

## Cohesión y Ángulo de Fricción Interna de Suelos Lateríticos Compactados en Relación a la Humedad Óptima de Compactación

Drewes Mario <sup>a,\*</sup>; Blech Santiago R <sup>a</sup>; Burtnik Anahí B. <sup>a</sup>; Amores María Emilia <sup>a</sup>; Ebert Carlos L. G. <sup>a</sup>; Drewes Ingrid B. <sup>b</sup>; Semañuk Mario A. <sup>b</sup>; Reinert Hugo O. <sup>c</sup>; Pintos Nicolás A. <sup>d</sup>; Bogado Gustavo O. <sup>d</sup>.

<sup>a</sup> Integrante del Proyecto, Estudiante de Ingeniería Civil, Laboratorio de Ingeniería Civil (LIC), Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Misiones (FI-UNaM), Oberá, Misiones, Argentina

<sup>b</sup> Integrante del Proyecto, Becario de Grado, Estudiante de Ingeniería Civil, Laboratorio de Ingeniería Civil (LIC), Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Misiones (FI-UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>c</sup> Co-director del Proyecto, Docente Departamento de Ingeniería Civil, Laboratorio de Ingeniería Civil (LIC), Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Misiones (FI-UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>d</sup> Integrante del Proyecto, Docente Departamento de Ingeniería Civil, Laboratorio de Ingeniería Civil (LIC), Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Misiones (FI-UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

e-mails: [mariodrewes98@gmail.com](mailto:mariodrewes98@gmail.com), [blechsanti@gmail.com](mailto:blechsanti@gmail.com), [anahi.burtnik@gmail.com](mailto:anahi.burtnik@gmail.com), [luks.ebert97@gmail.com](mailto:luks.ebert97@gmail.com), [emiamores2994@gmail.com](mailto:emiamores2994@gmail.com), [ingridbdrewes@gmail.com](mailto:ingridbdrewes@gmail.com), [msem1994@gmail.com.ar](mailto:msem1994@gmail.com.ar), [reinert@fio.unam.edu.ar](mailto:reinert@fio.unam.edu.ar), [nicolasagustinpintos@gmail.com](mailto:nicolasagustinpintos@gmail.com), [gustavobogado@fio.unam.edu.ar](mailto:gustavobogado@fio.unam.edu.ar).

---

### Resumen

En el artículo se emplazan los resultados obtenidos de ensayos de laboratorio y su análisis como parte del proyecto de investigación código 016 / I145, con el objetivo de contar con un registro de los parámetros resistentes de los suelos lateríticos residuales. Se realizaron ensayos de 14 muestras en diferentes sitios de la Provincia de Misiones, sobre las cuales se realizaron ensayos de caracterización, ensayos Próctor y ensayos en cámara triaxial siguiendo las especificaciones Normas IRAM. Se obtienen curvas representativas de comportamiento de los parámetros resistentes en función de la humedad óptima para comparar dos diferentes energías de compactación. Datos de gran utilidad para definir la capacidad de carga de los suelos y establecer criterios para el adecuado uso de los mismos en obras civiles. Se prevé aumentar el número de muestras para definir de mejor manera lo presentado.

---

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

**Simbología:**  $\varphi$ : Ángulo de Fricción Interna      C: Cohesión

### 1. Introducción

La normativa vigente a nivel nacional no contempla la particularidad de los suelos de la región noreste del país, además de las zonas próximas en el vecino país Brasil y Paraguay, (derivan de la meteorización in situ del basalto) ya que estos no se encuentran en toda la extensión de la República Argentina.

En general los proyectos de ingeniería requieren el empleo de suelos compactados (sobre todo en obras viales), por lo tanto, es de interés contar con los parámetros geo mecánicos, propiedades físicas y con la caracterización del mismo para poder evaluar su comportamiento ante la presencia de cargas.

La experiencia en la utilización de estos suelos en obras civiles muestran un comportamiento más que adecuado, lo que genera una incongruencia frente a el comportamiento esperado al caracterizar el suelo mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), y el Highway Research Board (HRB). Debido a esto, surge la necesidad de generar un registro de las características y parámetros resistentes de estos suelos (Bogado G. O. et al., 2017 [1]; De Salvo O. E., 1990 [2]; Drewes, I. B. et al., 2017 [3], [4] y [5]).

Más específicamente se buscan obtener tendencias para los valores de Angulo de Fricción Interna y cohesión con respecto a las humedades óptimas de los ensayos Proctor Normal y Normal Alternativa B.

En el presente trabajo se exponen los resultados de los ensayos de Caracterización y Ensayos en cámara triaxial realizados en el proyecto de investigación “Estudio del comportamiento Geo mecánico de los suelos residuales lateríticos compactados”, código 16/I145.

Además se realiza una comparativa entre los resultados obtenidos para las diferentes energías de compactación que presentan las probetas provenientes de los ensayos proctor.

## **2. Metodología**

La rutina de ensayo se realiza sobre muestras de suelo extraídas en campo por los integrantes del proyecto y proporcionadas por empresas externas.

Para cada rutina de ensayo se realiza la caracterización y clasificación de la muestra de suelos, conformada por ensayos de granulometría vía humedad (IRAM 10507 [6]), Clasificación de Suelos (IRAM 10509 "SUCS" [7]) y determinación de límites de Atterberg (IRAM 10501[8]); el ensayo de Proctor normal y normal alternativa B (IRAM 10511[9]) de los cuales se obtienen valores de humedad óptima de cada punto a su respectiva energía de compactación, y su posterior ensayo triaxial consolidado no drenado (IRAM 10529[10]), incluyendo el remoldeo de puntos en caso de que sea necesario.

Las probetas resultantes de los ensayos proctor se tallan y se ensayan inmediatamente después, en medida de lo posible, para no alterar su contenido de humedad.

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

	Molde		Pisón		N° de capas	N° de golpes por capa	Energía de Compactación [kg cm/cm <sup>3</sup> ]
	Capacidad [dm <sup>3</sup> ]	Diametro [mm]	Diametro [mm]	Masa [gr]			
Proctor Normal	0,94	101+1	50	2500	3	25	70
Proctor Normal Alternativa B	0,4	101+1	50	2500	3	35	100

Para obtener los valores de cohesión y ángulo de fricción interna se realiza el ensayo en cámara triaxial en condición no consolidado no drenado, con la humedad correspondiente a cada punto y no en condición saturada, ya que se busca evaluar los parámetros resistentes en relación a dichas humedades. No se utilizan tres probetas, sino una sola, sobre la cual se realiza un escalonamiento de cargas. Estas modificaciones en el ensayo se realizan buscando simular el estado que tendría la muestra en el campo, y para reducir los errores de variación de humedad que pueden presentarse cuando se realizan las probetas.

Una vez obtenidos los datos de los ensayos mencionados se analizan para así hallar los parámetros resistentes de cada muestra de suelo. Y con estos configurar curvas  $c$  vs Humedad y  $\phi$  vs humedad, de las cuales se obtiene un valor de cohesión y un valor del ángulo de fricción interna correspondiente a la humedad óptima de cada suelo estudiado para ambas energías de compactación. Los cuales se vuelcan en cuatro gráficas, correspondientes a cada guarismo en ambas energías de compactación.

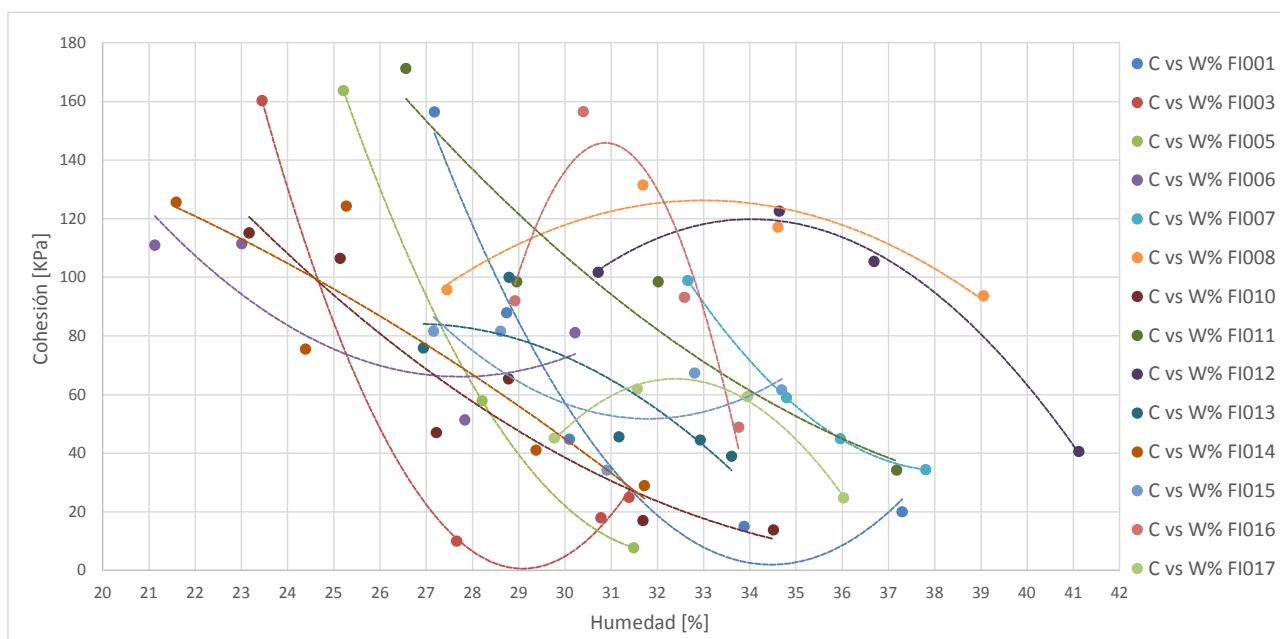
### 3. Resultados y discusión:

En la siguiente tabla se muestran los resultados de los Límites de Atterberg, granulometría y clasificación realizados para las 14 muestras. Donde se obtuvieron pasantes de tamiz #200 muy superiores al 50%, estableciendo que se trata de suelos finos.

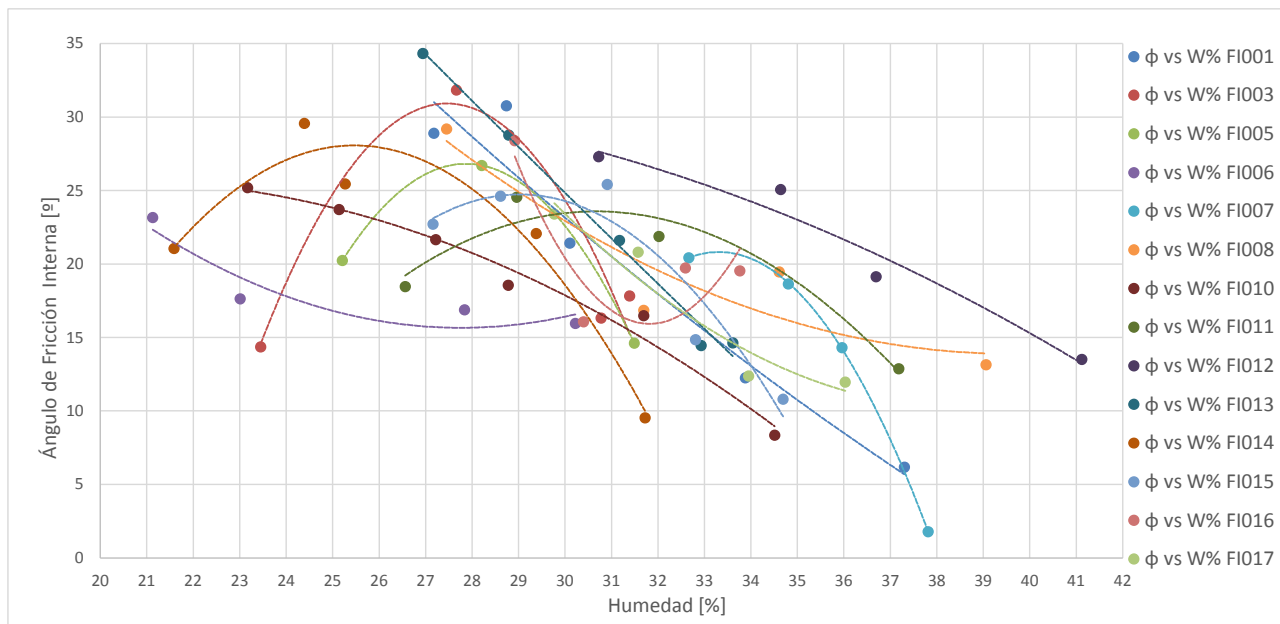
**Tabla 2. Resultados según norma IRAM 10501 (Límites de Atterberg), IRAM 10507 (granulometría) e IRAM 10509 (Clasificación "SUCS").**

Designación	LL [%]	LP [%]	IP [%]	Clasificación	Pasante #200 [%]
FI001	54,20	40,52	13,68	MH	94,95
FI003	53,01	35,16	17,85	MH	92,72
FI005	50,80	38,10	12,70	MH	93,81
FI006	66,16	44,08	22,08	MH	-
FI007	66,28	49,51	16,77	MH	96,59
FI008	57,33	45,76	11,57	MH	94,23
FI009	40,00	31,00	9,00	ML	56,20
FI010	49,45	35,15	14,30	ML	96,75
FI011	56,98	44,60	12,38	MH	96,72
FI012	79,15	51,91	27,24	MH	99,25
FI013	76,18	41,27	34,91	MH	99,02
FI014	47,46	35,55	11,91	ML	88,28
FI015	56,31	43,51	12,80	MH	96,25
FI016	63,06	44,22	18,84	MH	97,00
FI017	55,17	38,37	16,80	MH	96,76

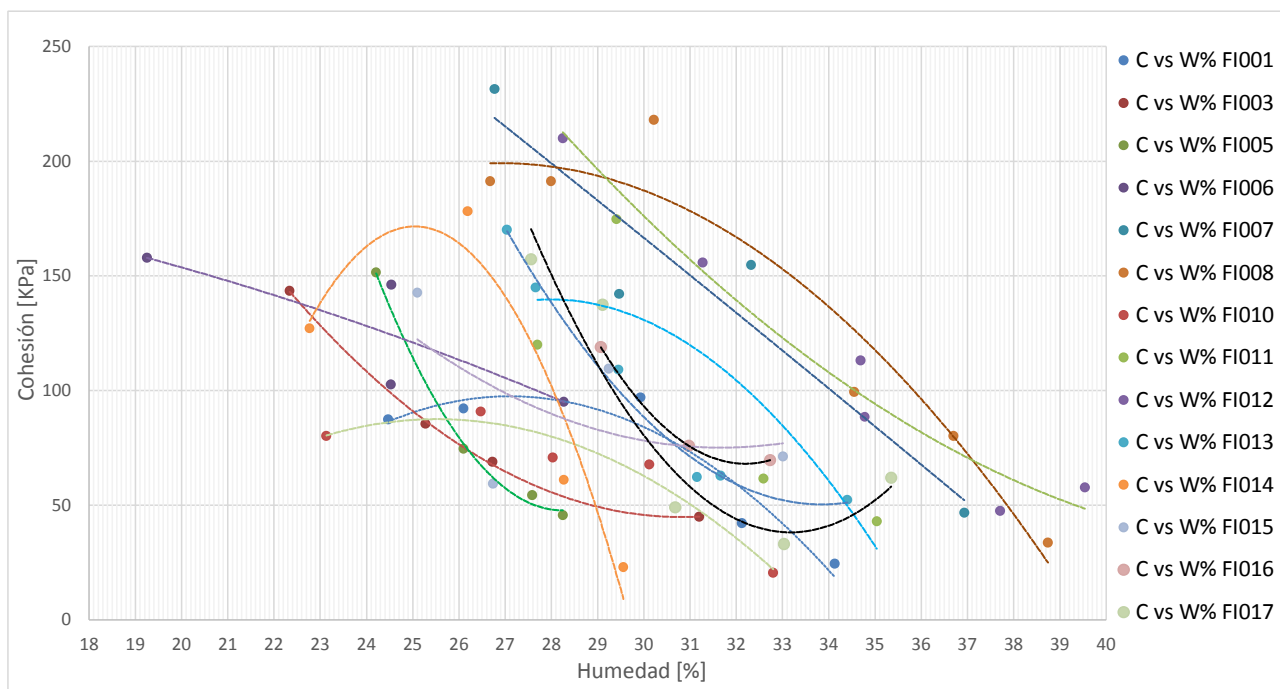
En las siguientes figuras (Figura N° 1, N° 2, N° 3 y N° 4) se presentan graficas de Cohesión en función de la humedad y Angulo de fricción interna en función de la humedad. De acuerdo a los ensayos en cámara triaxial y Proctor correspondientes.



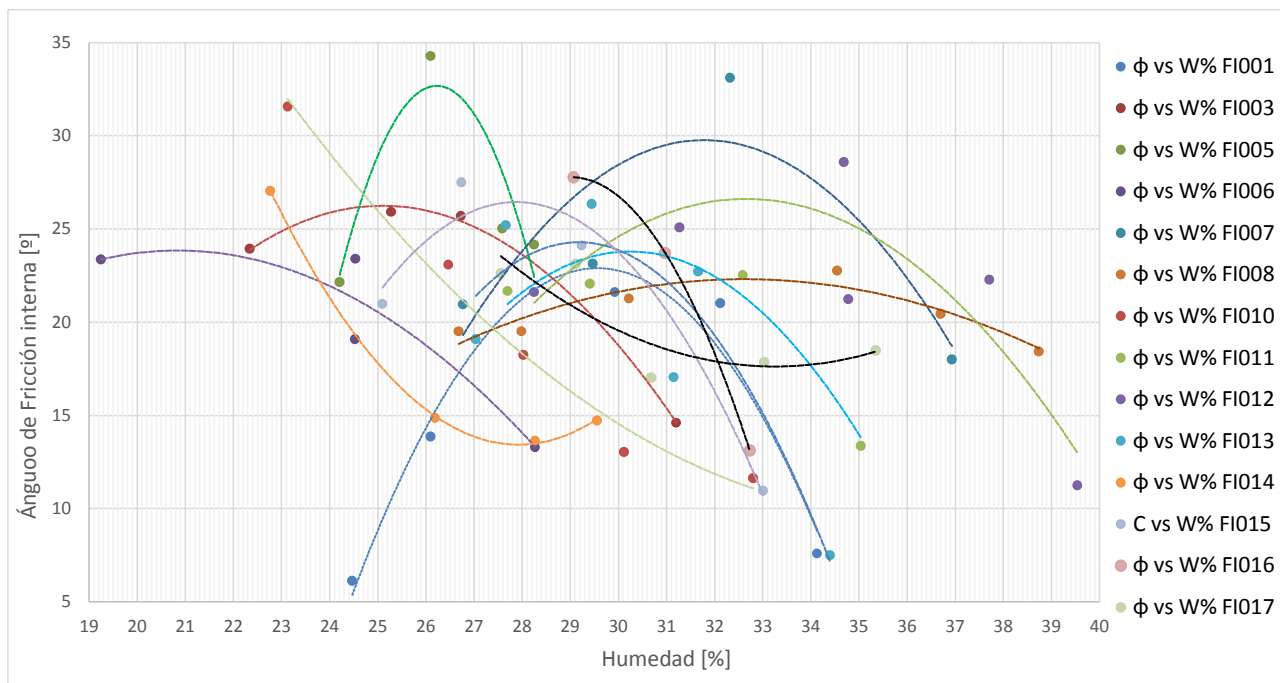
**Figura 1. Graficas de Cohesión vs Humedad – Proctor Normal.**



**Figura 2. Grafica de Angulo de Fricción Interna vs Humedad – Proctor Normal.**



**Figura 3. Graficas de Cohesión vs Humedad – Proctor Normal Alternativa B.**



**Figura 4. Graficas de Ángulo de Fricción vs Humedad – Proctor Normal Alternativa B.**

Para realizar los gráficos se utilizaron curvas de tendencia Polinómica de grado 2 (dos), debido a que estas son las que se adaptan de mejor manera al comportamiento de los guarismos.

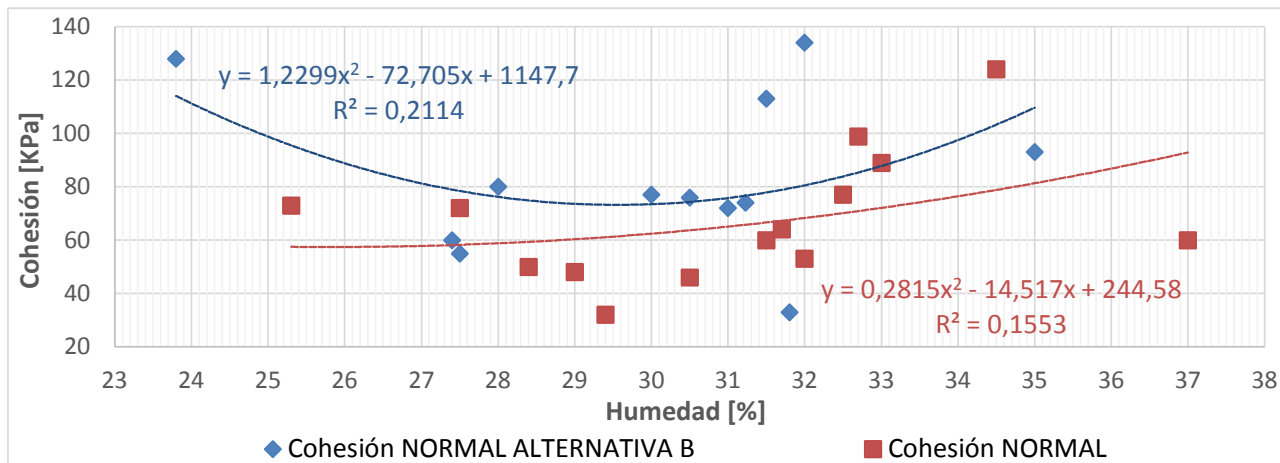
Del análisis de estas curvas se extrae un valor para la cohesión y ángulo de fricción interna, coincidente con la humedad óptima para cada muestra de suelo. En la siguiente tabla se emplazan los valores correspondientes a cada parámetro en función de la humedad óptima.

**Tabla 3. Valores característicos obtenidos de ensayos Proctor y Triaxial.**

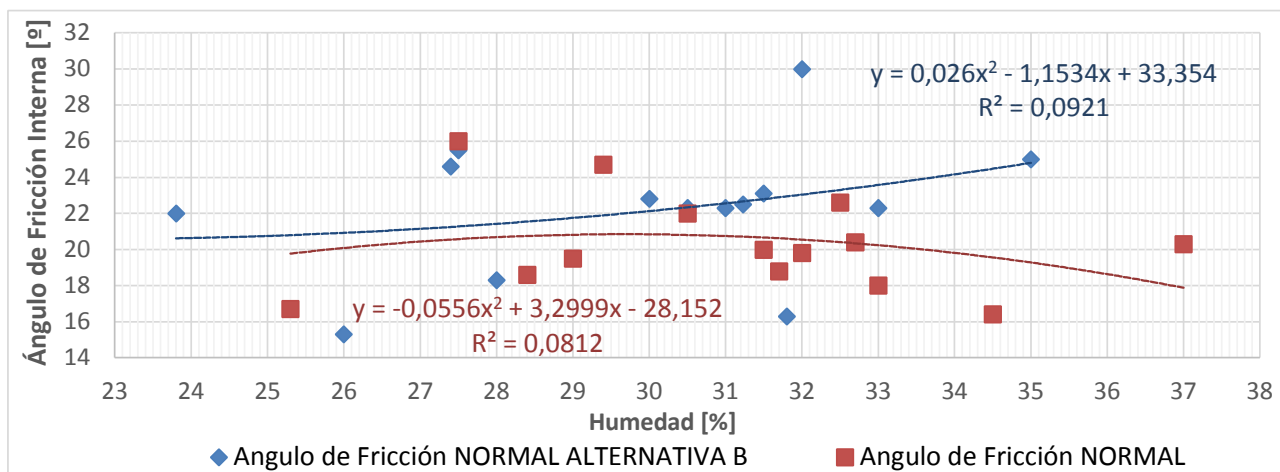
Muestra	Normal			Normal Alternativa B		
	c [KPa]	$\phi$	H.O [%]	c [KPa]	$\phi$	H.O [%]
FI001	46,00	22,00	30,50	77,00	22,80	30,00
FI003	50,00	18,60	28,40	60,00	24,60	27,40
FI005	32,00	24,70	29,40	55,00	25,50	27,50
FI006	73,00	16,70	25,30	128,00	22,00	23,80
FI007	98,90	20,40	32,70	134,00	30,00	32,00
FI008	124,00	16,40	34,50	152,00	22,30	33,00
FI009	48,00	20,20	27,00	100,00	16,90	25,00
FI010	48,00	19,50	29,00	80,00	18,30	28,00
FI011	77,00	22,60	32,50	113,00	23,10	31,50
FI012	60,00	20,30	37,00	93,00	25,00	35,00
FI013	60,00	20,00	31,50	72,00	22,30	31,00
FI014	72,00	26,00	27,50	164,00	15,30	26,00
FI015	53,00	19,80	32,00	76,00	22,30	30,50
FI016	89,00	18,00	33,00	74,00	22,50	31,23
FI017	64,00	18,80	31,70	33,00	16,30	31,80

Se puede ver que los valores de cohesión se encuentran entre 32,00 KPa y 134,00 KPa descartando algunos valores extremos, bajo el mismo criterio, los valores de ángulo de fricción se mantienen en el rango de 15° y 26°. Gracias a estos datos se pueden desarrollar curvas de tendencia para entender mejor el comportamiento del suelo con respecto a ambos guarismos, en relación a su respectiva humedad óptima y energía de compactación.

En las siguientes figuras (Figura N° 5 y Figura N° 6) se muestra una comparativa de los guarismos para cada energía de compactación. De las 19 muestras ensayadas hasta el momento se tomaron en consideración solo 14 muestras, la muestra FI004 fue descartada a causa de que no se contaba con el material necesario para reproducir ensayos, las muestras FI002 y FI009 se descartaron porque corresponden a una clasificación distinta a las demás (puesto a que poseían un alto contenido de saprolito), y las muestras FI018 y F0019 no se tomaron en consideración debido a que no se completó la rutina de ensayo de las mismas.



**Figura 5. Graficas Comparativas Cohesión vs Humedad Óptima.**



**Figura 6. Graficas Comparativas Ángulo de Fricción interna vs Humedad Óptima.**

Respecto a los resultados obtenidos para la comparación de los parámetros resistentes en función de la humedad óptima, la cohesión crece a medida que aumenta la humedad óptima, pero si aumentamos la energía de compactación, decrece si la humedad óptima es menor a 30% y luego crece con la humedad. En cuanto al ángulo de fricción interna, existe un decremento del guarismo a medida que crece la humedad óptima, no obstante si se aumenta la energía de compactación esta tendencia presenta el comportamiento contrario. Además se observa que una mayor energía de compactación lleva a un aumento del parámetro, sin importar el contenido de humedad.



#### 4. Conclusiones:

En el presente trabajo se emplazan los resultados de variación de guarismos de cohesión y ángulo de fricción interna, respecto a las humedades y a la energía de compactación utilizada, para suelos lateríticos residuales compactados, a manera de ampliar los resultados que se habían obtenido en anteriores trabajos (Drewes, I. B. et al., 2018 [5]).

Al igual que en el artículo mencionado anteriormente, los valores de cohesión muestran una tendencia de crecimiento a medida que se aumenta la energía de compactación utilizada en los ensayos proctor, sin embargo, la tendencia que se había definido anteriormente [5] para el ángulo de fricción interna, ya no es representativa. No se puede definir una tendencia para este último, debido a que al realizar un aumento significativo de muestras, los valores obtenidos son muy dispersos como se puede ver en la Figura 6.

Estos resultados presentan un avance en el objetivo de lograr un registro de las características de los suelos colorados. Resultan muy útiles en el ámbito práctico ya que con ellos se pueden conocer, los parámetros necesarios para definir la capacidad portante del suelo. Los cuales son indispensables para formular criterios de pre diseño.

Sin embargo, los ajustes de las funciones presentadas (Figuras 5 y 6), son aproximados y, aun siendo los más representativos para los datos presentados, indican un ajuste muy bajo, por lo cual es necesario realizar un mayor número de rutinas de ensayo para definir de mejor manera las tendencias encontradas.

### **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, Drewes Ingrid Beatriz, en el marco del mismo proyecto. A los integrantes del equipo proctor, ya que sin ellos no podrían ser llevados a cabo los ensayos en cámara triaxial

### **5. 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] Drewes, I. B., Drewes, M., Reinert, H. O., Pintos, N. A., Bogado, G. O. Comparación de Parámetros Resistentes de Suelos Regionales Según Energía de Compactación. *JIDeTEV 2018 de la Facultad de Ingeniería de la UNaM.*
- [6] Norma IRAM 10507 " Método de determinación de la granulometría por tamizado mediante vía húmeda " - 1986.
- [7] Norma IRAM 10509 "Clasificación de los suelos, con propósitos ingenieriles " - 1982.

- [8] 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.
- [9] Norma IRAM 10511 " Método de ensayo de compactación en laboratorio " - 1972.
- [10] Norma IRAM 10529 " Método de ensayo de compresión triaxil en suelos cohesivos sobre probetas no consolidadas ni drenadas " - 1985.