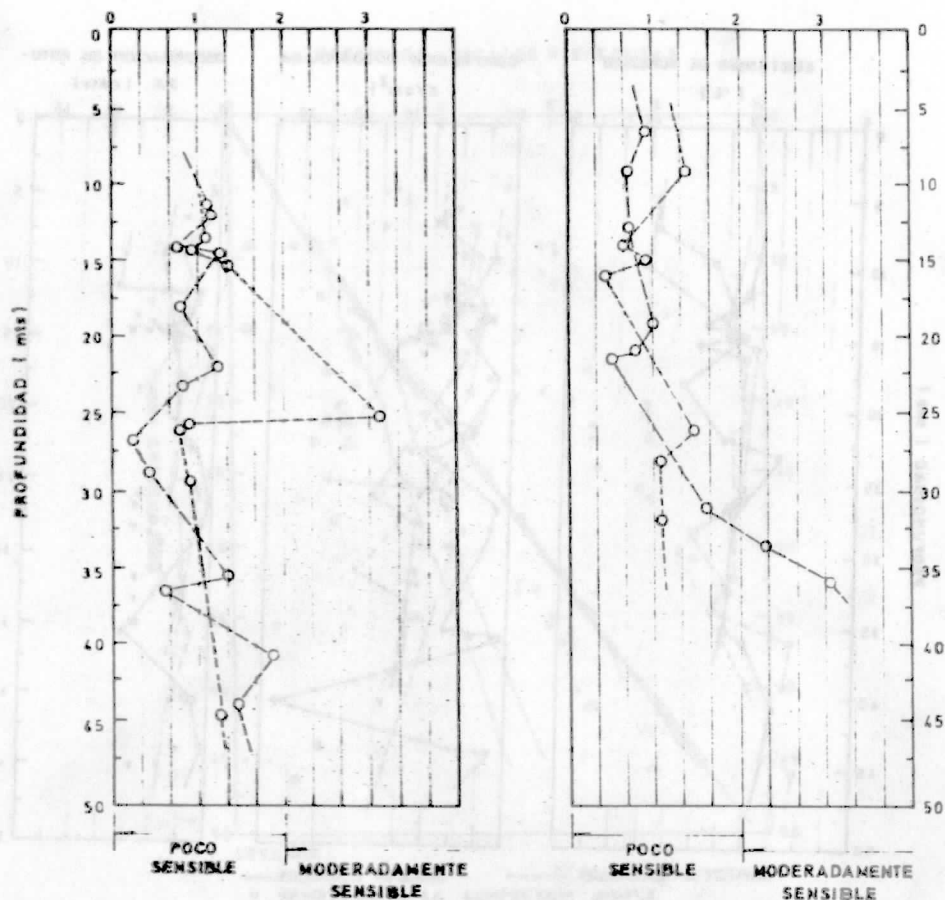


FIG. 3 - GRADO DE SENSIBILIDAD DE LOS SUELOS ARCILLOSOS TROPICALES.

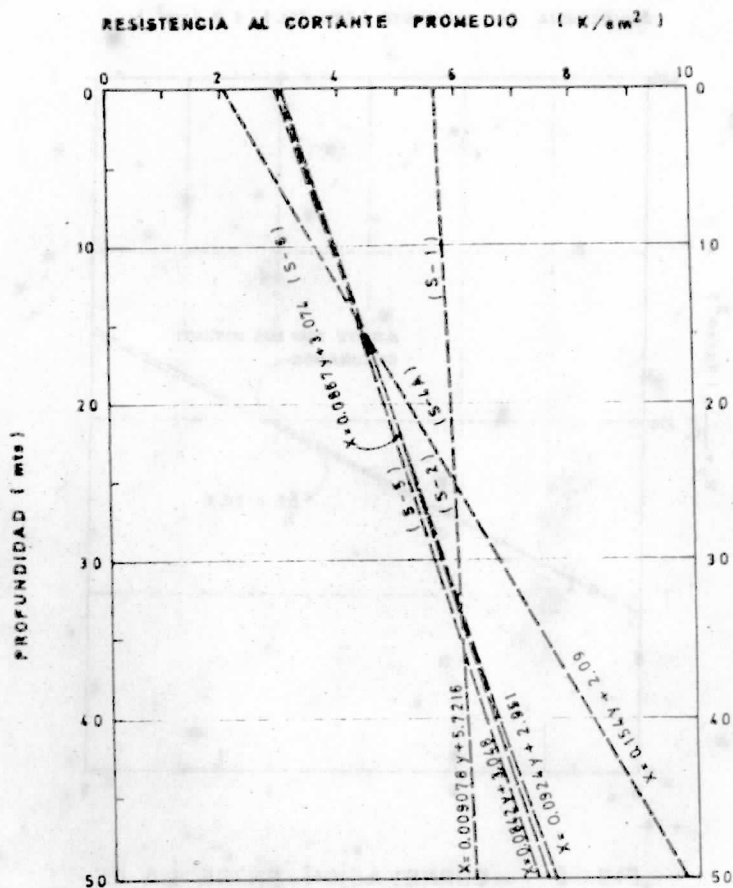


FIG. 4 - CORRELACION ENTRE LA RESISTENCIA DE CORTANTE Y LA PROFUNDIDAD EN LOS SUELOS TROPICALES DE SELVA.

RESISTENCIA AL CORTANTE (TRIAxIAL) (K/cm<sup>2</sup>)

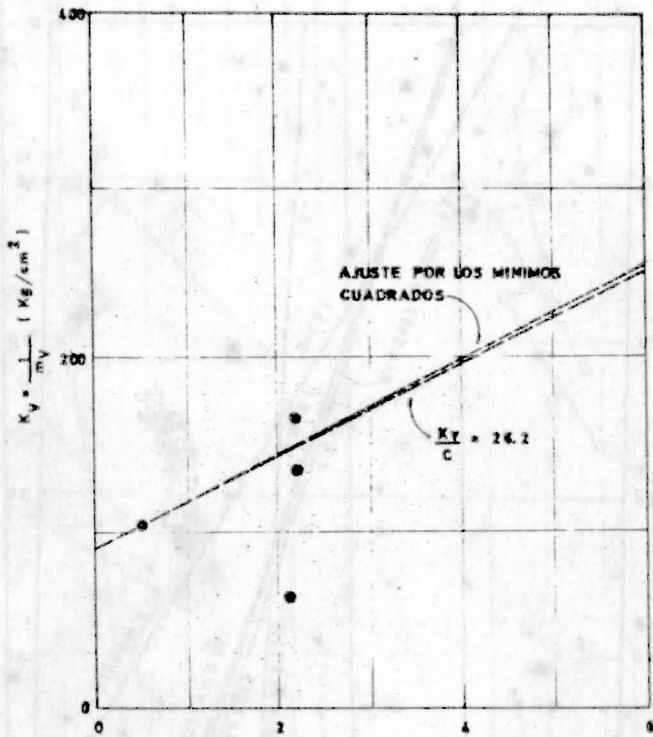


FIG. 5 - CORRELACION ENTRE LA RESISTENCIA AL CORTANTE Y LA COMPRESIBILIDAD DE LOS SUELOS TROPICALES.