

Comparación de Parámetros Resistentes de Suelos Regionales Según Energía de Compactación

Drewes, Ingrid B. ^a; Piñeyro, Verónica A. ^a; Reinehr, María T. ^a; Semañuk, Mario A. ^a;
Morgenstern, Melina E. ^a; Drewes, Mario ^b; Reinert, Hugo O. ^c; Pintos, Nicolás A. ^d; Bogado,
Gustavo O. ^d.

^a Integrante del Proyecto, Becario de Grado, Estudiante de Ingeniería Civil, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.

^b Estudiante de Ingeniería Civil, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.

^c Co-director del Proyecto, Ingeniero Civil, Docente Departamento de Ingeniería Civil, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.

^d Integrante del Proyecto, Ingeniero Civil, Docente Departamento de Ingeniería Civil, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.

e-mails: ingridbdrewes@gmail.com, veronica.alejandra.93@gmail.com.ar, taniareinehr@gmail.com.ar,
msem1994@gmail.com.ar, meelimor04@gmail.com, mariodrewes98@gmail.com.ar, reinert@fio.unam.edu.ar,
nicolasagustinpintos@gmail.com.ar, gustavobogado@fio.unam.edu.ar

Resumen

En el presente trabajo se exponen los resultados obtenidos de ensayos de laboratorio y su análisis como parte del Proyecto de investigación Código 016 / I145, con el objetivo global de contar con un registro de los guarismos que aportan resistencia a los suelos residuales compactados regionales. Se analizan particularmente las diferencias entre la cohesión y en ángulo de fricción interna con relación a la humedad de moldeo, densidad seca, energía de compactación y humedad óptima. Para ello, se estudiaron cinco muestras de suelo de diferentes sitios de la provincia de Misiones, sobre las cuales se realizaron ensayos de caracterización (Límites de Atterberg, Granulometría para suelos finos y Clasificación), Ensayos Proctor y Ensayos en Cámara Triaxial siguiendo los lineamientos especificados en las Normas IRAM. Se obtienen curvas representativas de comportamiento de los parámetros resistentes en función de la humedad óptima y diferenciadas según la energía de compactación utilizada. Datos de utilidad para aproximar la capacidad de carga de los suelos y con ello establecer criterios sobre los tratamientos adecuados a los usos de los mismos en las obras civiles. Se prevé incrementar el número de rutinas de ensayos a fin de confirmar y/o modificar lo presentado.

Palabras Clave – Ángulo de Fricción Interna, Cohesión, Ensayo Triaxial, Ensayo Proctor, Humedad, Lateríticos.

Simbología

c Cohesión.

ϕ Ángulo de fricción interna.

1. Introducción

Para realizar el diseño y cálculo de todas las obras civiles es indispensable contar con los parámetros resistentes del suelo con el cual o sobre el cual se realizarán las mismas. Generalmente, se requiere saber el comportamiento de estos como soporte de cargas, en estado compactado.

Los suelos presentes en la región noreste de nuestro país, que se distribuyen también en parte de los países fronterizos, son caracterizados como residuales lateríticos, ya que provienen de la meteorización del basalto presente en la antigüedad en esta zona.

Frente a la incongruencia entre el comportamiento observado en los suelos regionales y estudios realizados anteriormente, y la clasificación obtenida según las normativas vigentes, surge la necesidad de estudiar los parámetros resistentes de estos suelos y contar con un registro de sus características (Bogado G. O. et al., 2017 [1]; De Salvo O. E., 1990 [2]; Drewes, I. B. et al., 2017 [3] y [4]).

Específicamente, se busca obtener tendencias representativas de los valores de Cohesión y ángulo de fricción interna respecto de las humedades óptimas de los ensayos proctor. Esto es de gran utilidad para conocer en una primera instancia los guarismos que se requieren para calcular la capacidad de carga del suelo, y formular criterios de prediseño.

Para esto se realizan múltiples ensayos de laboratorio, siguiendo las normas IRAM, y el análisis de sus resultados, comparando los parámetros resistentes según la energía de compactación utilizada en cada ensayo proctor.

En el presente trabajo se exponen entonces los resultados de los estudios realizados sobre los parámetros resistentes de los suelos, en el marco del Proyecto de investigación “Estudio del comportamiento geomecánico de suelos residuales lateríticos compactados”, código 16/I145.

2. Desarrollo

2.1. Metodología

El estudio se desarrolla sobre muestras de suelo entregadas por empresas externas al laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la localidad de Oberá, y obtenidas del medio, por integrantes del equipo de investigación.

Cada rutina de ensayo envuelve la caracterización y clasificación de la muestra de suelo, compuesta por los ensayos de granulometría mediante tamizado por vía húmeda (IRAM 10507 [5]), límites de Atterberg (IRAM 10501 [6]) y Clasificación de Suelos (IRAM 10509 "SUCS" [7]); sus ensayos Proctor normal y normal alternativa B (IRAM 10511 [8]) -ver Tabla 1- donde se realizan 5 probetas por tipo de ensayo y se obtienen los valores de Densidad seca (Ds) de cada punto; y su posterior ensayo en cámara triaxial (IRAM 10529 [9]), incluyendo el remoldeo de puntos necesarios.

Tabla 1. Requerimientos de ensayos de compactación según norma IRAM 10511.

	Molde		Pisón		N.º de capas	N.º de golpes por capa	Energía de compactación [Kg cm/ cm3]
	Capacidad [dm3]	Diámetro [mm]	Diámetro [mm]	Masa [gr]			
Proctor normal	0,94	101+1	50	2500	3	25	70
Proctor normal, alternativa B	0,94	101+1	50	2500	3	35	100

Se han realizado los ensayos correspondientes a una rutina completa sobre muestras de cinco sitios, cuya procedencia se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2. Localización de los sitios de toma de muestra utilizadas.

Designación	Localidad	Tipo de Obra
FI001	Leandro N. Alem	Obra industrial
FI005	Oberá	Estación transformadora
FI007	Oberá	Obra edilicia
FI008	Oberá	Obra edilicia
FI009	Oberá	Obra vial

Las probetas resultantes de los ensayos proctor se tallan e inmediatamente después se ensayan, con el fin de reducir los posibles cambios en su contenido de humedad.

El ensayo utilizado para obtener los valores de cohesión y ángulo de fricción interna del suelo es el ensayo en cámara triaxial en condición no consolidada no drenada a carga escalonada. Este sigue los lineamientos que establece la norma IRAM correspondiente, pero el ensayo se realiza a la humedad de moldeo de cada punto del ensayo Próctor, y además no se utilizan tres probetas como requiere la norma, si no una sola, realizando sobre esta el escalonamiento de carga. Estas diferencias se realizan con el fin de estudiar el suelo como se encontraría en campo, y para reducir los errores de variación de humedad que podrían presentarse cuando se reproducen probetas con el mismo contenido teórico de esta.

Una vez obtenidos los parámetros resistentes de cada punto de una muestra, para cada tipo de ensayo proctor, se realizan curvas c-Ds vs humedad y ϕ -Ds vs humedad. De estas se obtiene un valor de cohesión y un valor del ángulo de fricción interna correspondiente a la humedad óptima de cada suelo estudiado, con la energía de compactación analizada (Proctor normal y Proctor normal alternativa b). Estos últimos valores se representan en dos gráficas, una para cada guarismo.

2.2. Resultados

En la Tabla 3 se muestran los resultados de los Límites de Atterberg, Granulometría y Clasificación, realizados a las muestras estudiadas. Se obtuvieron pasantes tamiz 200 superiores al 50 %, estableciendo por lo tanto que se trata de suelos finos.

Tabla 3. Resultados de ensayos según Norma IRAM 10501 (Límites de Atterberg).

Designación	Límite líquido [%]	Límite plástico [%]	Índice de plasticidad [%]	Pasa Tamiz #200 [%]	Clasificación SUCS	
FI001	54,20	40,50	13,70	94,95	MH	Limo de Alta Plasticidad
FI005	50,80	38,10	12,70	93,81	MH	Limo de Alta Plasticidad
FI007	66,30	49,50	16,80	96,59	MH	Limo de Alta Plasticidad
FI008	57,30	45,80	11,60	94,23	MH	Limo de Alta Plasticidad
FI009	39,60	30,50	09,10	56,15	ML	Limo de Baja lasticidad

En las siguientes figuras se exponen las gráficas de cohesión y Densidad seca en función a la humedad, y, Angulo de fricción interna y Densidad seca también en función de la humedad, obtenidas mediante los ensayos Triaxial y Próctor realizados. Los resultados correspondientes a los ensayos triaxiales con la energía de compactación del ensayo Proctor normal se muestran en las Figuras 1 y 2, mientras que los correspondientes al ensayo Proctor normal alternativa ver, se pueden observar en las Figuras 3 y 4.

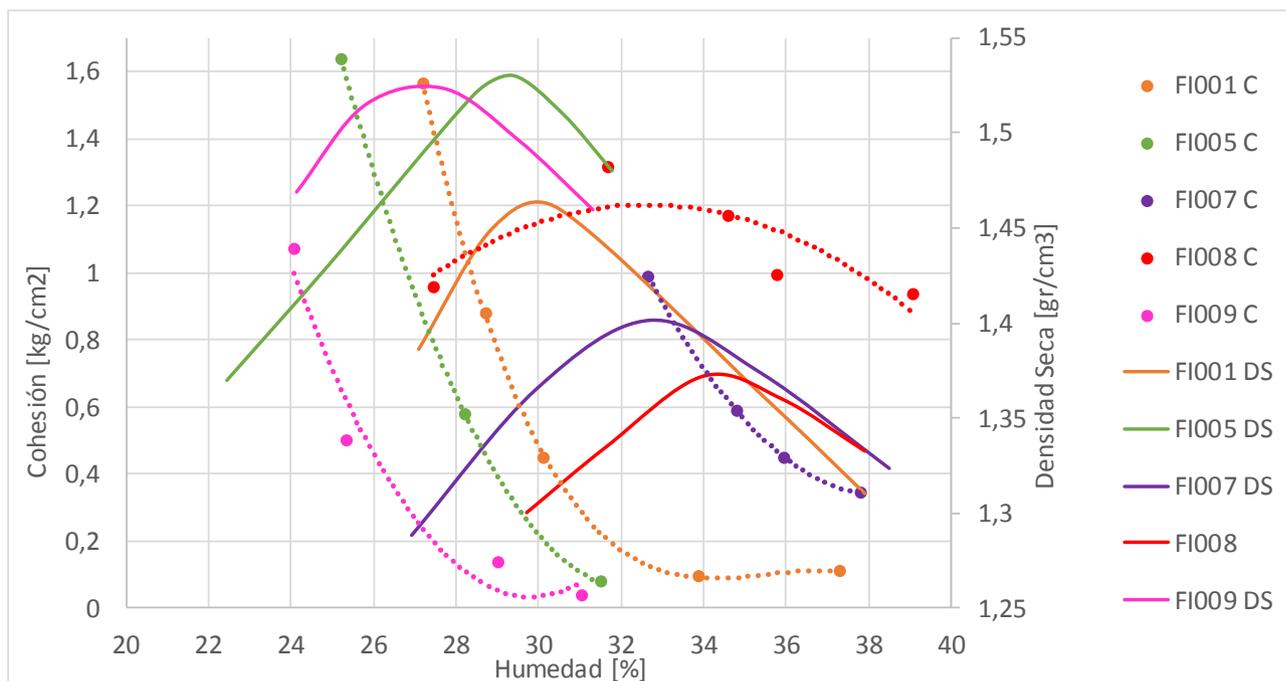


Fig. 1. Graficas de Cohesión y Densidad Seca vs. Humedad. Proctor Normal.

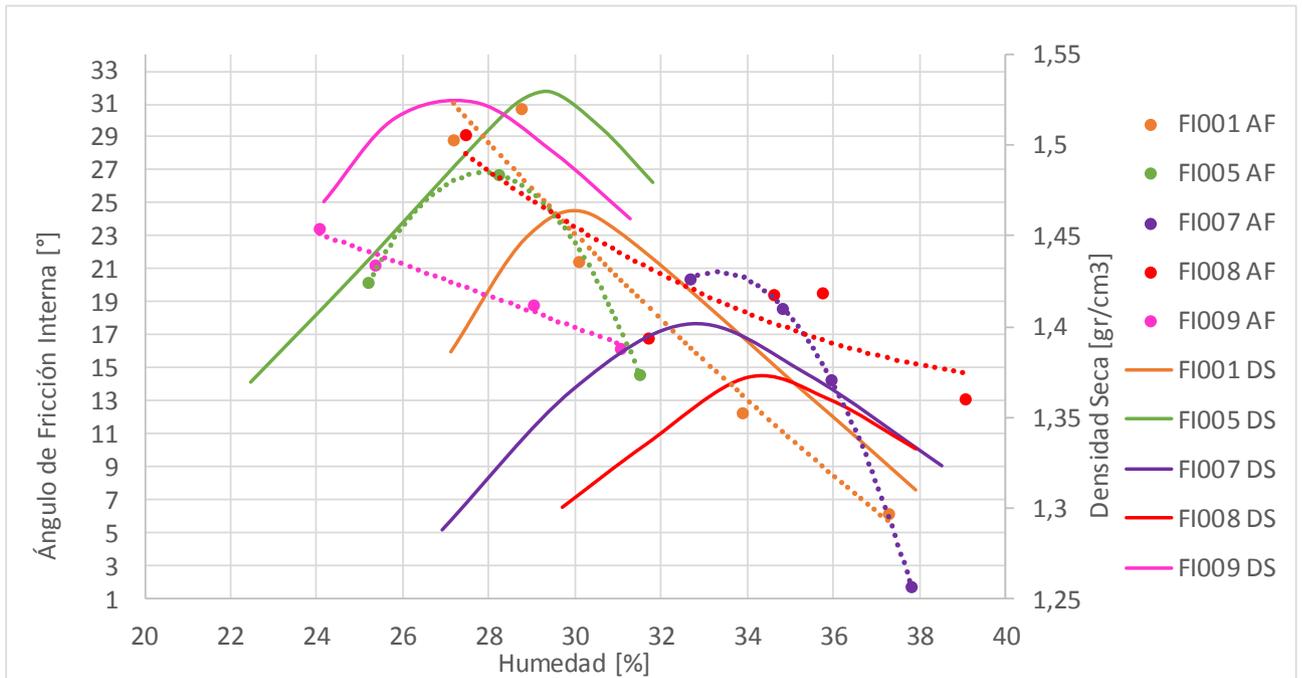


Fig. 2. Graficas de Ángulo de Fricción Interna y Densidad Seca vs. Humedad. Proctor Normal.

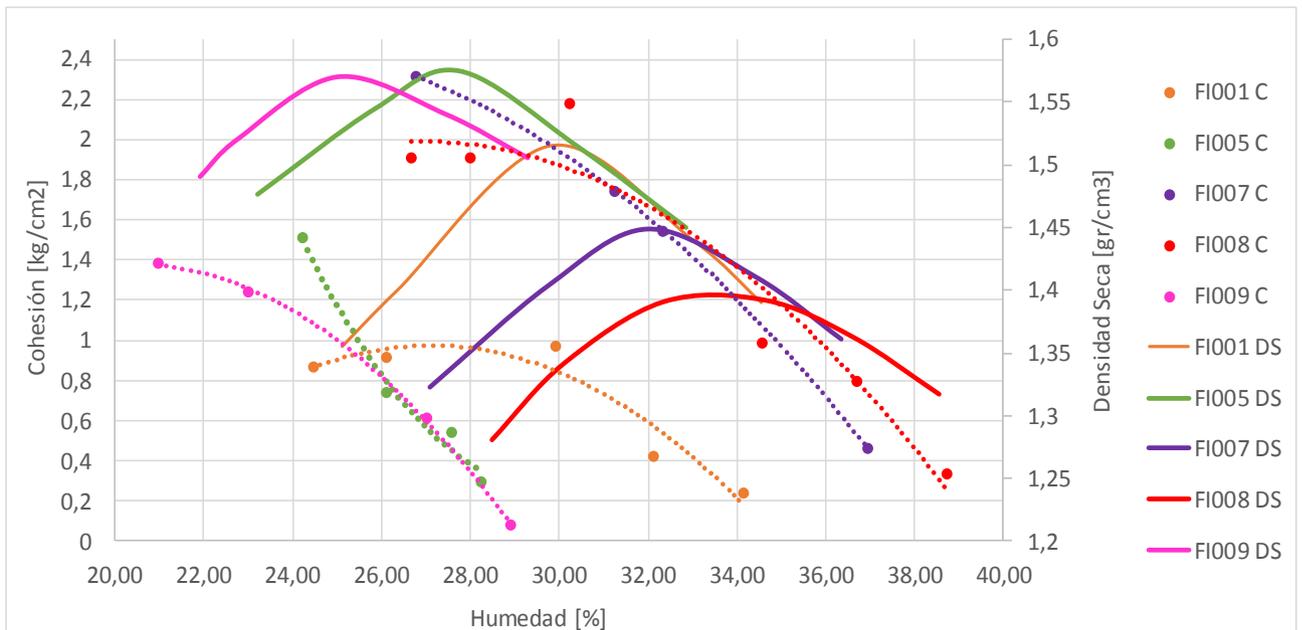


Fig. 3. Graficas de Cohesión y Densidad Seca vs. Humedad. Proctor Normal, Alternativa B.

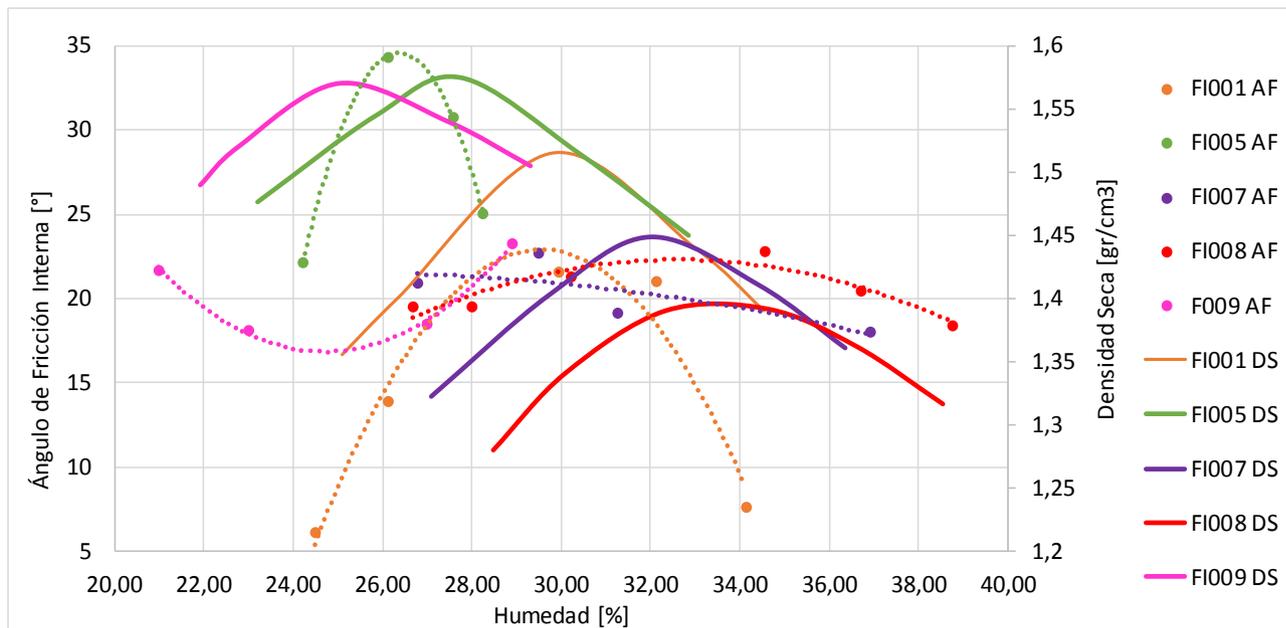


Fig. 4. Graficas de Ángulo de Fricción Interna y Densidad Seca vs. Humedad. Proctor Normal, Alternativa B.

Realizando un análisis de los gráficos presentados para cada parámetro, en las Figuras 1 y 2 se puede visualizar que, en general, los valores de cohesión tienden a decrecer a medida que aumenta la humedad. Y respecto a los valores de ángulo de fricción interna se observa no existe una tendencia definida, ya que las muestras estudiadas representan comportamientos diferentes respecto de la humedad de moldeo.

En cambio, al aumentar la energía de compactación, en las Figuras 3 y 4 se puede observar que los valores de cohesión tienden a decrecer a medida que aumenta la humedad. Particularmente en las muestras FI003 Y FI005 se observa un desarrollo con concavidad hacia arriba de la curva, mientras que el resto de las muestras manifiestan desarrollo con concavidad hacia abajo. En cuanto a los valores de ángulo de fricción interna se puede ver que los mismos aumentan levemente conforme aumenta la humedad, hasta un cierto punto (cercano a la humedad óptima) a partir del cual comienzan a decrecer.

Cabe destacar que para la muestra FI009 el comportamiento del ángulo de fricción interna, para ambas compactaciones, difiere notoriamente del de los demás ensayos presentados. Esta variación se debe tomar como materia de análisis ya que la misma está compuesta por suelos finos con presencia de Saproilito.

Luego, de cada curva presentada en las Figuras 1 a 4, se extrae un valor de c y ϕ del punto coincidente con la humedad óptima de la muestra en estudio. En la Tabla 4, se presentan los valores correspondientes a cada parámetro en función de la humedad óptima y del tipo de ensayo proctor realizado, para todas las muestras analizadas en este trabajo.

Tabla 4. Valores característicos obtenidos de ensayos Próctor y Triaxial.

Designación	Proctor Normal				Proctor Normal, Alternativa B			
	Humedad óptima [%]	Ds máx. [gr/cm ³]	c [kg/cm ²]	φ [°]	Humedad óptima [%]	Ds máx. [gr/cm ³]	c [kg/cm ²]	φ [°]
FI001	30,50	1,46	0,45	22,00	30,00	1,51	0,85	23,00
FI005	29,40	1,53	0,31	24,90	27,50	1,57	0,48	31,00
FI007	32,70	1,40	1,00	20,30	32,00	1,45	1,50	25,50
FI008	34,50	1,37	1,19	18,00	33,00	1,39	1,55	22,50
FI009	27,00	1,52	0,48	20,05	25,00	1,57	1,00	17,00

Las Figuras 5 y 6 presentan las gráficas de Cohesión y Ángulo de fricción interna, ambas en función de la Humedad Óptima, de acuerdo a los resultados presentado en la Tabla 4.

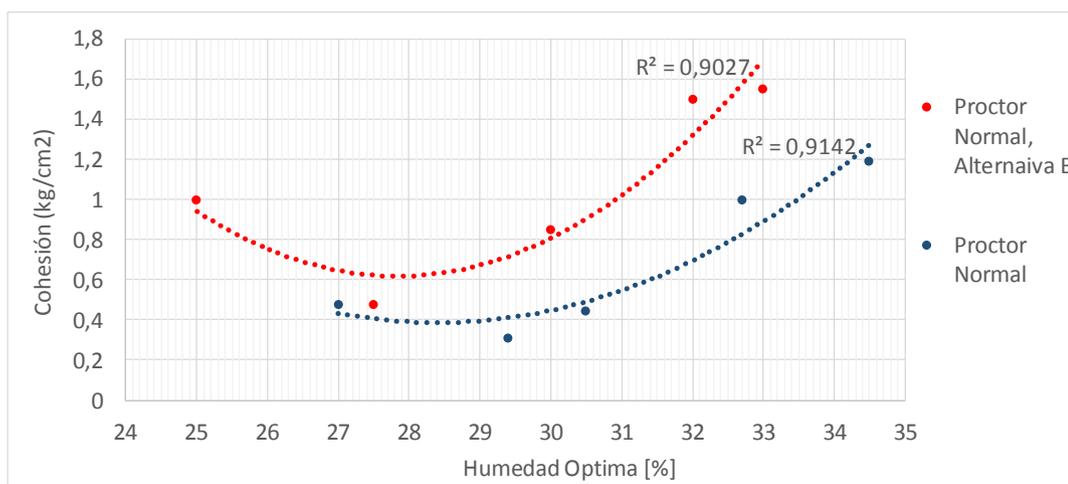


Fig. 5. Grafica Cohesión vs Humedad Óptima.

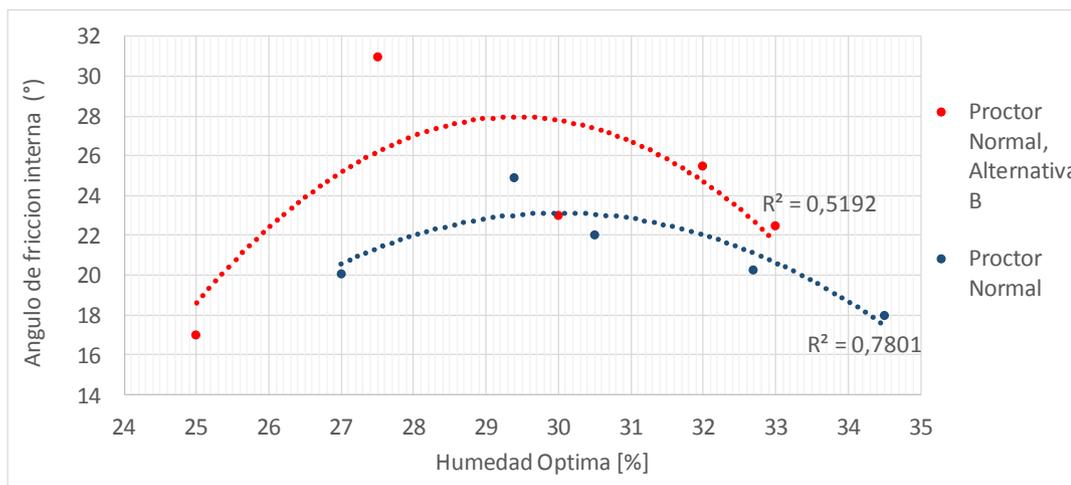


Fig. 6. Grafica Ángulo de fricción interna vs Humedad Óptima.

En las Figuras 5 y 6, se puede observar las variaciones que se presentan entre los parámetros de una misma muestra según la energía de compactación aplicada en cada ensayo proctor. Notándose que los valores estudiados aumentan en forma proporcional a dicha energía. También es de destacar, que las humedades óptimas resultan menores a mayor energía de compactación.

En cuanto a los valores de cohesión, indican una tendencia al aumento de los mismos con el aumento del porcentaje de humedad que resulta óptimo, luego del 28%. El ángulo de fricción interna, por el contrario, muestra un aumento hasta una humedad de aproximadamente el 30% y luego decrece.

3. Conclusiones

En el presente trabajo se presentan resultados de variación de los guarismos de cohesión y ángulo de fricción interna, respecto de las humedades y la energía de compactación aplicada, de suelos colorados compactados de cinco sitios de los cuales se cuenta con la rutina de caracterización completa.

En base a los resultados presentados se puede tomar como primera aproximación que los valores de cohesión muestran tendencias opuestas respecto a la energía de compactación utilizada en el ensayo proctor. Y en cuanto al ángulo de fricción interna, no se puede observar aun una tendencia definida en los ensayos provenientes de probetas de proctor normal, pero si en probetas provenientes de ensayos proctor normal, alternativa B, donde se observa un leve aumento del parámetro aproximadamente hasta la humedad óptima, para luego descender con el aumento de humedad de moldeo.

Respecto de los resultados obtenidos hasta el momento para la comparación de los parámetros resistentes y la humedad óptima, indican tendencias opuestas de comportamiento a medida que esta última varía. Mientras la cohesión decrece, el ángulo de fricción crece con el aumento de la humedad óptima, y viceversa. Se puede observar también, a modo general, que los valores estudiados aumentan con la energía de compactación.

Estos resultados representan un avance importante en el objetivo de lograr registros de las características de estos suelos particulares. Resultan muy útiles en el ámbito práctico ya que con los gráficos obtenidos se pueden conocer, en función de la humedad óptima, los parámetros necesarios para obtener la capacidad portante de un suelo antes de realizar una obra civil, información indispensable para formular criterios de pre diseño.

Sin embargo, como puede verse en las Figuras 5 y 6, los ajustes de las funciones presentadas son aproximados, aun siendo los más representativos para los datos presentados, lo cual indica que es necesario realizar un mayor número de rutinas de ensayos para comprobar o modificar la tendencia mostrada.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración en laboratorio de todos los integrantes adscriptos al proyecto de investigación “Estudio del Comportamiento Geomecánico de Suelos Residuales Lateríticos Compactados”, Código 16/I145 y a la Universidad Nacional de Misiones - Facultad de Ingeniería por el financiamiento de las Becas de Iniciación a la Investigación de los alumnos de la Carrera de Ingeniería Civil, Piñeyro Verónica Alejandra y Reinehr María Tania, en el marco del mismo proyecto.

Referencias

- [1] 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*, 2017.
- [2] 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.
- [3] Drewes I. B., Semañuk M. A., Reinehr M. T., Piñeyro A. V., Reinert H. O., Pintos N. A. Evaluación de cohesión y ángulo de fricción en rama seca y húmeda de ensayos proctor normal. XXV Seminário de Iniciação Científica - Participante ESTRANGEIRO. Salão do Conhecimento. UNIJUI 2017.
- [4] Drewes I. B., Semañuk M. A., Reinehr M. T., Piñeyro A. V., Reinert H. O., Pintos N. A. Evaluación de cohesión y ángulo de fricción interna de ensayos proctor normal. *Jornadas de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Extensión, Vinculación y Muestra de la Producción 2017 de la Facultad de Ingeniería de la UNaM.*
- [5] Norma IRAM 10507 " Método de determinación de la granulometría por tamizado mediante vía húmeda " - 1986.
- [6] Norma IRAM 10501 " Método de determinación del límite líquido y del límite plástico de una muestra de suelo. Índice de fluidez e índice de plasticidad " - 2007.
- [7] Norma IRAM 10509 "Clasificación de los suelos, con propósitos ingenieriles " - 1982.
- [8] Norma IRAM 10511 " Método de ensayo de compactación en laboratorio " - 1972.
- [9] Norma IRAM 10529 " Método de ensayo de compresión triaxil en suelos cohesivos sobre probetas no consolidadas ni drenadas " - 1985.