

**Evento:** XXVII Seminário de Iniciação Científica - Participante ESTRANGEIRO

**ESTUDIO ESTADÍSTICO DE LA COHESIÓN Y EL ÁNGULO DE FRICCIÓN  
INTERNA DE LOS SUELOS LATERITICOS REGIONALES<sup>1</sup>  
STATISTICAL STUDY OF COHESION AND INTERNAL FRICTION ANGLE  
OF REGIONAL LATERITIC SOILS**

**Santiago Raúl Blech<sup>2</sup>, Drewes Ingrid Beatriz<sup>3</sup>, Drewes Mario<sup>4</sup>, Burtnik  
Anahí Belén<sup>5</sup>, Bogado Gustavo Orlando<sup>6</sup>, Bressan Daniel Antonio<sup>7</sup>**

<sup>1</sup> Proyecto de investigación. Código 16/I145. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Misiones (UNaM). Argentina.

<sup>2</sup> Integrante del Proyecto, Estudiante de Ingeniería Civil, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>3</sup> Integrante del Proyecto, Becario de Grado, Estudiante de Ingeniería Civil, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>4</sup> Integrante del Proyecto, Estudiante de Ingeniería Civil, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>5</sup> Integrante del Proyecto, Estudiante de Ingeniería Civil, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>6</sup> Integrante del Proyecto, Docente Departamento de Ingeniería Civil, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>7</sup> Director del Proyecto, Docente Departamento de Ingeniería Civil, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.

## **1. Introducción**

Teniendo en cuenta la baja disponibilidad de datos que logren caracterizar al suelo presente en la mayor parte de Misiones, una zona de Corrientes, y parte de Brasil y Paraguay, se ha trabajado en la obtención de una nube de datos con la cual establecer conclusiones en cuanto al comportamiento de este suelo característico. Estos suelos provienen de la meteorización del basalto subyacente en la región, por lo que se los denomina residuales, y debido a sus características particulares de composición, también se lo llama laterítico. Además, los sistemas de clasificación y normas vigentes en Argentina predicen un comportamiento contrario al que se puede ver en el campo, en cuanto a resistencia y capacidad de carga. Bajo el proyecto de investigación que enmarca este trabajo ya se han publicado resultados de análisis precedentes en otros eventos [1, 2].

En el presente trabajo se exhiben resultados de ensayos triaxiales no consolidados no drenados a humedad de moldeo, correspondientes a los puntos del ensayo Próctor normal y Próctor normal alternativa B [3], de distintas muestras extraídas en el territorio de la Provincia de Misiones, específicamente en zonas aledañas o internas a la Ciudad de Oberá. A partir de éstos se quiere establecer conclusiones respecto de la distribución de los resultados de los parámetros resistentes del suelo, como ser la Cohesión y el Ángulo de Fricción Interna y, además, sobre el Peso Unitario Seco, lo que puede resultar útil para entender los comportamientos del suelo colorado característico de la región.

**Evento:** XXVII Seminário de Iniciação Científica - Participante ESTRANGEIRO

## 2. Metodología

El estudio se desarrolla sobre muestras de suelo obtenidas por integrantes del equipo de investigación, o bien entregadas en el laboratorio por empresas externas de la Facultad de Ingeniería de la ciudad de Oberá. Se han realizado los ensayos pertinentes sobre 16 muestras de los sitios indicados en la Tabla 2. Cada rutina de ensayo comprende distintos ensayos individuales, como la granulometría por tamizado vía húmeda [4], límites de Atterberg [5], y Clasificación de Suelos [6] (Tabla 1); luego, los ensayos Próctor normal (tipo I) y normal alternativa B (tipo III) donde se realizan 5 probetas por cada muestra y se obtienen valores de peso unitario seco para cada valor de humedad (o para cada punto), para el posterior ensayo en cámara triaxial [7]. Las probetas resultantes del ensayo Próctor normal y normal alternativa B, son talladas y se procede a ensayarlas inmediatamente en cámara triaxial, para preservar su humedad. Luego, se procede a llevar adelante el ensayo para la obtención de los valores de cohesión y ángulo de fricción interna correspondiente, y se determina la humedad de ésta al momento de la realización del ensayo.

A diferencia de lo establecido en la norma, se realiza una sola probeta por cada punto para el ensayo triaxial, es decir se realiza el ensayo escalonado a la humedad a la que se encuentra la probeta. Se ha establecido esta rutina diferenciada con el fin de lograr comprender el comportamiento mecánico del suelo lo más próximo posible a cómo se encuentra en campo.

Una vez que se determinan los parámetros resistentes de cada punto de la muestra, se realizan curvas que representen la variación de los resultados de la cohesión, ángulo de fricción interna y peso unitario seco a modo de histogramas y gráficas de densidad de frecuencias. Estas gráficas se presentan en las Figuras 1, 2 y 3. Además, determinan distintos parámetros estadísticos correspondientes a la distribución de dichos resultados para su posterior análisis (Tabla 1).

*Tabla 1. Resumen estadístico de resultados obtenidos de Cohesión, Ángulo de Fricción Interna y Peso Unitario Seco para Ensayos Próctor Normal (Tipo I) y Normal Alternativa B (Tipo III).*

	Próctor Tipo I			Próctor Tipo III		
	Cohesión	Ángulo de Fricción Interna	Peso unitario Seco	Cohesión	Ángulo de Fricción Interna	Peso unitario Seco
Nº de datos	59			46		
Promedio	78,48 kPa	18,33°	13,70 kN/m <sup>3</sup>	88,52 kPa	20,11°	13,92 kN/m <sup>3</sup>
Desviación Estándar	43,34 kPa	6,04°	0,65 kN/m <sup>3</sup>	44,68 kPa	5,35°	0,86 kN/m <sup>3</sup>
Coefficiente de Variación	0,55	0,33	0,05	0,50	0,27	0,06
Mínimo	7,64 kPa	6,20°	12,45 kN/m <sup>3</sup>	20,09 kPa	7,51°	12,35 kN/m <sup>3</sup>
Máximo	172,48 kPa	30,75°	15,39 kN/m <sup>3</sup>	187,38 kPa	28,60°	15,88 kN/m <sup>3</sup>
Rango	164,84 kPa	24,55°	2,94 kN/m <sup>3</sup>	167,29 kPa	21,09°	3,53 kN/m <sup>3</sup>
Sesgo Estandarizado	1,16	0,59	0,62	1,25	-2,03	1,10
Curtosis Estandarizada	-1,25	-1,40	-0,37	-1,18	-0,37	-0,68

**Evento:** XXVII Seminário de Iniciação Científica - Participante ESTRANGEIRO

Tabla 2. Resumen de resultados obtenidos en laboratorio de muestras ensayadas.

Muestra	L.L. [%]	I.P. [%]	Clasificación según SUCS	% de suelo que pasa tamiz #200 [%]	Próctor Tipo	Peso unitario seco [kN/m <sup>3</sup> ]	Humedad óptima [%]	Municipio
FI001	54,20	13,69	MH	95,0	I	14,33	30,5	Leandro N. Alem
					III	14,85	30,0	
FI003	53,01	17,85	MH	92,72	I	14,50	28,4	Panambi
					III	14,80	27,4	
FI005	50,80	12,70	MH	93,81	I	14,99	29,4	Oberá
					III	15,44	27,5	
FI006	66,16	21,36	MH	-	I	15,09	25,3	Guaraní
					III	15,58	23,8	
FI007	66,28	16,76	MH	96,59	I	13,72	32,7	Oberá
					III	14,21	32,0	
FI008	57,33	11,57	MH	94,23	I	13,45	34,5	Oberá
					III	13,62	33,0	
FI010	49,45	14,30	ML	96,75	I	14,50	29,0	Oberá
					III	14,80	28,0	
FI011	56,98	12,37	MH	96,72	I	13,62	32,5	Oberá
					III	13,92	31,5	
FI012	79,15	27,24	MH	99,25	I	13,13	37,0	Oberá
					III	13,52	35,0	
FI013	76,18	34,91	MH	99,02	I	14,01	31,5	Oberá
					III	14,80	31,0	
FI014	47,46	11,92	ML	88,28	I	14,90	27,5	Posadas
					III	15,19	26,0	
FI015	56,31	12,80	MH	96,25	I	13,92	32,0	Oberá
					III	14,11	30,5	
FI016	63,06	18,84	MH	97,00	I	13,67	33,0	Oberá
					III	14,30	31,23	
FI017	55,17	16,80	MH	96,76	I	13,77	31,7	Oberá
					III	14,27	31,1	
30193	59,57	15,67	MH	88,40	I	14,10	32,9	Santa Ana
					III	-	-	
30298	49,88	14,38	ML	87,90	I	14,76	26,6	Posadas
					III	-	-	

### 3. Presentación y Análisis de Resultados

En la Figura 1 se presenta la distribución de probabilidades como Histograma de frecuencias relativas en porcentajes y su curva de distribución de frecuencias relativas suavizadas del Peso Unitario Seco [kN/m<sup>3</sup>] para ambas energías de compactación. En las Figuras 2 y 3 se detallan las mismas gráficas para la Cohesión [kPa] y el Ángulo de Fricción Interna [grados sexagesimales].

**Evento:** XXVII Seminário de Iniciação Científica - Participante ESTRANGEIRO

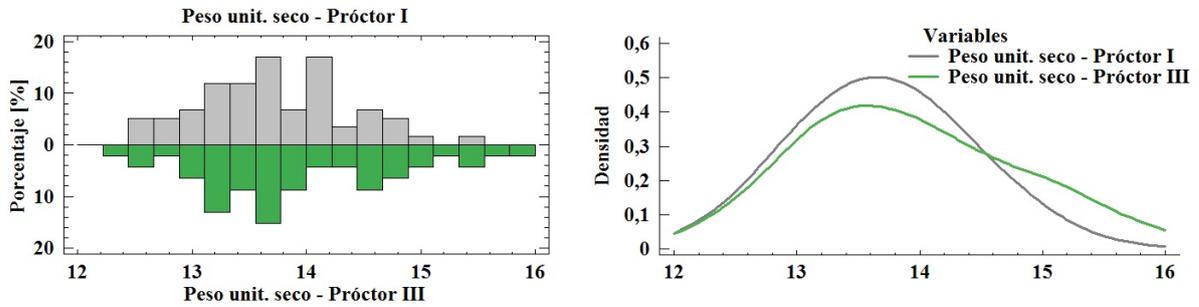


Figura 1. Histograma de Frecuencias (izquierda) y distribución de Probabilidades (derecha) del Peso Unitario Seco [kN/m<sup>3</sup>] para Próctor Tipo I y Tipo III.

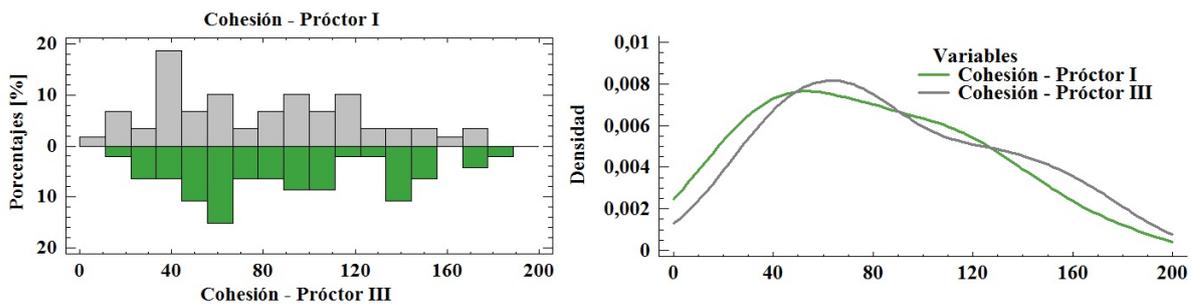


Figura 2. Histograma de Frecuencias (izquierda) y distribución de Probabilidades (derecha) de la Cohesión [kPa] para Próctor Tipo I y Tipo III.

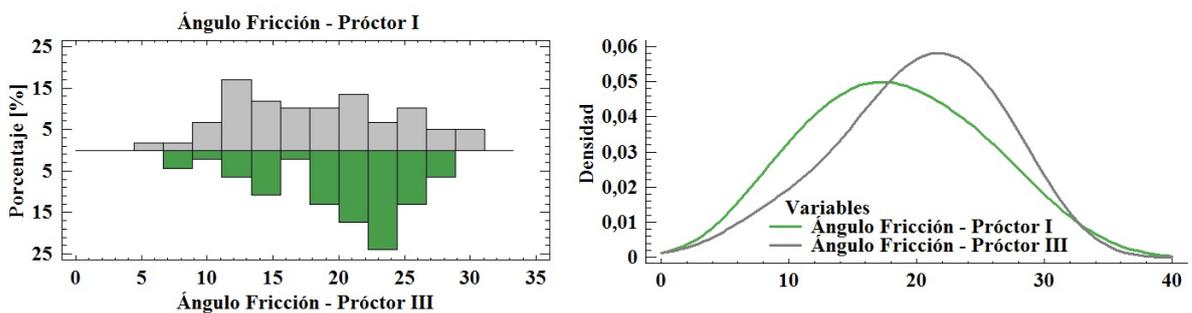


Figura 3. Histograma de Frecuencias (izquierda) y distribución de Probabilidades (derecha) del Ángulo de Fricción Interna [grados sexagesimales] para Próctor Tipo I y Tipo III.

El sesgo y la curtosis estandarizada sirven para comparar si las muestras provienen de distribuciones normales. Si estos valores están fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones importantes de la normalidad, como es el caso del Ángulo de Fricción Interna para el Próctor Tipo III, esto conlleva a no poder adoptar una distribución de probabilidad normal para dicha variable.

**Evento:** XXVII Seminário de Iniciação Científica - Participante ESTRANGEIRO

Con mas resultados de ensayos, las distribuciones tendrán una mayor representatividad de la población y responderán con más precisión a la distribución real de los parámetros analizados.

#### 4. Conclusiones

A modo de conclusión, es de suma importancia destacar que los parámetros analizados del suelo resultan superiores conforme se aumenta la energía de compactación empleada en el remoldeo del suelo. Se han presentado las distintas distribuciones de los resultados de las variables analizadas del suelo característico de la región de 16 sitios distintos, analizando el comportamiento de la distribución de probabilidades de la misma y comparándolas con la Distribución de Probabilidad Normal, determinando que las mismas pueden ser representadas con dicha función de densidad, exceptuando por el ángulo de fricción interna para el Próctor Tipo III. Estos resultados representan un avance determinante en el objetivo de describir el comportamiento de los parámetros resistentes del suelo colorado característico de la Provincia de Misiones. Resultan de utilidad ya que se observa el rango de variación de los guarismos estudiados y pueden ser adoptados, con el suficiente criterio profesional, valores de los mismos que presenten una gran confiabilidad para una instancia de anteproyecto. Aun así, teniendo en cuenta la gran dispersión de los resultados, se considera necesario la realización de un mayor número de ensayos para lograr una mayor representatividad y sacar conclusiones con más resultados de ensayos de laboratorio.

**5. Palavras Chave** - ângulo de atrito interno, coesão, peso unitário, proctor, distribuição normal.

**Keywords** - angle of internal friction, cohesion, unit weight, proctor, normal distribution.

#### 6. Referencias

- [1] Drewes I. B., et al. Comparación de Parámetros Resistentes de Suelos Regionales Según Energía de Compactación. JIDeTEV 2018 de la Facultad de Ingeniería de la UNaM.
- [2] Drewes I. B., et al. Variación de Parámetros Resistentes de Suelos Residuales Lateríticos Compactados. XXVI Seminário de Iniciação Científica - Participante ESTRANGEIRO. Salão do Conhecimento. UNIJUI 2018.
- [3] NORMA IRAM 10501-1972. "Método de ensayo de compactación en laboratorio".
- [4] NORMA IRAM 10507-1986. "Método de determinación de la granulometría mediante tamizado por vía húmeda."
- [5] NORMA IRAM 10501\*-2007. "Método de determinación del límite líquido y del límite plástico de una muestra de suelo. Índice de fluidez e índice de plasticidad."
- [6] NORMA IRAM 10509-1982. "Clasificación de suelos, con propósitos ingenieriles".
- [7] NORMA IRAM 10529-1985. "Método de ensayo de compresión triaxil en suelos cohesivos sobre probetas no consolidadas ni drenadas."