

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

**CORRELACION ENTRE GUARISMOS DE COMPACTACION Y RELACION  
DE VACIOS MINIMA DE SUELOS RESIDUALES DE MISIONES,  
ARGENTINA<sup>1</sup>**  
**CORELATION BETWEEN COMPACTION TEST GUARISMS AND MINIMUM  
VACUUM RATIO OF RESIDUALS SOILS OF MISIONES, ARGENTINA**

**Semañuk Mario Alberto<sup>2</sup>, Horn Jonatan Ricardo<sup>3</sup>, Aguirre Analía Ayelen<sup>4</sup>,  
Gutkoski Florencia Irina<sup>5</sup>, Reinert Hugo Orlando<sup>6</sup>, Bogado Gustavo  
Orlando<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, Becario de Grado, Estudiante de Ingeniería Civil, Laboratorio de Ingeniería Civil, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.

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

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

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

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

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

### **Introducción**

En la provincia de Misiones y en la región, es indispensable el uso de suelos residuales lateríticos en diferentes etapas de proyecto como material de sustentación, relleno, etc, es por esto que es de resaltada importancia el conocimiento de los parámetros geotécnicos del mismo. Si se toma de referencia la clasificación según el SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) o el HRB (Highway Research Board), se determina que los suelos zonales no son aptos para su implementación en bases o sub-bases de caminos o pavimentos, dado que son categorizados como limos de alta o baja plasticidad.

Es con esta problemática que la Facultad de Ingeniería de Oberá plantea estudiar los suelos de la provincia de Misiones para concebir un registro de las propiedades geomecánicas del suelo en estado compactado (Bogado G. O. et al., 2017 [1]; De Salvo O. E., 1990 [2]; Morgenstern, M. E. et al., 2018 [3]). El fundamento de la confección del registro radica en la experiencia con la utilización de los suelos compactados zonales los cuales muestran un adecuado desempeño, contrario a lo prescripto por el SUCS y el HRB

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

## Metodología

Las muestras analizadas resultan de servicios prestados a empresas externas al Laboratorio de Ingeniería Civil (LIC), o bien son adquiridas en el campo por los integrantes del Proyecto de Investigación, siendo estas últimas tomadas generalmente en el entorno de la Ciudad de Oberá. Además, dada la participación de uno de los integrantes del proyecto como personal permanente del Grupo Consultor Mesopotámico (Consultora privada) se cuenta con autorización y colaboración de datos de muestras propias de la misma, las cuales son también parte de las muestras empleadas en el trabajo.

En la Tabla 1 se citan los sitios de los cuales provienen las diferentes muestras, así también como su designación, la cual responde a si se ha incorporado de origen por la Facultad de Ingeniería (FI) o bien por Grupo Consultor Mesopotámico (GCM).

Tabla 1: Designación y ubicación de las muestras ensayadas

Designación	Ubicación Aproximada	Municipio	Designación	Ubicación Aproximada	Municipio
GCM002	Mz N° 135 PROCREAR, It. Guazú	Posadas	FI007	Esquina calle Jujuy y Berutti	Oberá
GCM003	Yacimiento Vaccel, Santa Ana	Santa Ana	FI008	Calle Carhué casi Ushuaia	Oberá
GCM004	Calle los Canarios, It. Guazú	Posadas	FI010	Ruta Nacional N° 14, Predio DINI	Oberá
GCM006	Esc. N° 43 Itaembé Miní	Posadas	FI011	El Chachi. Calle Santo Chaves	Oberá
GCM007	Control de Rentas	Azara	FI012	Ruta Nacional N° 14, Pasando Termas	Oberá
GCM008	Calle Gotchald	Garupá	FI013	Parque de las Naciones, Humboldt	Oberá
GCM009	Dirección de Tránsito	Posadas	FI014	Lazarte, It. Guazú	Posadas
GCM010	Control de Rentas	Azara	FI015	Ruta Nacional N° 14, casi calle Montevideo	Oberá
GCM011	Av los Jilgueros, It. Guazú	Posadas	FI016	Av. Picada Vieja y A° Uruguai	Oberá
GCM012	Calle Azaleas, It. Guazú (DUCON)	Posadas	FI017	Calle Canal Torto	Oberá
GCM014	Sector 3.B.3 Mz 487, It. Guazú	Posadas			

Con las muestras obtenidas, se realiza primeramente los ensayos de caracterización correspondientes, Límites de Atterberg (IRAM 10501-2007) [4], Granulometría por tamizado vía húmeda (IRAM 10507-1986) [5], Clasificación de Suelos (IRAM 10509-1982) [6] y Determinación de la Densidad Relativa de los suelos (IRAM 10503-2007) [7].

Conforme los criterios de clasificación con propósitos ingenieriles, todos los suelos en estudio se agrupan en limos de alta y/o baja plasticidad (ML o MH), con pasante tamiz #200 superior al 80 %, constituyendo en consecuencia suelos finos.

Asimismo, los ensayos Proctor se realizan preparando cinco muestras de suelo y haciendo variar su contenido de agua y, por ende, su humedad. El material utilizado es previamente cribado y tamizado por el tamiz N°4 (4.75mm) luego de secar a temperatura ambiente por 7 días.

En cuanto al ensayo de compactación, se tomó como referencia la Norma IRAM 10511-1972 [8] "Método de ensayo de compactación en laboratorio", y se procedió compactando a dos niveles de energía distintos, prescriptos como "Método normal" (o Tipo 1) y "Método normal, alternativa B" (o Tipo 3). En la Tabla 2 se citan las prescripciones normativas de los ensayos de compactación llevados a cabo.

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

Tabla 2: Prescripciones del Ensayo de Compactación

IRAM 10511	Molde		Pisón		Nº de capas	Nº de golpes por capa
	Capacidad	Diámetro	Diámetro	Masa		
Método normal	0,94 dm <sup>3</sup>	101+1 mm	50 mm	2500 gr	3	25
Método normal alt. B	0,94 dm <sup>3</sup>	101+1 mm	50 mm	2500 gr	3	35

## Resultados y Discusión

En las Tablas 3 se dan los resultados de los ensayos de Granulometría, Clasificación según SUCS, los Límites de Atterberg (Limite Líquido (LL), Limite Plástico (LP) e Índice de Plasticidad (IP)) y los guarismos de compactación, es decir, Humedad Óptima (HO) y Densidad Seca Máxima (DSmax) de Proctor Normal (T1) y Próctor Normal Alternativa B (T3), la Densidad Aparente (DA) y la Relación de Vacíos Mínima para Proctor Normal (RVM T1) y Próctor Normal Alternativa B (RVM T3).

Tabla 3: Granulometría, Clasificación SUCS, Límites de Atterberg, HO (T1 y T3), DSmax (T1 y T3), DA, RVM T1 y RVM T3

Muestra	Granulometría (Pasante)					SUCS	Límites de Atterberg			HO	DSmax	HO	DSmax	Densidad	RVM	RVM
	#4	#10	#40	#100	#200		LL	LP	IP	T1	T1	T3	T3	Aparente	T1	T3
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		LL	LP	IP	[%]	[KN/m <sup>3</sup> ]	[%]	[KN/m <sup>3</sup> ]	[KN/m <sup>3</sup> ]		
FI007	100.00	100.00	99.60	96.99	96.59	MH	66.28	49.51	16.76	32.70	14.00	32.00	14.50	29.20	1.086	1.017
FI008	100.00	99.59	97.94	95.05	94.23	MH	57.33	45.76	11.57	34.50	13.70	33.00	13.90	29.00	1.116	1.083
FI010	100.00	99.59	98.78	97.56	96.75	ML	49.45	35.15	14.30	29.00	14.80	28.00	15.10	27.76	0.875	0.838
FI011	99.10	98.51	97.91	97.31	96.72	MH	56.98	44.60	12.37	32.50	13.94	31.50	14.20	27.76	0.991	0.955
FI012	100.00	99.85	99.85	99.55	99.25	MH	79.15	51.91	27.24	37.00	13.42	35.00	13.84	28.28	1.105	1.046
FI013	100.00	99.93	99.58	98.46	99.02	MH	76.18	41.27	34.91	31.50	14.34	31.00	15.15	28.27	0.971	0.866
FI014	100.00	98.56	97.11	96.47	88.28	ML	47.46	35.55	11.92	27.50	15.20	26.00	15.50	28.93	0.906	0.869
FI015	100.00	99.64	99.29	98.39	96.25	MH	56.31	43.51	12.80	31.17	14.26	30.50	14.40	28.38	0.999	0.971
FI016	100.00	99.80	99.20	98.00	97.00	MH	63.06	44.22	18.84	33.00	13.95	31.23	14.59	28.73	1.067	0.967
FI017	100.00	99.76	98.92	97.36	96.76	MH	55.17	38.37	16.80	31.70	14.05	31.08	14.56	28.49	1.035	0.951
GCM002	100.00	97.90	94.60	91.80	87.90	MH	50.00	36.00	14.00	26.40	15.06	-	-	29.22	0.940	-
GCM003	100.00	98.90	96.40	91.80	88.40	MH	60.00	44.00	16.00	32.93	14.39	-	-	28.77	0.999	-
GCM004	99.90	98.10	95.10	92.00	88.80	MH	51.00	35.00	16.00	25.53	16.05	-	-	28.27	0.761	-
GCM006	100.00	96.50	92.80	88.80	84.90	MH	57.00	38.00	19.00	24.29	15.92	-	-	28.37	0.782	-
GCM007	97.90	96.90	94.70	91.00	89.10	MH	67.00	47.00	20.00	28.56	14.72	-	-	28.68	0.948	-
GCM008	100.00	98.70	93.00	90.70	89.30	MH	58.00	37.00	21.00	29.52	14.86	-	-	28.48	0.917	-
GCM009	100.00	98.30	96.30	94.80	92.50	MH	52.00	33.00	19.00	27.28	14.82	-	-	27.65	0.866	-
GCM010	100.00	99.00	96.10	93.20	92.00	MH	53.00	38.00	15.00	30.38	14.75	-	-	27.93	0.894	-
GCM011	100.00	97.60	94.70	92.10	89.40	MH	58.00	34.00	24.00	-	-	25.60	16.05	27.99	-	0.754
GCM012	100.00	98.00	95.10	92.50	89.90	MH	54.00	38.00	16.00	27.00	15.16	-	-	27.98	0.859	-
GCM014	98.50	95.20	92.30	88.70	84.80	ML	45.00	33.80	11.20	27.17	15.61	-	-	28.88	0.850	-

El análisis de los resultados obtenidos para Densidad Relativa, indica valores de referencia que varían de 27.65 a 29.22, determinándose como media un valor de 28.43, lo cual si bien denota diferencias, las mismas son razonables debido al propio proceso de formación de estos suelos, caracterizados por la descomposición in situ del material primario, el basalto.

Respecto de la relación de vacíos mínima obtenida, en general se da lo esperado, en el sentido que para el caso del Próctor Normal Alternativa B, se alcanzan valores más reducidos que para el caso de Normal. En cuanto a los valores extremos, sucede lo mismo, destacándose que en algunos

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

suelos la relación de vacíos mínima no llega a ser menor que la unidad, mientras que el mínimo obtenido resultado de 0.761 y 0.754 según el tipo de Próctor desarrollado. Esto muestra que por más que los suelos presenten clasificaciones semejantes, no tienen un comportamiento idéntico en cuanto a sus propiedades al compactarlo.

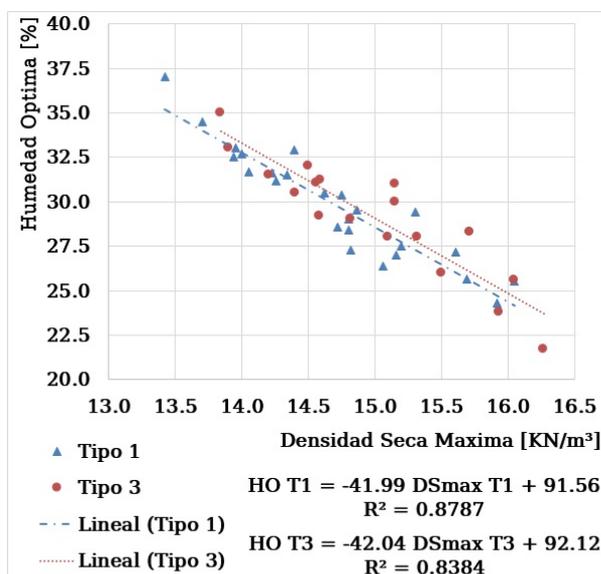


Fig. 1. Variación de la Densidad Seca Máxima (DSmax) respecto la Humedad Óptima (HO) para ambos tipos de ensayos Proctor, Tipo 1 (T1) y Tipo 3 (T3).

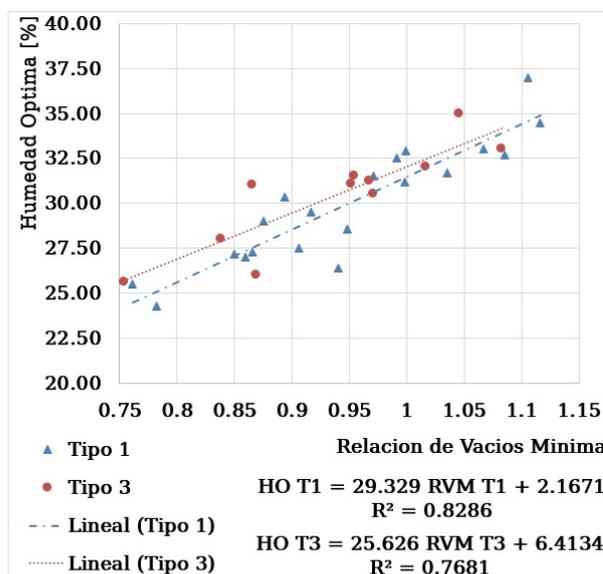


Fig. 2. Variación de la Relación de Vacíos Mínima (RVM) respecto la Humedad Óptima (HO) para ambos tipos de ensayos Proctor, Tipo 1 (T1) y Tipo 3 (T3).

En la Figura 1 se plantea la correlación entre la Densidad Seca Máxima y la Humedad Óptima para ambos tipos de ensayo, lo que muestra un ajuste de tipo lineal con referencias de R2 muy superiores, alcanzándose valores de 0.878 y 0.838 conforme el tipo de ensayo evaluado.

En la Figura 2 se presenta la variación y tendencia de la Relación de Vacíos Mínima con respecto a la Humedad Óptima, observando la situación inversa a la Densidad Seca Máxima, esto es, a mayor densidad seca alcanzada, menor relación de vacíos, lo cual en cierta medida es lo esperado para los suelos en estudio.

Esto último se cumple para ambos casos de moldeo realizados, es decir con Próctor Normal y Modificado Alternativa B. Los ajustes de tendencia lineal arrojan ajustes buenos, con valores de R2 de 0.828 y 0.768 según el caso.

Los valores analizados resultan de mucha utilidad para describir el comportamiento y para el registro de guarismos de referencia en estos suelos.

### Consideraciones Finales

En el presente trabajo se dan resultados de un número importante de ensayos de laboratorio

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

llevados a cabo por el equipo de investigación del área de suelos del Laboratorio de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones.

Se presentaron resultados de distribución granulométrica, Límites de Consistencia, Clasificación de suelos en el Sistema Unificado, y resultados de ensayo Próctor Normal (T1) y Normal Alternativa B (T3), caracterizados como Humedad Óptima y Densidad Seca Máxima, para un total de veintiún muestras de suelo de la región.

En el análisis de las Figuras 1 y 2 se observa que el aumento de la humedad óptima trae reflejado un consecuente aumento de la relación de vacíos mínima, lo que indica un mayor volumen de vacíos en la estructura interna, y una consecuente disminución en la densidad seca máxima resultante, destacándose en ambas regresiones sus valores satisfactorios de R<sup>2</sup>.

Si bien las aplicaciones de los resultados son reducidas en esta instancia, el registro de una cantidad como la detallada de rutinas de ensayo en los suelos residuales regionales, resulta una importante referencia de base para la continuidad de los estudios, a los fines de confirmar o modificar las correlaciones propuestas en el presente trabajo.

Como requerimiento de proyecto, se plantea a la necesidad de continuar ampliando los registros de datos respecto de los suelos residuales compactados obtenidos en la Provincia de Misiones.

**Palavras Chave** - Compactação, Densidade Seca Máxima, Humidade Ótima, Relação de Vazios, Propriedades índice.

**Keywords** - Compaction; Maximum Dry Density; Optimum Humidity, Vacuum Relation.

### 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] Morgenstern, M. E., Tkachuk, M. G., Demonari, F. E., Basile, A. M., Bogado, G. O., Bressan, D. A. Relación entre resultados de ensayos de compactación y propiedades geotécnicas índices de suelos residuales de Misiones, Argentina. *Jornadas de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Extensión, Vinculación y Muestra de la Producción 2018 de la Facultad de Ingeniería de la UNaM*.
- [4] 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.
- [5] Norma IRAM 10507 "Método de determinación de la granulometría por tamizado mediante vía húmeda", 1986.
- [6] Norma IRAM 10509 "Clasificación de los suelos, con propósitos ingenieriles", 1982.
- [7] Norma IRAM 10503 "Método de determinación de la densidad relativa de los sólidos y de la densidad de los sólidos de un suelo" 2007.
- [8] Norma IRAM 10511 "Método de ensayo de compactación en laboratorio", 1972.