

## ANÁLISIS DE ENSAYOS DE ANCLAJES EN SUELOS TROPICALES MISIONEROS <sup>1</sup>

Hugo Orlando Reinert<sup>2</sup>; Daniel Antonio Bressan<sup>3</sup>; Gustavo Orlando Bogado<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Proyecto de Investigación. Código 16/I109. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Misiones (UNaM). Argentina.

<sup>2</sup> Docente Investigador. Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Misiones (UNaM). Argentina.

<sup>3</sup> Docente Investigador. Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Misiones (UNaM). Argentina.

<sup>4</sup> Docente Investigador. Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Misiones (UNaM). Argentina.

### Resumen

En el presente trabajo se detallan los resultados obtenidos de ensayos desarrollados en campo y laboratorio como parte del proyecto de investigación código 16/I109 acreditado en la Facultad de Ingeniería de la U.Na.M., el cual tiene como objetivo general la determinación de los parámetros de diseño mecánicos y geotécnicos necesarios para el análisis y cálculo de anclajes pasivos realizados en suelos residuales de la provincia de Misiones. Se desarrollaron una serie de 10 ensayos de extracción de anclajes elaborados en campo a escala natural, teniendo presente diámetros de 0.15 y 0.20 metros y profundidad de anclaje de 1.50 metros medidos desde superficie. Los valores registrados se vuelcan en una curva carga-desplazamiento, detallándose además como valores característicos la carga máxima alcanzada, la deformación asociada, y la tasa de carga promedio en un intervalo de 10 segundos en torno al valor de rotura. Se extrajeron muestras de suelo de campo y se determinaron en laboratorio mediante ensayos triaxiales los valores de parámetros resistentes del suelo, con los cuales se verificaron los resultados obtenidos. Las capacidades de carga obtenidas se compararon con formulas empíricas. Los resultados muestran diferencias sustanciales en la capacidad de carga de fricción asociada, conforme cálculos precedentes.

**Palabras Clave:** *Suelos - Geotecnia - Anclajes*

### Introducción

En el diseño estructural de la vinculación estructura resistente y suelo, se presenta la necesidad de utilizar sistemas que transmiten al estrato de suelo solicitaciones (fundación excéntricas, bases de muros de sostenimiento, anclajes de mástiles y antenas), empleándose en general soluciones mediante sistemas estabilizantes gravitacionales o bien con anclajes diseñados y calculados con parámetros obtenidos de tablas de suelos equivalentes.

El suelo de la Provincia de Misiones, producto de la meteorización de la roca basáltica, presenta algunas características propias y que ameritan ser estudiadas, dado que el comportamiento geomecánico se encuentra influenciado por el propio proceso de formación de los suelos residuales, los cuales en general presentan variaciones en profundidad desde un suelo colorado superficial, a un saprolito, y luego a roca basáltica,

definiéndose entre cada una de ellas una zona de transición con características propias (De Salvo, 1990; Bogado *et. al.*, 2017).

Para la determinación de los parámetros de diseño mecánicos y geotécnicos necesarios para el análisis y cálculo de anclajes pasivos realizados en suelos colorados lateríticos, resulta necesario contar con datos de ensayos reales a fin de poder calibrar modelos de cálculo aplicables al suelo característico de la Región.

En el presente trabajo se llevaron a cabo pruebas en el manto de suelo colorado laterítico, caracterizado como un limo arcilloso o arcilla limosa de alta plasticidad, conforme la clasificación dada por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Se ejecutaron un total de 20 anclajes ubicados en un predio cedido por una Empresa Constructora del medio en la Ciudad de Aristóbulo del Valle, Misiones, evaluándose en el presente trabajo los resultados obtenidos en los primeros 10 anclajes ensayados.

Se analizaron dos variantes de diámetro (0.15 y 0.20 metros) y una longitud de anclaje de 1.50 metros, y los resultados de campo constituyen un importante insumo para el análisis de magnitud de carga de rotura, niveles de deformación alcanzados en rotura, la velocidad de carga aplicada y su relevancia en los resultados.

Asimismo se realizaron los cálculos de capacidad de carga friccional conforme los criterios de la mecánica de suelos tradicional, haciendo uso de las ecuaciones propuestas por Vesic (1977), Meyerhof (1976), y Coyle y Castello (1981).

El objetivo principal del presente trabajo es la comparación de los resultados alcanzados en ensayos reales de campo, con los valores teóricos determinados por las ecuaciones correspondientes.

### **Metodología**

Se realizó la extracción de una serie de 10 ensayos de anclajes en campo, para lo cual se emplearon desarrollos de implementos tanto de ejecución de los pozos, como asimismo en el diseño de dispositivos de interacción entre el anclaje de hormigón, las celdas de cargas y sistemas de medición.

El Hormigón empleado posee una resistencia característica de  $210 \text{ kg/cm}^2$  (H-21), y el gancho de acero plegado tipo lazo para amarre del gato de extracción es de 12 milímetros de ADN-420. Todas especificaciones cumplimentando los requerimientos del CIRSOC 201.

Para la realización de la extracción de los anclajes se utilizó un equipo de carga diseñado y construido para tal fin, dado que al momento de inicio de las tareas de investigación no se contaba con ningún equipamiento necesario.

En la Figura 1 se detalla en imágenes fotográficas el conjunto de ensayo armado, donde se puede apreciar a la izquierda el pórtico de carga originalmente desarrollado, el cual debió ser modificado ampliando su longitud, a fin de que las patas del mismo no se encuentren dentro de lo que se denomina cono de falla del anclaje.

Asimismo se muestra el equipo hidráulico y los dispositivos de comando correspondientes, junto al detalle del armado del comparador de deformaciones ubicado a un lateral de la horquilla de fijación al anclaje para su extracción.

En cuanto al procedimiento de ensayo, la central de adquisición toma los datos de carga y desplazamiento. Los datos de cargas son enviados al dispositivo desde la celda de carga

que se encuentra entre el sistema hidráulico de carga y el gancho de tiro del anclaje conforme se puede apreciar en las Figuras 1 y 2.

La celda de carga de tracción se encuentra entre las horquillas de tiro del sistema de carga y su capacidad máxima es de 10 toneladas. Para la medición de los desplazamientos se utilizó un comparador digital que envía en tiempo real a la central el desplazamiento referido a una regla fija apoyada fuera del círculo de rotura del anclaje.



Figura 1: Imágenes fotográficas del equipamiento empleado en campo.



Figura 2: Detalle de equipamiento y ejecución de ensayo de extracción en campo.

Se indica además en la Figura 3 una imagen fotográfica con el resultado final de campo, donde se aprecia la falla a nivel superficial del anclaje, pudiendo asociarse la misma a la formación de un cono de falla del suelo superior que se mantiene adherido al anclaje.

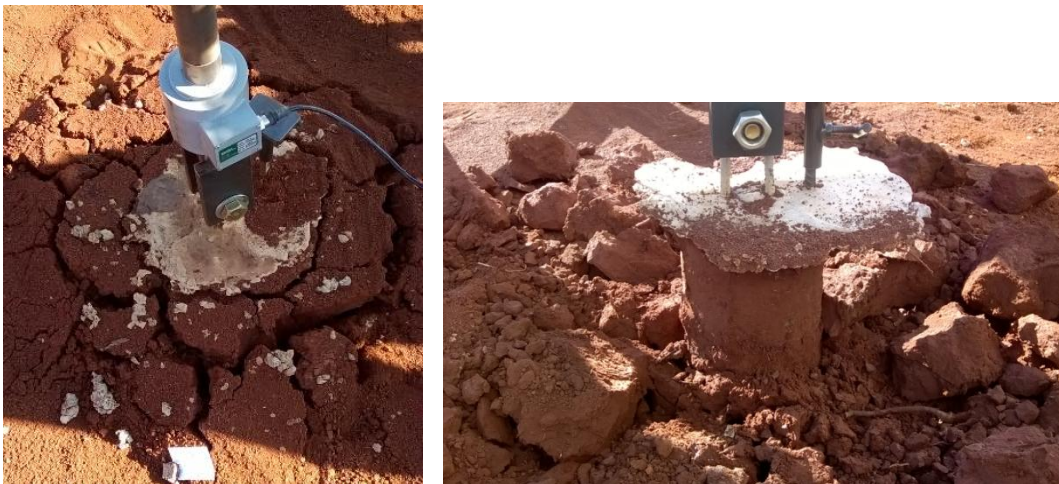


Figura 3: Imagen fotográfica resultado de extracción de anclaje en campo hasta rotura.

En cuanto a las determinaciones de los parámetros resistentes, se realizaron ensayos no consolidados no drenados a humedad natural con probetas talladas de tres damas de suelo extraídas de la zona de obra en las fechas de ensayos de campo.

Se realizaron un total de seis ensayos triaxiales adoptándose para los cálculos los valores medios de peso unitario, cohesión y ángulo de fricción interna del suelo.

El cálculo de capacidad de carga friccional del anclaje se realizó conforme los criterios de la mecánica de suelos tradicional, haciendo uso de las ecuaciones propuestas por Vesic (1977), Meyerhof (1976), y Coyle y Castello (1981), y considerando al anclaje como un pilote con fricción en fuste sin tener presente la capacidad de carga de la punta.

Conforme las observaciones de campo, se optó por considerar dos esquemas de falla del anclaje a los fines de evaluar los valores de carga teóricos. Estos esquemas se detallan en la Figura 4, presentándose el Caso (a) con fricción en parte del fuste y la formación de un cono de falla dentro del suelo; y el Caso (b) donde se consideró la fricción en toda la superficie de contacto del anclaje con el suelo, es decir el área de fuste.

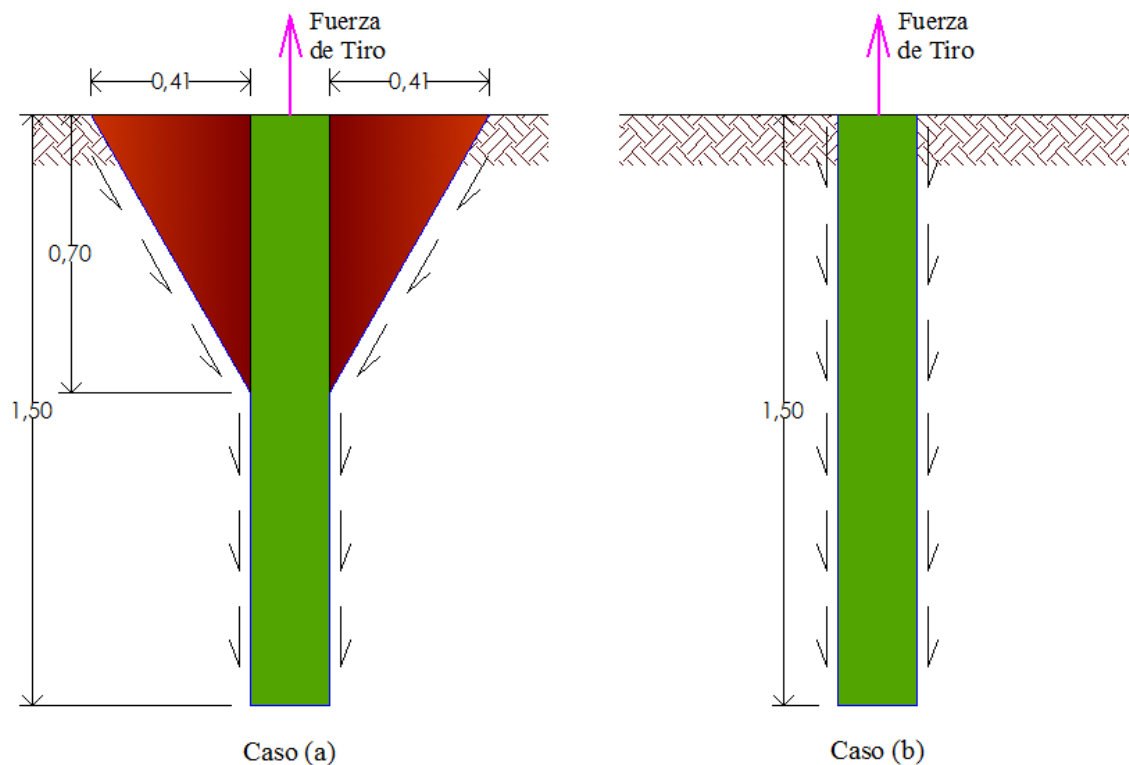


Figura 4: Imagen esquemática de casos analizados.

## Resultados y Discusión

En la Figura N° 5 y Tabla N°1 se detallan los datos geométricos de los anclajes hormigonados, y los valores de rotura obtenidos tanto de la carga, como de la deformación y la tasa de carga correspondiente.

Como se aprecia en la Tabla N°1 todos los anclajes tienen una profundidad de 1.50 metros, mientras que del anclaje 1 a 5 el diámetro es de 0.20 metros, y del anclaje 6 al 10 el diámetro es de 0.15 metros.

Para el caso del anclaje 1 no se ha podido llevar adelante el ensayo debido que al momento de asistir a la obra para realizar el ensayo, el gancho donde se debía amarrar el gato de extracción, se encontraba cortado, así que se debió descartar el ensayo del anclaje.

En la Figura N° 5 se presenta en forma de gráfico carga-desplazamiento los valores registrados con una frecuencia de 0.20 segundos en cada ensayo, lo que permite tener una buena sensibilidad en cuanto al comportamiento de cada elemento ensayado.

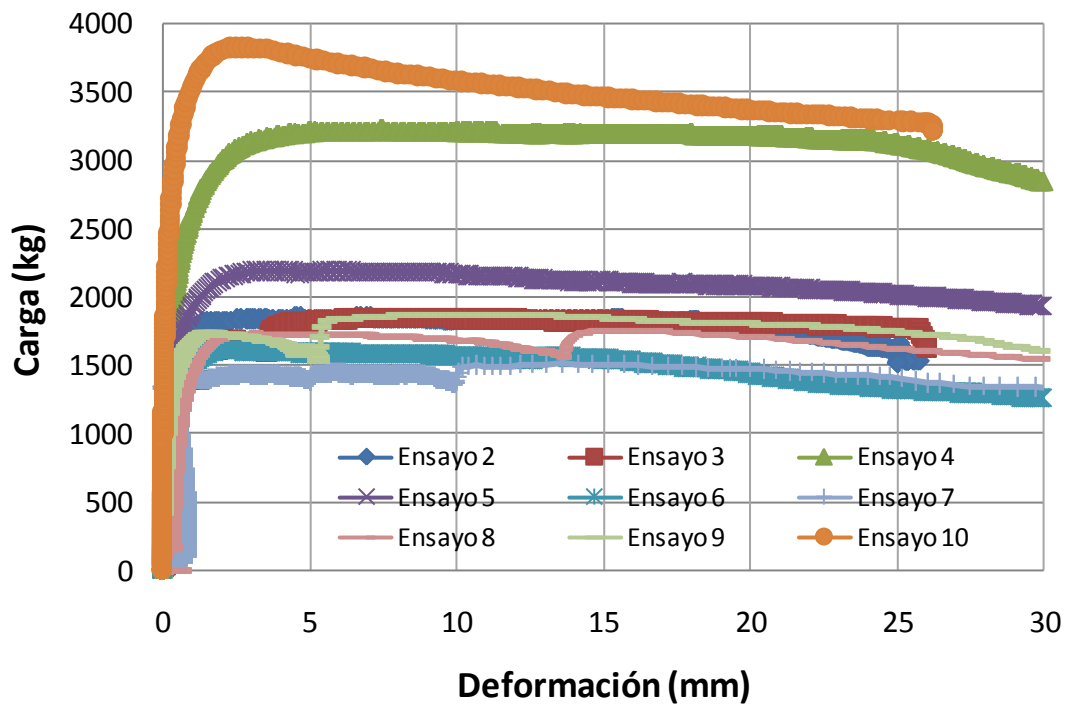


Figura 5: Curvas Carga-deformación obtenidos en ensayos válidos.

Tabla 1: Detalles geométricos y guarismos de rotura para los 10 ensayos desarrollados.

Ensayo N°	Geometría		Guarismos de Rotura		
	Diámetro (m)	Profundidad (m)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Tasa (mm/min)
1	0.20	1.50	-	-	-
2	0.20	1.50	1852.15	9.93	21.42
3	0.20	1.50	1847.28	7.34	40.62
4	0.20	1.50	3223.79	7.53	27.96
5	0.20	1.50	2189.94	3.89	31.56
6	0.15	1.50	1609.20	2.09	13.50
7	0.15	1.50	1513.61	13.62	64.80
8	0.15	1.50	1756.12	16.16	68.52
9	0.15	1.50	1875.00	10.65	67.74
10	0.15	1.50	3827.51	2.72	52.08

Los resultados indican una clara carga máxima de rotura, con una forma de curva característica, con zona inicial que se podría asimilar a una correlación lineal y una segunda zona con carácter de fluencia, es decir una deformación sin incremento de carga y aun con disminución de la carga cuando ésta se continúa evaluando a grandes desplazamientos.

Una primera observación indica que tanto el anclaje 4 como el 10 presentan valores extremos muy superiores a los demás, no habiendo correlación directa entre el diámetro de los mismos y los guarismos obtenidos, dado que el anclaje de mayor diámetro (0.20 metros), presenta menor valor de carga último que el de menor diámetro (0.15 metros).

Respecto de los demás ensayos se observa una sensible diferencia entre los valores últimos alcanzados para anclajes de 0.20 metros, y los de 0.15 metros de diámetro, pero sin una clara tendencia o rango marcado.

En cuanto a los desplazamientos o deformaciones de rotura también se observa una rango amplio de variación, y sin tendencia definida, aunque sensiblemente mayores en el caso de los anclajes de 0.15 metros.

Finalmente el valor de velocidad promedio de carga se obtuvo para un entorno de 10 segundos del valor de carga máxima, es decir, promediando las velocidades instantáneas 5 segundos antes y 5 segundos después de la misma. Los guarismos indican una importante variación entre los diferentes ensayos, siendo esto una de las dificultades encontradas en el procedimiento de aplicación de carga, dado que el equipamiento desarrollado manifiesta esta limitación.

Como se mencionara precedentemente, para la determinación de la capacidad de carga en fricción se considera el análisis como un pilote con fricción en fuste sin tener presente la capacidad de carga de la punta. Para ello se hace uso de las recomendaciones propuestas por Vesic (1977), Meyerhof (1976), y Coyle y Castello (1981).

La capacidad de carga de punta viene dada por:

$$q_p = c \cdot N_c^* + q \cdot N_q^*$$

*Donde:*  $N_c^*, N_q^* \rightarrow$  Factores de Capacidad de la Carga que incluyen los factores necesarios de forma y profundidad.

La resistencia friccional de fuste viene dada por:

$$q_f = \alpha \cdot c + K \cdot \sigma_v \cdot \tan(\delta)$$

*Donde:*  $\alpha \rightarrow$  Factor de adherencia.

$K \rightarrow$  Coeficiente de empuje efectivo del suelo.

$\sigma_v \rightarrow$  Esfuerzo vertical efectivo a la profundidad considerada.

$\delta \rightarrow$  Ángulo de fricción entre suelo y hormigón.

Para el análisis de la capacidad de carga correspondiente, se consideró una cohesión mínima obtenida de  $0.35 \text{ kg/cm}^2$ , ángulo de fricción mínimo obtenido de  $15^\circ$ , y peso unitario promedio de  $1500 \text{ kg/m}^3$ .

Asimismo, en cuanto a la geometría de los pilotes se consideraron para las determinaciones, los diámetros de referencia de 0.15 a 0.20 metros con longitud de desarrollo de 1.50 metros.

Para tales situaciones la resistencia friccional última resultante es de  $0.309 \text{ kg/cm}^2$ .

En la Tabla 2 se detallan los datos geométricos y valores de rotura obtenidos en campo, junto al correspondiente análisis de resistencia friccional asociada, conforme los dos criterios considerados en el caso (a) y el (b) correspondientes a Falla Tipo I y Falla Tipo II.

Tabla 2: Detalles geométricos, valores de rotura en campo y carga de rotura friccional.

Ensayo N°	Geometría		Carga de Rotura (kg)	Carga de Rotura Friccional	
	Diámetro	Profundidad		Falla Tipo I	Falla Tipo II
	(m)	(m)		(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
1	0.20	1.50	-	-	-
2	0.20	1.50	1852.15	0.184	0.171
3	0.20	1.50	1847.28	0.184	0.171
4	0.20	1.50	3223.79	0.330	0.308
5	0.20	1.50	2189.94	0.225	0.210
<b>Promedio Valores Validos</b>			<b>1963.12</b>	<b>0.198</b>	<b>0.184</b>
6	0.15	1.50	1609.20	0.218	0.204
7	0.15	1.50	1513.61	0.205	0.191
8	0.15	1.50	1756.12	0.239	0.223
9	0.15	1.50	1875.00	0.256	0.239
10	0.15	1.50	3827.51	0.542	0.507
<b>Promedio Valores Validos</b>			<b>1688.48</b>	<b>0.230</b>	<b>0.214</b>

Los pilotes 4 y 10 se han resaltado en la Tabla 2 con el objeto de poner en evidencia su distanciamiento respecto de los demás ensayos, motivo por el cual se los descarta para el cálculo de lo indicado como promedio de valores (validos).

En la Tabla 3 se detallan los valores promedio de referencia para los casos analizados, junto al valor determinado como teórico conforme las ecuaciones detalladas precedentemente.

Tabla 3: Detalles geométricos, valores de rotura y admisibles considerados.

Referencia	Diámetro	Teórica	Falla Tipo I	Falla Tipo II
	(m)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
Promedio Rotura	0.15	0.309	0.198	0.184
Promedio Admisible	0.15	0.124	0.079	0.074
Promedio Rotura	0.20	0.309	0.230	0.214
Promedio Admisible	0.20	0.124	0.092	0.086

Los resultados indican que las mediciones de campo con el correspondiente análisis posterior de Tipo de Falla, denotan que los cálculos realizados tradicionalmente otorgan al modelo ensayado valores considerablemente superiores a los efectivamente medidos, siendo estos en el orden del 60% del valor teórico considerando diámetros de 0.15 metros, y del 70% para el caso de diámetros de 0.20 metros.



## Conclusiones

Se elaboraron y ensayaron en campo diez anclajes de hormigón en suelo colorado laterítico de misiones, cinco de 0.15 metros de diámetro, y cinco de 0.20 metros de diámetro, todos ellos de 1.50 metros de longitud. Se registraron las curvas carga desplazamiento junto a la deformación asociada a la rotura y la tasa de carga efectiva al momento de la falla, observándose dispersiones en los resultados.

Se extrajeron muestras de suelo inalterado en campo y se desarrollaron los ensayos triaxiales para la definición de cohesión y ángulo de fricción interna del suelo, con los cuales se procedió a la determinación teórica de capacidad de carga en fricción de los anclajes, la cual en rotura presente una resistencia de  $0.309 \text{ kg/cm}^2$ .

Se consideraron dos modelos de falla general, una con el análisis de formación de un cono de falla en el suelo y fricción en parte del anclaje, y el otro con fricción en todo el desarrollo del anclaje. Los resultados muestra diferencias menores entre ambos tipos de falla, pero estas diferencias se incrementan al considerar el cambio de diámetro de los anclajes, pasando de  $0.191 \text{ kg/cm}^2$  a  $0.222 \text{ kg/cm}^2$  en promedio.

La comparación de estos valores respecto del valor teórico determinado con los parámetros geomecánicos del suelo y las ecuaciones correspondiente, indican que la resistencia medida en campo es del orden de un 60% o un 70% del valor teórico, según el diámetro considerado.

## Referencias

- Bogado, G. O., Reinert, H. O., & Francisca, F. M. (2017). *Geotechnical properties of residual soils from the North-east of Argentina*. International Journal of Geotechnical Engineering, 1-10.
- De Salvo, O. E. (1990). *El Perfil de Meteorización de las Rocas Basálticas y su Importancia en la Ingeniería de Fundaciones*. Revista Técnica de las Asociaciones Paraguayas de Estructuras y Geotecnia (APE y APG). Ediciones y Arte SRL. Año 1, Nro 1, Octubre 1990. Asunción, Paraguay. p. 33-46.
- Fookes, P. G. (2004). *Suelos Residuales Tropicales*. Hombre Nuevo Editores. Medellín, Colombia. p. 235.
- Gidigasú, M. D. (1976). *Laterite Soil Engineering – Pedogenesis and Engineering Principles*. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam. p. 554.
- Navarro, R.U. (2002) Manual de Anclajes en Obras de Tierras. Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes. Mérida. Venezuela. p. 214.